

### Origine, évolution et mise en place d'un pluton alcalin récent en contexte intraplaque océanique : exemple du complexe sud de Rallier du Baty, Kerguelen (T.A.A.F.)

Léandre Ponthus

#### ▶ To cite this version:

Léandre Ponthus. Origine, évolution et mise en place d'un pluton alcalin récent en contexte intraplaque océanique : exemple du complexe sud de Rallier du Baty, Kerguelen (T.A.A.F.). Sciences de la Terre. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2018. Français. NNT : 2018TOU30052 . tel-02057605

#### HAL Id: tel-02057605 https://theses.hal.science/tel-02057605

Submitted on 5 Mar 2019  $\,$ 

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers. L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université de Toulouse



#### En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)

#### Présentée et soutenue par : Léandre Ponthus

Le mardi 20 mars 2018

Titre :

Origine, évolution et mise en place d'un pluton alcalin récent en contexte intraplaque océanique. Exemple du complexe sud de Rallier du Baty, Kerguelen (T.A.A.F.)

ED SDU2E : Sciences de la Terre et des Planètes Solides

Unité de recherche :

Géosciences Environnement Toulouse - UMR5563

Directeur(s) de Thèse : Michel Grégoire, DR CNRS, GET (Toulouse) Damien Guillaume, PR UJM, LMV (St Etienne) Michel de Saint Blanquat, DR CNRS, GET (Toulouse) Rapporteurs :

Lukas Baumgartner, PR Lausanne, Jean-Yves Cottin, PR St Etienne, Gaelle Prouteau, MCF Orléans

#### Autre(s) membre(s) du jury :

Valérie Bosse, MCF Orléans, Guillaume Delpech, MCF Orsay, Olivier Vanderhaeghe, PR Toulouse





#### En vue de l'obtention du

## DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier)

#### Présentée et soutenue par : Léandre Ponthus

le 20 mars 2018

Titre :

Origine, évolution et mise en place d'un pluton alcalin récent en contexte intraplaque océanique.

Exemple du complexe sud de Rallier du Baty, Kerguelen (T.A.A.F.)

École doctorale et discipline ou spécialité :

ED SDU2E : Sciences de la Terre et des Planètes Solides

Unité de recherche :

Géosciences Environnement Toulouse - UMR 5563

Directeur/trice(s) de Thèse :

Michel GREGOIRE - GET Damien GUILLAUME - LMV (Saint Etienne) Michel de SAINT BLANQUAT - GET

Jury :

L. BAUMGARTNER J-Y. COTTIN G. PROUTEAU V. BOSSE G. DELPECH O. VANDERHAEGHE

Rapporteur Rapporteur Rapporteure Examinatrice Examinateur Examinateur

# Remerciements

Tant de personnes ont contribué à ce travail qu'il aurait fallu, pour les nommer ici, faire comme pour le manuscrit : griffonner leurs noms dès le début. Malheureusement, ça ne s'est pas fait comme ça. Je ne prends donc pas le risque d'être ingrat et injuste en faisant l'énumération d'une kyrielle de noms qui serait non-exhaustive. Il n'est pas non plus question de dresser ici un classement non objectif de l'implication de chacun.

Ce travail est le fruit d'innombrables collaborateurs, petites mains, grands penseurs, supports psychologiques et supports financiers qui ont permis d'aboutir à ce manuscrit, qui je l'espère, est à la hauteur de leur investissement. Aussi, à travers les différentes structures nationales et étrangères où j'ai eu la chance de travailler, je remercie pour leur apports scientifiques : les adjoints techniques, techniciens, assistants ingénieurs, ingénieurs, maîtres de conférences, chargés de recherche, professeurs des universités, directeurs de recherche, professeurs certifiés, chercheurs émérites et membres du jury, sans qui cette thèse n'aurait pu être achevée. Amicalement, je voudrais remercier pour leur aide tous ceux, de près ou de loin, qui m'ont permis de commencer, faire avancer et finir ce long travail. Enfin, c'est avec révérence que je remercie tous ceux dont je pense qu'ils le méritent simplement parce qu'ils étaient là. A tous, merci !

Au lieu de m'étendre en plus de flatteries, je vous invite plutôt, comme prélude, à la lecture de deux récits de marins, lesquels méritent également d'être remercier. Ces brefs extraits relatent la découverte et le débarquement sur l'île de Kerguelen en 1772, à l'anse du Gros Ventre (là où vous le verrez plus tard dans ce manuscrit tout a effectivement commencé...) :

Le canot du « Gros ventre », malgré la force du courant et du vent, doubla plusieurs pointes (...). Le canot s'approcha dont de la terre, nous crumes voir une quantité d'habitant rangé en ordre de bataille pour soposer à notre desente. Mais nous fûmes bien surpris lorsque nous reconnûmes ces habitans pour de gros oiseaux d'une singulière estracteures. Ils vont sy droït sur leur pate qu'on les prendroit pour des hommes. Ils ont près de trois pied de haut, pezant vingt cinq à trente livre. Leur plumage est comme celui d'un canard sauvage. Ils ont des nassoir comme des poissons, en place d'ailles, ne volle point, vivent des mouche sur le rivage et s'éloigne de dix lieu en mer. Il y plonge et se nourissent des poissons. Ses oiseaux se nomme painquoin. A laproche de la terre, nous vîmes une quantité prodisieuse d'oiseau qui plongoit dans la mer. Il nous semblait voir que ces oiseaus ce ravigotait de notre arrivée. Il nous suivait jusqu'à terre et sen retournait plongent, se faisant voir de temps en temps. Il faisoit des cabriolle de droit à gauche. En un mot, il nous ravigotoit de la voir cabrioller dans la mer. Ces les mêmes que nous avions vû à terre. Il y a quantité de lyon marin ausy gros qu'un anne. Ils ont deux nageoir devant aux patte en nageoir d'errier. Le poil luissant, court, huilleux, la tête fort grosse et longue, des grandes oreilles des loup marin dont la peau bluatre et luissante font des eudulasion semblables à la gorge des pigeons. Aucun de ces animaux ne sont dangereux ny nuisible à l'homme. Nous en avons mangé beaucoup.

Extrait du Journal du Sergent Lafortune embarqué sur le canot qui mis pied à terre

A midy et demy, nous nous sommes trouvés à l'entrée d'une baye qui paraissoit nous prometre un mouillage assuré. On a mis le canot à la mer. M. de Saint Aloüarn ma envoyé prendre connoissance des sondes de cette baye, savoir s'il prometoit y mouiller. Comme la mer étoit trop grosse pour un canot, j'ay mis deux heures et demy pour y arriver [...]. Après avoir sondé la baye, j'ay fait metre à terre. En y arrivant jay fait arborer le pavillon et pris possession au nom du Roy mon mètre, en faisant crier trois fois Vive le Roy et tirer trois décharges de mousqueterie.

Extrait du Journal de vaisseau de Charles Marc de Boisguehenneuc (second du Gros Ventre)

Je dédie ce travail à m'Père et m'Mère, Tigrou, Léon le professionnel, le Quatrième brigand, le Sherpa, MyGM et JYC.

## Résumé

Le but de cette thèse est de porter un nouveau regard sur la formation des complexes plutoniques alcalins intraplagues à partir de l'étude du complexe intrusif sud de la péninsule de Rallier du Baty (SRBIC) sur l'archipel de Kerguelen (Terres Australes et Antarctiques Françaises - TAAF). Ce corps plutonique, qui est un des très rares exemples de pluton essentiellement felsique accessibles en domaine océanique, est majoritairement constitué de syénites et d'une faible proportion de roches intermédiaires. La présence de quartz dans les roches felsiques classe ce complexe dans la série des plutons alcalins sursaturé en silice. Ce complexe intrusif est une cible privilégiée pour étudier et contraindre les processus : (i) à l'origine de ces magmas alcalins différenciés, (ii) responsables de leurs évolutions depuis leurs sources mantelliques jusqu'à leur mise en place, (iii) et qui contrôlent cette mise en place en contexte intraplaque océanique. Ce travail permet en particulier d'apporter de nouvelles contraintes (i) sur le rôle d'une croûte océanique épaissie dans la mise en place des corps plutoniques, (ii) sur la participation de la croûte continentale dans la formation des roches alcalines sursaturées et (iii) sur l'évolution du magmatisme lié à la présence du point chaud de Kerguelen reconnue depuis 140 Ma, lequel a permis de former la seconde plus grande province magmatique terrestre de type Large Igneous Province (LIP). L'approche employée est multidisciplinaire et mêle, observations et mesures sur le terrain, Anisotropie de Susceptibilité Magnétique (ASM) réalisée pour la première fois sur un pluton océanique, pétrographie, minéralogie, géochimie des éléments majeurs et traces sur roche totale, géochimie isotopique Rb/Sr et Sm/Nd sur roche totale et géochronologie U-Pb sur zircon réalisée pour la première fois sur ce pluton. Ces différentes études démontrent la participation d'un manteau subcontinental métasomatisé relativement ancien ainsi que celle d'un fragment de croûte continentale dans la genèse de ces magmas principalement issus d'une source asthénosphérique typique du plume de Kerguelen. Les roches issues de ces magmas contaminés forment la plus ancienne série magmatique exclusivement calcique du SRBIC, laquelle a évoluée par cristallisation fractionnée dans un système dynamique caractérisé par des épisodes répétés de recharge magmatique. La seconde et plus jeune série magmatique a évoluée selon les mêmes processus dans un système magmatique clos formant des roches à caractère de plus en plus agpaïtique au cours de la différenciation. La mise en place des intrusions plutoniques a commencée il y a 13,7 Ma sur la péninsule tandis que celle du plus gros volume de magma s'est déroulée entre 11,7 (au sud) et 7,9 Ma (au nord) formant le SRBIC. Le mode de construction de ce pluton en fait un exemple unique connu de laccolithe en contexte intraplaque océanique. Ce travail met en évidence la participation de plusieurs sources magmatiques reconnues ou suspectées dans la construction du plateau océanique de Kerguelen et la double fonction de la croûte océanique épaissie qui agit de la même façon que la croûte continentale sur le mode de construction mais qui influe également sur l'évolution pétrochimique au sein d'un complexe et de ses satellites formés en moins de 6 Ma au Miocène supérieur.

# Abstract

The aim of this PhD is to bring new insights on the formation of intraplate alkaline plutonic complexes based on the study of the southern complex of the Rallier du Baty Peninsula (SRBIC) located in the Kerguelen Archipelago (TAAF, France). This plutonic body, which is one of the only examples of felsic pluton accessible in the oceanic domain, mostly consists of quartz-bearing syenites. This alkaline complex therefore belongs to the silica-oversaturated series. It constitutes a perfect target for studying and constraining the processes: (i) at the origin of the differentiation of alkaline magmas, (ii) responsible for their evolution from their mantle sources to their emplacement levels, (iii) and that control their emplacement in an oceanic within-plate setting. In particular, this work provides new constraints (i) on the role of a thickened oceanic crust for the emplacement of plutonic bodies, (ii) on the involvement or not of the continental crust in the formation of oversaturated alkaline plutonic rocks and (iii) on the evolution of the magmatism linked to the activity of the Kerguelen plume. Evidenced since 140 Ma, this activity in particular built the second largest LIP ("Large Igneous Province") on Earth. I used in this study a multidisciplinary approach: fields observations and measurements, ASM (anisotropy of magnetic susceptibility) performed for the first time on an oceanic pluton, petrography, mineralogy, geochemistry of major and trace elements on whole rock, isotopic geochemistry Rb/Sr and Sm/Nd on whole rock and U-Pb geochronology through in-situ measurements on zircon acquired for the first time on this pluton. These different approaches demonstrate (i) that the main source of the parental magmas is the Kerguelen plume, (ii) the involvement of a relatively old metasomatised subcontinental mantle and (iii) the contribution of a continental fragment in the genesis of some syenitic melts. Those contaminated magmas formed the oldest rocks of the SRBIC. Forming a strictly calcic magmatic series, they evolved by fractional crystallization in an active magmatic environment characterized by repeated magmatic pulses. The second and youngest magmatic series evolved in a more closed magmatic system leading to the formation of more and more agpaitic rocks with differentiation. The first intrusions emplaced at around 13.7 Ma on the peninsula while the largest volume of magma emplaced between 11.7 (to the south) and 7.9 Ma (to the north). The process of building of this pluton makes it a unique example of laccolith in oceanic within-plate settings. This work highlights the involvement of several previously known or suspected magmatic sources for the construction of the Kerguelen oceanic plateau and the dual function of the thickened oceanic crust. This latter act indeed such as the continental crust on the building process, but also influences the petrochemical features of a single large igneous complex and its satellites emplaced in less than 6 Ma during the Upper Miocene.

# Sommaire

Remerciemen		3
Résumé		4
Abstract		5
Sommaire		6
Table des fiqu	Ires	8
0		
1. Chapit	re 1 : Introduction et zone d'étude	15
1.1 Pro	oblématique	16
1.1.1	Introduction générale	16
1.1.2	Motivations et intérêts scientifiques	17
1.1.2.	1 Processus de construction des corps plutoniques	17
1.1.2.	2 Processus de formation des roches alcalines différenciées	17
1.1.2.	3 Evolution du plateau océanique de Kerguelen	18
1.1.3	Questions spécifiques et méthode de travail	19
1.2 Co	ntexte géologique	20
1.2.1	Edification du « Grand » plateau de Kerguelen	20
1.2.2	Archipel de Kerguelen	22
1.2.3	Caractéristiques géochimiques et isotopiques des roches de plateau	23
1.2.4	Caractéristiques géochronologiques, géochimiques et isotopiques des roches de l'archipel	24
1.2.5	La péninsule de Rallier du Baty	27
2. Chapit	re 2 : Relations de terrain et structure du SRBIC	29
2.1 Int	roduction	30
2.2 Le	s relations de terrain	31
2.2.1	Les textures rencontrées	31
2.2.1.	1 Les basaltes de plateau	31
2.2.1.	2 Les roches felsiques plutoniques	32
2.2.1.	3 Les roches intermédiaires et mafiques	34
2.2.1.	4 Les filons	35
2.2.2	Structure et orientation des basaltes	37
2.2.3	Le contact SRBIC – Basaltes de plateau	38
2.2.4	Les contacts internes à grande échelle	42
2.3 Str	ructure interne à l'échelle des unités structurales	48
2.3.1	Coupe détaillée	48
2.3.2	Structure interne	52
2.3.3	Déformations ductiles et cassantes	55
2.4 Str	ructure d'ensemble	58
2.4.1	Litages et contacts magmatiques	58
2.4.2	Zones de cisaillement et failles	60
2.4.3	Filons basaltiques et trachytiques	61
2.5 Qu	antification des fabriques	64
2.5.1	Microstructures	64
2.5.2	ASM	65

2.5.2.1	Minéralogie magnétique	
2.5.2.2	2 Orientation de la fabrique magnétique	
2.5.2.3	8 Paramètres intensifs	
2.5.3	Synthèse de l'analyse des fabriques	73
2.6 Syr	nthèse structurale	73
3. Chapitr	e 3 : Géochronologie et couplage avec l'étude structurale	77
3.1 Pro	tocole de séparation minérale	78
3.2 Ca	ractéristiques internes et externes des zircons du SRBIC	79
3.2.1	Coloration et morphologie	79
3.2.2	Structures internes	
3.2.3	Inclusions	
3.3 Pro	otocole d'analyse et traitement des données U-Pb	85
3.4 Re	sultats	
3.5 Etu	ide structurale et géochronologique : synthèse des chapitres 2 et 3	
4	Ponthus et al., "Mechanism and duration of plutonic processes in oceanic plateau crus	st: the South
	Rallier du Baty Intrusive Complex, Kerguelen Archipelago" article soumis à Geology	93
4 Chapitr	e 4 · Pétrographie et minéralogie	111
4 1 De	scription pétrographique	112
4.1.1	Roches mafigues et intermédiaires	
4.1.1.1	Basaltes de plateau	
4.1.1.2	Monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre	
4.1.1.3	Monzo-gabbro et monzo-diorite de l'unité la plus externe	
4.1.1.4	Roches intermédiaires de l'intrusion de la Plage jaune	
4.1.2	Roches plutoniques felsiques	
4.1.2.1	Syénites calciques (groupe pétrographique CaS)	
4.1.2.2	2 Syénites sodiques (groupe pétrographique NaS)	
4.1.2.3	<i>Syénites calco-sodiques (groupe pétrographique intermédiaire CaNaS)</i>	
4.1.3	Filons et dykes tardifs	143
4.1.3.1	Filons de basalte	
4.1.3.2	Pilons de trachyte	
4.2 Mir	néralogie des minéraux ferro-magnésiens	145
4.2.1	Pyroxènes	
4.2.1.1	Pyroxènes des syénites du groupe CaS	
4.2.1.2	Pyroxènes des syénites du groupe NaS	
4.2.1.3	Pyroxènes des syénites du groupe CaNaS	
4.2.1.4	Evolution des pyroxènes à l'échelle du complexe et de ses satellites	
4.2.1.5	Synthese sur la mineralogie des pyroxenes	
4.2.2	Les amphiboles	
4.2.2.1	Amphiboles des rocnes plutoniques majiques et intermediaires	
4.2.2.2	Amphiboles des syénites du groupe Cas	
4.2.2.3	Amphiboles des syénites du groupe CaNas	
4.2.2.4	<ul> <li>Finipliboles des syclifies du groupe cuivas</li> <li>Evolution des amphiboles à l'échelle du complexe</li> </ul>	150 150
4226	5 Synthèse sur la minéralogie des amphiboles	
4.3 Svr	nthèse sur la pétrographie et la minéralogie	

4.4 Relation pétrographie-structure-géochronologie	
5. Chapitre 5 : Geochimie	
5.1 Geochimie des elements majeurs	
5.1.1 Classification et nomenclature	
5.1.1.1 Roches mafiques et intermediaires	
5.1.1.2 Roches felsiques	
5.1.2 Evolution à l'échelle de l'ensemble des roches plutoniques	
5.1.3 Evolution a l'échelle des syenites	
5.2 Geochimie des elements traces	
5.2.1 Analyse elementaire	
5.2.2 Relation elements majeurs - elements traces	
5.3 Elude des spectres en elements traces	
5.3.1 Caracteristiques generales des spectres des roches du SRBIC et de ses satellites	
5.3.1.1 Spectres des roches intermediaires (monzo-gabbro/alorite)	
5.3.1.2 Spectres des roches Intermediaires (monzonites)	
5.3.1.3 Spectres des syenites du groupe Cas	
5.3.1.4 Spectre des syénites du groupe Calvas	
5.3.1.5 Spectre des syerilles du groupe Nas :	200
5.3.1.6 Evolution des éléments traces en jonction de la dijjerenciation	
5.3.1.7 Evolution des éléments tracés dans le temps	201
5.4 Synthese de l'étude des éléments majeurs et traces	
6 Chapitre 6 : Géochimie isotopique	211
6.1 Système Rh/Sr	212
6.1.1 Résultats à l'actuel	
6.1.2 Résultats à l'état initial	
6.2 Système Sm/Nd	216
6.3 Corrélation des deux systèmes isotopiques	220
7. Chapitre 7 : Synthèse et discussion	
7.1 Le SRBIC : un complexe plutonique composite	
7.2 Origines et sources des roches plutoniques du SRBIC et de ses satellites	
7.3 Les deux suites plutoniques du SRBIC	
7.4 La construction du SRBIC	
7.4.1 Comparaison avec les études antérieures	
7.4.2 Précédent modèle de construction : subsidence en chaudron	
7.4.3 Arguments en défaveur du modèle de subsidence en chaudron	
7.4.4 Arguments en faveur d'un modèle de construction alternatif : laccolithe	
7.4.5 Questions en suspens	
7.4.6 Modèle de formation du SRBIC à l'échelle de la lithosphère	
2 Conclusions of noncostings	050
o. Conclusions et perspectives	
o. I     Conclusions generales	
8.2 Perspectives	
Références	

# Table des figures

• Figure 1.1: Carte de localisations des Large Igneous Province	16
Figure 1.2 : Reconstruction du démantèlement du Gondwana au point triple entre l'Antar	20
Figure 1.3 : Cartographie physique et données géochronologiques dans l'océan Indien, entre l'Asie,	
l'Australie et l'Antarctique, l'Inde et l'Australie depuis 150Ma.	21
Figure 1.4 : Imagerie tomographique actuelle sous l'archipel de Kerguelen	22
Figure 1.5 : Carte géologique simplifiée de l'archipel de Kerguelen illustrant les différents systèmes	
intrusifs dans les basaltes de plateau ainsi que les données géochronologiques associées	24
Figure 1.6 : Photos d'enclaves mafiques et ultramafiques retrouvées dans les laves alcalines récentes c	Je
l'archipel de Kerguelen	27
Figure 1.7: Carte des différents complexes intrusifs de la province plutonique de Rallier du Baty et	
données géochronologiques associées	28
• Figure 2.1: Planche photographique des basaltes de plateau	31
Figure 2.2: Planche photographique des quatres grands types de textures rencontrées dans les syénite	25
du SRBIC	32
Figure 2.3: Relations chronologiques entre les différentes textures de syénites	33
Figure 2.4 : Les différents faciès mafigues et intermédiaires à l'affleurement et relations avec les faciès	5
felsiques	35
Figure 2.5 : Planche photographique des différents types de filons observés et de leur chronologie rela	ative
par rapport aux roches encaissantes	36
Figure 2.6 : Photos des épanchements basaltiques de la péninsule de Rallier du Baty	37
Figure 2.7 : Photo du contact intrusif du SRBIC avec les basaltes de plateau	38
Figure 2.8 : Photo du contact intrusif du SRBIC avec les basaltes de plateau sur le flanc O du mont de V	/olz
(Plage Jaune)	39
Figure 2.9 : Photo du contact intrusif externe du SRBIC sur le flanc S du mont Léon Lutaud recoupant a	vec
un fort pendage les épanchements basaltiques	39
Figure 2.10 : Photo du contact intrusif du complexe satellite de « l'anse syénite » sur le flanc NE du mo	ont
Léon Lutaud	40
Figure 2.11 : Photos détaillées du contact externe SRBIC- basaltes de plateau sur le mont du Command	dant 41
Figure 2.12 : Image satellite Pléiades, centrée sur l'unité centrale du SRBIC avec la localisation des prise	es
de vues du contact majeur de la Figure 2.13	42
Figure 2.13 : Vues du contact majeur (unité 2/unité 3) ; a) du flanc S du Pic Chastaing; b) du flanc N du	
massif des Deux Frères, c) du flanc SW de ce même massif et du flanc NE du massif du Portillon	43
Figure 2.14 : Photo d'un échantillon de roche (13TK68) bleutée, avec une croûte oxydée caractéristiqu	le,
située sous le contact majeur du massif du Portillon	44
Figure 2.15 : Photos des injections de magmas provenant de l'unité centrale, s'injectant dans les roche	32
de l'unité supérieure par conséquent plus ancienne	44
Figure 2.16 : Exemple de contact franc et continu à grande échelle dans la vallée de Larmor	45
Figure 2.17 : Détails photographiques du contact entre l'unité 1 et l'unité 2, formé par une zone très	
déformée en base de l'unité 1	46
Figure 2.18 : Panorama et interprétation du massif NE au pied de la coulée de Vulcain, face ouest	47
Figure 2.19 : Photo générale et interprétation de l'affleurement caractéristique de l'unité 1	49
Figure 2.20 : (ci-dessus) Détails de l'attleurement précédent et des relations syénite / monzo-diorite	50
Figure 2.21 : (ci-contre) Partie nord de l'affleurement représenté en Figure 2.19.	50
Figure 2.22 : Details des relations entre la syénite porphyrique et les autres lithologies, illustrant son	
caractere tardit sur cet attleurement	51
Figure 2.23 : Details des relations entre la syénite porphyrique et les autres lithologies, suite	51
Figure 2.24 : Exemples d'alternance texturale des syénites au travers des différentes unités et à plusier	urs
ecnelles.	52

Figure 2.25 : Exemples d'alternance grenue – fine aux contacts clairs dans différentes unités à l'échelle l'affleurement.	de 53
Figure 2.26 : Exemples détaillés de contacts plus ambigus entre syénite microgrenue et grenue	53
Figure 2.27 : Exemples de ségrégation pegmatitiques injectés dans les syénites grenues sous formes de	2
veines et filons pouvant formés des zones de concentration et des réseaux anastomosés.	54
Figure 2.28 : Marqueurs de déformation au sein du SRBIC	55
Figure 2.29 : Margueur de déformation. suite.	56
Figure 2.30 : Chronologie relative entre les zones de cisaillement et les différents filons	
Figure 2.31 : Coupe synthétique SSE-NNO de la première unité structurale	57
Figure 2.32 : Carte et et stáráo des mesures de terrains	58
Figure 2.22: Carte et el siereo des mésures de terrains	
Figure 2.35. Calle structurale synthetique du complexe sud de Railler du Baty	
Figure 2.24 : Synthese des stereogrammes.	00
Figure 2.35 : Stereos des zones de cisamement et fames avec cinematique.	01
Figure 2.36 : Carte illustrant les mésures de filons basaitiques et trachytiques observes sur le terrain	62
Figure 2.37 : Stereogrammes des filons de basaltes et trachytes syn a post-plutoniques.	62
Figure 2.38: Coupe synthetique SSO-NNE du SRBIC	63
Figure 2.39 : Exemples des microstructures des syénites	64
Figure 2.40 : Planche du signal de susceptibilité magnétique par échantillon en fonction de la températi	ure
	66
Figure 2.41 : Planche photographique des différents habitus de la minéralogie magnétique en imagerie	!
électronique (MEB)	67
Figure 2.42 : Carte des trajectoires de foliations	68
Figure 2.43: Cartes interprétatives des trajectoires de foliation à l'échelle du complexe	69
Figure 2.44: Carte des linéations.	70
Figure 2.45 : Carte des trajectoires de linéations interprétées	70
Figure 2.46 : Fréquences des différents paramètres intensifs (Km, P%, T)	71
Figure 2.47 : Carte de répartition de la susceptibilité magnétique mesurée sur le SRBIC	71
Figure 2.48 : Corrélation des paramètres intensifs d'anisotropie magnétique en fonction des textures	
rencontrées	72
Figure 2.49: Diagramme d'occurrences des différentes lithologies et déformations au sein des unités	
structurales du SRBIC.	74
• Figure 3.1: Photos prises à différentes échelles (a, b et c) et schémas de zircons caractéristiques du	
SRBIC	79
Figure 3.2: Classification morphologique qualitative des zircons de Rallier-du-Baty	80
Figure 3.3: Exemples de morphologies et structures internes des zircons du SRBIC sous lumière polarisé	ée
et cathodoluminescence	82
Figure 3.4: Photos en lumière naturelle (a, c, e) et cathodoluminescence (b, d, f) de plusieurs zircons	
caractéristiques du SRBIC illustrant les différent types de structures internes rencontrées	83
Figure 3.5: Exemples d'inclusions rencontrées au sein des zircons du SRBIC	85
Figure 3.6: Rapport Th/U des roches plutoniques de Rallier du Baty et valeur moyenne utilisée pour la	
correction de <sup>230</sup> Th	87
Figure 3.7: Exemple de diagrammes Tera-Wasserburg par échantillon illustrant les résultats de	
géochronologie in-situ U-Ph sur les zircons du complexes sud de Rallier du Baty	88
Figure 3.8. Diagramme et tableau synthétiques des données géochronologies in-situ sur les zircons du	
SRBIC (triées par âges décroissants)	91
Figure 3.9. Carte des datations obtenues nar mesures LI-Ph in-situ sur les zircons du complexe sud de	
Rallier du Raty	٩J
Figure 3 10: Carte structurale du SBBIC avec une géologie simplifiée et detetions U. Phiotopues sur	
zircons sánarás at sur lamas ánaissas	104
Eigure 2 11: Contact intrusif du SPDIC dans les basaltes de plateau montrant une géométrie d'accordant.	100
rigure 5.11. Contact intrusir un Skole dans les pasaites de plateau montrant une geometrie discordante	e 107
El cultur udille.	100
FIGURE 2.12. COUPE SYNCHEDIQUE 220-INIVE ON 2KBIC ET DONNEES REOCULODOIOSIDUES ASSOCIEES	τυδ

Figure 3.13: Exemple caractéristique de contact magmatique penté vers le sud entre deux intrusions syénitiques de textures différentes. Les deux syénites sont recoupées par un filon de basalte tardif Figure 3.14: Modèle de laccolithe du SRBIC.	. 109 . 110
• Figure 4.1 : a) Basaltes de plateau au contact avec le SRBIC Figure 4.2: Photo au microscope en LSP (a) et LPA (b) de cornéenne à albite-épidote Figure 4.3 : Echantillon scié du monzo-gabbro du massif de l'anse du Gros Ventre Figure 4.4 : Lame mince en LSP (a) et en LPA (b) de l'échantillon de monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre	. 113 . 114 . 115 . 116
Figure 4.5 : Zoom en lame mince en LSP (a) et LPA (b) ; (c) zoom sur la texture symplectique des oxyde Fer dans une couronne de clino-enstatite entourant un crystal d'olivine Figure 4.6 : Echantillons sciés des intrusions intermédiaires au front de la coulée du Vulcain Figure 4.7 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) du monzo-gabbro à biotite formant l'intrusion la plus au nord au front de la Coulée du Vulcain Figure 4.8 : Zoom en LSP (a) et LSP (b) du monzo-gabbro au front de la Coulée de Vulcain, illustrant la	es de 116 118 118
texture graphique du clinopyroxène et de la biotite Figure 4.9 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de la monzo-diorite à biotite formant l'intrusion la plus a sud au front de la coulée de Vulcain (13TK43).	. 119 u . 120
Figure 4.10 : Zoom en LSP (a), LPA (b) et LR (c) illustrant le remplacement partiel du clinopyroxène par l'amphibole dans la monzo-diorite au front de la Coulée de Vulcain (13TK43) Figure 4.11 : Photographies en LSP (a) et LPA (b) d'un fantôme de minéral précoce remplacé par un	. 120
agrégat de différents minéraux formant une texture coronitique Figure 4.12 : Echantillon scié (13TK47) de la monzonite de la Plage Jaune Figure 4.13 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de monzonite du complexe de la Plage Jaune (13TK47) Figure 4.14 : Photographie en LSP (a) et LPA (b) d'un exemple de structure concentrique formée de l'assemblage successif de plusieurs minéraux et indicatrice de la transformation complète d'un minéra précoce dans la monzonite de la Plage Jaune (13TK47).	121 122 122 122 al
Figure 4.15 : Texture graphique du quartz avec les feldspaths perthitiques dans la monzonite de la Pla Jaune (13TK47) Figure 4.16 : Planche photographique de lames minces de svénites appartenant au groupe CaS	ge . 124 . 126
Figure 4.17 : Photographies au microscope optique des habitus typiques des clinopyroxènes au sein de syénites du groupe CaS	es . 128
groupe CaS Figure 4.19 Photographie d'amphiboles de la série Actinolite-Trémolite dans les syénites du groupe Ca	. 129 3S 130
Figure 4.20 : Photographie en LSP de figures de remplacement d'un minéral précoce formées par de l'actinolite, des oxydes de Fe-Ti et une couronne de biotite	. 131
Figure 4.22 : Photographie en LSP des différents habitus des amphiboles présentes au sein des syénite groupe NaS.	es du 134
rigure 4.25 . Photographie en LSP des principales textures du cimopyroxene sourque observables au microscope au sein du groupe NaS Figure 4.24 : Photographies en LSP des habitus d'arfvedsonites isolées et de quartz au sein des syénite groupe NaS	. 135 es du
Figure 4.25 : Photographies des principaux minéraux accessoires du groupe NaS Figure 4.26 : Photographie en LSP des habitus typiques de clinopyroxènes observés dans les Syénites o groupe CaNaS	. 137 du . 139
Figure 4.27 : (a et b) Photographies en LSP des figures de remplacement de l'olivine au sein des syénit du groupe CaNaS	es . 140
SRBIC	. 143

Figure 4.29 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de l'échantillon 13TK52. Dyke de basalte recoupant le
SKBIC
Figure 4.30 : Sulfures de Fer et sulfures de Fer-Cuivre dans les filons basaltiques tardifs du complexe sud
Figure 4.31 : Lame mince en LSP (a) et en LPA (b) d'une trachyte recourant le SBBIC et contenant des
zircons (13TK08)
Figure 4.32 · Diagramme Enstatite-Ferrosilite-Wollastonite (d'anrès Morimoto, 1989) dans lequel sont
reportés les pyroxènes des syénites du groupe CaS, ainsi que les compositions du monzogabbro
(13TK002) de l'anse du Gros Ventre
Figure 4.33 : Diagramme Quad-Jadéite-Aegirine d'après (Morimoto, 1989) où sont reportés les pyroxènes
des svénites du groupe NaS
Figure 4.34 : Diagrammes de classification des pyroxènes (d'après Morimoto, 1989) où ont été reportées
les compositions de pyroxènes des syénites du groupe CaNaS
Figure 4.35 : Photographies et diagrammes Di-Aeg-Hd illustrant l'évolution des compositions chimiques
des pyroxènes au sein de deux échantillons du groupe pétrographique CaNaS
Figure 4.36 : Diagramme Di-Hd-Aeg des pyroxènes du groupe CaNaS (a), évolution chronologique au sein
de ce groupe (b), diagramme Di-Hd-Aeg de l'ensemble des pyroxènes de Rallier du Baty (c), chemin
d'évolution idéal des pyroxènes de Rallier du Baty
Figure 4.37 : Diagramme de composition des amphiboles calciques (d'après Hawthorne et al2012) où
sont reportées les analyses du monzo-gabbro de l'Anse du Gros Ventre et celles de la monzonite de la
Plage Jaune
Figure 4.38 : Composition des amphiboles analysées des syénites du groupe CaS
Figure 4.39 : Diagrammes de caractérisation minéralogique (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si, Na vs #Mg)
des amphiboles des roches du groupe CaS
Figure 4.40 : Composition des amphiboles des syénites du groupe NaS
Figure 4.41 : Diagrammes de caractérisation minéralogique (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si, Na vs #Mg)
des amphiboles des roches du groupe NaS
Figure 4.42 : Diagramme de classification des amphiboles des syénites du groupe CaNaS (d'après
Hawthorne et al., 2012)
Figure 4.43 : Diagrammes de caractérisation minéralogique (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si, Na vs #Mg)
des amphiboles des roches du groupe CaNaS159
Figure 4.44 : Diagrammes d'évolution des compositions (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si) d'amphiboles (a
et b) du monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre et intermédiaire de la Plage Jaune, et (c et d) des roches
du groupe CaS
Figure 4.45 : Diagrammes d'évolution des compositions (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si) d'amphiboles
des roches du groupe (e et f) du groupe CaNaS et (g et h) du groupe NaS161
Figure 4.46: Diagrammes synthétiques de l'évolution des amphiboles au travers des 3 grands ensembles
pétrographiques. a et b) ternaire Ca-Al-Na en %, et (c et d) Ca vs Si162
Figure 4.47: Diagramme synthétique des caractéristiques pétrographiques permettant de distinguer les 3
grands ensembles de roches plutoniques formant le complexe sud de Rallier du Baty165
Figure 4.48: Carte pétrographique du complexe sud de Rallier du Baty167
Figure 4.49: Carte géologique du SRBIC169
Figure 4.50: Comparaison des données structurales, pétrographiques et géochronologiques sur la coupe
SSO-NNE
Figure 4.51: Diagramme synthétique des grands ensembles structuraux et pétrographiques du complexe
plutonique représentés en fonction des données géochronologiques (à 20)
Figure 4.52: Corrélation des paramètres intensifs d'anisotropie magnétique en fonction des différentes
groupes pétrographique du complexe sud de RdB173

• Figure 5.1 : Diagramme TAS (Total Alcalins versus SiO <sub>2</sub> ) pour les roches plutoniques étudiées (modifié d'après Middlemost, 1994)	.76
Figure 5.2 : Diagramme de classification MALI (Modified Alkaline Lime Index) pour les roches plutonique de la péninsule de Rallier du Baty auxquelles ont été ajoutées les compositions des basaltes de plateau l plus proches du complexe (massif des Trois Ménestrels (Diop, 2008)	es .77
Figure 5.3 : Diagrammes de Harker en %poids d'oxydes de l'ensemble des roches plutoniques étudiées.	.79
Figure 5.4 : Diagrammes de Harker des roches plutoniques felsiques (Syenites, Qz-monzonites, Granites)	) .81
Figure 5.5: Interprétation des évolutions des éléments majeurs en fonction des groupes pétrographique	s. 84
Figure 5.6 : Diagrammes Rb. U et Ce versus Nb	.88
Figure 5.7: Diagrammes de Harker pour certains élément traces représentés en fonction des groupes	
pétrographiques Cas, CaNaS, NaS.	.91
Figure 5.8: Interprétation des évolutions des éléments traces en fonction des groupes pétrographiques,	
illustrée dans les diagrammes de Harker1	.92
Figure 5.9: Zoom et interprétation des diagrammes Harker de Ba et Sr, représenté en fonction des	
groupes pétrographiques 1	.93
Figure 5.10: Spectres étendus normalisés aux chondrites, représentés en fonction des différents groupes pétrographiques du SRBIC et de ses satellites	s .97
Figure 5.11: Diagrammes de terres rares normalisées aux chondrites	01
Figure 5.12: Evolution des spectres normalisé aux CI le long d'une coupe SSO-NNE : Anse du Gros Ventre	э —
Pic Chastaing	.04
• Figure 6.1: Diagramme isochrone actuelle du Rh/Sr 2	12
Figure 6.2: Diagramme isochrone initiale du Rb/Sr.	14
Figure 6.3: Diagramme de compositions isotopiques initiales en Sr reportées en fonction des âges de	
chaque échantillon	15
Figure 6.4: Carte de répartition des compositions isotopiques initiales en strontium corrigés de l'âge U-P	'n
des échantillons 2	15
Figure 6.5: Diagramme isochrone actuelle en Sm/Nd 2	16
Figure 6.6 : Diagramme isochrone initiale en Sm/Nd 2	17
Figure 6.7 : Diagramme des compositions initiales en Nd reportées en fonction de l'âge de chaque échantillon	18
Figure 6.8 : Carte de répartition des valeurs initiales en Nd sur la péninsule de Rallier du Baty 2	19
Figure 6.9: Diagramme de corrélation Nd <sub>initial</sub> et Sr <sub>initial</sub> des données provenant du LIP lié à la présence du	I
panache de Kerguelen	21
Figure 6.10: Diagramme de corrélation Nd <sub>initial</sub> vs Sr <sub>initial</sub> centré sur les données obtenues de péninsule de RdB	؛ 21
Figure 6.11: haut) Diagramme de corrélation Ndinitial vs. Srinitial avec toutes les compositions recalculées à	í .
14Ma (exceptées les plus jeunes), bas) résultats de modélisation AFC entre le panache de Kerguelen et l	е
gneiss d'Elan Bank et mélange entre le panache de Kerguelen et le manteau métasomatisé à l'origine de	32
lamproïtes du Gaussberg	23
Figure 6.12: Diagramme de corrélation Nd <sub>initial</sub> vs Sr <sub>initial</sub> illustrant les résultats de l'AFC (avec r=0.4) des	
roches CaS vieillies (jusqu'à 6Ma) par les suivantes	24
de péninsule de RdB	.s 25
• Figure 7.1: Données isotopiques Lu/Hf sur zircon, corrigés de l'âge de chaque échantillon et reportés é	en
fonction du temps	37
Figure 7.2: Diagramme de corrélation ɛNd vs ɛHf à l'état initial des roches étudiées et comparées aux	
donnees existantes sur le plateau de Kerguelen	38
Figure 7.3: Diagramme de correlation Nd <sub>initial</sub> VS Sr <sub>initial</sub> (corriges a 14Ma), centre sur les données	20
isotopiques obtenues	22

Figure 7.4: Exemples et comparaison d'évolution des pyroxènes (a et b) et des amphiboles (c et d) au sein
de complexes alcalins sur-saturés et sous saturés de par le monde241
Figure 7.5: Coupes W-E extraites de la thèse de J.Nougier (1969)246
Figure 7.6: Représentation schématique des mécanismes responsables des géométries discordantes au
contact SRBIC-basaltes de plateau (opérants à plusieurs échelles)247
Figure 7.7: Représentation schématique des contraintes subies par l'encaissant lors de la propagation
a un sili
Figure 7.8 : Impact de la sur-représentation des données dans une aire spécifique de la zone d'étude et
compatibilité avec le modèle de construction du SRBIC
Figure 7.9: Structure de la croute océanique épaissie sous l'archipel de Kerguelen, a) d'après Grégoire et al. (1998) ; (b) détaillée sous le complexe de RdB
Figure 7.10 : Modèle de la formation du SRBIC à l'échelle de la lithosphère, à travers 3 schémas évolutifs
Figure 7.11: Modèle alternatif à l'échelle de la lithosphère, impliquant une Deep Hot Zone en domaine océanique
Figure 7.12: Position du fragment continental reportée (par une flèche en a) sur les cartes de
reconstruction de l'ouverture de l'Océan indien d'après Gibbons et al., (2013)258

# Chapitre 1 : Introduction et zone d'étude

#### 1.1 Problématique

#### 1.1.1 Introduction générale

Les roches alcalines représentent moins de 1% du volume estimé des roches ignées (Fitton and Upton, 1987). Même si ces roches ont été observées dans la plupart des contextes géodynamiques (Bailey, 1974), elles sont caractéristiques des îles océaniques et plus globalement des Large Igneous Province (LIP). Ces roches sont donc symptomatiques de l'expression d'une activité magmatique intraplaque océanique ou continentale dont l'origine est reliée à de grands panaches mantelliques profonds. Même si l'expression la plus visible du magmatisme est le magmatisme volcanisme, il est clair que le magmatisme plutonique en est l'expression dominante en terme de volumes produits (Crisp, 1984; Shaw, 1985; White et al., 2006). Toutefois, de par leur mise en place sous la surface, les roches plutoniques ne sont disponibles à l'affleurement que grâce au jeu couplé de la tectonique et de l'érosion. Malgré cette rareté relative, les études sur les plutons alcalins sont nombreuses. La minéralogie exotique riche en éléments traces-incompatibles qui caractérise ces termes évolués leur confère un intérêt économique de premier ordre. Si les plutons alcalins sont rares, les exemples de roches plutoniques felsiques en domaine océanique le sont d'autant plus. Ces roches se retrouvent principalement en tant que xénolithes dans plusieurs îles océaniques comme les Azores (Widom et al., 1993); l'Ile de l'Ascension (Harris, 1983) ; les Seychelles (Tucker et al., 2001), Tahiti (Bartindzeff et al., 1988) ou bien sous forme de complexes intrusifs dont l'Islande (Burchardt et al., 2010; Furman et al., 1992) et l'archipel de Kerguelen sont les seuls exemples (Nougier, 1969). L'extrême rareté de ces objets en fait à elle seule un centre d'attention particulier. De plus, les magmas alcalins issus de panaches mantelliques (ou points chauds) sont également riches en enclaves du manteau. Ils représentent donc une fenêtre sur le transfert de matière et de chaleur à travers les différentes enveloppes terrestres depuis des niveaux relativement profonds jusque dans les hauts niveaux supérieurs de la croûte et ayant également un impact significatif sur l'atmosphère et l'hydrosphère (Verneshot events, Morgan et al., 2004). L'étude des plutons alcalins en contexte intra-plaque représente un intérêt majeur pour comprendre les processus d'évolution du magmatisme issus de panaches mantelliques profonds.



Figure 1.1: Carte de localisations des Large Igneous Province (adaptée d'après Uenzelmann-Neben, 2013 et modifiée d'après Coffin and Eldholm, 1994).

#### 1.1.2 Motivations et intérêts scientifiques

#### 1.1.2.1 Processus de construction des corps plutoniques

Les plutons alcalins intra-plaques ont fait l'objet de nombreuses études intensives dans les années 70 et 80 pour être progressivement délaissés au profit des plutons de contexte orogénique dans les décennies suivantes (voir reviews : Eby (1990); Bonin (2007); Marks and Markl (2017) et références inclues). L'étude de ces plutons orogéniques, notamment en contexte de subduction, a permis l'émergence d'un nouveau modèle de formation et de construction de ces objets en domaine continental. Contrairement, au modèles classiques de remontée par diapir (mécanisme actif) ou par subsidence en chaudron (mécanisme passif) largement admis durant cette période (Jacobson et al., 1958; Bonin and Lameyre, 1978; Black et al., 1985; Vail, 1985; Bowden et al., 1987; Bonin et al., 1998), ce modèle récent a mis en lumière la forme majoritairement tabulaire des plutons continentaux. De plus, ce modèle a permis de démontrer que la mise en place de ces corps se fait en grande partie ou totalement grâce aux déplacements des roches encaissantes. Couplés à ces observations, les progrès réalisés en géochronologie absolue ont permis de montrer que la construction des plutons se fait de manière épisodique à différentes échelles de temps (Cruden, 1998; Tikoff et al., 1999; Petford et al., 2000; Coleman et al., 2004; Glazner et al., 2004; Horsman et al., 2009; Menand et al., 2011; Leuthold et al., 2012 parmi d'autres). Une des conséquences de ce nouveau modèle est que les mécanismes enregistrés par construction de ces corps plutoniques en domaine continental sont probablement le reflet de processus magmatiques profonds agissant depuis la source de ces magmas (St Blanquat et al., 2011; Annen et al., 2015). L'un des enjeux majeur est désormais de comprendre le(s) rôle(s) du « filtre » crustal dans la production magmatique, le transport de ces magmas et leur mise en place finale. Cette implication de la croûte dépend de nombreux paramètres plus ou moins interdépendants tels que son épaisseur, sa composition, sa rhéologie, sa structuration...etc.

Afin de répondre à cet enjeu actuel majeur, l'étude de la formation d'un pluton en contexte intra-plaque océanique est un point clé donnant la possibilité de comparer l'influence de ces différents paramètres avec ceux plus accessibles et plus étudiés des domaines continentaux.

#### 1.1.2.2 Processus de formation des roches alcalines différenciées

Les complexes alcalins (qu'ils soient plutoniques ou volcaniques) sont souvent composés de deux séries magmatiques : l'une dite « sous-saturée » en silice l'autre dite « sur-saturée ». Dans les stades assez évolués pour permettre leur formation, les minéraux caractéristiques de ces lignées sont la néphéline et le quartz respectivement. Ces deux séries alcalines distinctes se retrouvent souvent dans au sein d'un même complexe alcalin. Plusieurs exemples s'observent dans les grandes provinces alcalines suivantes : Gardar province (Stevenson et al., 1997), Cameroon Line (Fitton, 1987), White Mountains (Henderson et al., 1989), Kola Province (Kramm and Kogarko, 1994) ou encore Malawi (Eby et al., 1998). Les évidences de terrains et les études isotopiques ont montré que dans la plupart des cas, ces deux lignées sont cogénétiques (e.g. Larsen and Sørensen, 1987). Cette caractéristique est étonnante car une fois passée une certaine limite thermodynamique le quartz et la néphéline ne peuvent coexister au sein d'un même magma. Scientifiquement, l'observation de ces deux séries structuralement associées pose donc de nombreuses questions quant à leur mode de formation. Les termes les plus évolués de ces deux séries partagent également les minéralisations exotiques d'intérêt économique. Ces questions sur l'origine de ces deux séries ne sont pas encore résolues. Toutefois, l'ensemble des études menées sur les roches felsiques alcalines s'accordent pour invoquer une source primaire mantellique commune à partir de laquelle le magma parent de ces deux lignées est extrait. Grâce aux progrès réalisés notamment dans la mesure et la compréhension des systèmes isotopiques, deux grands mécanismes sont proposés pour expliquer la coexistence de ces deux séries magmatiques.

Le premier de ces mécanismes de formation suggère des processus influant sur le magma parent et permettant d'outrepasser ou de supprimer la limite thermique qui sépare les deux lignées. Ces processus pourraient impliquer des variations des éléments volatiles (Kogarko, 1974), des variations de saturation en eau (Pankhurst et al., 1976) ou des variations dans les processus de cristallisation fractionnée (Foland and Henderson, 1976; Giret et al., 1980).

Le second mécanisme suggère des interactions entre le magma parent et l'environnement dans lequel celui-ci va être transporté et évoluer. Cette hypothèse suppose que le magma parent initial soit plutôt sous saturé en silice. Via des processus d'assimilation de matériel plus riche en Si (généralement la croûte continentale), ce magma évoluant par cristallisation fractionnée (modèle AFC, DePaolo, 1981) finirait par produire les roches sur-saturées (Brooks, 1982; Davies and Macdonald, 1987; Fitton, 1987). Une variante de ce modèle, pourrait impliquer une fusion anatectique de la base de croûte créant des liquides magmatique sursaturés et interagissant avec les magmas parents mantelliques (e.g. Barker et al., 1975; Martin, 2006).

Ces deux grandes interprétations montrent donc bien la dichotomie entre des modèles magmatiques fermés et des modèles d'évolution en système ouvert avec une implication de la croûte continentale. Toutefois, le second mécanisme n'exclut pas totalement la participation du premier ce qui semble corroboré pas les études récentes (Foland et al., 1993; Harris et al., 1999; Mingram et al., 2000; Marks et al., 2003; Riishuus et al., 2008; Estrade et al., 2014). Ces études montrent donc que la contribution de la croûte continentale est importante en domaine intraplaque continental. C'est pourquoi, l'étude d'un pluton alcalin en domaine océanique présente un intérêt crucial qui est d'apporter des contraintes sur l'origine des plutons alcalins dans un contexte pour lequel la croûte continentale ne semble a priori pas être impliquée. De plus, Kerguelen est un endroit clé où les deux séries de roches plutoniques alcalines existent mais ne sont jamais (jusqu'à preuve du contraire) en relation directe à l'affleurement. L'étude des roches plutoniques de l'archipel permet donc de tester les hypothèses invoquées pour la formation et le lien co-génétique de ces deux séries alcalines.

#### 1.1.2.3 Evolution du plateau océanique de Kerguelen

Finalement, l'étude des plutons de Kerguelen revient à s'intéresser à une des phases d'évolution récentes du plateau océanique formé par l'activité d'un point chaud, dont l'archipel représente la partie émergée. Cette phase voit se former, dans une croûte océanique, des blocs constitutifs (plutons) caractéristiques du domaine continental (Wedepohl, 1991). Aussi, comme souligné par M. Grégoire dans sa thèse (1994), les cumulats basiques rééquilibrés en faciès granulitique tels qu'il en existe dans la croûte inférieure continentale, l'épaisseur du plateau entre 15 et 20 Km mis en évidence à l'aide de profils sismiques (Recq et al., 1990; Charvis et al., 1995) et les nombreuses intrusions de roches plutoniques de compositions intermédiaires et felsiques (Nougier, 1969) font de ce plateau océanique une portion de croûte océanique de composition « anomalique » et « insubductable » (Kroenke, 1974; Nur and Ben-Avraham, 1982; Saunders et al., 1996; White et al., 1999).

Ainsi, de par ces caractéristiques acquises au cours du temps via l'activité du panache de Kerguelen, le plateau océanique de Kerguelen se place dans le large débat concernant l'origine et la formation de la croûte continentale. En effet, grâce à ses caractéristiques physico-chimiques, il est possible que ce plateau puisse représenter le stade embryonnaire du développement d'un micro-continent attesté/formé par refusion de croûte. Ce mode de création tel qu'il est débattu en Islande (voir Bindeman et al., 2012 et

références inclues), n'est pas reconnu (à l'heure actuelle) sur l'archipel de Kerguelen dont il est le plus proche exemple. Il est également possible que ce plateau océanique de faible densité puisse être un analogue récent de plateau océanique développé dans un contexte intraplaque qui, avec le jeu de la tectonique des plaques et de la dynamique lithosphérique, ait pu être incorporé dans les contextes orogéniques, et donc contribuer directement à la croissance continentale. Les exemples témoins de tels processus se retrouvent par exemple au sein du craton ouest-africain (Boher et al., 1992), du bouclier arabo-nubien (Claesson et al., 1984), le craton australien (Nesbitt and Talbot, 1966), le craton nordaméricain (Scott et al., 1992), ou encore plus récemment sous la cordillère péruvienne avec la subduction du Plateau Inca (e.g. Gutscher et al., 1999). C'est pourquoi, l'étude d'un pluton de l'archipel de Kerguelen permet également d'approcher une des étapes magmatiques envisagées comme ayant participé à un mode de croissance continentale en domaine océanique (e.g. White et al., 1999; Martin et al., 2008 et références inclues)

#### 1.1.3 Questions spécifiques et méthode de travail

Ce travail de thèse s'est donc focalisé sur l'étude du pluton alcalin du sud de la péninsule de Rallier du Baty sur l'archipel de Kerguelen (T.A.A.F.). Ce pluton fait partie d'une plus large province plutonique qui s'étend jusqu'à la calotte Cook. Le complexe sud concentre la majorité des roches grenues disponibles à l'affleurement de l'archipel. Il est majoritairement constitué de roches plutoniques felsiques (syénites) et sur-saturées en quartz. En raison de sa taille, de ses qualités d'affleurement et des possibilités logistiques permettant son étude (comparés aux autres complexes de cette province), ce complexe est une cible idéale pour l'étude de pluton en domaine océanique.

Le principale objectif de ce travail de thèse est de revisiter ce complexe plutonique, déjà étudié dans les années 1970 et 1980, au regard des progrès réalisés dans l'analyse et la compréhension des systèmes magmatiques plutoniques. Cet objectif qui s'inscrit dans les problématiques précédentes peut se traduire sous forme de 4 questions simples :

→ Quelle est l'origine des magmas ?
 ↔ Comment ont-ils évolué pour former les roches plutoniques ?
 ↔ Comment ce complexe syénitique s'est-il mis en place ?
 ↔ En combien de temps ?

La stratégie mise en place pour atteindre les objectifs de ce travail de thèse fut pluridisciplinaire associant observations et mesures sur le terrain, pétrographie et minéralogie, géochimie élémentaire (majeurs et traces) sur roches totales, géochimie isotopique (Rb/Sr et Sm/Nd) sur roche totale et géochronologie U-Pb sur zircon. Cette dernière méthode est utilisée pour la première fois sur ce complexe plutonique. D'autre part, l'analyse d'anisotropie de susceptibilité magnétique utilisée pour l'étude structurale est la première étude de ce type menée sur un pluton en contexte océanique.

Le manuscrit s'organise autour des questions précédentes en commençant par les bases, c'est à dire la structure et la pétrographie du complexe. La première partie du manuscrit s'oriente donc sur la construction du pluton et les roches en présence. La géochronologie a été intégrée à l'étude structurale donnant lieu à une publication soumise à la revue « Geology ». La seconde partie du manuscrit est consacrée à l'étude géochimique élémentaire et isotopique permettant d'identifier l'évolution et l'origine des roches qui constituent ce complexe. Enfin, la dernière partie est dédiée à la discussion des résultats obtenus et des interprétations qui en découlent.

#### 1.2 Contexte géologique

#### 1.2.1 Edification du « Grand » plateau de Kerguelen

Le « Grand Plateau de Kerguelen » est la seconde plus grande province ignée (LIP) au monde après le plateau océanique d'Ontong Java (Coffin and Eldholm, 1994). La formation de ce plateau est considérée comme la conséquence directe de la présence du panache (ou plume) de Kerguelen depuis le démantèlement du Gondwana. Cette hypothèse est supportée par les similitudes géochronologiques, géochimiques et isotopiques observées entre certaines laves basaltiques du sud du plateau de Kerguelen (SKP; âge le plus ancien à 119 Ma ; Duncan, 2002) et des lamprophyres d'Antarctique (115 Ma; Coffin et al., 2002; Sushchevskaya et al., 2014), des basaltes d'Australie (137-130 Ma, Bunbury ; Olierook et al., 2016), des basaltes d'Inde et du Tibet (province du Rajmahal, 118 Ma ; Kent et al., 2002); province de Comei, 132 Ma ; Zhu et al., 2009).



Abréviations: ASP: Amsterdam-and Saint Paul islands, C : Crozet islands, CR : Conrad Rise, G : Gaussberg volcano, K: Kerguelen archipelago. PE: Prince Edouard islands

Les études géochronologiques de roches magmatiques, échantillonnées au cours de plusieurs programmes de dragage et de forage, ont montré une diminution des âges de mise en place du plancher basaltique au travers du « Southern Kerguelen Plateau » et du « Central Kerguelen Plateau » en allant vers le nord jusqu'à 85 Ma (SKP : Leclaire et al., 1987; CKP : Whitechurch et al., 1992; Coffin et al., 2002; Duncan, 2002). Le plateau de Broken Ridge (BR, 95 Ma : Duncan, 2002) s'est également formé durant cette période. Plus tard, l'activité magmatique a permis de construire une partie du plateau nord de Kerguelen (Skiff Bank, 68 Ma : Duncan, 2002) et les monts sous-marins de la Ninetyeast Ridge (77 Ma : Pringle, 2008). Ces derniers se sont progressivement éloignés et répartis le long du plancher océanique entraîné par le mouvement de la plaque indienne vers l'Asie.



Figure 1.3 : Cartographie physique et géochronologiques données dans l'océan Indien, entre l'Asie, l'Australie et l'Antarctique (adaptée de Mahoney et al., 1995). Seuls les numéros de sites IODP dont les roches sont attribuées au point chaud de Kerguelen ont été représentés. Les âges du plateau de Wallaby, du plateau Naturaliste et des basaltes de Bundury (BB) sont de Olierook et al. (2015, 2016, 2017). Les âges de la Ninetyeast-Ridge sont de Pringle (2007, 2008). Les âges du Chagos-Laccadive Ridge sont de (Baksi, 2005). Les âges du plateau des Mascareignes, des plus vieux aux Seychelles jusqu'aux plus jeunes à l'île Maurice, sont de Ganerod et al. (2011); Baksi (2005); Moore et al. (2011). Les âges indiens pour les trapps du Rajmahal sont de Coffin et al. (2002); Kent et al. (2002) et ceux des roches mafiques de la province de Comei de Zhu et al. (2009). Les âges antarctiques pour les lamprophyres sont de Coffin et al. (2002) et ceux des lamproïtes du volcan du Gaussberg sont de Sushchevskaya et al. (2014). Les âges du plateau de Kerguelen sont de Coffin et al. (2002): sites 738 et 750; de Duncan (2002): Sites 747, 1136, 1137, 1138, 1139, 1140; et de Whitechurch et al., (1992): Site 749. Les âges du Broken Ridge sont de Duncan (2002): Sites 1141 and 1142.

L'anomalie magnétique 18, reconnue à la fois sur le flanc océanique du plateau de Kerguelen et sur celui de Broken Ridge (42,7 Ma, Kent and Gradstein, 1986; Royer and Sandwell (1989) ainsi que l'âge des plus jeunes basaltes de la Ninetyeast Ridge (43 Ma, Pringle, 2008; Frey et al., 2015) confirment l'existence d'un unique plateau formé par le plateau de Kerguelen et celui du Broken Ridge avant son morcellement. Cette séparation met en évidence la propagation de la ride Sud Est Indienne (SEIR) au travers de l'océan indien à environ 43 Ma (Royer and Coffin, 1988; Tikku and Cande, 2000). Après cette division, la mise en place du NKP (« Northern Kerguelen Plateau ») a continué pendant que l'ensemble du plateau de Kerguelen s'éloignait de la SEIR (site ODP 1140, 34 Ma ; Duncan, 2002) jusqu'à ce qu'il atteigne son emplacement actuel (Figure 1.3). Les données géochronologiques montrent donc que la formation du plateau océanique résulte d'une production magmatique qui dure depuis au moins 119Ma.

#### 1.2.2 L'archipel de Kerguelen

L'archipel de Kerguelen constitue la partie émergée du NKP. Les roches les plus anciennes datées au niveau de l'archipel sont les basaltes de plateau qui forment environ 80-85% des affleurements. Les âges proposés s'échelonnent principalement entre 28-29 Ma dans le nord-ouest (Annell, 2005; Doucet et al., 2002; Nicolaysen et al., 2000) et 24.5 Ma dans le sud-est (Nicolaysen et al., 2000). Différents types de roches magmatiques intrusives au sein de ces basaltes de plateau s'observent partout dans l'archipel. Elles ont été datées entre 24,25 Ma (Val Gabbro ; Scoates et al., 2007) et 4,9 Ma (RdB-Igneous Province, Dosso et al., 1979). Des roches basaltiques draguées au niveau de certains centres volcaniques localisés entre l'archipel des Kerguelen et les îles Heard (sur le CKP) semblent avoir été mises en place au cours de la même période (18-22Ma ; Weis et al., 2002). Enfin, les roches les plus jeunes observées au niveau de l'archipel de Kerguelen sont des produits volcaniques datés entre 1 Ma (Mont Ross ; Weis et al., 1998) et moins de 26 Ka (Gagnevin et al., 2003; Nougier, 1969).



Figure 1.4 : Imagerie tomographique actuelle sous l'archipel de Kerguelen ; a) d'après Zhao (2009), b) d'après Montelli (2004).

L'activité magmatique actuelle est supposée être centrée sous les îles Heard et McDonald (Clarke, 1983; Duncan et al., 2016; Quilty and Wheller, 2000). Toutefois, la présence de fumerolles dans la partie sudouest ainsi que de sources hydrothermales dispersées dans tout l'archipel indiquent la persistance d'une anomalie thermique sous ce dernier. Du fait de sa position isolée, il existe peu de données sur la structure profonde terrestre sous le plateau de Kerguelen. Seuls quelques modèles de tomographie sismiques ont permis à ce jour d'imager cette structure (Montelli, 2004; Zhao, 2009). Les images tomographiques disponibles (Figure 1.4) montrent bien que le nord plateau de Kerguelen est à l'aplomb d'une grande zone d'anomalie thermique. Cette anomalie (<1000Km) représente le point chaud actuel de Kerguelen. Cette anomalie se propage dans les niveaux terrestres profonds et permet d'imager le plume ou panache de Kerguelen à proprement dit. L'origine de cette anomalie se localise actuellement au NW de Kerguelen entre la limite manteau-noyau (Core-Mantle-Boundary/ CMB) et 2350Km de profondeur (Montelli, 2004; Zhao, 2015). La propagation thermique du plume de Kerguelen actuel n'est donc pas verticale au-delà de 1000Km et semble diminuer de largeur entre 1500 et 1000Km de profondeur. Cette caractéristique illustre la structure d'un panache comme composée d'une tête et d'une queue (Griffiths and Campbell, 1990; Morgan, 1971).

#### 1.2.3 Caractéristiques géochimiques et isotopiques des roches plateau

De nombreuses études géochimiques et isotopiques ont été menées sur les roches magmatiques de l'ensemble du plateau de Kerguelen afin de caractériser leurs sources et de mieux contraindre la nature, l'origine et l'évolution de ce vaste plateau océanique dans le temps. Les coulées de basaltes du SKP (Coffin et al., 2002; Duncan, 2002) et du CKP (Frey et al., 2000) sont essentiellement tholéiitiques et présentent des forts enrichissements en éléments incompatibles (notamment légères LREE). Associée aux données isotopiques, ces caractéristiques d'OIB ont permis à une majorité de la communauté scientifique de relier la formation de ces basaltes précoces à l'expression majoritaire du plume panache de Kerguelen (références précédentes). Ces basaltes tholeiitiques proviendrait donc majoritairement de fort degré de fusion partielle d'un manteau enrichi. Toutefois, les compositions isotopiques des basaltes provenant de plusieurs endroits du SKP et du CKP ont mis en évidence des processus de contamination impliquant un composant continental (site ODP 738 : Mahoney et al., 1995 ; sites ODP 747, 749 et 750 : Frey et al., 2002b). Sur la base de mesures sismiques, il a été proposé qu'un fragment continental pourrait être situé à la base du SKP (Operto and Charvis, 1995, 1996; Gladczenko and Coffin, 2001) supportant de fait ces résultats isotopiques. Cette hypothèse a été définitivement accepté suite à la découverte de clastes de gneiss d'âge protérozoïque provenant d'un conglomérat fluviatile, intercalés avec des coulées basaltiques et, échantillonnés au niveau de l' « Elan Bank »(site ODP 1137 : Nicolaysen et al., 2001; Ingle et al., 2002). La présence d'un fragment continental sous Elan Bank est également compatible avec les données sismiques (Charvis et al., 1995). L' « Elan Bank » aurait fait partie de la marge indienne avant d'être incorporé au plateau de Kerguelen par un saut de ride après 124 Ma (Nicolaysen et al., 2001; Weis et al., 2001; Gaina et al., 2003). Toutefois, une récente compilation et modélisation isotopique montre que le plume de Kerguelen n'aurait pu jouer qu'un rôle thermique dans la formation des premiers produits magmatique du plateau <95Ma (Olierook et al., 2017). Des interactions entre un manteau asthénosphérique et un manteau hétérogène métasomatisé ± croûte continentale suffiraient à expliquer les données géochimiques et isotopiques de ces premiers produits tholeiitiques. L'alcalinité des roches magmatiques augmente depuis le SKP jusqu'au NKP (e.g. Frey et al., 2003) comme en témoignent les basaltes alcalins trouvés au niveau de Broken Ridge (Neal et al., 2002) et de la NinetyEast Ridge (Frey et al., 2011), ainsi que par la rhyolite échantillonnée au niveau du Skiff Bank (Kieffer et al., 2002). Cette évolution semble refléter une diminution du degré de fusion partielle du manteau source des basaltes devenant de plus en plus transitionnels (e.g. Chen and Frey, 1985; Bardintzeff et al., 1994) au cours du temps. D'autre part, l'implication continentale semble diminuer de concert puisqu'aucune preuve d'une telle contamination continentale n'a été clairement mise en évidence depuis env. 100Ma (site 747 : Frey et al., 2002b; Bénard et al., 2010). Bien que les compositions en éléments majeurs des roches basaltiques de la base du NKP (site 1140) montrent plutôt des similitudes avec les basaltes de la base du SKP (Weis et al., 2002), leurs signatures isotopiques sont bien différentes de ces derniers. Ces caractéristiques les relient aux basaltes de l'archipel abordés dans la section suivante.

1.2.4 Caractéristiques géochronologiques, géochimiques et isotopiques des roches de l'archipel



Figure 1.5 : Carte géologique simplifiée de l'archipel de Kerguelen illustrant les différents systèmes intrusifs dans les basaltes de plateau ainsi que les données géochronologiques associées (modifiée d'après Nicolaysen et al. (2000). Les orientations des basaltes sont de J.Nougier (1969). a) J.Nougier (1972); b) Dosso et al.(1979); c) Nougier et al.(1983) ; d) Giret and Lameyre (1983); e) H.Leyrit (1992); f) Weis et al. (1993); g) Nicolaysen et al. (2000); h) Doucet et al. (2002); i) H.Annell (2005); j) Scoates et al. (2007) et k) T.Loftus (2011).

Les basaltes de plateau apparaissent comme des coulées successives légèrement inclinées de 2 à 5 degrés vers le SE (Nougier, 1969). Plusieurs sections de basaltes réalisées sur l'archipel ont mis en évidence une augmentation de l'alcalinité au cours du temps (Weis et al., 1993; Yang et al., 1998) depuis les plus anciennes localisées au NO (e.g. Mont de la Fontaine, 28-29 Ma : Doucet et al., 2002) aux plus récentes situées au SE de l'archipel (e.g. Ravin du Charbon, 25 Ma et Mont Crozier, 24.5Ma : Nicolaysen et al., 2000). Bien que les compositions en éléments majeurs des basaltes les plus anciens de l'archipel présentent des similitudes avec les basaltes du SKP et du CKP, ils sont considérés comme des basaltes transitionnels tandis que les plus récents sont moyennement alcalins (Gautier, 1987; Gautier et al., 1990). Au nord de l'archipel, un des basaltes échantillonné en mer au niveau du NKP (site 1140, 34 Ma : (Mattielli et al., 2002; Weis and Frey, 2002) est interprété comme formé de l'interaction du plume et d'une source appauvrie identique à celle des MORB de la ride sud-est indienne. Les caractéristiques isotopiques des basaltes de plateau les plus anciens de la péninsule Loranchet, située au nord de l'archipel des Kerguelen, et datés entre 29 et 26 Ma mettent également en évidence l'implication d'une composante appauvrie. Ce composant a été expliqué soit par la source des MORB de la SEIR (Doucet et al., 2002), soit par un composant intrinsèque de la source du panache de Kerguelen (Frey et al., 2002a), ou encore par un processus d'assimilation dans la lithosphère océanique peu profonde de cumulats gabbroiques de la SEIR (Yang et al., 1998). La première hypothèse suggère des processus d'interaction ride-plume se déroulant jusqu'à environ 350 à 400 km de la SEIR (Royer and Sandwell, 1989). Après 26 Ma, la source des basaltes de plateau est considérée comme étant dominée par la signature du panache de Kerguelen. Les basaltes du Mont Crozier (24.5Ma ; Nicolaysen et al., 2000), situés sur la péninsule de Courbet, ont été considérés comme l'expression la plus pure de ce panache en raison de leurs compositions isotopiques extrêmes en Pb et Hf (Mattielli et al., 2002; Weis and Frey, 2002). L'étude des basaltes de l'archipel a donc montré qu'une interaction complexe (≥ 43 Ma) entre la SEIR et le panache de Kerguelen a eu lieu avant que ce dernier ne devienne la source dominante des basaltes transitionnels à moyennement alcalins tandis que le plateau de Kerguelen s'éloignait de la ride pour se positionner dans sa situation intraplaque actuelle (Gautier et al., 1990; Yang et al., 1998).

Les roches magmatiques intrusives dans les basaltes de plateau ont été subdivisées en trois groupes en fonction de leurs caractéristiques géochimiques et géochronologiques (Giret and Lameyre, 1983; Giret, 1983; Beaux, 1986; Weis and Giret, 1994). Les plus anciennes roches plutoniques forment des sills intrusifs intercalées dans les basaltes de plateaux, et correspondent principalement à des roches gabbroïques qui ont été décrites dans la péninsule Loranchet (Mont Lacroix :Giret and Lameyre, 1983) la péninsule de Courbet (Mont des Mamelles : Nougier, 1969; Giret and Lameyre, 1983) et la péninsule Jeanne d'Arc (Val Gabbro : Giret, 1983; Giret et al., 1988; Gautier et al., 1990). L'incohérence des âges proposés pour les roches du mont des Mamelles (précédemment 39-38Ma K-Ar method, Giret and Lameyre, 1983) avec ceux des basaltes hôtes (Mont Crozier, 24.5 Ma : Nicolaysen et al., 2000) laisse à penser que le complexe plutonique du Val Gabbro est bien le plus ancien de l'archipel (24,25 ±0,15 Ma ; Scoates et al., 2007). Le second groupe de roches plutoniques à avoir été mis en place appartient à la suite alcaline sous saturé en silice (Montagnes Vertes, 23-26 Ma : Giret and Lameyre, 1983; Mont Ballons, 17-13 Ma : Giret and Lameyre, 1983; Loftus et al., 2011; Société de Géographie, 13,7 Ma : Giret and Lameyre, 1983; Weis and Giret, 1994). Les roches de ce groupe sont principalement des gabbros, des monzonites et des syénites à néphéline. A la même époque, des basaltes modérément alcalins ont été mis en place au niveau du plancher océanique situés entre l'île Heard et l'archipel des Kerguelen (Weis et al., 2002). Enfin, le dernier groupe de roches plutoniques intrusives est composé de corps plutoniques appartenant à la série alcaline sursaturé en silice et affleurant principalement dans la partie occidentale de l'archipel (lles Nuageuses, lle de l'Ouest, Rallier du Baty : Nougier, 1969; Marot and Zimine, 1976; Giret, 1983). Ils se sont mis en place entre 18.9 Ma (Righi :Weis and Giret, 1994) et 4,9 Ma (NE Rallier du Baty ; Lameyre et al., 1976; Dosso et al., 1979). Ils sont constitués de roches évoluant depuis des gabbros jusqu'à des granites alcalins avec une prédominance de syénites à quartz. La péninsule de Rallier-du-Baty, qui rassemble la majorité des roches de ce groupe disponibles à l'affleurement, constitue la zone d'étude de ces travaux de thèse. Cette dernière sera détaillée dans la section suivante. Bien que les roches volcaniques recoupant les basaltes de l'archipel des Kerguelen soient le plus souvent observées en association avec leurs intrusions plutoniques connexes (voir références ci-dessus), un événement majeur a permis la mise en place de roches volcaniques bien localisées dans la partie sud-est de l'archipel (phonolites et trachytes) datés entre 10,2 à 6,6 Ma (Nougier, 1969; Leyrit, 1992). Après une période de quiescence, plusieurs volcans centrés se sont mis en place dont le Mont Ross, qui est le plus haut sommet de l'île (1850 m). Ce dernier est principalement composé de roches effusives de la série alcaline sous saturée en silice allant de trachybasaltes à des trachytes à néphéline datés entre 1.02 et 0,1 Ma (Weis et al., 1998). La plus jeune roche alcaline est une trachyte quartzifère datée à 26 Ka qui provient d'un volcan de la péninsule Rallier-du-Baty (Gagnevin et al., 2003).

Contrairement à celles des basaltes de plateaux de l'archipel, l'ensemble des compositions isotopiques des roches magmatiques intrusives mises en place depuis 25 Ma au niveau de l'archipel, et notamment celles des roches plutoniques (Weis and Frey, 2002) ne peuvent pas s'expliquer par un mélange entre la source enrichie du plume de Kerguelen et une source appauvrie de type MORB (Borisova et al., 2014). Un troisième composant a ainsi été invoqué pour expliquer les valeurs isotopiques montrant une tendance vers des compositions Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> plus radiogéniques et des rapports Hf-Nd-Pb plus faibles (Ingle et al., 2002; Mattielli et al., 2002). Il a été suggéré que ce composant « crust-like » pourrait provenir de faibles degrés de fusion de matériaux recyclés dans la région du panache de Kerguelen. Ces matériaux pourraient correspondre à des fragments de croûte océanique ou de plateau recyclés via des mécanismes de subduction (Mattielli et al., 2002) plaidant pour une hétérogénéité intrinsèque du plume de Kerguelen ou provenir de l'assimilation de fragments de la lithosphère de la partie crétacée du plateau océanique de Kerguelen (Mattielli et al., 1999; Ingle et al., 2002, 2003; Loftus et al., 2011). Les études géochimiques et isotopiques des roches intrusives de l'archipel ont donc permis d'identifier plusieurs composantes minoritaires mal définies impliquées dans la genèse de ces roches dominées par la signature du panache de Kerguelen.

D'autre part, les xénolites basiques et ultrabasiques remontés par les roches volcaniques alcalines récentes recoupant les basaltes de plateau ont fourni d'importantes informations sur le manteau sousjacent de l'archipel ainsi que sur l'interface croûte-manteau. Les xénolites de péridotites ont permis de mettre en évidence des processus de fusion partielle et de métasomatisme d'un manteau supérieur semblable à celui de la SEIR. Le métasomatisme est relié à la percolation de liquides alcalins voire carbonatitiques probablement relier à l'activité du plume de Kerguelen (Grégoire et al., 2000; Delpech et al., 2004). Certaines données Re-Os ont également montré la présence locale d'un manteau lithosphérique continental probablement crétacé sous l'archipel (Hassler and Shimizu, 1998) alors qu'une étude pétrologique plus récente propose même l'existence, au niveau d'une seule localité, de quelques fragments de manteau similaire au manteau cratonique (Wasilewski et al., 2017). Ces différents xénolites péridotitiques attestent donc de l'hétérogénéité du manteau sous-jacent à l'archipel. De plus, d'autres xénolites montrent des évidences d'équilibration en faciès granulite (Grégoire, 1994; Grégoire et al., 1998). Ces derniers sont considérées comme les marqueurs de l'épaississement progressif du NKP au cours du temps et de l'éloignement progressif par rapport à la ride océanique. L'abondance de ces enclaves sur le terrain, couplée à des expérimentations en laboratoire, ont permis d'identifier une large zone de sous-plaquage magmatique basique et ultrabasique permettant d'expliquer les faibles vitesses d'ondes sismiques qui délimitent la transition croûte-manteau sous l'archipel (Recq et al., 1990; Charvis et al., 1995; Grégoire et al., 2001), laquelle est estimée autour de 18 Km sous l'archipel.



Figure 1.6 : Photos d'enclaves mafiques et ultramafiques retrouvées dans les laves alcalines récentes de l'archipel de Kerguelen (crédit J-Y. Cottin).

#### 1.2.5 La péninsule de Rallier du Baty

La partie sud-ouest de l'archipel de Kerguelen concentre la majorité des roches plutoniques intrusives (Nougier, 1969). Dans la partie occidentale de la péninsule, ces corps plutoniques sont couverts par des coulées volcaniques de nature trachytique qui semblent avoir été émises à partir d'au moins quatre édifices différents (Nougier et al., 1982). Ces roches volcaniques forment une crête orientée NNE-SSW et ne sont pas âgées de plus de quelques siècles (Nougier, 1972; Nougier et al., 1983). La topographie actuelle de la péninsule est principalement gouvernée par l'érosion glaciaire sub-récente, responsable du découpage de la zone en différents massifs et de l'exceptionnelle qualité des affleurements. Ces roches plutoniques forment une série alcaline sursaturée en silice constituée de roches de différentes natures allant de gabbros et de monzo-diorites à des syénites à quartz (type dominant) et des granites alcalins. Ces roches plutoniques sont recoupées par de nombreux dykes de basaltes, de trachy-basaltes et de trachytes (Mathieu et al., 2011). Même si la découverte de ces roches grenues remonte à la découverte même de l'archipel de Kerguelen (débarquement de l'équipage du Gros Ventre commandé par Saint Allouarn : le 13 février 1772), le caractère intrusif dans les basaltes de plateau ne fut confirmé que 200 ans plus tard par J.Nougier en 1963. Plus tard, de nouvelles études de terrains (Marot and Zimine, 1976) ont permis d'observer des roches plutoniques au delà de la péninsule (sensu lacto) vers le Nord et de définir 4 complexes distincts. Le complexe Sud (le plus grand), le complexe intermédiaire, le complexe du nord -ouest et le complexe du Nord-est. La zone d'étude de mes travaux de thèse se limite au complexe Sud de la péninsule ou SRBIC (South Rallier du Baty Igneous Complex).

Toutes les études géochronologiques conduites sur la péninsule Rallier-du-Baty ont été réalisées avant 1980. Les premières datations ont été obtenues par la méthode K-Ar sur des échantillons roche totale et ont fourni un âge de 8,7 ± 0,9 Ma pour une syénite du Mont des Deux Frères et un âge de 11,5 ± 0,2 Ma pour un basalte métamorphisé localisé près d'un contact intrusif (Nougier, 1969). Plus tard, cette méthode a été utilisée à nouveau pour 6 échantillons par Lameyre et al (1976) et Dosso et al (1979). Un gabbro de l'Anse du Gros Ventre a été daté ainsi à 15,4 ± 0,5 Ma (roche totale) et 13,6 ± 0,4 Ma (biotites séparées). Une syénite située près du contact intrusif de l'arête Jérémine a fourni un âge de 12,6 ± 0,4 Ma, un dyke aplitique localisé au pied du Mont du Commandant et une syénite provenant de l'est du Mont Léon Lutaud ont donné des âges respectivement de 9,2 ± 0,4 Ma et 9,1 ± 0,4 Ma. Un granite alcalin échantillonné sur le flanc nord du Massif des Deux Frères et un dyke de dolérite du flanc sud du Pic Chastaing ont été quant à eux datés respectivement à 7,3 ± 0,2 Ma et 7,4 ± 0,2 Ma. A la même époque, la méthode des isochrones Rb-Sr a été également utilisée pour plusieurs échantillons. Cette méthode a permis de définir des zones géographiques concentriques au niveau de Rallier du Baty avec des âges évoluant du nord au sud de 12 Ma à 9,7  $\pm$  2 Ma, 8,6  $\pm$  Ma et enfin à 7,9  $\pm$  2 Ma (Watkins et al., 1974; Dosso et al., 1979). Une carte topographique de la péninsule est fournie en annexe.



Figure 1.7: Carte des différents complexes intrusifs de la province plutonique de Rallier du Baty et données géochronologiques associées (Watkins et al., 1974; Dosso et al., 1979).

Ces premiers travaux géochronologiques ont donc montré que les âges des roches plutoniques sont de plus en plus jeunes en allant vers le nord de la péninsule Rallier-du-Baty, en accord avec les relations de terrain (Marot and Zimine, 1976). En outre, ces études géochronologiques précédentes ont montré que la mise en place de l'ensemble du complexe plutonique de la péninsule Rallier du Baty s'est étalée sur environ 5.3 Ma. Associés aux premières données géochimiques, les études isotopiques en Rb/Sr ont permis d'attribuer l'origine des roches du complexe au panache de Kerguelen. Dosso et al (1979) ont conclu que même si les rapports initiaux <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr des roches plutoniques étudiées sont élevés par rapport aux rapports initiaux moyens des OIB, la croûte continentale n'a pas été impliquée dans la genèse des magmas parentaux des roches plutoniques.

Enfin, les travaux de structurale de Marot et Zimine, basés sur leur observations de terrains, leur ont permis de proposer un modèle de construction par « subsidence en chaudron » pour expliquer la mise en place des différents complexes intrusifs de la péninsule incluant le complexe sud. Ce modèle n'a été remis en question que très récemment (Mathieu et al., 2011) dans le cas de l'archipel de Kerguelen.

# Chapitre 2 : Relations de terrain et structure du SRBIC

#### 2.1 Introduction

Cette partie représente le ventricule droit du cœur sur lequel est bâtie cette thèse. Les observations de terrain représentent l'une des bases indispensable dans cette étude voulant porter un regard neuf sur ce complexe. Ce travail de thèse n'aurait pu donc se faire sans une campagne de terrain qui fut réalisée de novembre 2013 à janvier 2014. Cette mission de terrain s'est effectuée dans le cadre d'un projet multidisciplinaire plus vaste que la seule étude du SRBIC, conduit sur plusieurs années et visant à étudier les différents transferts et interactions fluides-roches à travers la lithosphère de Kerguelen (IPEV-1077-TALISKER programme). Cette campagne, et les résultats qui en découlent, exposés dans cette partie, n'auraient pas pu non plus se réaliser correctement sans chacun des membres de l'équipe ayant participé à cette mission. C'est pourquoi, accompagné de D.Guillaume, M.de Saint-Blanquat et M. le Romancer j'utiliserai le pronom personnel « nous » dans cette partie tout en assumant la responsabilité de chacun des mots qui suivront. Une trentaine de jours de terrain effectifs fut donc consacré à l'étude des roches du complexe sud de la péninsule. Les conditions météo, souvent contraignantes, sont en parties responsables de la difficulté d'accès à l'ensemble de la péninsule. La zone d'étude se situe surtout autour de la plaine des Sables, de l'anse du Gros Ventre au sud de la péninsule jusqu'au massif des Deux Frères au nord, et de la vallée Fallot à l'ouest jusqu'à la vallée de la Plage Jaune à l'est. Seules 2 journées le long du flanc sud de la vallée de Larmor et sur le flanc sud-est du mont Chastaing respectivement ont pu être réalisées à la fin de notre séjour grâce aux débarquements par bateau via la baie de la Mouche. Naturellement, les données et les échantillons issus d'une campagne précédente (IPEV-444-Dylioker programme) réalisée en 2009-2010 ont été utilisés. Toutefois, nos données ne sont pas réparties de manière homogène sur l'ensemble du SRBIC, ce qui induit un biais d'échantillonnage dans nos observations et dans nos mesures. Nous montrerons que cela n'altère pas nos conclusions principales (voir Discussion - partie 7.4.4).

Nous nous sommes attachés sur le terrain à identifier les lithologies et les textures, à caractériser leurs relations, et à mesurer les différents éléments structuraux observés. Le but étant d'obtenir un calage structural de l'histoire magmatique et d'avoir une chronologie relative entre les différents évènements magmatiques et les différentes déformations syn et post magmatiques. Cette caractérisation temporelle, en plus de la nature des objets, permet de retracer leur histoire magmatique et est un pré-requis nécessaire pour ensuite, aller plus loin dans l'interprétation des données géochronologiques, pétrologiques et géochimiques.

J.Nougier (1969) avait démarré l'étude du complexe au travers d'un travail extraordinaire portant sur tout l'archipel de Kerguelen dont les roches de RdB ne représentent qu'une petite partie. La première étude structurale approfondie du complexe de Rallier du Baty fut conduite par Marot et Zimine (1976), présentée dans leur thèse, et dans laquelle de nombreuses observations de terrains sont consignées. En plus de ces dernières, leur étude était surtout la première étude complète centrée sur la pétrographie des roches du complexe. La campagne de terrain que nous avons menée nous a donc permis de confronter nos observations avec ces précédents travaux, en constituant un jeu de données structurales conséquent, cohérent et représentatif. Associé à des coupes réalisées à différentes échelles, ces données nous permettent de proposer un modèle structural solide, car adossé à de nombreuses données et mesures de terrain.

#### 2.2 Les relations de terrain

#### 2.2.1 Les textures rencontrées

La texture d'une roche magmatique est l'enregistrement de l'histoire récente de sa cristallisation dans son site de mise en place, alors que sa minéralogie et sa composition chimique reflètent l'origine et l'évolution chimique du magma depuis sa source. Ainsi la pétrographie et les textures magmatiques ne sont pas forcément couplées. Les textures des roches mises en place marquent donc l'histoire de la construction du corps plutonique. Le but de cette section est de décrire les différentes textures rencontrées sur le terrain qui ont enregistré cette construction.



#### 2.2.1.1 Les basaltes de plateau

Figure 2.1: Planche photographique des basaltes de plateau , a) de loin, b) à l'affleurement, c) présentant un métamorphisme de contact (Mont du Commandant), d) en xénolithes dans la syénite, e) en écran dans la syénite.

Les basaltes de plateau, dans lesquels le complexe du SRBIC s'est mis en place, ont des textures relativement uniformes. Seule la texture au contact de l'intrusion est nettement différente. Sur une distance inférieure au mètre, les basaltes présentent des textures partiellement recristallisées avec l'apparition de minéraux d'amphibole très visibles à l'œil nu attestant d'un métamorphisme de contact. Lorsqu'ils sont incorporés dans l'intrusion plutonique sous forme de xénolithes (de taille pluri-centimétrique) ou d'écrans basaltiques (de taille pluri-métrique), ils présentent également des textures de recristallisation plus ou moins avancées.

#### 2.2.1.2 Les roches felsiques plutoniques

Les roches plutoniques felsiques constituent la majeure partie des roches du complexe. Elles représentent grossièrement 95% des roches intrusives à l'affleurement. Ces roches sont assez monotones car en grande majorité syénitiques (Nougier, 1969; Marot and Zimine, 1976; Giret, 1983). Les termes granitiques étant proportionnellement faibles, j'emploierai donc le terme de roches syénitiques sensu lato (ou de syénites sensu lato) pour l'ensemble des roches felsiques. Ces roches ont des couleurs relativement homogènes allant du gris au brun pour l'essentiel. Macroscopiquement, les phases minérales majeures que sont les feldspaths, les amphiboles et les pyroxènes qui composent ces roches sont identiques et semblent peu varier en mode d'occurrence. Seule la présence de biotite et/ou de quartz crée une différence minéralogique significative. La monotonie apparente de ces roches est sans conteste due au volume de feldspaths (entre 70 et 80% ; Nougier 1969; Giret 1983) qui les composent et qui masquent également les variations minéralogiques. C'est pourquoi le paramètre macroscopique qui varie le plus et qui marque une nette distinction entre les différentes roches du SRBIC ainsi qu'une bonne description de sa structure sur le terrain est la texture.



Figure 2.2: Planche photographique des 4 grands types de textures rencontrées dans les syénites du SRBIC ; a) texture grenue, b) texture microgrenue ou fine, c) texture (microgrenue) porphyrique, d) texture pegmatitique.



Figure 2.3: Relations chronologiques entre les différentes textures de syénites. a) filon de microsyénite recoupant une syénite grenue, b) microfilons de texture pegmatitique tardifs sur la syénite grenue, c) nombreuses veines ou filons de syénite porphyrique recoupant une syénite grenue, d) ségrégation pegmatitique en forme de poche dans une syénite grenue, e et f) filons de pegmatite tardifs recoupant une syénite grenue.

En effet, indépendamment des variations minéralogiques, les syénites du SRBIC montrent une grande variété de textures à l'affleurement. Parmi cet éventail, quatre textures principales les caractérisent (Figure 2.2) :

- des syénites à texture grenue (grains pluri-millimétriques à centimétriques) dite syénite grenue, notées  $\sigma g$ 

- des syénites à texture microgrenue (grains millimétriques à infra-millimétriques), dite syénite fine ou microsyénite, notées  $\sigma\mu$ 

- des syénites pegmatitiques (grains centimétriques à pluri-centimétriques) résultant de ségrégation locale à différentes échelles des syénites grenues et fines, notées *σpg* 

- des syénites porphyriques, qui montrent une matrice à grain fin et des phénocristaux majoritairement feldspathiques centimétriques, notée *op* 

Les textures de syénites grenues, fines et pegmatitiques ont été observées sur l'ensemble du complexe. Cependant, la syénite de type grenue est de loin la texture la plus représentée sur le complexe. D'autre part, la quantité de microsyénite diminue fortement vers le centre-nord de la péninsule de Rallier du Baty. La syénite porphyrique, très peu importante volumétriquement, n'a été observée que dans les parties les plus externes du complexe.

Il n'y a pas de relation chronologique simple entre syénites grenues et fines (Figure 2.3). Bien qu'il soit plus fréquent d'observer un filon de microsyénite recoupant la grenue, de nombreuses enclaves de microsyénites s'observent également dans la syénite grenue. Ces dernières sont de tailles et de formes variées se qui conduit à supposer, en plusieurs endroits que la syénite grenue recoupe la syénite microgrenue. Les syénites pegmatitiques définissent des accumulations localisées qui évoluent généralement en un réseau anastomosé qui recoupe plus ou moins les syénites grenues et fines. La syénite porphyrique apparait uniquement à des endroits clés et marqueurs structuraux important dans la construction du SRBIC tels qu'a certains endroits du contact SRBIC-Basaltes, contacts roches plutoniques intermédiaires/syénites et zone de déformation intense. Cette syénite montre à la fois des indices de recoupement sur les autres lithologies et une co-structuration en accord avec la structure générale (ces différents éléments seront détaillés plus bas).

#### 2.2.1.3 Les roches intermédiaires et mafiques

Un cortège de roches plutoniques intermédiaires (monzonites et monzodiorites) et mafiques (monzogabbros), à tendance monzonitique, c'est à dire plutôt intermédiaire géochimiquement (voir Chapitre 5), se rencontre uniquement dans la partie externe du SRBIC et les complexes satellites du sud de la péninsule. Les roches les plus basiques (Figure 2.4a) se retrouvent dans le massif intrusif structuralement au dessus SRBIC à l'extrême sud de la péninsule et formant la pointe de l'arête Jérémine, nommé massif de l'anse du Gros Ventre. Les monzonites s'observent uniquement dans le complexe satellite qui forme la première intrusion de la Plage Jaune. Les monzodiorites (Figure 2.4b) s'observent dans la partie la plus externe du SRBIC au sein des syénites. Les textures de ces roches mafiques et intermédiaires sont grenues ou microgrenues. Les relations aves les roches felsiques n'ont pas pu être observées sur le massif de l'anse du Gros Ventre ou les contacts sont enfouis sous les éboulis et la végétation. Il nous est donc impossible de dire si ces roches mafiques forment une enclave transportée par les intrusions felsiques ou une intrusion à part entière dans ce satellite. Toutefois, quelques filons syénitiques microgrenus aplitiques recoupant ces roches laissent penser qu'au moins une partie des syénites qui composent également ce massif sont plus jeunes que les roches mafiques (Figure 2.4d). Au sein du SRBIC, dans les parties externes, les textures de contact entre les syénites et les roches mafiques/intermédiaires montrent une coexistence à l'état magmatique entre ces deux types de roches (Figure 2.4c). La chronologie relative entre ces deux types de roches n'est donc pas toujours claire. Cependant, on observe (i) des indices d'assimilation qui laisse penser que la syénite s'injecte dans les magmas mafiques et intermédiaires, et (ii) de nombreux affleurements montrant des enclaves/xénolites de roches mafiques dans la syénite (Figure 2.4d). Nous n'avons jamais observé d'enclaves syénitiques dans les roches mafiques et intermédiaires.


Figure 2.4 : Les différents faciès mafiques et intermédiaires à l'affleurement et relations avec les faciès felsiques.

#### 2.2.1.4 Les filons

Le SRBIC est recoupé par de nombreux filons (Figure 2.5a et b) majoritairement mafiques mais aussi felsiques syn à post-plutoniques. Nous les avons cartographiés et nous avons systématiquement mesuré leur orientation, mais ils n'ont pas fait l'objet d'une étude pétrologique systématique. On observe essentiellement des filons basaltiques, de couleur noire-verte de texture majoritairement microlitique aphyrique (Figure 2.5c), et des filons trachytiques qui sont eux légèrement plus clairs, vert-noir, et montrant des textures porphyriques avec des tailles variables de phénocristaux de feldspaths (Figure 2.5d). L'altération de ces filons permet également de les distinguer car les filons basaltiques ont tendance à s'assombrir et leur patine devient très sombre avec quelques nuances de bleu tandis que la patine des roches trachytiques tend vers le violet. De rares filonnets intermédiaires de microsyénite-monzonite sont observés et recoupent des zones de cisaillement (Figure 2.5g). Certains filons microgrenus sont qualifiés de composites car sans doute formés d'injections multiples avec des « lits » millimétriques plutôt quartzo-feldspathiques et d'autres très riches en oxydes de Fe-Ti (Figure 2.5h).

La majorité des filons est clairement postérieure à la mise en place des syénites et recoupent ces dernières de façon franche (Figure 2.5a,b,c et d). De rares évidences de syénites recoupant ces filons montrent bien que certains sont syn-plutoniques (Figure 2.5e). Les relations de recoupement complexes entre filons et zones de cisaillement (détaillées plus bas) montrent la présence de plusieurs générations de filons sensu lato et/ou la présence de plusieurs phases de déformation (Figure 2.5e, f, g et Figure 2.30). Il parait donc évident qu'il existe plusieurs générations de filons sécants sur les syénites et tardifs dans l'histoire de la construction du SRBIC. Cependant, bien qu'ils soient tardifs pour la plupart, cela ne signifie pas qu'ils sont tous post-plutonisme. De plus, une datation réalisée sur un filon trachytique (13TK08) clairement sécant sur la syénite (à l'image de la Figure 2.5d) a été daté à 7.93 ± 0.3 Ma, c'est à dire bien

contemporain de la mise en place des syénites et donc de la construction du SRBIC (voir Chapitre 3géochronologie)



Figure 2.5 : Planche photographique des différents types de filons observés et de leur chronologie relative par rapport aux roches encaissantes. a) à grande échelle, b) à l'affleurement, c) filon de basalte transportant des fragments anguleux de syénite, d) filon de trachyte porphyrique à feldspaths, e et f) filons basiques tardifs sur la syénite recoupé par des ségrégations pegmatitique, le tout décalé par des zones de cisaillement, g) filon microgrenu syénitique ou monzonitique recoupant la syénite, h) filon composite montrant de nombreuses injections.

# 2.2.2 Structure et orientation des basaltes

A l'échelle des Kerguelen, les coulées basaltiques montrent une géométrie très régulière et constituent un empilement monoclinal à faible plongement (3-5° en moyenne) vers le sud-est (Figure 1.5 et Figure 2.33) (Nougier, 1969; Marot and Zimine, 1976). La distance maximale parallèle à la direction du pendage général des coulées de basaltes est de 140 km, mesurée entre le nord-ouest de la péninsule Loranchet et le sud-est de la presqu'île de Ronarc'h. L'épaisseur structurale totale des basaltes observable sur l'archipel est donc comprise entre 7 et 12 Km pour 3 et 5° respectivement.

A l'approche des différents complexes intrusifs situés au sud-ouest de l'archipel, les basaltes montrent clairement un changement d'orientation. En s'approchant du SRBIC, quel qu'en soit l'endroit, le pendage augmente jusqu'à atteindre des valeurs de 30-40° (Figure 2.1 et Figure 2.6). Ceci a pu être observé tout autour du SRBIC sauf à l'ouest et au nord-ouest, car le contact y est recouvert par des coulées volcaniques trachytiques récentes (Nougier, 1963). Ce changement d'orientation des basaltes et ce soulèvement a été observé par tous les différents auteurs qui ont travaillé sur cette région (Nougier, 1969; Marot and Zimine, 1976; Giret, 1983; Mathieu et al., 2011).



Figure 2.6 : Photos des épanchements basaltiques de la péninsule de Rallier du Baty : (a) le massif de Castor et Pollux (crédit C. Dekeyser) et (b) une vue à partir du massif des Fumerolles (crédit : M. leRomancer).

Ainsi, l'étude des orientations des basaltes tout autour du SRBIC, met clairement en évidence un changement d'orientation et de pendage des coulées basaltiques qui, du fait de cette coïncidence spatiale, est à mettre en relation directe avec l'intrusion du SRBIC. Cette caractéristique se retrouve également au niveau des intrusions plutoniques situées plus au nord de la péninsule. En effet, l'orientation des basaltes du massif des Restanques montre déjà un soulèvement dont le centre se situe au niveau du Pic Chastaing. Plus au nord au niveau du massif de Castor et Pollux (Figure 2.6), Nougier (1969) avait mesuré l'orientation de basaltes impliquant une perturbation postérieure à leur mise en place par les intrusions plutoniques les plus au nord de la péninsule, proches de la calotte Cook.

L'examen des photos aériennes et satellites montre l'existence de grands linéaments / fractures (?) qui affectent les basaltes régionalement, et qui sont notés sur les cartes géologiques (Nougier, 1969; Mathieu et al., 2011). Soit ce sont des fractures sans déplacement c'est à dire des diaclases, soit ce sont des failles qui devraient montrer des décalages dans les basaltes de plateau. Nos observations sur la péninsule de RdB montrent qu'il est en réalité très difficile d'observer des décalages à grande échelle entre les épanchements basaltiques. Cette observation se vérifie également dans la région du Plateau Central que nous avons pu parcourir du lac Bontemps à Port Jeanne d'Arc. Du fait du litage prononcé et régulier des coulées basaltiques, ainsi que de leur homogénéité d'épaisseur et de couleur, ces décalages ne sont pas facilement visibles. Toutefois, ces derniers semblent bel et bien exister tel que Nougier les a décris (1969), suggérant donc une attention particulière pour être décelés (voir Chapitre 7 - Figure 7.5).

#### 2.2.3 Le contact SRBIC – Basaltes de plateau

Du fait qu'il met en jeu deux roches de composition, de texture, et de couleur très contrastées, le contact entre les syénites et les basaltes de plateau est bien marqué et clairement visible dans le paysage. Sa géométrie est complexe car elle évolue entre deux types de géométrie extrêmes. La première est une géométrie fortement pentée et discordante par rapport à l'orientation des basaltes. La seconde est bien moins pentée et concordante avec les plans d'épanchements basaltiques. Cette géométrie "bipolaire" s'observe à grande échelle tout autour du SRBIC là où le contact est visible, et particulièrement sur le flanc nord du mont du Commandant, le flanc SW du mont Lieutard ou bien le flanc nord de l'arête Jérémine (Figure 2.7; et Figure 2.8).



Figure 2.7 : Photo du contact intrusif du SRBIC avec les basaltes de plateau : a) Mont du Commandant et b) arête Jérémine.



Figure 2.8 : Photo du contact intrusif du SRBIC avec les basaltes de plateau sur le flanc O du Mont de Volz (Plage Jaune).

Le contact intrusif sur le flanc S du mont Léon Lutaud est clairement discordant avec les basaltes sur une centaine de mètres avant que son pendage ne s'horizontalise vers le sommet (Figure 2.9 et Figure 2.33). Cette disposition sécante en bas et concordante dans les parties supérieures se retrouve ça et là autour du SRBIC. Cette observation est un des arguments majeur invoqué par Marot et Zimine (plus tard Giret, 1983 et Bonin, 2004) pour expliquer le modèle proposé de «cauldron subsidence». Cependant, la relation inverse (concordant en bas et discordant dans les parties hautes) s'observe également en de nombreux endroits, ou bien des alternances à différentes échelles. Enfin, la forme en dôme des basaltes suppose que le contact intrusif est globalement concordant (Figure 2.33, Figure 2.38 et Figure 3.14) à l'échelle du SRBIC.



Figure 2.9 : Photo du contact intrusif externe du SRBIC sur le flanc S du Mont Léon Lutaud recoupant avec un fort pendage les épanchements basaltiques.

Les petits complexes satellites qui se répartissent tout autour – c'est à dire structuralement au dessus - du SRBIC (Marot and Zimine, 1976) montrent également ces deux géométries de contacts intrusifs discordantes et concordantes (Figure 2.10). Ce type de géométrie de contact n'est donc pas lié au volume total de liquide magmatique injecté dans les basaltes mais plutôt aux caractéristiques de la mise en place (mécanisme, flux, vitesse d'injection, contraste de température, viscosité du magma...).



Figure 2.10 : Photo du contact intrusif du complexe satellite de « l'Anse syénite » sur le flanc NE du Mont Léon Lutaud.

Le contact externe (ou latéral) du SRBIC présente donc une géométrie particulière, concordante et discordante, et ce à différentes échelles d'observation. Cette géométrie pourrait se schématiser par des marches d'escalier de hauteur et de longueur variables. A l'échelle de l'affleurement, les contacts discordants sont complexes et montrent une bréchification magmatique des basaltes dans la syénite (« stopping »), avec de nombreuses injections (de texture de plus en plus aphyrique dans l'encaissant) qui découpent des blocs de basalte anguleux et de toute taille (Figure 2.1c et Figure 2.11b). Les contacts concordants sont très nets et propres, sans injections ni bréchification des basaltes (Figure 2.11a). Les contacts concordants semblent donc plus passifs, alors que les contacts discordants sont plus dynamiques et témoignent de la progression du magma syénitique dans les basaltes. Ce type de structure intrusive est classique et a été observée à la périphérie de nombreux corps intrusifs en domaine continental (e.g. Henry Mountains, voir (Horsman et al., 2005; St Blanquat et al., 2006; Morgan et al., 2008); Torres del Paine : (Baumgartner et al., 2007; Leuthold et al., 2012).



Figure 2.11 : Photos détaillées du contact externe SRBIC- basaltes de plateau, a) concordant, b) discordant –Mont du Commandant.

## 2.2.4 Les contacts internes à grande échelle

Les observations de terrain associées à la réalisation de plusieurs coupes nord-sud de l'ensemble du complexe sud de RdB (e.g. Figure 2.38) nous a permis d'identifier deux grands types de contacts internes de grande envergure.

Les contacts du premier type sont clairement visibles sur les photos satellites (Figure 2.12) et dans le paysage (Figure 2.13). Ce sont des contacts francs qui s'observent sur une grande distance et ce de façon quasiment continue. Ils séparent des syénites qui diffèrent texturalement et/ou minéralogiquement. Dans notre zone d'étude, le contact de ce type le plus important est celui qui s'observe très clairement (Figure 2.13) au niveau du Pic Chastaing (a), du massif des Deux Frères (b et c) et du massif du Portillon (d). La syénite structuralement en dessous de ce contact a une texture microgrenue (massif du Portillon, flanc N du massif des Deux Frères, Pic Chastaing) comportant une quantité de quartz significative. La syénite structuralement au dessus de ce contact majeur est une syénite grise massive à texture grenue constituée de minéraux majeurs semblables mais d'une trop faible quantité de quartz pour être visible à l'œil nu. Les caractéristiques physiques (différence de couleur, de texture et de résistance à l'érosion) et minéralogiques propres à ces 2 syénites en contact, ainsi que la grande étendue et la quasi-continuité de ce contact particulièrement visible font de cette structure un contact majeur du SRBIC. Ce contact interne majeur sépare donc une unité interne située au centre du SRBIC, au centre – nord de la péninsule de RdB, d'une autre unité périphérique.



Figure 2.12 : Image satellite Pléiades, centrée sur l'unité centrale du SRBIC avec la localisation des prises de vues du contact majeur de la Figure 2.13 suivante.



Figure 2.13 : Vues du contact majeur (unité 2/unité 3) ; a) du flanc S du Pic Chastaing; b) du flanc N du massif des Deux Frères, c) du flanc SW de ce même massif et du flanc NE du massif du Portillon. Les traits en pointillés soulignent la trace extrapolée du contact.

#### Chapitre 2

Sur le terrain comme sur l'image satellite, les roches de l'unité centrale ont une patine à l'affleurement plus orange-brun (voire de couleur rouille) que celles des autres unités. Les études précédentes (Marot and Zimine, 1976; Mathieu et al., 2011) ont attribué cette couleur à une oxydation induite et facilitée par le passage de fluides tardifs dans cette partie du complexe. Les observations pétrographiques réalisées sur cette unité sont en accord avec cette interprétation (voir partie 4.1.2.2). Le passage des fluides responsables de cette altération est clairement tardif, conduisant à la formation d'une croûte d'altération orange-brune en surface. Cette dernière est particulièrement épaisse sous le contact majeur du Portillon (Figure 2.14), ainsi que dans les zones qui sont aujourd'hui des plans de faiblesse dans la roche (diaclases). La syénite qui se trouve sous ce contact est en réalité plutôt bleutée à la cassure (Figure 2.14).



Figure 2.14 : Photo d'un échantillon de roche (13TK68) bleutée, avec une croûte oxydée caractéristique, située sous le contact majeur du massif du Portillon.



Figure 2.15 : Photos des injections de magmas provenant de l'unité centrale, s'injectant dans les roches de l'unité supérieure par conséquent plus ancienne. a et b) massif du Portillon, c) flanc N des Deux Frères.

Ce contact est subhorizontal au centre du complexe intrusif (sommet des Deux Frères) et montre autour de ce massif (au sud de ce massif, sur le Portillon et le Pic Chastaing) un pendage faible (25°) à moyen (40°) toujours vers l'extérieur du complexe (Figure 2.33). L'unité centrale est donc située structuralement au dessous des unités périphériques. A l'échelle de l'affleurement, ce contact est recoupé par des veines et des filons issus de la syénite située sous le contact qui s'injectent la syénite située au dessus (Figure 2.15). Cette caractéristique confirme que l'unité centrale est plus jeune que l'unité située au dessus. Nous pouvons donc, grâce à ce contact, définir une unité centrale que nous appelons unité 3, et une unité plus externe, que nous appelons unité 2.

Ce type de contact franc et bien marqué dans le paysage a été également observé ça et là, par exemple dans l'unité la plus externe du SRBIC, l'unité 1. Dans la vallée de Larmor par exemple, à l'est du complexe, nous avons observé un contact (Figure 2.16) qui ressemble au contact supérieur de l'unité centrale décrit ci-dessus (Figure 2.15). Des injections localisées permettent d'établir le même type de chronologie relative, à savoir que les magmas situés sous le contact sont plus jeunes et intrudent ceux situés au dessus du contact. Ce contact sépare une syénite en position supérieure à texture intermédiaire entre microgrenue et microgrenue porphyrique d'une syénite en position inférieure grenue de même minéralogie.



Figure 2.16 : Exemple de contact franc et continu à grande échelle dans la vallée de Larmor.

Le deuxième type de contact est géométriquement et structuralement plus complexe. Il s'observe exclusivement à environ mi-distance entre le contact majeur de l'unité 2 centrale décrit ci-dessus et le contact externe du complexe intrusif. Ce contact se situe au niveau d'une zone, qui fut également observée par les précédents auteurs et qui définit un arc de cercle sur la carte (Figure 2.33). Elle fut interprétée comme étant une faille conique à pendage interne (« cone-sheet ») représentant un argument majeur en faveur d'un modèle de construction du complexe par subsidence en chaudron (Marot and Zimine, 1976). Cette zone correspond à une aire très déformée (cataclases, bréchification; Figure 2.17), très riche en syénite porphyrique et en filons basaltiques et trachytiques, et qui montre aussi des évidences de circulation tardives (quartzo-feldspathiques). Cette zone est également soulignée par des écrans de basaltes (Figure 2.33). Des marqueurs de déformations (décrits plus bas) montrent que l'intensité de cette déformation augmente progressivement en s'approchant de cette zone depuis l'extérieur du complexe intrusif. Cette progression se fait depuis des syénites externes magmatiques sans zones de cisaillement, jusqu'à des cataclasites et des brèches, et ce sur une distance de 500m environ (Figure 2.17 et Figure 2.18). Cette zone très déformée de couleur verte sombre, d'une épaisseur de l'ordre de la 50aine de mètres, peut se suivre depuis le versant nord de la vallée Fallot à l'ouest du complexe jusqu'au versant est de la vallée de la Plage Jaune au sud-est.

Les grands écrans de basaltes qui marquent la base de cette zone déformée se retrouvent au nord-nordest de la coulée de Vulcain et de part et d'autre de la vallée de l'Armor. Cette zone de déformation plus intense est associée (notamment au niveau des massifs situés juste au nord et nord-est de la coulée de Vulcain) à une syénite porphyrique caractéristique de teinte grise assez sombre comparée à celle qui se retrouve plus au sud au sein de l'unité la plus externe du complexe.



Figure 2.17 : Détails photographiques du contact entre l'unité 1 et l'unité 2, formé par une zone très déformée en base de l'unité 1. a) filon tardif par rapport à la syénite recoupé par de nombreuses zones de cisaillement, b) brèche à fragments anguleux de syénite, c) ségrégation quartzo-feldspathique infiltré sous forme de veines, d) syénite porphyrique caractéristique de ce contact.

A l'échelle cartographique, cette zone de contact, déformée ou non, entoure une grosse moitié sud-sudest du SRBIC, du nord-est (Larmor) à l'est (Fallot). Les pendages des contacts délimitant cette zone déformée varient, plus fort au sud-est (environ 40-45°) et moins fort à l'est (environ 30°), mais toujours vers l'extérieur du SRBIC. Nous interprétons cette zone comme un contact majeur séparant deux unités, une unité externe ou unité 1 et une unité intermédiaire ou unité 2. Ce contact se présente comme une zone de transition formée de syénite porphyrique (±microgrenue) ayant une certaine épaisseur et marquée par une forte déformation tardi à post-magmatique dans l'unité externe (syénite grenue). Nous interprétons cette déformation de la base de l'unité 1 comme l'expression de l'accommodation des déplacements provoqués par l'intrusion des magmas de l'unité 2 ainsi que liée à l'intrusion de nombreux filons dans cette zone.



Figure 2.18 : Panorama et interprétation du massif NE au pied de la coulée de Vulcain, face ouest.

Il existe donc, à l'échelle du SRBIC, deux contacts internes majeurs qui séparent trois unités magmatiques principales, l'unité 1 externe, l'unité 2 intermédiaire, et l'unité 3 centrale. Les relations de terrain montrent sans ambiguïtés que l'unité 1 est plus vieille que l'unité 2, qui est elle même plus vieille que l'unité 3. Les grandes unités structurales sont donc de plus en plus jeunes vers le centre du SRBIC (c'est-àdire le centre-nord de la péninsule).

Les caractères très différents de ces deux types de contacts au sein d'un complexe intrusif relativement homogène pose question. Cette différence - contact magmatique franc sans déformation versus contact plus diffus et avec déformation – pourrait correspondent à un gap (ou silence) magmatique de durée différente. Cette hypothèse supposerait un gap temporel court pour le contact sans déformation et un silence plus long pour le contact avec déformation. En effet, un temps plus long sans injections permettrait à l'unité mise en place de se refroidir de façon plus efficace relativement à une durée plus courte. Cette unité « froide » serait donc plus difficile à déformer ou déplacer à la reprise des injections magmatiques, provoquant la formation des zones de cisaillement, brèches et cataclases. Le temps est donc un des paramètres qui pourrait expliquer la différence entre ces types de contact. Cependant cette hypothèse et les autres paramètres qui pourraient rentrer en compte et leurs rôles seront abordés dans la discussion (voir Chapitre 7).

# 2.3 Structure interne à l'échelle des unités structurales

Les trois unités de syénite montrent sur le terrain une structure interne litée constituée d'une alternance de lentilles voir de sills d'épaisseur métrique à pluri-décamétrique de lithologie et/ou de texture contrastées. Cette structure interne est décrite ci-dessous à l'aide de l'analyse détaillée d'un affleurement spectaculaire situé dans l'unité 1, puis d'une analyse à l'échelle de l'unité de syénite et finalement synthétisé sur une coupe à l'échelle de l'unité 1 (Figure 2.31).

## 2.3.1 Coupe détaillée

Cet affleurement (Figure 2.19) montre très bien la structure interne de l'unité 1 à l'échelle de quelques centaines de mètre. Cet affleurement est constitué au premier ordre d'une structure litée régulière à pendage d'environ 40° vers le sud, formé d'une alternance de niveaux clairs et de niveaux sombres.

Les niveaux clairs sont des niveaux syénitiques à texture grenue avec quelques passées de syénites plus fines. Certains des niveaux beiges clairs, sécants sur l'ensemble des lithologies, correspondent à de la syénite porphyrique. De fines passées blanches sont formées de syénites pegmatitiques. Les niveaux sombres sont principalement constitués de monzo-diorite ou de monzo-gabbros (Figure 2.19 et Figure 2.20), ainsi que de lentilles arrondies discontinues de taille pluri-centimétriques très sombres, correspondant à des enclaves monzo-dioritiques et basaltiques. Les relations texturales entre les monzodiorites/gabbros et les syénites grenues montrent que la syénite est plus jeune que la monzodiorite. Toutefois, les géométries lobées de leurs contacts mutuels (textures en «chou-fleur») indiquent une certaine proximité temporelle de l'intrusion d'un magma dans un autre magma (Figure 2.20).







#### Chapitre 2

Cette texture de contact est surprenante. En effet, ces deux types de roches ayant des compositions, des rhéologies et des cinétiques de refroidissement contrastées, il serait plus logique d'observer des textures réactionnelles aux contacts. Donc, sans pouvoir établir une chronologie nette de la mise en place des différentes roches sur cet affleurement, il semble cependant que celle de la monzo-diorite précède celle de la syénite grenue. Toutefois ces deux mises en place ont du être très rapprochées dans le temps pour former des contacts magmatiques sans figures réactionnelles prononcées. La géochronologie supporte cette hypothèse (voir Chapitre 3). Un contact syénite/monzogabbro situé dans la partie nord de l'affleurement montre une chronologie de mise en place claire (Figure 2.21) avec la syénite grenue qui s'injecte dans le monzogabbro qu'elle fracture et dont quelques xénolites anguleux parsèment le contact.



Figure 2.20 : (ci-dessus) Détails de l'affleurement précédent et des relations syénite / monzo-diorite.

Figure 2.21: (ci-contre) Partie nord de l'affleurement représenté en Figure 2.19. Le contact magmatique montre clairement que la syénite grenue, structuralement en dessous du monzo-gabbro, s'injecte et fracture ce dernier mis en place plus précocement.



Cet affleurement d'alternance monzo-gabbro(diorite)/syénite est également constitué d'une syénite porphyrique, moins abondante que la syénite grenue. Cette dernière recoupe les autres types de syénites et les roches intermédiaires sous forme de filons ou s'injecte au sein ou entre les lithologies précédentes sous la forme de sills d'une épaisseur métrique à décamétrique (Figure 2.19 et Figure 2.22).

Cette syénite porphyrique se retrouve aussi et surtout aux contacts entre les faciès intermédiaires et la syénite grenue plus précoce (Figure 2.22). C'est d'ailleurs souvent cette syénite porphyrique qui découpe et fracture les roches intermédiaires déjà en place, donnant aujourd'hui une impression de puzzle (Figure 2.23). La Figure 2.23 montre également que cette injection plus tardive de syénite porphyrique réagit fortement avec la roche mafique et l'assimile même par endroit. Cette syénite contient également des enclaves monzo-dioritiques et basaltiques en quantité variable arrachées et transportées lors de son ascension et de sa mise en place (Figure 2.23).



Figure 2.22 : Détails des relations entre la syénite porphyrique et les autres lithologies, illustrant son caractère tardif sur cet affleurement. a) recoupant la syénite grenue, b) qui s'injecte au contact entre la syénite grenue et la monzo-diorite ainsi que (a, b, c) dans ces dernières.



Figure 2.23 : Détails des relations entre la syénite porphyrique et les autres lithologies, suite; (a) fracturation intense des monzo-diorites par la syénite porphyrique, (b et c) relations texturales et chronologiques des différentes lithologies qui composent cet affleurement et (d) transport d'enclaves mafiques au sein de la syénite porphyrique recoupant la syénite grenue.

Toutes ces observations mettent en évidence une proximité temporelle entre les faciès mafiques/intermédiaires (monzogabbros et monzodiorites) précoces et les faciès syénitiques (grenus et fins, ± pegmatitiques) qui semblent simplement légèrement plus tardifs par endroits. Ces différents types de roches sont ensuite recoupés par des injections de syénite porphyrique qui peuvent masquer les contacts magmatiques précédents et qui transportent des enclaves mafiques. Cet affleurement est remarquable car malgré ces multiples injections et relations lithologiques complexes, toutes les différentes unités ont la même orientation et forment une alternance magmatique bimodale continue à l'échelle kilométrique (Figure 2.19). Cette structure litée, qui ne s'observe nulle part ailleurs dans le SRBIC, caractérise l'unité la plus externe du complexe intrusif (unité 1).

## 2.3.2 Structure interne

L'alternance la plus fréquente et qui caractérise sans conteste la structure interne de toutes les unités de syénite est celle entre syénite grenue et syénite fine (Figure 2.24), dans lesquelles les volumes les plus importants sont toujours constitués par la syénite grenue.



Figure 2.24 : Exemples d'alternance texturale des syénites au travers des différentes unités et à plusieurs échelles.

On observe en réalité tous les intermédiaires entre des lentilles elliptiques, sphériques ou irrégulières de fine dans la grenue, des sills superposés de fine et de grenue d'échelle décamétrique ou plus, ou des filons de fine traversant la grenue (Figure 2.24 et Figure 2.25). Les contacts entre fine et grenue sont toujours très nets et sont plus ou moins planaires ; ils sont purement magmatiques et ne montrent pas de bordures figées ni traces de recristallisation évidente ou de reprise par une déformation (Figure 2.26).



Figure 2.26 : Exemples détaillés de contacts plus ambigus entre syénite microgrenue et grenue. a) zone de texture microgrenue dans une syénite grenue, b) détails du contact net en (a) où la syénite grenue recoupe la microsyénite, c) contact sinueux, d) contact souligné par une oxydation avancée due à la circulation de fluide(s) tardif(s).

Au sein de ces alternances fines – grenues, les syénites pegmatitiques sont organisées entre deux types : en poches disjointes de taille centimétriques à métriques, ou en réseau de veines centimétriques à décimétriques plus ou moins anastomosées et sub-parallèles au litage magmatique général (Figure 2.27 et Figure 2.32). La syénite porphyrique se retrouve très majoritairement au sein l'unité 1 et forme le contact transitoire avec l'unité 2. Ainsi la quantité de syénite porphyrique au sein de l'unité 1 semble augmenter vers le nord, c'est à dire vers la base (ou zone interne) de cette unité. Dans les unités 2 et 3, aucune syénite porphyrique (excepté au contact avec l'unité 1) ni de roches mafiques et intermédiaires n'ont pu être observées. D'autre part, la proportion de syénite microgrenue diminue fortement au sein de l'unité 3 où elle se retrouve essentiellement au contact avec l'unité 2.



Figure 2.27 : Exemples de ségrégations pegmatitiques injectés dans les syénites grenues sous formes de veines et filons pouvant formés des zones de concentration et des réseaux anastomosés.

Dans l'affleurement détaillé dans la section précédente, il est clair que l'alternance syénites – roches mafiques/intermédiaires est interprétable en terme de litage magmatique primaire et que chaque entité texturale correspond à une injection magmatique (ce résultat est confirmé par la géochronologie, Figure 3.9). De la même manière, nous interprétons ces alternances de syénites fines et grenues comme un litage magmatique primaire correspondant à l'empilement de feuillets de magma mis en place de manière rapprochée dans le temps (contacts magmatiques sans bordures figées) mais diachrone. La différence de texture finale que l'on peut observer sur le terrain serait le résultat d'une histoire de mise en place différente liée aux paramètres d'injections (e.g. volume plus faible donc cristallisation plus rapide, intervalle de temps entre deux injections différent, etc....). Les relations de terrain montrent donc de manière générale une sous accrétion des injections successives, et ce à différentes échelles (Figure 2.19, Figure 2.24 et Figure 2.27). Cependant la présence de filons, par définition sécants sur une injection antérieure, montre que dans certains cas l'histoire est plus complexe, avec des injections à différents niveaux de l'édifice plutonique en cours de construction.

#### 2.3.3 Déformations ductiles et cassantes

Des zones de cisaillement ont été observées dans les unités 1 et 2. L'unité 3, la plus jeune et la plus centrale du SRBIC, en est (jusqu'à preuve du contraire) totalement dépourvue. Les occurrences se trouvant au sein de cette unité s'observent dans un niveau plus ou moins lenticulaire appartenant à l'unité 2 en enclave dans cette unité. La pétrographie, la géochronologie et la présence de ces zones de déformation confirment ce résultat. Ces zones de cisaillement ont des épaisseurs variables (mm à quelques cm), et peuvent se suivre sur des distances atteignant quelques dizaines de mètres. Il en existe plusieurs types : ductiles, ductile-fragiles, voire cataclastique. Elles ont le plus souvent un jeu apparent extensif (Figure 2.28).



Figure 2.28 : Marqueurs de déformation au sein du SRBIC. a) zone de cisaillement marqué par des filonnets cataclastiques sombres transportant des minéraux de la syénite recoupée , b) plus ou moins fins toujours organisé en réseau, c) cisaillement décalant un filon trachytique avec un jeu normal, d) filonnets cisaillant avec un jeu normal, e) linéation d'étirement ; f) zone de cisaillement selon des plans plus ou moins conjugués.

Ces zones de cisaillement localisent la déformation au niveau de microfilons d'épaisseur millimétrique de composition syénitique et de texture variable entre aphyrique, microgrenue et microgrenue porphyrique. Ils sont rarement isolés et généralement organisés en réseaux anastomosés d'étendue variable. Ces filons recoupent les roches encaissantes mais ne sont pas strictement rectilignes et sont parfois tortueux. Ils semblent souvent s'entrecroiser ou se rejoindre et font penser à des « cheveux » étirés (Figure 2.28 et Figure 2.29). Ils traversent et fracturent la syénite encaissante et contiennent souvent des morceaux ou minéraux arrachés à cette dernière leur donnant des textures porphyriques. Ces zones de cisaillement cristallisée. Dans certains cas, cette déformation semble être associée à des injections magmatiques mafiques et trachytiques tardives. La déformation à l'échelle du complexe montre un continuum ductile – cassant. En effet, quelques failles portant des stries ont pu être observées (Figure 2.29c et d). Les orientations, cinématiques et signification de cette déformation sont présentées dans la section suivante.



Figure 2.29 : Marqueur de déformation, suite. a) filonnets cataclastiques, b) un filonnet s'effile à l'approche d'une poche pegmatitique qu'il traverse, c) rare faille à grande échelle sur le flanc sud-ouest de Deux Frères, d) traces de stries et marches d'escalier marqueurs du jeu en faille normal.

En terme de chronologie relative, les zones de cisaillement recoupent tous les faciès syénitiques constituant le litage principal des unités syénitiques 1 et 2. Elles recoupent nettement certains filons trachytiques et basaltique syn-plutoniques, mais sont également recoupées par certains autres filons (Figure 2.30a et b). Dans certains cas, plusieurs générations de zones de cisaillement se recoupent (Figure 2.30c et d), supportant plusieurs phases de déformations.



Figure 2.30 : Chronologie relative entre les zones de cisaillement et les différents filons. a) filon basique décalé en plusieurs endroits par un jeu en faille inverse, b) filon mafique qui recoupe et est recoupé par des zones de cisaillement, c) filon ou veine de pegmatite qui recoupe une première génération de zones de cisaillement, une seconde génération de zones de cisaillement découpe ces premières structures avec un jeu en faille normale.

Les différentes observations de terrains exposées dans les parties précédentes sont synthétisées au travers d'une coupe de l'unité 1.



# 2.4 Structure d'ensemble

La structure d'ensemble du SRBIC a été appréhendée à l'aide de la synthèse de nos données de terrain en coupes et en cartes, ainsi que par l'analyse structurale de nos mesures de terrain en stéréographie.

### 2.4.1 Litages et contacts magmatiques

Sont représentés sur la Figure 2.32a tous les contacts magmatiques entre lithologies différentes, ainsi que les mesures des plans d'alternance des différents types de syénites. Les mesures des filons de microsyénites sur la Figure 2.32b, et les mesures du réseau de ségrégations de pegmatite sur la Figure 2.32c.



Figure 2.32 : Carte et et stéréo des mesures de terrains : a) des contacts ; b) des filons de microsyénite ; c) du réseau de ségrégations pegmatitiques ; d) des données en (a), (b) et (c) synthétisées et définissant le litage magmatique du SRBIC.



Figure 2.33: Carte structurale synthétique du complexe sud de Rallier du Baty, illustrant les différentes unités structurales et les mesures (non-exhaustives) définissant le litage magmatique (voir Figure 2.32).

Bien que toutes les mesures n'aient pu être représentées sur les cartes de la Figure 2.32 ci-dessus, les résultats apparaissent sans perte d'informations. Il faut noter que la mesure de pegmatite sur le massif en forme de molaire dans l'unité 3 centrale n'apparait pas sur la Figure 2.33 précédente car cette orientation (bien que prise en compte dans les stéréogrammes) correspond à une circulation franchement tardive qui ne reflète pas les observations de premier ordre à cet endroit malgré une orientation de plan cohérente avec la structure de cette unité. C'est pourquoi, elle est représentée dans la Figure 2.32 et absente de la Figure 2.33 qui se veut synthétique. Ces différentes mesures combinées permettent de mettre en évidence le litage magmatique révélateur de la construction du complexe (Figure 2.32d et Figure 2.33). Les différentes structures montrent que « ça tourne ». En effet, toutes ces structures sont parallèles au contact externe du complexe intrusif. Elles définissent donc une structure en dôme centrée sur l'unité 3. Le pendage de ces structures diminue également de la bordure vers le centre de l'intrusion.



Figure 2.34 : Synthèse des stéréogrammes.

La sur-représentation dans nos mesures du secteur « Deux-Frères, Portillon, Vulcain, Commandant, Plage-Jaune » explique la pré-dominance des pendages vers le sud sensu lato. Ceci explique la forme et la position des maximums de densité de mesure sur les stéréos (Figure 2.34).

## 2.4.2 Zones de cisaillement et failles

Les mesures de zones de cisaillement soulignent également la structure concentrique de l'intrusion. Ce résultat montre clairement que la déformation qui les a formées est directement liée à la construction du complexe intrusif. La carte présentée en Figure 2.35 met également en évidence une forte concentration des zones de cisaillement autour du contact entre les unités 1 et 2, délimitant la zone la plus déformée du SRBIC (en vert brun sur la Figure 2.33). Les pôles en stéréo montrent une distribution conjuguée, avec une famille de zone de cisaillement subparallèle au litage magmatique général à pendage vers le sud plus fort que ce dernier (pendage moyen de 30-40° pour le litage et de 60-70° pour les zones de cisaillement). L'autre famille est également représentée en termes de nombre de mesures, et est symétrique avec des pendages de l'ordre de 50-60° vers le nord.

Sur le stéréo de la Figure 2.35 ont été reportés les plans de zones de cisaillement et de faille sur lesquels des linéations et stries ont pu être mesurés. Dans le secteur étudié, le signal principal est celui d'une extension de direction NNE-SSO. Ce signal est compatible avec les nombreux jeux apparents en faille normale observés sur le terrain (e.g. Figure 2.28, Figure 2.29, Figure 2.30). Les seules zones de cisaillement qui ont été observées dans l'unité 3, se retrouvent au niveau d'une enclave appartenant à



l'unité 2. La géochronologie, la pétrographie et la présence de ces zones de cisaillement appuient ce résultat.

Figure 2.35 : Stéréos des zones de cisaillement et failles avec cinématique.

#### 2.4.3 Filons basaltiques et trachytiques

Les mesures des orientations des filons de basaltes et trachytes montrent une certaine variabilité (Figure 2.36). Les mesures ne tournent pas. La comparaison entre le stéréo de ces filons et celui des litages magmatiques (Figure 2.34 et Figure 2.36) montre que les filons se distribuent en moyenne sur un grand cercle qui représente un plan dont le pôle a la même orientation que l'orientation moyenne des litages. Ainsi, à l'échelle du SRBIC, les filons basaltiques et trachytiques sont en moyenne perpendiculaires au litage magmatique général (voir Figure 2.5a, Figure 2.18 et Figure 2.25).

Sans logique de continuité cartographique évidente entre les orientations des filons, il apparait toutefois qu'une direction préférentielle de ces filons ressorte à N70-80° avec un pendage moyen vers le nord de 60-70°. Cette orientation et le stéréogramme issus des mesures faites durant la campagne IPEV-Talisker 2013-2014 sont très similaires aux résultats des mesures de la campagne IPEV-Dylioker 2009-2010 (Figure 2.37) publiés par Mathieu et al. (2011). Toutefois, une autre orientation préférentielle de filons à environ N15E80 peut également se dégager de notre jeu de données. Ainsi, une autre interprétation peut être faite au regard de ces mesures et suggérer deux directions dominantes des plans d'injections de dykes autour d'un axe OSO-ENE et d'un autre NNE-SSO. Un travail plus fin mettant en relation orientation et chronologie relative des différents types de filons devrait pouvoir permettre d'affiner ces résultats.



Figure 2.36 : Carte illustrant les mesures de filons basaltiques et trachytiques observés sur le terrain. Par souci de lecture due à la résolution et l'échelle de la carte, toutes les mesures n'ont pu être reportées ici.



Figure 2.37 : Stéréogrammes des filons de basaltes et trachytes syn à post-plutoniques, (a et b) extraits de Mathieu et al., (2011) et (c) des données de la campagne Talisker 2013-2014.

Les différentes mesures présentées ci-dessus sont synthétisées au travers d'une coupe SSO-NNE (Figure 2.38) qui illustre la structure interne du SRBIC.



Figure 2.38: Coupe synthétique SSO-NNE du SRBIC.

# 2.5 Quantification des fabriques

La fabrique est définie comme l'orientation préférentielle de forme des minéraux d'une roche. Les roches magmatiques possèdent toujours une fabrique, aussi ténue soit-elle (voir (Bouchez, 1997) et références incluses). Dans une roche magmatique non déformée à l'état solide, la fabrique est un enregistrement de la déformation subie par le magma lors de ses déplacements à travers la croûte et de sa mise en place. Quantifier la fabrique à l'échelle d'une intrusion, c'est mesurer en de nombreux points répartis sur l'ensemble de sa surface l'orientation de la foliation (plan d'aplatissement) et de la linéation (direction d'étirement) magmatiques. C'est aussi calculer l'intensité et la forme de l'ellipsoïde de la fabrique en chaque point à l'aide des rapports d'intensités entre les trois axes de l'ellipsoïde. Les données ainsi obtenues permettent de définir le champ de déformation à l'échelle de l'intrusion. Combiné à l'étude des microstructures, ces données sont cruciales pour reconstruire l'histoire de la construction d'une intrusion.

Sans doute liée aux paramètres thermodynamiques propres aux injections lors de l'intrusion, la fabrique de forme est très peu développée dans les syénites du SRBIC. Les roches sont très isotropes, et il est très rare de pouvoir mesurer des foliations sur le terrain. Nous n'avons pu mesurer de foliation apparente sur seulement 5 affleurements pendant notre campagne de terrain (voir annexes). Pour cette raison, nous avons réalisé une quantification des fabriques par la méthode maintenant classique de l'anisotropie de susceptibilité magnétique (voir Bouchez 1997 et références incluses). Je présente ci-dessous la première étude des fabriques dans une intrusion plutonique située dans la croûte océanique par ASM.

#### 2.5.1 Microstructures

A l'exception des zones de cisaillement, les textures des roches qui composent le SRBIC sont purement magmatiques et ce dans tous les types de texture, grenue, fine ou porphyrique (Figure 2.39).



Figure 2.39 : Exemples des microstructures des syénites, a) pegmatitiques, b) grenues, c) porphyriques et c) microgrenues.

A l'image des observations sur le terrain, les roches plutoniques en lame mince ne montrent donc aucun signe particulier de déformation, d'étirement minéralogique ou de quelconque changement d'état physico-chimique influant sur leurs microstructures qui soient postérieur à leur histoire magmatique. Seuls quelques échantillons de l'unité 3 centrale montrent des figures d'altération généralisée dues à la circulation de fluides tardifs. Ces échantillons n'ont pas été utilisés pour l'ASM.

# 2.5.2 ASM

Depuis les travaux pionniers menés dans l'équipe 'Pétrophysique et Tectonique' de Toulouse à la fin du siècle dernier (voir Bouchez 1997 et références incluses), la technique de l'ASM s'est propagée dans le monde entier et a été appliquée sur des objets d'âge et de contexte très variés. Sauf erreur de ma part, c'est la première fois qu'elle est appliquée à un complexe intrusif océanique. Le protocole d'échantillonnage et de mesure est développé en annexe. Au total, 65 échantillons ont été analysés, 43 échantillons *13TKXX* prélevés lors de la mission TALISKER et 22 échantillons *TCO9-XX* prélevés lors de la mission Dylioker.

### 2.5.2.1 Minéralogie magnétique

La combinaison des mesures de la susceptibilité magnétique pour tous les échantillons, des mesures de cette susceptibilité en fonction de la température pour une sélection d'entre eux (Figure 2.40) et les observations au MEB (Figure 2.41) indiquent un comportement magnétique qui peut être qualifié de bimodal.

Quelques échantillons provenant de l'unité 3 centrale ont une susceptibilité très faible, entre 18 et 70 x 10<sup>-5</sup> SI, ce qui est typique des roches paramagnétiques sans magnétite. Cependant, l'analyse par imagerie MEB montre que les minéraux magnétiques contenus dans ces roches les plus abondants sont des ilménites associées aux phases ferro-magnésiennes. De petits cristaux de magnétite (bien moins abondant que l'ilménite) sont également présents, plutôt tardifs dans l'histoire de cristallisation de la roche. Ces échantillons sont pauvres voir dépourvus de micas noirs. La courbe de susceptibilité en fonction de la température montre un pic très marqué lors du chauffage juste avant le point de Curie de la magnétite (Tc = 580°C). Ce pic, appelé pic de Hopkinson (Hopkinson, 1890) pourrait provenir d'une néoformation de magnétite à partir du fer contenu dans les minéraux non-ferromagnétique de la roche (comme les amphiboles abondantes) et/ou de la présence de magnétite « single domain ». Le rapport ferromagnétique versus paramagnétique basé sur la modélisation d'hyperbolique de la courbe de susceptibilité (logiciel CureVal8 - AGICO) montre un comportement dominant ferromagnétique. .De plus, bien que les courbes de chauffe et de refroidissement attestent bien de la présence de Fe-Ti oxydes, celles-ci ne sont pas réversibles. Cette caractéristique atteste d'un comportement ferromagnétique perturbé, notamment avec la création de magnétite non stœchiométrique, ou de la transformation d'ilménite lors du refroidissement.

L'essentiel des échantillons ont une susceptibilité plus forte, entre 100 et 5000.10<sup>-5</sup> SI, ce qui est typique de roches ferromagnétiques. Les courbes de susceptibilité en fonction de la température sont toutes réversibles avec une  $T_c$  atteinte autour de 580°C attestant de la présence de magnétite. L'imagerie MEB montre que les phases magnétiques sont toutes des Fe-Ti oxydes. Ils sont généralement subautomorphes et de grande taille (de l'ordre de la 100aine de microns). Ces Fe-Ti oxydes sont caractéristiques car ils présentent toujours des phases d'exsolutions dans les plans de clivages et/ou d'intercroissance d'ilménite dans la magnétite. L'imagerie et l'évolution de la susceptibilité en fonction de la température confirment donc le caractère ferromagnétique de ces roches riches en oxydes de Fe-Ti.



Figure 2.40 : Planche du signal de susceptibilité magnétique par échantillon en fonction de la température. G correspond au groupe pétrographique (voir Chapitre 4).



Figure 2.41 : Planche photographique des différents habitus de la minéralogie magnétique en imagerie électronique (MEB).

La fabrique magnétique des roches du SRBIC et de ses satellites est donc liée à la fabrique de forme des Fe-Ti oxydes. Ces minéraux apparaissent tout au long de la séquence de cristallisation des syénites (voir Chapitre 4). Ils sont donc soit (i) précoces et cristallisés directement à partir du magma sous la forme de grains de grande taille, inclus dans les feldspaths et associés aux phases ferro-magnésiennes, soit (ii) secondaires et liés à des transformations sub-solidus de certaines des ces phases silicatées ferromagnésiennes (iii) soit liés aux dernières phases de cristallisation magmatique. Dans les unités 1 (externe) et 2 (intermédiaires) ces minéraux sont des magnétites « multi-domain » à exsolutions d'ilménite. Tandis que dans la plupart des roches de l'unité 3 (centrale), les plus précoces sont des ilménites et les plus tardifs (moins abondants et plus petits) sont des magnétites. Dans tous les cas,

l'orientation préférentielle de forme des grains magnétiques a donc été acquise en même temps que celle des silicates qui constituent l'essentiel de la roche, et reflète bien la fabrique générale de la syénite.

### 2.5.2.2 Orientation de la fabrique magnétique

L'orientation de la fabrique magnétique est raisonnablement bien définie, avec des moyennes des valeurs propres de la matrice des cosinus directeurs (proche de 1 quand toutes les carottes issues d'un même échantillon donnent les mêmes directions, et proche de 0 quand c'est dispersé) et des demi angles des ellipses de confiance ( $2\sigma$ ) de 0,82, 42°, 15° et 0,84, 39°, 14° pour Kmax et Kmin respectivement. Le détails des mesures est reporté en annexe.

La foliation a un pendage moyen à fort (moyenne de 56°) qui diminue de la périphérie vers le centre du SRBIC. Elle définit donc une structure en dôme centrée sur les faciès inférieurs et centraux qui sont aussi les plus jeunes (Figure 2.42). Les pendages sont le plus souvent vers l'extérieur, mais des contre-pendages existent. Les foliations sont donc en moyenne parallèles aux litages magmatiques observés sur le terrain. L'extrapolation et l'interprétation des trajectoires de foliations au travers de plusieurs cartes met en évidence ce résultat (Figure 2.42). La partie est de la péninsule compte peu de mesures et leur interprétation semble à première vue incohérente avec le reste des trajectoires. Plus de détails permettraient de mieux visualiser ce changement d'orientation ( qui ne remet pas en cause les conclusions de cette étude).



Figure 2.42 : Carte des trajectoires de foliations, stéréo issus de l'ASM et diagramme de fréquence des plongements.



Figure 2.43: Cartes interprétatives des trajectoires de foliation à l'échelle du complexe. a) extrapolation courte des plans mesurés (bleue) ; b) extrapolation à plus grande longueur d'onde (vert) ; c) interprétation issues de a et b, proche des données (noir) et incohérences (rouge) ; d) autre interprétation possible moins précise que la précédente.

La linéation a une orientation plutôt nord-sud au centre du complexe (unité 3). En allant vers l'extérieur du complexe, elle tend à se paralléliser progressivement au contact intrusif du SRBIC/basaltes de plateau, au sein des unités 2 puis 1 (Figure 2.44 et Figure 2.45). Le plongement de la linéation est faible à moyen (moyenne de 31°). Certaines zones montrent des linéations croisées sur des échantillons proches (Figure 2.44).Tout comme pour les foliations, le faible nombre de mesures dans la région du Val de Longue Attente ne permet pas de faire une interprétation satisfaisante des trajectoires des linéations.



Figure 2.44: Carte des linéations, stéréo issus de l'ASM, et diagramme de fréquence des plongements.



Figure 2.45 : Carte des trajectoires de linéations interprétées.

Les foliations à contrependage et les linéations croisées montrent une hétérogénéité spatiale de la déformation interne ('strain') subie par le magma lors de son injection, et donc des différences de déformation finie locales. Ceci pourrait être mis en relation avec les réinjections successives observées sur le terrain, qui impliquent que les fabriques peuvent être diachrones à l'échelle d'un affleurement, et qu'elles n'ont donc pas accumulé la même quantité de déformation.
### 2.5.2.3 Paramètres intensifs

La susceptibilité moyenne (Km = (K1 +K2 + K3)/3) se distribue entre 18 et  $6772.10^{-5}$  SI, avec un maximum de sites entre 1000 et  $1500x10^{-5}$  SI (Figure 2.46) et une moyenne de  $1983.10^{-5}$  SI. La répartition spatiale de la susceptibilité montre une zonation claire avec des susceptibilités très faibles, au centre de l'intrusion dans l'unité 3, et des susceptibilités plus fortes, ferromagnétiques, tout autour dans les unités 1 et 2, sans aucune zonation particulière visible à l'échelle de ces deux unités (Figure 2.47).



Figure 2.46 : Fréquences des différents paramètres intensifs (Km, P%, T).



Figure 2.47 : Carte de répartition de la susceptibilité magnétique mesurée sur le SRBIC.

L'anisotropie totale, exprimée par le paramètre Pp% corrigé du diamagnétisme en raison de susceptibilités faibles (Pp% = 100\*((K1+14)/(K3+14)-1)), se distribue entre 0,46 et 9,86 avec une valeur moyenne de 2,49 et un maximum de sites ayant une valeur comprise entre 1 et 2,5% (Figure 2.46). La distribution spatiale de l'anisotropie totale ne montre aucune répartition particulière à l'échelle du SRBIC, bien que les sites les plus anisotropes semblent appartenir à l'unité 1 la plus externe.

Les relations entre Km et Pp% ne montrent pas de relations particulières à l'échelle du complexe ou à l'échelle des différentes lithologies et textures rencontrées (Figure 2.48).

Le paramètre de forme T varie entre -0,84 et 0,98, avec une valeur moyenne de 0,13 et un maximum de sites ayant un ellipsoïde aplati avec une valeur comprise entre 0,6 et 0,2 (Figure 2.46 et Figure 2.48). La distribution spatiale du paramètre T ne montre aucune répartition particulière à l'échelle du SRBIC. Les relations entre Pp% et T ne montrent pas de relations particulières, ni à l'échelle du complexe ni en fonction des différentes textures rencontrées (Figure 2.48).



Figure 2.48 : Corrélation des paramètres intensifs d'anisotropie magnétique en fonction des textures rencontrées ; a) T vs. Pp% et b) Pp% vs. Km.

# 2.5.3 Synthèse de l'analyse des fabriques

L'étude de la fabrique que j'ai réalisée apporte des informations importantes sur la structure interne du SRBIC révélatrice de sa construction. Les fabriques observées dans le SRBIC sont sans conteste des fabriques magmatiques. Elles constituent donc l'enregistrement de la déformation subie par le magma lors de son injection dans le site de mise en place. Les fabriques magnétiques confirment les observations et mesures de terrain. Les foliations sont parallèles aux contacts externes et internes du SRBIC qui tournent à l'échelle du complexe. Elles confirment donc la structure en dôme centrée sur le faciès le plus jeune qui est quantifiée plus précisément à l'échelle de l'échantillon. Les linéations montrent également une évolution depuis les facies syénitiques centraux (linéation N-S) vers les faciès externes (linéation de plus en plus parallèle au contact SRBIC/basaltes de plateau en s'approchant de ce dernier). Ces fabriques sont diachrones à l'échelle du complexe puisque les relations de terrain montrent un rajeunissement vers le centre du complexe. Les fabriques des unités externes, unité 2 mais surtout unité 1, représentent donc un enregistrement plus long, et donc aussi vraisemblablement une quantité de déformation finie accumulée plus grande. Ceci peut expliquer par exemple l'évolution de la direction de la linéation du centre vers la périphérie du complexe. Les fabriques sont également diachrones à l'échelle d'une unité voire d'un affleurement, puisque les relations de terrain montrent localement des structures de réinjection et de recoupement. Finalement, l'analyse des fabriques montre un message cohérent à l'échelle du SRBIC qui apporte des contraintes sur la dynamique de mise en place des différentes roches qui composent les grands ensembles structuraux. L'interprétation de ces fabriques et la mise en relation avec les résultats dans les différents aspects de ce travail de thèse sont développées dans la discussion (voir discussion, Chapitre 7).

# 2.6 Synthèse structurale

L'ensemble des données de terrain et des données structurales a été intégré sous la forme de coupes géologiques synthétiques (Figure 2.31, Figure 2.38). Ces coupes montrent que le SRBIC est constitué de l'empilement de grandes 3 unités magmatiques principales concentriques, qui sont de la bordure vers le centre, les unités 1, 2 et 3. L'unité 3, située structuralement sous les deux autres, est plus jeune que l'unité 2 qui est plus jeune que l'unité 1.

Ces trois unités principales montrent une structure interne magmatique définie par une alternance de roches de nature et de texture variées (monzogabbros, monzodiorites, syénites grenues, fines, pegmatitiques, et porphyriques). Une telle alternance ne s'observe en réalité qu'au sein de l'unité 1, la plus vielle du complexe (Figure 2.19). Les unités 2 et 3 montrent uniquement des alternances entre syénites grenues et fines, ainsi qu'un réseau de veines pegmatitiques plus ou moins co-structurées (Figure 2.32). La quantité de syénite fine ou microsyénite diminue vers le centre de l'intrusion tandis que la syénite porphyrique s'observe surtout au sein de l'unité 1 et au contact entre unité 1 et 2 (Figure 2.18 et Figure 2.49).

		Unité 1	Unité 2	Unité 3	
en sills ou	Monzo-gabbro/diorites				
lentilles, formant le pluton (sensu	syénite grenue		1		
	syénite fine				-
	syénite pegmatitique			i and the second se	+
stricto)	syénite porphyrique				-
	filons T+B précoces				0
dykes	filons intermédiaires				1.5
	filons T+B tardifs				
déformation	zones de cisaillement				

Figure 2.49: Diagramme d'occurrences des différentes lithologies et déformations au sein des unités structurales du SRBIC.

Ces alternances définissent un litage magmatique qui est concentrique et concordant depuis le contact externe avec les basaltes jusqu'au centre du complexe intrusif. Ce litage magmatique montre un pendage vers l'extérieur du complexe qui diminue de la périphérie vers le centre du SRBIC (Figure 2.33). La coupe (Figure 2.38) montre une épaisseur structurale de syénite (sensu lato) d'environ 2,5 km pour les unités 1 et 2, et d'au moins 4 km pour l'unité 3.

La structure du SRBIC peut ainsi être définie comme un empilement de sills / lentilles de magmas concordants et co-structurés, à pendage centripète croissant vers les bordures. La variation progressive de l'âge relatif et du pendage des injections depuis le centre plus jeune et sub-horizontal, jusqu'à la périphérie plus ancienne et parfois fortement pentée, peut être interprétée comme une évolution temporelle. Les injections les plus anciennes auraient été progressivement soulevées et basculées par les injections plus jeunes sous accrétées. Cette hypothèse est confortée par la géométrie des basaltes de plateau et leur changement d'orientation à l'approche du SRBIC. La formation du SRBIC provoquant leur soulèvement est un argument déterminant pour une interprétation alternative au modèle de construction par subsidence en chaudron précédemment proposé par Marot et Zimine (1976) et (Lameyre et al., 1976), lequel fut repris plus tard (Giret, 1983; Bonin et al., 2004).

Malgré cette géométrie au premier ordre assez simple, l'histoire magmatique est compliquée. Les injections multiples formant l'alternance magmatique sont le plus souvent co-structurées mais parfois se recoupent. Ce signal simple à grande échelle est donc perturbé par endroit lorsque l'échelle se réduit à celle de l'affleurement. Les différentes textures de roches formant cette alternance révèlent des variations thermodynamiques de mise en place influant sur les vitesses de refroidissement d'une injection à l'autre. La diminution volumétrique de microsyénite vers le centre du SRBIC semble révélatrice d'une certaine homogénéisation de ces conditions thermodynamiques dans le temps (voir Chapitre 7). La présence de la syénite porphyrique est uniquement associée au contact externe SRBIC/basaltes de plateau, à la zone d'alternance entre injections intermédiaire/mafiques syn à tardi-plutonisme. Cette texture est donc exclusivement observée dans les premiers temps de la construction du SRBIC et ce, dans les zones de forts contrastes structuraux et compositionnels. Sans pouvoir formuler d'explications claires, l'apparition de cette texture semble toutefois liée aux fortes variations de la dynamique magmatique dans les niveaux plus profonds que ceux de la mise en place.

Les caractéristiques des zones de déformations ductiles, ductiles-fragiles et cassantes montrent une liaison évidente avec la construction du SRBIC (e.g. orientation des zones de cisaillement, cinématique). Elles impliquent nécessairement que les injections les plus jeunes déforment et déplacent des injections antérieures déjà parfois largement voire totalement cristallisées. L'existence de plusieurs types de contact magmatiques entre les injections successives montre que ces dernières sont séparées par des périodes de

silence magmatique de durée variable permettant une cristallisation plus ou moins avancée des injections déjà en place. Ceci est cohérent avec des zones où l'intensité de déformation est plus ou moins marquée.

L'orientation des fabriques (Figure 2.42 et Figure 2.43) confirme le schéma général issu des seules observations de terrain et montre le contrôle structural exercé par le contact supérieur sur lequel se moulent les foliations des syénites. La linéation (Figure 2.44 et Figure 2.45) montre une direction nordsud au centre du complexe, qui pourrait être interprétée comme une direction d'injection à partir d'un filon E-O ou ESE-ONO, linéation qui se parallélise ensuite au contact externe par rotation progressive liée à la déformation induite par les injections successives.

Enfin, tous les résultats obtenus sur la structure du SRBIC et présentés dans ce chapitre sont incompatibles avec un modèle de construction par subsidence en chaudron. Ces résultats nous conduisent à proposer un modèle de construction alternatif de type laccolithe. Ce modèle est développé en parallèle des résultats géochronologiques (à la fin du chapitre suivant), dans un article soumis à la revue Geology, ainsi que dans la discussion de cette thèse (voir Chapitre 7).

# Chapitre 3 : Géochronologie et implications

Les datations existantes sur le complexe sud de la péninsule de Rallier du Baty ont toute été réalisées avant 1980 par méthode K-Ar et Rb-Sr. Au vu des problèmes de datations rencontrés sur le reste de l'archipel avec ces mêmes méthodes (notamment sur le massif intrusif des montagnes vertes plus vieux que son encaissant basaltique ou des problèmes de « reset ») ; des premières datations (Lameyre et al., 1976) publiées puis retravaillées (Dosso et al., 1979), il est apparu nécessaire de clarifier la géochronologie des roches plutoniques de Rallier du Baty. Une étude géochronologique par mesure isotopique du système U-Pb a donc été réalisée. La robustesse des datations absolues par U-Pb n'est aujourd'hui plus à démontrer. Les roches plutoniques felsiques étant majoritaires sur la péninsule et contenant bon nombre de zircons, cette méthode a été appliqué in-situ sur zircons séparés et lames épaisses. Cette étude, qui est la première utilisant le système U-Pb sur le complexe sud de Rallier du Baty, s'est révélée nécessaire pour comparer, préciser et affiner les données existantes ainsi que pour contraindre et comprendre la construction de ce pluton.

La préparation de 32 échantillons pour la géochronologie (séparation aux liqueurs denses, séparation magnétique au Frantz et réalisations de lames épaisses 100µm) a été réalisée au laboratoire GET (Toulouse, France). Les zircons ont été extraits à partir de 24 échantillons (entre 3 et 5kg) prélevés sur le terrain (campagne Dylioker 2009 et campagne Talisker 2013). Ces échantillons ont été sélectionnés en tenant compte des observations de terrain et sont considérés représentatifs de l'histoire du complexe plutonique.

# 3.1 Protocole de séparation minérale

Ces échantillons ont subi une série de concassage/broyage et tamisage successifs afin de récupérer une fraction tamisée <500µm. Durant ce processus plusieurs échantillons ont été « sur-broyés ». Ce mauvais réglage est la cause d'un certains nombre de zircons cassés et explique, en plus d'un manque de temps, la non-analyse systématique des cœurs et bordures. La fraction <500µm récupérée a ensuite subi une séparation gravimétrique à l'aide d'une table à secousse. Cette table est un dispositif qui permet, via un flux d'eau constant et un angle de la table adéquat, de séparer l'échantillon en plusieurs fractions contenant chacune des minéraux de densités différentes. Une fois séchée la fraction contenant les zircons subit une première étape de séparation densimétrique. Petit à petit, cette fraction a été mélangée à une liqueur de tetra-bromoethane dans une ampoule à décanter. Le tétra-bromoethane est une liqueur dite « dense » de densité 2,97 g/cm<sup>3</sup> lorsqu'elle est pure. Les minéraux plus lourds comme le zircon (d = 4.85g/cm<sup>3</sup> pur) sont donc récupérés dans une nouvelle fraction « lourde ». Après cette étape, on remarque aisément les nombreux minéraux sombres des roches grenues de Rallier du Baty auparavant noyés dans la masse feldspathique. Ces minéraux sont des minéraux ferromagnésiens comme les amphiboles et des minéraux magnétiques comme la magnétite. C'est pourquoi, la fraction précédemment récupérée a alors subi une étape de séparation magnétique isodynamique. Le Frantz est un appareil constitué de deux électroaimants à l'intérieur desquels se trouve une réglette vibrante où circule l'échantillon et permet aux minéraux magnétiques d'être séparés via l'ampérage des deux électroaimants. La fraction purifiée subit une dernière étape de séparation densimétrique dans une liqueur de di-iodomethane (ou diiodure de méthylène) à d =  $3.3 \text{ g/cm}^3$ . Cette dernière étape permet notamment de séparer les zircons des apatites (d = 3.2 g/cm<sup>3</sup>). Une partie des apatites extraites a partir de ces échantillons ont servit a une étude thermochronologique sur la province plutonique de Rallier du Baty (F.Ahadi et al., in progress). Finalement, les zircons présentant le moins de défauts (externes et internes) ont été sélectionnés et « pickés » pour être disposés et coulés dans l'époxy. Une fois les plots (ou sections) secs, ils ont été polis jusqu'à une taille de poli d'alumine de 3µm, pour laisser apparaitre une surface de zircon satisfaisante.

# 3.2 Caractéristiques internes et externes des zircons du SRBIC

# 3.2.1 Coloration et morphologie

L'un des caractères communs à tous les zircons extraits des roches du SRBIC est leur spectre particulier de couleur qui les classe dans une série de type rose-rouge. En effet, ce spectre s'étend de termes faiblement colorés à des zircons de teintes foncées rose-orangées (Figure 3.1). Définie comme une série rose-rouge en opposition à une série jaune-brune par les joailliers, ce spectre est décrit sous le nom de « hyacinthe » en distinction de celui du « jargon » (Romé De l'Isle (de), 1772). Aujourd'hui, seul le terme de « hyacinthe » est resté dans le vocabulaire des gemmologues (G.Guiliani, communication personnelle). La couleur rose-rouge semblerait être acquise avec les dommages structuraux induits par la désintégration radioactive du thorium et de l'uranium (Fielding, 1970). La désintégration de type *a* induirait un certain désordre interne et activerait certains « centres » de couleur par déplacements électroniques pouvant changer l'absorption lumineuse. Certains de ces centres (Nd<sup>3+</sup>, Dy<sup>3+</sup>, Sm<sup>3+</sup>, Tb<sup>3+</sup>, Gd<sup>3+</sup>, Eu<sup>3+</sup>, Cr<sup>3+</sup>, Y<sup>3+</sup>, Nb<sup>4+</sup>) ont été identifies par cathodoluminescence (Fielding, 1970; Götze et al., 1999; Blanc et al., 2000; Remond et al., 2000; Nasdala et al., 2002; Timms and Reddy, 2009; Klinger et al., 2012) et joueraient donc un rôle dans l'accumulation de la couleur rose. En relation avec la désintégration radioactive, le temps écoulé depuis la cristallisation et le refroidissement serait aussi lié à l'accumulation de la couleur (Garver and Kamp, 2002; Garver, 2014).



Figure 3.1: Photos prises à différentes échelles (a, b et c) et schémas de zircons caractéristiques du SRBIC, montrant le développement préférentiel de la pyramide {101} et du prisme {100}, ainsi qu'un léger développement des faces {211} plus rare.

Il est reconnu depuis longtemps que les zircons ont des morphologies variables et que leurs structures internes ont une signification pétrogénétique (Poldervaart, 1955). L'identification des caractères optiques externes et internes dominants des zircons du SRBIC à été réalisée de façon qualitative à la loupe binoculaire sur les fractions minérales séparées. Leurs morphologies sont relativement bien exprimées par des zircons majoritairement automorphes à sub-automorphes. Ces morphologies correspondent au développement préférentiel de la pyramide {101} et de la face {100} du prisme. Il apparait quelque fois que la face {211} soit aussi légèrement développée (Figure 3.1).

La classification de Pupin, établie en 1980 et basée sur une étude comparative des différentes morphologies de zircons, a permis de distinguer le système magmatique dans lequel ces zircons ont cristallisé grâce a la comparaison avec un indice d'alcalinité. Par effet de réciprocité, la morphologie est donc révélatrice du contexte géodynamique dans lequel les zircons cristallisent. Ainsi, corroborée par leurs morphologies, les zircons du SRBIC issus de roches appartenant à une série plutonique sur-saturée en Si sont donc bien typiques d'un système fortement alcalin et se classent dans la catégorie des zircons de granites hypersolvus à transsolvus (Figure 3.2). De plus, cette classification établit un parallèle entre la température de cristallisation et la morphologie des zircons observés avec une précision relative qui permet toutefois d'estimer des températures de cristallisation comprises entre750 et 950°C pour les zircons du SRBIC.



Figure 3.2: Classification morphologique qualitative des zircons de Rallier-du-Baty, adaptée d'après (Belousova, 2005), modifiée d'après Pupin (1980). Contour noir : domaine des séries alcalines ; contour pointillé rouge : domaine des zircons de granites transsolvus (d'après Pupin, 1980) ; contour plein rouge : domaine des zircons de Rallier-du-Baty.

Les zircons de Rallier-du-Baty ont des tailles qui varient en fonction de l'échantillon considéré, mais majoritairement comprises entre 200 ( $\pm$ 100) et 400 ( $\pm$ 100)  $\mu$ m pour les syénites. Ils sont toujours allongés parallèlement à l'axe c. L'élongation, définie par le rapport longueur/épaisseur, est toutefois relativement faible, majoritairement comprise entre 1.5 et 2. Les études morphologiques sur zircons conduites depuis les années 70 ont montré que l'élongation est dépendante de la vitesse de refroidissement du magma dans lequel le minéral à cristallisé (Corfu et al., 2003). Ainsi, plus la vitesse de refroidissement est rapide plus les zircons sont allongés selon l'axe c (Kostov, 1973). Pour exemple, les zircons aciculaires sont surtout retrouvés dans les laves, mais aussi en moindre abondance dans les intrusions porphyriques, subvolcaniques, granites et gabbros de hauts niveaux crustaux (Zimmerle, 1975; Corfu et al., 2003). Bien que les roches plutoniques du SRBIC puissent se retrouver dans cette description, les très rares zircons aciculaires n'ont été observés qu'au sein des monzo-gabbros/diorites et une seule syénite (TC09-06). Compte tenu du contexte géodynamique du SRBIC et de la faible élongation de ses zircons, il est cohérent d'impliquer des vitesses de refroidissement des roches plutoniques suffisamment lentes pour que les zircons puissent croitre efficacement le long des axes a et b. Cette hypothèse simple basée sur des travaux précoces doit être modérée par les résultats d'études plus récentes utilisant des techniques de cathodoluminescence et d'analyses à la microsonde. Ces dernières invoquent d'autres facteurs (tels que la composition du magma, le taux de saturation en zirconium, la dynamique d'incorporation des éléments traces et le contenu en uranium du milieu; (Vavra, 1990, 1993; Benisek and Finger, 1993 parmi d'autres) pouvant jouer un rôle plus significatif que la température et la vitesse de refroidissement des roches hôtes dans la croissance cristallographique des zircons. Les zircons de plus grandes tailles ont été extraits et observés au sein des roches de l'unité 3, tandis que celles des unités 1 et 2 contiennent des zircons avec une grande variabilité de taille indépendamment de leur localisation et de la texture de leur roche hôte. Seuls les zircons extraits des monzo-gabbros/diorites sont majoritairement plus petits que ceux des syénites. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que la saturation en zirconium n'est atteinte que tardivement dans le cas des roches mafiques/intermédiaires comparativement aux syénites, conduisant à des faces peu développées (Corfu et al., 2003).

# 3.2.2 Structures internes

Les différentes caractéristiques internes (et externes) des zircons du SRBIC sont reportées dans la Figure 3.3 et Figure 3.4 au travers de plusieurs exemples de zircons séparés. Ils montrent tous des zonations oscillatoires superposées à des zonations en secteurs (OZ pour Oscilatory Zoning et SZ pour Sector Zoning) plus ou moins prononcées en fonction des échantillons. Les trois grands type de zircons rencontrés sur le complexe plutonique sont reportés dans la Figure 3.4a, b et c.

Il est communément admis que la zonation oscillatoire est la conséquence d'une succession de couches cristallisée en trois dimensions et suivant la même morphologie durant la croissance du minéral. Ces franges concentriques peuvent être d'épaisseur variables et sont visibles grâce à leur différentes contenus en éléments traces incorporés lors de leur cristallisation et impliquant des changements dans les émissions cathodoluminesentes (e.g. Benisek and Finger, 1993; Hoskin, 2000). Les zonations oscillatoires des zircons du SRBIC sont composés de couches fines (<5µm; Figure 3.3 et Figure 3.4). Les mécanismes exactes responsables de ce type de zonation sont encore débattus mais semblent simultanément régis par la variation temporelle de la composition du liquide dans lequel le cristal grandit et la cinétique des échanges solides liquide à l'interface du minéral (e.g. Halden and Hawthorne, 1993). Ainsi, de par ces caractéristiques physico-chimiques tels que sa composition, son état d'oxydation et sa saturation en zirconium, l'environnement de croissance contrôle les zonations qui forment la structure interne du zircon (e.g. Mattinson et al., 1996).



Figure 3.3: Exemples de morphologies et structures internes des zircons du SRBIC sous lumière polarisée et cathodoluminescence. En dépit de leur contenu en inclusions, les zircons montrent tous des zonations en secteurs et des zonations oscillatoires plus ou moins prononcées.

Tout comme les OZ, les zonations en secteur sont souvent observées dans les zircons (Vavra, 1990) et références précédentes). Ce type de zonation découpe généralement les minéraux en plusieurs zones qui séparent généralement les secteurs pyramidaux des prismatiques comme c'est le cas des zircons de la Figure 3.3 et Figure 3.4b. Hoffman and Long (1984) ont premièrement décrit ces zonations en secteur comme résultant d'une croissance anomalique. Elles sont plutôt considérées aujourd'hui comme résultant de l'incorporation différentielle en éléments traces dans les différentes portions du crystal en relation avec l'orientation cristallographique de la surface en croissance. La diffusion élémentaire

intracristalline étant bien plus lente que le taux de croissance, la ré-équilibration avec le liquide n'est pas complétée lorsque sont incorporés les éléments traces (Watson and Liang, 1995). Ces auteurs suggèrent que tous les zircons doivent être zonés en secteurs mais que nous ne sommes pas capables de détecter pour le moment toutes les occurrences. Quoiqu'il en soit, les structures zonées des zircons du SRBIC sont typiques de zircons magmatiques, attribuées à la cristallisation de minéraux provenant d'un unique événement pétrogénétique et issus d'un liquide ayant évolué et/ou perturbé dans le temps (Vavra, 1990; Pidgeon, 1992; Rubatto and Gebauer, 2000; Hanchar and Watson, 2003; Miller et al., 2003).



Figure 3.4: Photos en lumière naturelle (a, c, e) et cathodoluminescence (b, d, f) de plusieurs zircons caractéristiques du SRBIC illustrant les différent types de structures internes rencontrées. Tous contiennent des inclusions en quantité variable. a) échantillon 13TK70, zircon cristallisé avec un développement caractéristique du prisme 100 et de la pyramide 101, et une variation de coloration laissant apparaitre un zoning en secteurs. c) échantillon TC09\_82, zircon cristallisé avec un développement préférentiel du prisme 100 et de la pyramide 101 avec un léger développement des faces 211. e) échantillon 13TK31, zircon montrant une zonation de couleur du cœur vers la bordure, et la même morphologie que (a et c). (b) même zircon que (a), montrant une zonation oscillatoire et en secteur très prononcé. (d) échantillon TC09\_82, zircon montrant une zonation oscillatoire très contrastée, ainsi que des limites de résorptions bien visibles aux angles entre les différentes faces de croissance. (f) même zircon que (e) montrant un cœur avec une zonation oscillatoire et en secteur, suivit d'une limite de résorption majeure. Cette surface délimite une bordure montrant une zonation oscillatoire. Les zircons (a) et (c) représentent la majorité des zircons séparés au sein des syénites du SRBIC.

Au-delà de la majeure partie des zircons du SRBIC décrite plus haut et dont les exemples sont illustrés dans les Figure 3.3 et Figure 3.4a,b,c ; un autre type de zircon dont la structure interne diffère des précédents a pu être observé. Ils se caractérisent, en plus des SZ et OZ, par la présence de zones de résorption (Figure 3.4d). Ces zones de résorptions apparaissent principalement à l'extrême bordure des minéraux, mais peuvent s'observer rarement plus proches du centre du cristal dans certains échantillons. Ces zones sont visibles en cathodoluminescence car elles s'appuient sur une surface qui semble recouper la morphologie définie par les précédentes franges de croissance du minéral. Cette limite courbée est donc plus facile à observer aux angles entre les différentes franges de croissance (Figure 3.4d). De plus, une telle limite peut apparaitre plusieurs fois au sein du même minéral et définir autant de zones de résorption (Figure 3.4d et Figure 3.4f). Ce genre de discontinuités texturales ont été reportées au travers de nombreuses études (Corfu et al., 2003; Hoskin and Schaltegger, 2003; Köksal et al., 2008). Elles sont désormais largement attribuées à des phénomènes de dissolution où la saturation en zircon du liquide

magmatique n'est plus atteinte pendant une période de temps plus ou moins courte. Ces épisodes pourraient provenir d'anomalies cinétiques locales, de processus de mélange à différentes échelles, jusqu'à des phénomènes cycliques de croissance/dissolution pendant une longue période d'injection magmatique. D'autre part, Pidgeon and Compston (1992) ont proposé que les zircons aient pu subir plusieurs phases de cristallisation dans différentes parties d'un même magma de composition nonhomogène à échelle inconnue avant d'atteindre leur position finale. Ces zones de résorption sont donc des témoins de changement plus ou moins important et d'origine variables dans l'environnement magmatique durant la cristallisation du zircon.

Un dernier type de structure interne a été observé parmi les zircons de rares échantillons du SRBIC (Figure 3.4e et Figure 3.4f). Ce type de zircon présente un cœur avec des zonations oscillatoires et en secteur moins prononcés que pour les zircons précédents dus à une différence moins grande de contraste entre les différentes surfaces de croissance. Ce cœur est entouré par une couronne qui montre également des zonations oscillatoires. Tout comme le zircon Figure 3.4d, les zonations oscillatoires de cette bordure présentent plusieurs zones de résorption. Mais à la différence du zircon Figure 3.4d, la limite de résorption la plus proche du centre du zircon Figure 3.4e et Figure 3.4f est très rugueuse et marque clairement une importante surface de dissolution dans l'histoire de ce minéral. Cette limite majeure de résorption forme une discontinuité structurale et mène a distinguer un cœur magmatique d'une bordure magmatique. En effet, bien que les surfaces de résorption importante soit communes pour les zircons métamorphisés, de telles discontinuités texturales peuvent également se retrouver dans les zircons magmatiques. De plus, la zonation oscillatoire bien prononcée dans cette bordure qui suit la morphologie de croissance du cœur, bien que recoupé par une zone de résorption majeure, supporte cette origine uniquement magmatique. Au contraire, les zircons non-magmatiques présentent des zones déstructurées (patchy areas) et des zonations rarement visibles (Pidgeon, 1992; Hanchar and Miller, 1993; Corfu et al., 2003; Hoskin and Schaltegger, 2003). Sur le zircon Figure 3.4e et Figure 3.4f, la zone qui semble déstructurée correspond à un plan d'inclusions entre le cœur et la bordure. Bien que celui-ci soit visible en cathodoluminescence, ce zircon montre plusieurs plans d'inclusions du même type qui suivent les différente faces de croissance du minéral.

Les observations microscopiques des structures internes ont donc montré : (i) un 1<sup>er</sup> type de zircon, largement dominant au sein des roches du SRBIC ; bien structuré avec des OZ et SZ bien prononcées ; (ii) un 2<sup>eme</sup> type de zircon, minoritaire, avec des caractéristiques semblables au 1<sup>er</sup> type mais qui montrent de multiples surfaces fines de résorption ; et (iii) un dernier type de zircon rare et spécifique à certains échantillons ; montrant une surface de dissolution majeure délimitant un cœur et une bordure magmatique.

Les observations microscopiques ont également permis de relier directement la couleur des zircons à leur structure interne. Il apparait en effet que la couleur n'est pas repartie de façon homogène au sein d'un même cristal (Figure 3.4a, c, e). Chaque frange de croissance formant les OZ ayant une émission propre en CL semble également avoir une couleur propre en lumière naturelle. Plus l'intensité de l'émission lumineuse en cathodoluminescence est forte plus la couleur rose est foncée en lumière naturelle. Comme l'émission en cathodoluminescence est un signal complexe issus de plusieurs centres d'émission, il est difficile de savoir quels éléments, incorporés dans la structure du zircon, sont directement responsables de la coloration. Cependant, il est communément accepté que les zones de forte émission-CL sont des zones enrichies en REE<sup>3+</sup> (surtout en Dy<sup>3+</sup>), tandis que les faibles émissions sont attribuées à des zones enrichies en U, Th et Y (e.g. Köksal et al., 2008). C'est pourquoi, même si les éléments traces peuvent être

impliqués, il semble que les fortes concentrations en U, Th et Y (ainsi que leur propre irradiation) soient les principaux éléments responsables de la coloration des zircons du SRBIC.

# 3.2.3 Inclusions

Le dernier critère qui définit les zircons du SRBIC est leur grand nombre d'inclusions (Figure 3.5 et précédentes). Elles sont le plus souvent constituées de phases solides telles que des minéraux allongés d'apatite, mais également de phases fluides ou vitreuses. Les premières s'observent aussi bien dans les plans qui délimitent deux franges de cristallisation successives qu'à l'intérieur du crystal en recoupant la morphologie de croissance sans direction préférentielle. Tout comme les inclusions solides, les inclusions fluides suivent les plans de cristallographie de minéral en croissance. Mais elles apparaissent également dans des plans de faiblesse du cristal, qui peuvent être les précédents ou bien des fractures plus tardives recoupant une partie du minéral. Dans certains spécifiques, ces dernières mènent à un réarrangement de la structure et probablement une légère recristallisation dans des espaces très localisés. Cette observation est illustrée en Figure 3.4e Figure 3.4f où ce type d'inclusions donne lieu a une texture poreuse en CL et sous lumière réfléchie. Cette même texture s'observe pour les zircons b et c de la Figure 3.5, où la bordure à subit une désorganisation de sa structure ainsi que vers l'intérieur du minéral via une inclusion précoce.



Figure 3.5: Exemples d'inclusions rencontrées au sein des zircons du SRBIC, telles que (a) des inclusions d'apatite qui sont de loin les plus courantes, et (b et c) d'autres inclusions solides (± fluides ?vitreuses ?) incorporées dans la structure via une fracturation et restructuration tardive.

Ces textures poreuses semblent révélatrices d'un ou plusieurs épisodes tardifs plus ou moins important de circulation de fluides hydrothermaux dans l'histoire de cristallisation des zircons de quelques échantillons. Ces échantillons se repartissent inégalement sur le SRBIC et notamment proches de points de résurgence de fluides hydrothermaux ou « sources chaudes ».

# 3.3 Protocole d'analyse et traitement des données U-Pb

Les cristaux de zircon ont été séparés à partir de 24 échantillons sélectionnés et identifiés sur 8 lames épaisses (100  $\mu$ m d'épaisseur). La micro-caractérisation par cathodoluminescence et les mesures U-Pb par LA-ICPMS ont toutes été effectuées au Centre GEMOC / CCFS, Université Macquarie, Sydney (Australie). Les structures internes des cristaux ont été étudiées par cathodoluminescence sur un MEB Zeiss EVO MA15. Les grains de zircons ont pu être datés via l'ablation en utilisant un laser (Photon Analyte G2 Excimer 193nm) couplé à un ICP-MS (quadripôle Agilent 7700cx). Les procédures analytiques appliquées au cours de cette étude pour la datation U-Pb sont ont été décrites en détails précédemment (Belousova et al., 2001; Griffin et al., 2004; Jackson et al., 2004). Un diamètre de faisceau d'environ 40  $\mu$ m avec un taux de répétition de 5 Hz et une énergie d'environ 0,06  $\mu$ J et 8 J/cm<sup>2</sup> a été utilisé pour l'ablation. Une minute d'acquisition sur le « background » et deux minutes d'acquisition sur le signal ont été appliquées pour chaque analyse. Ce balayage rapide sous conditions d'He permet de minimiser le bruit de fond

pendant les mesures d'ablation. Un étalon de zircon isotopiquement homogène a été utilisé pour obtenir une correction précise du fractionnement U / Pb dans des conditions d'ablation constante. 10 grains de zircons ont été encadrés par des paires d'analyses de l'étalon GEMOC GJ-1 zircon (Elhlou et al., 2006). Ce standard a un âge TIMS <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb de 608,5 Ma (Jackson et al., 2004). Deux autres standard de zircons bien caractérisés, 91500 avec un âge certifié de 1065 Ma en <sup>206</sup>Pb / <sup>238</sup>U (Wiedenbeck et al., 1995), et un étalon Mud Tank avec un âge <sup>206</sup>Pb / <sup>238</sup>U de 734 ± 32 Ma (Black and Gulson, 1978) ont été analysés dans chaque série comme un contrôle indépendant de la reproductibilité et de la stabilité de l'instrument. La moyenne des âges obtenus pour GJ1 sont de 600.1 ± 8Ma (<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U) et 602.15 ± 6.7Ma (<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U). Bien que cette valeur soit cohérente avec la valeur (<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb) TIMS admise pour ce standard à 2σ près (Jackson et al., 2004), elle est légèrement plus faible que cette dernière. Toutefois l'ensemble des mesures effectuées récemment au sein du GEMOC sur ce standard tendent à rapprocher son age réel de 605 Ma, tel que cette valeur semble le confirmer (N.Pearson et W. Powell, communication personnelle). La moyenne des âges obtenus pour 91500 est de 1059 ± 15 Ma (<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U) et 1065.6 ± 10.16Ma (<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U). Celle des âges obtenus pour Mud Tank est de 733.4 ± 8.9Ma (<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U) et 734.4 ± 9Ma (<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U). Ces valeurs de standard confirment également l'intérêt d'utiliser les âges <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U pour les jeunes zircons.

Le logiciel Glitter (www.gemoc.mq.edu.au, Griffin et al., 2008) a été utilisé pour calculer les âges U-Pb à partir des données de signal brutes. Glitter affiche les rapports isotopiques pertinents pour chaque balayage de masse et permet de sélectionner des segments isotopiquement homogènes pour l'intégration. Il corrige également les ratios intégrés pour le fractionnement lié à l'ablation et le biais de masse instrumental par l'étalonnage de chaque segment de temps sélectionné par rapport aux segments pour les analyses de zircon standard. Le détail des résultats obtenus est reporté en annexe.

Une attention particulière a été portée à la localisation du point d'ablation sur la surface polie des zircons afin d'éviter leur grande quantité d'inclusions (Figure 3.3, Figure 3.4 et Figure 3.5). Les rapports isotopiques ont été corrigés en supposant que les rapports <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U, <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U et <sup>208</sup>Pb/<sup>232</sup>Th d'un zircon discordant reflète une combinaison de perte de plomb et de plomb commun à un temps défini. Par conséquent, la méthode d'Andersen (2002) a été appliquée pour la correction de plomb commun avec une composition de plomb commun estimée à partir du modèle de Stacey et Kramers (1975). Aucune correction n'a été appliquée aux analyses qui sont concordantes dans les 2ơ d'erreur de <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U et <sup>207</sup>Pb / <sup>235</sup>U, ou qui possèdent moins de 0,2% de plomb commun. Le peu d'analyses corrigées ( 4 au total) montre que ces zircons ne possèdent pas de plomb commun. Cette correction n'a donc pas eu d'effet.

Une deuxième correction a été appliquée compte tenu des âges « jeunes » des zircons du SRBIC. En effet, il est maintenant bien documenté (Schärer, 1984; Schärer et al., 1990; Chiaradia et al., 2013) que les jeunes zircons sont affectés par déséquilibre Th/U initial. Le produit intermédiaire <sup>230</sup>Th dans la chaine de désintégration <sup>238</sup>U est exclu pendant la cristallisation du zircon. Cette particularité mène à un déficit de <sup>206</sup>Pb qui a pour effet de sous-estimer l'âge du zircon. Ce déséquilibre a été corrigé en suivant l'équation donnée par Schärer (1984):

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}} = (e^{\lambda_{238'}} - 1) + \frac{\lambda_{238}}{\lambda_{230}} \left( f_{\text{Th/U}} - 1 \right) \qquad \qquad f_{\text{Th/U}} = \left( \frac{(\text{Th/U})_{\text{zircon}}}{(\text{Th/U})_{\text{magma}}} \right)$$
(2)

Les concentrations U et Th (zircon) ont été quantifiées en comparant les nombres de coups <sup>238</sup>U et <sup>232</sup>Th pour chaque analyse par rapport aux standard 91500 et GEMOC GJ-1. Le standard 91500 est supposé avoir des concentrations homogènes en U et en Th de 81 ± 3 et 29 ± 1 ppm respectivement (Wiedenbeck et al., 1995). Celles de GJ-1 GEMOC sont respectivement de 287 ± 13 ppm et de 18 ± 3 ppm pour U et Th

(Elhlou et al., 2006). Sur la base de l'hypothèse que le rapport Th/U du liquide magmatique à partir duquel le zircon a cristallisé peut être approché par le rapport Th/U mesuré dans la roche hôte, j'ai considéré un Th/U(magma) égal à la moyenne des rapports de concentrations Th/U(roche) pour tous nos échantillons. Ce dernier étant égal à 4.5 (Figure 3.6). Même si l'utilisation des rapports Th/U des roches hôtes fait l'objet d'un débat (e.g. Schärer et al., 1990), il apparaît qu'une erreur relative de 30% sur cette valeur conduit toujours à moins de 20 Ka d'erreur sur les âges zircons corrigés. La moyenne de correction pour une telle erreur sur le Th/U (roche) étant de 8,7 Ka pour tous les échantillons. La correction typique du déséquilibre de <sup>230</sup>Th pour les zircons du SRBIC va de 50 à 100 Ka pour chaque analyse avec une moyenne d'environ 80 Ka pour un même échantillon.



Figure 3.6: Rapport Th/U des roches plutoniques de Rallier du Baty et valeur moyenne utilisée pour la correction de <sup>230</sup>Th.

A l'aide de photos sous différentes lumières, les points d'ablation ont pu être choisis de façon optimale. Cependant, bons nombres d'inclusions n'ont pu être évitées, conduisant à des anomalies dans les signaux mesurés. C'est pourquoi, chaque segment de signal, ayant servi au calcul des âges, fut soigneusement choisi pour éviter toute contamination avec un temps maximum d'intégration toujours strictement supérieur à 30 secondes sur un signal stable. Ce choix d'intégration est apparut inévitable compte tenu des inclusions. Les temps d'intégration sur les standards ne sont donc pas identiques à ceux de tous les zircons. Bien que cette différence n'ait pas d'impact sur le résultat, elle force une correction entre ces différents temps (automatiquement réalisée via Glitter) et donc une incertitude qu'il aurait été préférable mais impossible à éviter. Au minimum 10 zircons ont été analysés par échantillon. Par manque d'expérience, j'ai privilégié le nombre d'échantillons plutôt que le nombre d'analyses par échantillons. Compte tenu des analyses inutilisables à cause de perturbation de signal, ce choix a un impact direct sur la fiabilité des âges calculés. Il est clair que la fiabilité de certains de ces âges doit être considérée de façon statistique. C'est pourquoi, les âges calculés pour lesquels le nombre de zircon est inférieur à n=5 sont considérés comme moins robustes et n'ont pas été intégrés dans l'article soumis à publication (voir partie 3.5). Toutefois, même si la fiabilité de ces âges est statistiquement faible, ils permettent d'étendre le champ des données géochronologiques du SRBIC et doivent être pris en compte dans l'interprétation de ces données. En dépit de la statistique qui parait parfois faible pour l'estimation des âges U-Pb, la très bonne corrélation entre les âges concordants et les moyennes pondérés en <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U confirme et appuie la fiabilité de l'ensemble des datations. Enfin, considérant le nombre relativement faible d'analyses par échantillon et dû à la légère erreur liée à la correction de <sup>230</sup>Th, il est apparu plus réaliste de maximiser les erreurs par rapport aux âges calculés. J'ai donc décidé d'arrondir les erreurs sur les datations rapportées par échantillon au 0,05 Ma supérieur près. Bien que cette manipulation mène à un différentiel de surestimation de l'erreur en fonction des échantillons allant jusqu'à 0.04Ma, cette manipulation est justifiée compte tenu des considérations précédentes.

3.4 Résultats



Figure 3.7: Exemple de diagrammes Tera-Wasserburg par échantillon illustrant les résultats de géochronologie in-situ U-Pb sur les zircons du complexes sud de Rallier du Baty (voir le texte pour les détails).

La Figure 3.7 a pour but de présenter des exemples de datation par échantillon, illustrant les caractéristiques des résultats U-Pb obtenus sur zircons. Ces différents exemples et caractéristiques sont représentatifs de l'ensemble des données U-Pb obtenus sur les roches du SRBIC et de ses satellites (lesquelles sont fournies en détails dans en annexe).

Les 2 premiers échantillons que sont le TC09-006 et 13TK63 sont présentés de la même façon. Les diagrammes de droite représentent l'ensemble des analyses réalisées sur les zircons de chaque échantillon. Les cercles d'analyses en pointillées correspondent aux analyses qui ne respectent pas les conditions de validation nécessaires à leur utilisation pour le calcul des âges. Elles sont issues de l'intégration d'un signal mesuré non stable perturbé par l'ablation d'inclusions et/ou d'un temps d'intégration inférieur à 30sec considéré comme trop court pour la fiabilité de la mesure. Ces analyses sont en général discordantes. Le fait que certaines de ces analyses en pointillées soient concordantes est due à ma seule volonté d'avoir forcé l'intégration de ces signaux perturbés, que ce soit sur des segments très courts ou instables pour les rendre concordantes. Ce forçage m'a permis d'entrevoir les limites du traitement des données issues l'ablation sur des zircons aussi jeunes. Bien que l'inconvénient majeur en soit l'impression de validité de ces données, il n'en est rien. Ces analyses volontairement faussées ne remplissent pas les conditions d'analyses valables pour le calcul des âges.

Les analyses fiables sont représentées par des cercles colorés de gris. Ces analyses sont toutes concordantes dans le diagramme de Tera-Wasserburg pour ces deux échantillons. Cependant, dans ces deux exemples, le temps qui sépare l'âge du plus vieux zircon de l'âge du plus jeune est d'environ 1 et 0.6 Ma pour le TC09-006 et le 13TK63 respectivement. Ce résultat implique donc que l'échantillon TC09-006 contient des zircons qui se sont formés sur environ 1Ma et qui se retrouvent au sein d'un même échantillon de 5Kg. Ce résultat est caractéristique de l'ensemble des échantillons du complexe pour lesquels les âges des zircons provenant d'un même échantillon peuvent s'étendre jusqu'à 1 Ma au maximum. Cette continuité pourrait indiquer l'évolution des âges d'une population correspondant à des cœurs de cristaux vieux vers des âges de population correspondants à des bordures de cristaux plus jeunes. Si tel est le cas, cette hypothèse suppose des épisodes de croissance continue dans le temps plutôt que 2 phases bien distinctes cœur/bordures. Comme décrit précédemment, même si des limites de résorption ont été souvent observées, seuls de rares échantillons montrent des cristaux pour lesquels des cœurs et des bordures peuvent être clairement identifiés par des limites structurales marquées. A cause d'un sur-broyage en amont, et faute de temps d'analyse, les cœurs et les bordures (en termes de localisation) n'ont pas fait l'objet d'une étude systématique pendant étude géochronologique. D'autre part, certaines rares analyses montrent des bordures plus vieilles que les cœurs (bien qu'il y ait recouvrement des erreurs à 20) qui pourraient indiquer l'incidence de la taille du spot d'ablation laser par rapport aux zonations magmatiques potentiellement responsables d'un shift du géochronomètre U-Pb. Considérant ces différents arguments, chaque âge fut considéré comme représentatif du zircon à part entière. Quoi qu'il en soit, cette répartition des âges dans les échantillons du complexe est continue à l'échelle des barres d'erreur. C'est pourquoi, toutes ces analyses ont été utilisées pour calculer un âge dit «concordant » et considéré comme représentatif de l'âge de la roche.

La moyenne pondéré des âges <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U réalisées sur les analyses ayant servi à calculer chacun des âges concordants est tout à fait en accord avec ces derniers sur l'ensemble des roches du complexe.

La dispersion des âges au sein des échantillons évoquée précédemment est également illustrée au sein de l'échantillon 13TK31. Toutefois, sur cet échantillon en particulier, quelques zircons montrent une forte délimitation structurale qui se pourrait révélatrice d'un cœur et une bordure Figure 3.4e,f. L'exemple illustré confirme les observations microscopiques et montre que la bordure est plus vielle d'environ

0.4Ma que le cœur du cristal. Cependant, dans cet échantillon également, la dispersion des âges est continue et tous les zircons ne montrent un cœur et une bordure. Particulièrement, un âge très jeune (cercle gris-clair) pose problème et ne permet pas de calculer un âge concordant avec l'ensemble des analyses. Pour cet échantillon, l'âge reporté est celui de la population principale de laquelle cette dernière analyse semble se dissociée. J'ai donc volontairement écarté l'âge de ce zircon, qui pourtant existe, dans le calcul de l'âge de la roche reporté. Les moyennes calculées pour cet échantillon montrent qu'à l'échelle de la roche l'âge n'est que peu affecté par ce jeune zircon car de poids statistique faible. Cet écart n'a donc pas d'impact significatif sur la datation reportée mais à une importance certaine sur l'interprétation des données. Seul trois échantillons montrent des zircons jeunes dissociés de leur population principale (un âge par échantillon). Sans pouvoir expliquer ces âges ici, il est intéressant de noter qu'ils correspondent tous à l'âge de la mise en place d'une nouvelle unité (structurale ou complexe).

L'échantillon 13TK45 montre également une population dominante avec un âge concordant à environ 10.22 Ma. L'âge le plus vieux de cette population dominante est associé à une plus grande erreur de mesure (cercle gris-clair) que les autres analyses plus jeunes. C'est pourquoi, même plus vieux, ce zircon ne semble pas dissociée des autres analyses et fait partie des zircons utilisés pour la datation. D'autre part, cet échantillon contient un zircon dont l'âge est clairement plus vieux que tous les autres âges obtenus. Ce zircon est un zircon hérité d'une première phase de cristallisation qui ne correspond pas à celle définie par tous les autres zircons de cette roche. Cette hypothèse est en accord (i) avec les observations de terrain qui montrent que cette roche porphyrique (13TK45), transportant des enclaves, recoupe également les niveaux intrusifs intermédiaires de l'unité 1 (Figure 2.19) et 'ii) avec la datation de ces niveaux intrusifs mafiques (ii) entre 10.77 et 11 Ma. A l'image de cet échantillon, de rares zircons hérités ont été retrouvés au sein des roches analysées, lesquels correspondent tous à l'âge d'intrusions antérieures (Figure 3.8).

Ainsi, cette figure illustre : (i) le fait que la plupart des analyses réalisées conduisent au calcul d'âges dit « concordants » en accord avec la moyenne des âges pondérés des zircons par échantillons; (ii) l'étalement des âges mesurés par échantillon sur un intervalle parfois égal à 1Ma ; (iii) la présence de rares zircons hérités d'âge identique à celui d'intrusions précédentes, (iv) de 3 zircons trop jeunes pour faire partie de la population principale des échantillons dont ils ont été extraits.

La Figure 3.8 et Figure 3.9 synthétise l'ensemble des datations obtenues sur le complexe sud de RdB. Ces données géochronologiques ont été valorisées au travers d'une publication soumise à la revue *Geology* (voir partie 3.5). Cependant, plusieurs de ces datations obtenues durant cette thèse n'ont pas été intégrées dans l'article par souci de statistiques sur les âges (avec un nombre d'analyses < 5) qui les rend moins robustes. Ainsi 8 datations (2 échantillons séparés et 7 lames épaisses) présentées ici (données grisées) ne figurent pas dans l'article en cours de révision. Bien que statistiquement moins fiables, ces âges sont tout à faits cohérents avec le reste des datations obtenues plus robustes et permettent d'affiner la chronologie des différentes injections du complexe. L'ensemble des âges s'étale entre 13.74  $\pm$  0.2 (syénite de l'anse du Gros Ventre) et 7.88  $\pm$  0.15Ma (syénite au nord des Deux Frères). Le massif de l'anse du Gros Ventre constitue donc les premières intrusions (datées) sur la péninsule de RdB. Structuralement déconnecté sur SRBIC, ce petit massif plutonique en est également déconnecté dans le temps. Un gap d'environ 2Ma le sépare de l'intense activité magmatique qui va suivre et dont les prémices sont également mis en place à l'anse du Gros Ventre. Cette intense activité débute avec les syénites formant le contact ou le proche contact intrusif sud du SRBIC avec les basaltes de plateau à 11.57  $\pm$  0.15Ma. Les âges montrent ensuite une progression décroissante continue à partir des bordures sud du

complexe vers le massif des Deux Frères. Le complexe du SRBIC se construit donc en 3.7 – 4 Ma. La succession décroissante des âges confirment les observations de terrains et montrent bien que le complexe est formé par une succession d'intrusions magmatiques de plus en plus jeune vers le nord. Cette progression semble se poursuivre plus au nord jusque dans le CRBIC où une syénite est datée à 7.31 ± 0.15. Toutefois, lorsque les datations sont concentrées telles que c'est le cas sur l'affleurement caractéristique de l'unité 1 au pied de la Coulée du Vulcain (Figure 2.19 et Figure 3.9a), elles confirment également les observations montrant des recoupements à l'échelle de quelques mètres. Sur le SRBIC, la répartition des âges ne montre aucune discontinuité forte (Figure 3.8). Ces résultats sont donc cohérents avec une multitude d'intrusions mises en place mais n'indiquent pas une structuration du complexe en grandes unités structurales. D'autre part, ces résultats montrent que les roches intermédiaires sont bien contemporaines des syénites et strictement localisées dans le temps (et l'espace). Enfin, un échantillon de trachyte (13TK08) prélevé au sein d'un filon tardif et sécant sur tout un massif de l'unité 2 donne un âge de 7.93 ± 0.3Ma. Cette valeur est similaire aux âges les plus jeunes ( $\pm 2\sigma$ ) obtenus pour la mise en place des syénites sur le massif des Deux Frères. Ceci implique que lorsque les sills ou lentilles formant le massif des Deux frères se mettent en place, des dykes trachytiques contemporains s'injectent de façon sécante au travers des unités déjà en place, lesquelles sont donc totalement cristallisées ou presque. Cette interprétation est cohérente avec les relations de terrain qui montrent que certains dykes sont eux mêmes recoupés par des injections de syénites témoignant du caractère syn plutonique de la fracturation du SRBIC par des filons de trachytes (et de basaltes ?).

AGES (Ma)

											course from the	_		
14	13	12	11	10	9	8	7 (Ma)	Concor	rdant (20)	W.M	ean (20)	0	Report (	ted ages 2σ)
1.5	a de la		belor	igs to th	he CRE	BIC 🔳	TC135	7.311	0.13	7.29	0.2	8	7.31	0.15
	1					-	TK104	7.88	0.12	7.87	0.21	6	7.88	0.15
				TK78	7.902	0.084	7,94	0.26	4	7.94	0.30			
		trachy		vte sécante _ Funité 2	nte _	_	TK08	7.93	0.29	7.9	0.59	4	7.93	0.30
	Unit 3			TK106	7.99	0.17	7.96	0.43	4	7.99	0.20			
							TK108	8.031	0.071	8.04	0.12	11	8.03	0.10
			4	TK80	8.043	0.048	8.049	0.084	9	8.04	0.05			
							<b>TK70</b>	8.269	0.074	8.26	0.12	14	8.27	0.10
	+		Inité 2 -	enclave	0	0	TK101	8.47	0.13	8.45	0.13	15	8.47	0.15
1	1	101					TC120	8.51	0.12	8.49	0.19	8	8.51	0.15
							TK69	8.723	0.09	8.53	0.18	19	8.72	0.10
	Linit 2		-	TK117B	8.75	0.18	8,76	0.75	2	8.75	0.20			
	01112			*	1		TC129	9.075	0.063	9.08	0.12	8	9.08	0.10
							TK81A	9.31	0.11	9.29	0.22	6	9.31	0.15
u L						-	TK23	9.38	0.18	9,45	0.19	2	9.38	0.20
20	1	1				1.1.2	TK118A	9.45	0.15	9.46	0.15	5	9.45	0.15
							TK63	9.938	0.075	9.93	0.1	12	9.94	0.10
				Contract of			TC26	10.074	0.32			1	10.07	0.35
					0		TK31	10.086	0.095	10.05	0.19	11	10.09	0.10
			*				TK45	10.216	0.069	10.19	0.12	9	10.22	0.10
							TC110	10.59	0.11	10.58	0.14	9	10.59	0.15
							TK42	10.65	0.1	10.64	0.14	14	10.65	0.10
	Unit 1		-				TK36	10.77	0.15	10.75	0.26	9	10.77	0.15
	1		100		0		TC37A	10.77	0.13	10,79	0.36	5	10.77	0.15
			-	mon	zo-dior	ntes	TK43	11	0.1	10.99	0,17	7	11	0.10
							TC113	11.13	0.16	11.09	0.25	12	11.13	0.20
							TK47	11.185	0.087	11,16	0.14	9	11.19	0.10
	*						TC75	11.3	0.19	11.26	0.3	10	11.3	0.20
		1					TC41	11.53	0.17	11.5	0.38	8	11.53	0.20
	+						TC06	11.57	0.11	11.57	0.16	11	11.57	0.15
1		-	111				TK01	11.87	0.2	11.87	0.23	3	11.87	0.20
10	Earlies	t intru	sion cor	sidered	d as a :	satellite	TC82	13.74	0.17	13.73	0.25	10	13.74	0,20

Figure 3.8: Diagramme et tableau synthétiques des données géochronologies in-situ sur les zircons du SRBIC (triées par âges décroissants). Les domaines grisés correspondent aux échantillons dont l'âge est basé sur moins de 5 zircons. Les étoiles correspondent aux âges des zircons hérités et les cercles sont des zircons très jeunes dans les échantillons correspondants.

3.5



Etude structurale et géochronologique : synthèse des chapitres 2 et 3

Les données présentées dans ce chapitre et les conclusions de l'étude géochronologique sont cruciales pour comprendre la construction du SRBIC. Cette étude a donc été couplée à l'étude structurale et valorisée au travers d'une publication soumise à la revue « Geology ». Cet article est donc une synthèse des données présentées dans les deux chapitres précédents. Etant en cours de relecture à l'heure actuelle et il est présenté dans sa forme soumise : texte / figures / annexes (en annexes).

- Mechanism and duration of plutonic processes in oceanic
- 2 plateau crust: the example of the South Rallier du Baty Intrusive
- 3 Complex, Kerguelen Archipelago
- 4 Leandre Ponthus<sup>1</sup>, Michel de Saint Blanquat<sup>1</sup>, Damien Guillaume<sup>2</sup>, Marc Le Romancer<sup>3</sup>,
- 5 Norman Pearson<sup>4</sup>, Suzanne O'Reilly<sup>4</sup>, Michel Gregoire<sup>1</sup>
- 6 <sup>1</sup>Geosciences Environnement Toulouse, Université Paul Sabatier, CNES, CNRS, IRD, UMR
- 7 5563, 31400 Toulouse, France
- 8 <sup>2</sup>Laboratoire Magmas et Volcans, Université Lyon, UJM-Saint-Etienne, UCA, CNRS, IRD, LMV
- 9 UMR 6524, F-42023, Saint-Etienne, France
- 10 <sup>3</sup>Laboratoire de Microbiologie des Environnements Extrêmes, Université de Bretagne
- 11 Occidentale, IFREMER, IUEM, UBO, CNRS, UMR 6197, 29280 Plouzané, France
- 12 <sup>4</sup>ARC Centre of Excellence for Core to Crust Fluid Systems and GEMOC, Department of Earth
- 13 and Planetary Sciences, Macquarie University, CCFS, NSW 2109, Australia

14

# 15 ABSTRACT

The South Rallier du Baty Intrusive Complex (SRBIC) intrudes the lava flows of the northern part of the Kerguelen oceanic plateau. This complex consists of a typical alkaline Sioversaturated magmatic series. New structural and geochronological data lead us to propose that the SRBIC is a laccolith built over about 3.7 My by successive injections of under-accreted syenitic magmas pulses, forming a unique example of a felsic laccolith in an oceanic within-plate setting. Our results show strong similarities with many continental plutons emplaced in different geodynamic settings. Firstly from a structural and mechanical perspectives, such as 3d geometry, internal structure and emplacement mechanism of the SRBIC are identical to continental examples. Secondly, from a dynamic and temporal perspective, duration and average construction rate (around 10<sup>-4</sup> km<sup>3</sup>/yr) of the SRBIC are similar to those proposed for continental plutons. Consequently, the nature and thickness of the crust are not the main parameters that control plutonic processes. The source and evolution in the deep hot crust certainly plays a major role, by producing multiple magmatic episodes at variable timescales.

29

### 30 INTRODUCTION

31 Magmatism is the geological process that directly links the inner and outer earth envelopes through almost instantaneous mass and heat transfer at the geological time scale, from 32 33 the mantle to the crust, but also to the atmosphere and to the hydrosphere. It is one of the main 34 factors that control the climate, especially over the long term, and a key process in the formation of natural resources. The most spectacular expression of earth's magmatism is volcanic extrusive 35 36 activity, but quantitatively its main output is by far the crystallization of intrusive plutonic rocks 37 (Crisp, 1984; Shaw, 1985; White et al., 2006; Paterson and Ducea, 2015). These intrusive bodies, 38 commonly called plutons, are the building blocks of the continental crust. A new general model of pluton construction in the continental crust has emerged which highlights their tabular shape, 39 their main emplacement mechanism by displacement of wall rocks, and their episodic growth at 40 41 various timescales (Cruden, 1998; Tikoff et al., 1999; Petford et al., 2000; Glazner et al., 2004; Coleman et al., 2004; Horsman et al., 2009; Menand et al., 2011 and references therein; Leuthold 42 et al., 2012; among many others). One consequence of this new model is that the pulsed 43 44 magmatism recorded in continental plutonic systems reflects deeper magmatic processes at the 45 source (St Blanquat et al., 2011; Annen et al., 2015). The main remaining question is then about 46 the role(s) of the crustal 'filter' (including thickness, composition, rheological stratification and 47 structure) in magma production, transport and final emplacement. This can be explored by 48 characterizing and comparing the emplacement mechanism and construction of plutons in 49 various geodynamic settings, including in oceanic crust. Indeed, while the existence of plutonic 50 bodies within oceanic crust is well established (e.g. Dick et al., 2008), quantitative data on their 51 internal structure and emplacement mechanisms are rare, and there is no data about their duration 52 of formation. Felsic plutonic rocks in oceanic context are even rarer and commonly less 53 accessible than their continental analogues. They are found either as xenoliths in Azores and 54 Ascension islands (Widom et al., 1993; Kar et al., 1998) or as in-situ intrusive complexes in 55 Iceland and Kerguelen archipelago (Nougier, 1969; Furman et al., 1992). The intrusive 56 complexes outcropping in the Rallier du Baty peninsula of the Kerguelen archipelago are the 57 most spectacular occurrences of felsic oceanic plutonic rocks. Since the early studies from the 58 70's (e.g. Nougier, 1969; Marot and Zimine, 1976), this dominantly felsic plutonic complex has 59 been considered as a ring complex and a typical example of emplacement by cauldron 60 subsidence (Giret, 1983; Bonin et al., 2004). In order to compare the plutonic processes in 61 continental and oceanic settings, the aim of the present study is to constrain the construction of the South Rallier du Baty Intrusive Complex (SRBIC) based on a set of new field structural 62 observations, associated with detailed U-Pb geochronological data. 63

- 64
- 65

### GEOLOGICAL CONTEXT AND PREVIOUS STUDIES

66 The Kerguelen archipelago represents the emergent part of the Northern Kerguelen 67 oceanic Plateau (NKP) (Fig. DR1), assumed to be formed by the Kerguelen plume activity. This archipelago primarily consists of tholeiitic to transitional basalt flows emplaced from ~29 to ~24 68

My. Several volcano-plutonic complexes emplaced into this basalt sequence are distributed 69 through the archipelago and dated from ~24 to ~4.9 My (See Fig. DR2 for details and 70 references). With the exception of the oldest tholeiitic-transitional gabbroic complex, all the 71 72 younger different intrusive complexes, show a dichotomy into either Si-oversaturated or Si-73 undersaturated alkaline rock series. The South Rallier du Baty Intrusive Complex (SRBIC) is part of a ~350 km<sup>2</sup> plutonic province (Nougier, 1969; Marot and Zimine, 1976) (Fig. 1 and 74 DR2). The plutonic rocks of the SRBIC belong to the Si-oversaturated series and range from 75 76 monzo-gabbros and monzo-diorites to mostly Qz-bearing monzonites and syenites. The rare 77 mafic and intermediate intrusive coarse-grained rocks are only associated to the syenites in the 78 external parts of the SRBIC. The ages obtained on syenite by previous authors with the K-Ar and Rb-Sr methods on whole rock range between ~15.5 and ~7.5 My from the south to the north of 79 80 the peninsula (Fig. DR3 and Table DR1).

81

# 82 GEOMETRY OF THE SRBIC

83 The SRBIC intrudes the plateau lavas and form an elliptical body with a 13 x 17 km 84 outcropping size and a WNW-ESE long axis. The contact between the intrusion and the basalts 85 shows two contrasting geometries: (i) Steeply-dipping and cross-cutting or (ii) shallowly-dipping and concordant (Fig. 1 and 2). At the scale of the Kerguelen archipelago, the orientation of the 86 87 basaltic lava flows is very regular but shows a small dip (2-5°) toward the SE, due to recent tilting (Nougier, 1969) (Fig. DR2). This orientation changes towards the intrusive centers, and 88 89 particularly when approaching the SRBIC. Indeed, all around the NE, SE and SW parts of the latter, a progressive tilting of the flood basalts could be measured, reaching a dip of 20 - 40° 90 91 away from the SRBIC (Fig. 1, 3, DR2 and DR4). Because of the recent trachytic activity and the

92 ice cover, this contact is not observed in the NW part of the complex. Nevertheless, 93 measurements of the orientation of the basalt flows along the coast on the western side of the 94 SRBIC show a dip toward the W. These measurements all around the SRBIC confirm the general 95 tilting of the basalts away from the intrusive center and an increase of the dip toward the contact 96 of the SRBIC. The floor and the roof of the SRBIC are not exposed, but the general geometry of 97 the surrounding basalt lava flows, the amount of their flexure towards the intrusive center, and the location of this flexure, indicate that the SRBIC is a tabular magmatic body with a thickness 98 99 of  $\sim 2$  - 3 km and a maximal radius at its base of  $\sim 15$  km (Fig. 3). From these geometrical 100 observations, its total volume can be estimated at about 250 - 350 km<sup>3</sup>.

101

### 102 INTERNAL STRUCTURE

103 Three main syenitic units separated by sharp magmatic contacts could be distinguish on 104 the field (Fig. 3 and DR5). Field criteria indicate that these units are younger towards the center 105 of the intrusive complex. Each unit consists of several layered intrusions with contrasting 106 textures. All the contacts are magmatic. These different injections of mainly coarse syenite, fine 107 grained syenite and pegmatitic segregation, and rare monzo-diorites, define a magmatic layering 108 (Fig. 1 and 4) which exhibits a consistent outward dipping across the SRBIC, with decreasing 109 dip toward the center of the intrusive complex. Moreover, this general magmatic layering is 110 parallel to the external contact with basalts and also parallel to the main internal contacts that 111 separate the three main syenitic units (Fig. 1 and DR6a).

112 The magmatic fabric is poorly developed and rarely visible on the field. The quantitative 113 study of these fabrics conducted by Anisotropy of Magnetic Susceptibility (see methodology, 114 maps and raw data in GSA Data Repository) show a foliation parallel to the magmatic layering measured in the field (Fig. DR6a and DR7a). The lineation shows an N-S horizontal pattern in the central and youngest parts of the SRBIC which evolves gradually to a lineation parallel to the external contact in the older marginal units (Fig. DR7b).

118 A network of several generations of shear zones, mainly brittle and cataclastic or, more 119 rarely brittle-ductile and/or with melt injection, is observed throughout the intrusion (Fig. 3). 120 They are syn-plutonic as evidenced by mutual cross-cutting relationships between shear-zones 121 and dykes intrusion (Fig. DR8). Their distribution is heterogeneous and shows a denser network 122 at the base of the unit 1 at its contact with the underlying unit 2 (Fig. 3 and DR6b). The 123 conjugate orientation of this network suggests that it results from a shortening perpendicular to 124 the contact between these two units. This defines a ring of more deformed and brecciated 125 syenites (Fig. 1), which records the flattening of the marginal unit due to the injection of the 126 lower units. These features imply an advanced crystallization stage of the older unit before 127 intrusion of the younger one.

128

### 129 NEW GEOCHRONOLOGICAL DATA

130 The methodology and raw data are available in the GSA Data Repository. Most zircons 131 from the SRBIC rocks exhibit a characteristic morphology with (100) prism and (101) pyramid 132 as well as clear oscillatory and sector zonings (Fig. DR9). The oldest syenite  $(13.74 \pm 0.2 \text{ My})$ 133 was sampled in the southern part of the peninsula and is from one of the first emplaced minor complex clearly disconnected in space and time from the SRBIC (Fig. 1 and DR10). Indeed, 134 135 considering U-Pb zircon ages as the minimum emplacement age, the major volume of SRBIC 136 magma was emplaced between  $11.57 \pm 0.15$  and  $7.88 \pm 0.2$  My. The zircon ages of the monzo-137 diorites similar to those of surrounding syenites suggest a synchronous emplacement of magmas exhibiting contrasting degrees of differentiation. U-Pb zircon ages show that the syenites are younger towards the center of the intrusive complex, from the marginal unit 1 to the central unit

140 3, in agreement with field observations (Fig. 1 and 3).

141

# 142 DISCUSSION AND CONCLUSION

The SRBIC is classically interpreted as a ring complex emplaced by a cauldron subsidence that corresponds to a cluster of intersecting ring dykes injected in relationship with the down-sagging of a crust block in a deep magma chamber and overlay by a caldera (Marot and Zimine, 1976; Giret, 1983; Bonin et al., 2004).

Based on our new field and geochronological data, we propose a new model ofconstruction for the SRBIC based on the following main features:

149 1) The spatial coincidence between the change in basalts orientation and the SRBIC, which 150 clearly shows a causal relationship and reveals that the main space-making process related to the 151 emplacement of the intrusive magmas, is the uplift and up-doming of host basalts. This feature 152 was already recorded by previous authors and interpreted as occurring before the formation of 153 the intrusive complex, an interpretation not supported by the field relationships (see above). The 154 geometry of the plateau basalts deflection implies that the SRBIC is tabular and concordant and 155 could be consequently interpreted as a laccolith (Fig. 5). The discordant and steeply dipping parts 156 of the external contact are irregularities due to local stopping, as suggested by the occurrence of 157 basalt screen within the syenite below those parts of the contact, and/or as extensional fractures 158 filled by magma and related to the extensional component of strain in the wallrocks induced by 159 magma infilling. As we do not have any data for the orientation of the plateau basalts from the

160 northern part of the SRBIC, we cannot be sure that the latter is a symmetric elliptical laccolith. 161 Consequently, consideration should be given to the possibility of a N-S asymmetrical geometry. 162 2) The internal structure which shows a domal shape and a subdivision in three co-structured 163 units of magma, each one being constituted by numerous injections of syenite but also monzo-164 diorite in the oldest unit. The sharp contacts between the three main syenitic units and the brittle 165 deformation of the two older units, demonstrate that in spite of an apparent N-S continuous age 166 distribution, the construction of the SRBIC was discontinuous. The textural difference observed 167 between the coarse and fine-grained syenites was acquired during the emplacement process and 168 results from the dynamics of magma injection (including injected volume, temperature contrast, 169 cooling rate and time range between injections). The two other main facies, i.e. the pegmatite 170 segregations and the network of porphyritic syenite, could represent local mechanical 171 segregation in an older injection due to the injection of a younger one. Field relationships and 172 geochronology demonstrate a construction by under-accretion.

173 3) The fabric pattern, quantified through AMS measurements, confirms the domal shape and the 174 general concordance between all units and sub-units with the orientation of foliation. The 175 difference between the regular N-S lineation orientation in the central younger unit and the 176 marginal parallel lineation in the external older unit reminds a pattern observed in many 177 continental plutons (e.g. the Papoose Flat and the Black Mesa plutons, St Blanquat et al., 2001 178 and 2006) and indicates that (i) the pluton roof exerted an important control on flow/deformation within the pluton, and (ii) the central and younger N-S orientation of the lineation could be 179 180 interpreted as an infilling orientation, possibly from an ~ E-W dyke.

4) Both field relationships and U-Pb geochronology evidence that the magmatic injections are
 progressively younger towards the center of the RdB peninsula. The U-Pb data indicate that the

construction of the SRBIC lasted around 3.7 My, between  $11.57 \pm 0.15$  and  $7.88 \pm 0.2$  My. With a total estimated volume of about 250 - 350 km<sup>3</sup>, this suggest an average construction rate in the order of  $10^{-4}$  km<sup>3</sup>/yr.

186 In summary, our data are compatible with a model where the SRBIC is a laccolith 187 constructed by the upward inflation and stacking of initially horizontal thin magma sheets, which 188 is now a classic re-interpretation of many 'cauldrons' (Stevenson et al., 2007; Magee et al., 189 2012). Our results establish strong similarities between the SRBIC - a unique example of a recent 190 felsic laccolith in an oceanic within-plate setting - and continental plutons. Firstly from a 191 structural and mechanical perspectives, as the 3d geometry, the internal structure and the 192 emplacement mechanism of the SRBIC are identical to many continental examples. This is 193 another argument for the independence between the incremental process of pluton construction 194 and the tectonic setting (St Blanquat et al., 2011). Secondly, from a dynamic and temporal 195 perspectives, it appears that the duration and the average construction rate are similar to those 196 proposed for continental plutons (St Blanquat et al., 2011; Leuthold et al., 2012; Coleman et al., 197 2016). Consequently, the nature and thickness of the crust are not the main parameters that 198 control such plutonic processes. The source evolution in the deep crustal hot zone certainly plays 199 the major role, by providing variable amounts of magma at variable timescales (Annen et al., 200 2015).

201

# 202 ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the French Polar Institut Paul-Emile Victor (IPEV-TALISKER 1077 program, D.
Guillaume; IPEV-DYLIOKER 444 program, B.N. Moine), Y. Le Meur and the IPEV-logistic
staff for field assistance and support. We also thank the CNRS-INSU and the GET for funding

206	allowing the acquisition of data. We finally thank the Centre of Excellence for Core to Crust
207	Fluid System and the GEMOC Key Centre for the zircon dating using instrumentation funded by
208	DEST Systemic Infrastructure Grants, ARC LIEF, NCRIS/AuScope, industry partners and
209	Macquarie University. W. Powell and J. Bascou are also thanked for their help during the U-Pb
210	and AMS acquisitions respectively.
211	
212	FIGURES CAPTION
213	Figure 1. a) Localization of the SRBIC, b) Structural map of the SRBIC with simplified geology
214	and geochronological data acquired on separated zircons (purple circles) and thick-sections
215	(yellow circles). c) Zoom on a small area which concentrates datings. Stereographic
216	projection of magmatic layering (d) and cataclastic shear zones (e); arrows indicate the
217	location of the cross-section of the Fig. 3.
218	Figure 2. External contact of the Mont du Commandant displaying both discordant and
219	concordant geometries.
220	Figure 3. Synthetic SSW-NNE cross-section of the SRBIC with U-Pb results.
221	Figure 4. South-dipping magmatic contact between two syenitic layers with contrasted magmatic
222	textures. Both layers are cross-cutted by a basaltic dyke dipping to the N.
223	Figure 5. The laccolith model of the SRBIC.
224	
225	REFERENCES CITED
226 227 228	Annen, C., Blundy, J.D., Leuthold, J., and Sparks, R.S.J., 2015, Construction and evolution of igneous bodies: Towards an integrated perspective of crustal magmatism: Lithos, v. 230, p. 206–221, doi: 10.1016/j.lithos.2015.05.008.

Bonin, B., Ethien, R., Gerbe, M.C., Cottin, J.Y., Feraud, G., Gagnevin, D., Giret, A., Michon, G.,
 and Moine, B., 2004, The Neogene to Recent Rallier-du-Baty nested ring complex,
 Kerguelen Archipelago (TAAF, Indian Ocean): stratigraphy revisited, implications for

232 233	cauldron subsidence mechanisms: Geological Society, London, Special Publications, v. 234, p. 125–149, doi: 10.1144/GSL.SP.2004.234.01.08.
234	Coleman, D.S., Gray, W., and Glazner, A.F., 2004, Rethinking the emplacement and evolution
235	of zoned plutons: Geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne
236	Intrusive Suite, California: Geology, v. 32, p. 433, doi: 10.1130/G20220.1.
237 238	Coleman, D.S., Mills, R.D., and Zimmerer, M.J., 2016, The Pace of Plutonism: Elements, v. 12, p. 97–102, doi: 10.2113/gselements.12.2.97.
239	Crisp, J.A., 1984, Rates of magma emplacement and volcanic output: Journal of Volcanology
240	and Geothermal Research, v. 20, p. 177–211, doi: 10.1016/0377-0273(84)90039-8.
241	Cruden, A.R., 1998, On the emplacement of tabular granites: Journal of the Geological Society-
242	London, v. 155, p. 853–862.
243	Dick, H.J.B., Tivey, M.A., Tucholke, B.E., 2008, Plutonic foundation of a slow-spreading ridge
244	segment: Oceanic core complex at Kane Megamullion, 23_300N, 45_200W.
245	Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 9, doi:10.1029/2007GC001645.
246	Furman, T., Meyer, P.S., and Frey, F., 1992, Evolution of Icelandic central volcanoes: evidence
247	from the Austurhorn intrusion, southeastern Iceland: Bulletin of volcanology, v. 55, p.
248	45–62.
249	Giret, A., 1983, Le plutonisme oceanique intraplaque: exemple des Iles Kerguelen: Laboratoire
250	de pétrologie, Université Pierre et Marie Curie, CNFRA. Comité national français pour
251	les recherches antarctiques 54, 290 p.
252	Glazner, A.F., Bartley, J.M., Coleman, D.S., Gray, W., and Taylor, R.Z., 2004, Are plutons
253	assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? GSA
254	Today, v. 14, p. 4, doi: 10.1130/1052-5173(2004)014<0004:APAOMO>2.0.CO;2.
255	Horsman, E., Morgan, S., St Blanquat, M. (de), Habert, G., Nugent, A., Hunter, R.A., and Tikoff,
256	B., 2009, Emplacement and assembly of shallow intrusions from multiple magma pulses,
257	Henry Mountains, Utah: Earth and Environmental Science Transactions of the Royal
258	Society of Edinburgh, v. 100, p. 117–132, doi: 10.1017/S1755691009016089.
259	Kar, A., Weaver, B., Davidson, J., and Colucci, M., 1998, Origin of Differentiated Volcanic and
260	Plutonic Rocks from Ascension Island, South Atlantic Ocean: Journal of Petrology, v. 39,
261	p. 1009–1024, doi: 10.1093/petroj/39.5.1009.
262	Leuthold, J., Müntener, O., Baumgartner, L.P., Putlitz, B., Ovtcharova, M., and Schaltegger, U.,
263	2012, Time resolved construction of a bimodal laccolith (Torres del Paine, Patagonia):
264	Earth and Planetary Science Letters, v. 325–326, p. 85–92, doi:
265	10.1016/j.epsl.2012.01.032.
266	Magee, C., Stevenson, C., O'Driscoll B., Schofield N., McDermott, K., 2012, An alternative
267	emplacement model for the classic Ardnamurchan cone sheet swarm, NW Scotland,

268	involving lateral magma supply via regional dykes. Jl of Structural Geology, 43, pp. 73-
269	91.
270	Marot, A., and Zimine, S., 1976, Les complexes annulaires de syenites et granites alcalins dans
271	la peninsule de Rallier du Baty (Iles Kerguelen, T.A.A.F): Laboratoire Scientifique des
272	T.A.A.F., Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, v. 1, 131 p.
273	Menand, T., St Blanquat, M. (de), and Annen, C., 2011, Emplacement of magma pulses and
274	growth of magma bodies: Tectonophysics, v. 500, p. 1–2, doi:
275	10.1016/j.tecto.2010.05.014.
276	Nougier, J., 1969, Contribution à l'étude géologique et géomorphologique des îles Kerguelen:
277	CNFRA. Comité national français pour les recherches antarctiques. 27, v. 2, 422 p.
278	Paterson, S.R., and Ducea, M.N., 2015, Arc Magmatic Tempos: Gathering the Evidence:
279	Elements, v. 11, p. 91–98, doi: 10.2113/gselements.11.2.91.
280 281	Petford, N., Cruden, A.R., McCaffrey, K.J., and Vigneresse, JL., 2000, Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust: Nature, v. 408, p. 669–673.
282	Shaw, H.R., 1985, Links between magma-tectonic rate balances, plutonism, and volcanism:
283	Journal of Geophysical Research, v. 90, p. 11275, doi: 10.1029/JB090iB13p11275.
284	St Blanquat, M. (de), Law, R.D., Bouchez, JL., and Morgan, S.S., 2001, Internal structure and
285	emplacement of the Papoose Flat pluton: An integrated structural, petrographic, and
286	magnetic susceptibility study: Geological Society of America Bulletin, v. 113, p. 976–
287	995.
288	St Blanquat, M. (de), Habert, G., Horsman, E., Morgan, S.S., Tikoff, B., Launeau, P., and
289	Gleizes, G., 2006, Mechanisms and duration of non-tectonically assisted magma
290	emplacement in the upper crust: The Black Mesa pluton, Henry Mountains, Utah:
291	Tectonophysics, v. 428, p. 1–31, doi: 10.1016/j.tecto.2006.07.014.
292	St Blanquat, M. (de), Horsman, E., Habert, G., Morgan, S., Vanderhaeghe, O., Law, R., and
293	Tikoff, B., 2011, Multiscale magmatic cyclicity, duration of pluton construction, and the
294	paradoxical relationship between tectonism and plutonism in continental arcs:
295	Tectonophysics, v. 500, p. 20–33, doi: 10.1016/j.tecto.2009.12.009.
296	Stevenson, C.T.E., Owens, W.H., Hutton, D.H., Hood, D.N., & Meighan I.G., 2007, Laccolithic,
297	as opposed to cauldron subsidence, emplacement of the Eastern Mourne pluton, N.
298	Ireland: evidence from anisotropy of magnetic susceptibility. Jl. Geological Society,
299	London, 164, pp.99-110.
300	Tikoff, B., St Blanquat, M. (de), and Teyssier, C., 1999, Translation and the resolution of the
301	pluton space problem: Journal of Structural Geology, v. 21, p. 1109–1117, doi:
302	10.1016/S0191-8141(99)00058-9.

- White, S.M., Crisp, J.A., and Spera, F.J., 2006, Long-term volumetric eruption rates and magma budgets: Eruption rates and magma budgets: Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v.
   7, doi: 10.1029/2005GC001002.
- Widom, E., Gill, J.B., and Schmincke, H.-U., 1993, Syenite Nodules as a Long-Term Record of
   Magmatic Activity in Agua de Pao Volcano, Sao Miguel, Azores: Journal of Petrology,
   v. 34, p. 929–953, doi: 10.1093/petrology/34.5.929.



Figure 3.10: a) localisation du SRBIC ; b) Carte structurale du SRBIC avec une géologie simplifiée et datations U-Pb obtenues sur zircons séparés (cercles violets) et sur lames épaisses (cercles jaunes) ; c) zoom sur une zone où se concentrent plusieurs datations ; d) stéréogramme des mesures du litage magmatique ; e) stéréogramme des mesures de zones de cisaillement. Les flèches indiquent les points fixes de la coupe présentées en Figure 3.12.


Figure 3.11: Contact intrusif du SRBIC dans les basaltes de plateau montrant une géométrie discordante et concordante.



Figure 3.12: Coupe synthétique SSO-NNE du SRBIC et données géochronologiques associées.



Figure 3.13: Exemple caractéristique de contact magmatique penté vers le sud entre deux intrusions syénitiques de textures différentes. Les deux syénites sont recoupées par un filon de basalte tardif.



Figure 3.14: Modèle de laccolithe du SRBIC.

# Chapitre 4 : Pétrographie et minéralogie

Cette partie représente le ventricule gauche du cœur sur lequel est bâtie cette thèse. Conscient du gros travail d'observation déjà réalisé sur les roches du complexe sud de RdB par Marot et Zimine(1976), il était pourtant impensable de revisiter ce complexe sans en revoir la pétrographie de ses roches. C'est une base indispensable et que j'affectionne particulièrement.

## 4.1 Description pétrographique

#### 4.1.1 Roches mafiques et intermédiaires

#### 4.1.1.1 Basaltes de plateau

Les basaltes de plateaux ne constituent pas la majeure partie des roches à l'affleurement sur la péninsule de Rallier du Baty comme c'est le cas sur l'ensemble de l'archipel (~85% de la surface émergée). Cependant, leur rôle est crucial dans l'étude des roches grenues de l'archipel, puisqu'ils forment l'encaissant de ces roches intrusives. Les travaux antérieurs sur ces basaltes, conduits sur une grande partie de l'archipel (Gautier, 1987; Nougier, 1969), ont montré des variations minéralogiques, géochimiques et géochronologiques au sein des ces roches formant à première vue un ensemble très continu. Du point de vue pétrographique, les textures dominantes sur l'ensemble de l'archipel de ces basaltes sont les textures aphyritiques et porphyriques. La mésostase est partiellement composée de verre et contient des microlites qui sont en majorité des plagioclases. Il n'est pas rare que ces derniers soient souvent accompagnés, en faible proportion, par les minéraux qui forment également les phénocristaux des basaltes porphyriques. La nature et le mode de ces phénocristaux définissent une large variété de basaltes présents sur l'archipel. Il s'agit des plagioclases, des olivines ou des pyroxènes (en grande majorité des clinopyroxènes). Les minéraux accessoires les plus abondants sont les oxydes de Fe-Ti.

Les basaltes de plateaux n'ont pas fait l'objet de travaux approfondis sur Rallier du Baty depuis la thèse d'Etat de J. Nougier en 1969. Mes travaux de thèse étant concentrés sur les roches plutoniques, seuls les basaltes de plateau au contact avec ces dernières ont reçu ici une attention particulière.

La Figure 4.1 est un échantillon scié des basaltes prélevés juste au contact discordant avec l'intrusion plutonique sur le mont du Commandant coté ouest. Ces basaltes sont traversés par des injections provenant de l'intrusion. De par leur morphologie, ces injections semblent contrôlées par la rhéologie et la structuration même des basaltes qui opposent une résistance à leur passage. Ceci s'illustre bien sur cet échantillon où le microfilon ou veine la plus à droite de l'illustration ne semble soumis à aucune contrainte visibles à l'œil nu, alors que la veine de gauche a clairement été stoppée dans sa progression. Cette dernière se poursuit donc vers la bordure gauche de cet échantillon sous forme d'une veine bien plus fine. Cette particularité montre que la résistance des basaltes n'est pas homogène et ne permet donc pas une fracturation régulière lors de l'injection des liquides felsiques. Ce type de progression des liquides provenant de l'intrusion plutonique sous-jacente donne à ce contact discordant une texture bréchique (« stopping ») composé de morceaux de basaltes plus ou moins anguleux (voir Chapitre 2.2.3). Ces basaltes présentent également des phénocristaux automorphes de couleur noire répartis de façon hétérogène. Ces minéraux se concentrent particulièrement le long des injections felsiques mais pas uniquement. Ils sont présents dans l'ensemble de l'échantillon mais confinés dans les parties les plus claires de celui-ci. A la différence, les parties les plus sombres ne présentent pas de signes particuliers. Les différentes zones de l'échantillon distinguables à l'œil nu se retrouvent sous le microscope. Ainsi les injections (1) se composent essentiellement de feldspaths et quartz ce qui explique leur couleur blanchâtre en macro.

#### Chapitre 4

Figure 4.1 : a) Basaltes de plateau au contact avec le SRBIC. a) échantillon poli du mont du Commandant (13TK11). b) Lame mince en LSP. c) Schéma de lame mince représentant les zones de composition minéralogique différente. d) Lame mince en LPA.

- 1 : zone d'injection quartzo-feldspathique.
- 2 : zone à phénoblastes d'hornblende et biotite.
- 3 : zone à microblastes d'hornblende.
- 4 : zone à microblastes d'épidotes.

C

Les parties où se concentrent les phénocristaux se retrouvent bien de part et d'autres de ces injections. Les minéraux automorphes sombres qui les composent sont des phénoblastes d'amphiboles et de biotites. Ils renferment des inclusions de plagioclases microlitiques et quelques rares apatites. Ce sont des microlites similaires qui composent la matrice dans laquelle les phénoblastes ont cristallisé. La texture de cette partie de la roche (2) indique clairement que les amphiboles et les biotites ont cristallisé de façon synchrone avec l'injection de liquides quartzo-feldspathiques formant les veines. Ils sont donc des marqueurs du métamorphisme de contact que les basaltes ont subi lors de la mise en place du pluton et de ses injections dérivées. Attestée par la position structurale de ces minéraux, cette hypothèse est aussi confirmée par la présence de certains de ces phénocristaux dans les injections elles mêmes et par les couronnes de quartz + feldspaths auxquelles ces minéraux sont associés dans le basalte. D'autre part, les plagioclases qui composent la mésostase et qui sont recoupés par la croissance des phénocristaux se retrouvent associés avec des microcristaux d'amphiboles. Ces microcristaux, ne se retrouvant jamais en inclusion dans les phénoblastes, ont certainement cristallisé après ces derniers. C'est cette association de plagioclases microlitiques et de microblastes d'amphiboles qui constitue les parties les plus claires du basalte macroscopiquement (3). Les parties les plus sombres (4), elles, sont composées des microlites de plagioclases sur lesquels ont cristallisé des microcristaux d'épidotes associés par endroits à des oxydes de Fe-Ti. Ainsi, il existe des zones exclusivement microlitiques à plagioclases + microblastes d'amphiboles et





4



des zones exclusivement à plagioclases + microblastes d'épidotes. Il est à noter que de rares reliques de pyroxènes ont été observées, dans les parties sombres contenant de l'épidote. La taille de ces reliques ne peut cependant pas permettre d'interpréter définitivement la formation des épidotes par déstabilisation de ces pyroxènes. Les oxydes sont aussi très abondants dans cet échantillon. Ils sont sub-automorphes et semblent donc pour la plupart en lien avec le métamorphisme et plutôt associés aux épidotes. La fin de l'épisode métamorphique est marquée par la déstabilisation des amphiboles mais surtout des biotites. Probablement favorisée par la présence des filons issus de l'injection des liquides felsiques, la circulation tardive de fluides a permis la transformation partielle de ces minéraux en chlorite.

De par leurs caractéristiques, ces basaltes métamorphisés ont été justement qualifiés de cornéennes par J.Nougier en (1969). J.Nougier a distingué deux types de cornéennes en fonction de leur composition minéralogique en lien avec leur distance par rapport au contact intrusif. Il a identifié au plus proche du contact des cornéennes à hornblende tandis qu'avec la distance au contact intrusif apparaissent des cornéennes à albite-épidote. La Figure 4.1 est bien une cornéenne à amphibole que J.Nougier a identifié comme de l'hornblende. Cependant, les épidotes sont également bien présentes dans cet échantillon et localisées dans les zones sombres de la cornéennes. La Figure 4.2 est un exemple des cornéennes à albite et épidote de J.Nougier. Cette lame mince provient de la collection de Marot et Zimine qui a également été prélevés sur le mont du Commandant entre l'été austral 1973 et l'été austral 1975. Le métamorphisme de contact est en effet moins exprimé dans cet échantillon. Il préserve la texture microlitique porphyrique du basalte sain. Cette roche entièrement cristallisée se compose uniquement de plagioclases microlitiques et de phénocristaux majoritairement plagioclasiques auxquels sont associés quelques rares pyroxènes. Les minéraux accessoires sont les oxydes de Fe-Ti. Le métamorphisme est marqué par le remplacement des porphyroclastes de plagioclase par des agrégats de microcristaux d'épidote dont seuls persistent quelques fantômes de minéraux désormais entièrement pseudomorphosés par la chlorite.



Figure 4.2: Photo au microscope en LSP (a) et LPA (b) de l'échantillon MC54 des basaltes de plateau = Cornéenne à albiteépidote.

J.Nougier et plus tard Marot et Zimine ont également décrit un type de cornéenne à pyroxène au contact avec le complexe « centre » (CRBIC) intrusif au nord de la péninsule de Rallier du Baty (Marot and Zimine, 1976; Nougier, 1969). Son absence sur le complexe sud indiquerait, selon eux, une différence de conditions de pressions-températures entre les complexes en questions, l'absence de pyroxènes attestant de conditions de plus basses pressions-températures. A.Giret a également décrit une cornéenne à biotite et diopside au contact des basaltes et du pluton de l'île de l'Ouest (Giret, 1983). Ces différents marqueurs de métamorphisme attestent du différentiel de température à la mise en place des magmas syénitiques chauds dans l'encaissant basaltique froid.

## 4.1.1.2 Monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre

Les roches mafiques grenues sont peu abondantes sur la péninsule de Rallier du Baty (voir Chapitre 1) et limitées au sud du complexe plutonique. Ces roches sont des monzo-gabbros et monzo-diorites. Elles ont donc des compositions plutôt intermédiaires que véritablement mafiques. L'affleurement de roches grenues à l'extrémité SE de l'arête Jérémine, proche de l'anse du Gros Ventre est constitué des roches grenues les plus basiques de la péninsule. Cet affleurement est formé par un monzo-gabbro dont les contacts avec l'encaissant n'ont pu être clairement défini à cause d'une végétation abondante dans cette zone. Cette roche mafique a une texture porphyrique (Figure 4.3 et Figure 4.4).



Figure 4.3 : Echantillon scié du monzo-gabbro du massif de l'anse du Gros Ventre

Les phénocristaux sont de différentes natures (Figure 4.4 et Figure 4.5). En premier lieu, on distingue microscopiquement les olivines qui sont xénomorphes à sub-automorphes. Reconnaissables grâce à leur fort relief, elles ont également un habitus caractéristique très fracturé. En partie comblées par des oxydes, ces fractures sont typiques de l'altération des olivines. De plus, ces péridots ont souvent des textures coronitiques formées par de fines auréoles de pyroxène. Ce pyroxène qui possède une extinction oblique est une clino-enstatite. Cette dernière s'observe également sous forme de phénocristaux. Elle est donc synchrone et postérieure à la cristallisation de l'olivine. Parmi les pyroxènes qui ont cristallisés dans cette roche, ce sont les clinopyroxènes calciques qui sont les plus nombreux et les plus grands (jusqu'à 7mm). Il s'agit de diopsides qui cristallisent en même temps ou peu après les clino-enstatites. Ces diopsides sont notamment remarquables par leur texture de déstabilisation. Cette déstabilisation, qui n'affecte pas les clino-enstatites, se manifeste par la transformation des diopsides en pargasites (amphiboles calciques). Cette déstabilisation induit une pseudomorphose partielle des diopsides à partir de leurs bordures mais également au sein même des cristaux par le biais d'une fracturation (donnant parfois l'illusion d'inclusions). Cette pargasite est donc clairement postérieure à la cristallisation des clinopyroxènes calciques. Elle possède une couleur brune en LSP, des teintes de polarisation allant jusqu'au bleu-vert du second ordre et un clivage net à 120°.



Figure 4.4 : Lame mince en LSP (a) et en LPA (b) de l'échantillon de monzo-gabbro de l'Anse du Gros Ventre

Cependant ce sont les plagioclases qui forment les phénocristaux les plus grands (de l'ordre du centimètre) et qui font ressortir la texture porphyrique du monzo-gabbro. Les compositions de ces plagioclases vont des andésines aux labradors (An37-An57). Ils cristallisent tous après les diopsides. Ainsi, ils incluent bon nombre de minéraux et comblent une partie des interstices entre ces derniers. Ils semblent toutefois se concentrer dans certaines zones de la roche. Les apatites sont également abondantes et ont cristallisés sous forme de microcristaux. Elles semblent apparaitre au moins en même temps que les clino-enstatites et cristallisent jusque dans les stades terminaux. La « matrice » magmatique est principalement composée de phlogopite qui inclut tous les autres minéraux et semble croitre parfois de façon synchrone avec la pargasite. Cette dernière caractéristique donne à cette syénite une texture d'ensemble qui ressemble à une texture cumulative.



Figure 4.5 : Zoom en lame mince en LSP (a) et LPA (b) ; (c) zoom sur la texture symplectique des oxydes de Fer dans une couronne de clino-enstatite entourant un crystal d'olivine.

Ce monzo-gabbro contient aussi beaucoup de minéraux opaques. Bien que la majorité soit des oxydes de Fer, certains montrent des exsolutions d'oxydes de Ti. Ces oxydes apparaissent notamment dans les couronnes de clino-enstatite qui entourent les olivines (Figure 4.5c) et forment avec ces derniers une texture symplectique. De plus, certains microcristaux xénomorphes à sub-automorphes d'oxydes apparaissent en inclusion dans les feldspaths et sont donc antérieurs à la formation de ces derniers. Toutefois, la majorité des oxydes présents dans cette roche semble cristalliser dans les phases tardives. Ils sont en effet généralement associés à l'amphibole calcique durant la déstabilisation des diopsides (pseudomorphose). Cependant, il est probable que parmi la quantité d'oxydes présents dans les clinopyroxènes certains ne proviennent pas de leur altération mais aient pu cristalliser avant leur développement. Certains oxydes tardifs incluent des minéraux métalliques de quelques microns non analysés à la microsonde. De teintes jaune à orange en lumière réfléchie ce sont très certainement des sulfures de Fe (pyrite). Le stade final de l'histoire de ce monzo-gabbro correspond à une phase d'altération issue de la circulation de fluides calciques tardifs au moins en partie magmatiques. Ce dernier épisode va permettre la déstabilisation de pyroxènes au profit de l'épidote et la pseudomorphose des pargasites par l'actinolite. L'intensification de cette altération engendre la séricitisation des plagioclases, la pseudomorphose des phlogopites par la chlorite, ainsi que la cristallisation de calcite dans les espaces crées par la fracturation. La description pétrographique ci-dessus permet de présenter la séquence de cristallisation du monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre telle que sur le Tableau 4-1 suivant:

Minéraux	Séquence de cristallisation
Olivine -	
Clino-enstatite	
Diopside	
Plagioclase	
Pargasite	
Phlogopite	
Oxydes Fe-Ti	
Sulfures Fe (±Cu)	
Actinolite	
Chlorite	
Calcite	
Apatite	

Tableau 4-1 : Séquence de cristallisation du monzo-gabbro de l'Anse du Gros Ventre. Les traits pleins correspondent a des occurrences observées, les pointillées représentent une forte probabilité de présence non certifiée du minéral.

## 4.1.1.3 Monzo-gabbro et monzo-diorite de l'unité la plus externe

Les roches grenues mafiques/intermédiaires qui sont co-structurées avec les intrusions syénitiques au niveau du front de la coulée de Vulcain, formant l'alternance bimodal caractéristique de l'Unité 1 (Figure 2.19), sont légèrement différentes entre elles pétrographiquement. Cette différence ne peut clairement s'observer à l'œil nu, seules les tailles de grains apparaissent différentes macroscopiquement (Figure 4.6).





Figure 4.6 : Echantillons sciés des intrusions (intermédiaires) au front de la coulée du Vulcain. Monzo-diorite la plus au Sud (a) et monzo-gabbro à biotite le plus au Nord (b).

Parmi les différents niveaux intrusifs intermédiaires, l'intrusion la plus au sud est une monzo-diorite sensu-stricto tandis que l'intrusion la plus au nord est un monzo-gabbro à biotite. Ce dernier est de texture équante et microgrenue (Figure 4.7). Il est essentiellement composé de pyroxènes, biotites et plagioclases. Les pyroxènes sont exclusivement des clinopyroxènes calciques (diopsides). Ils font partie des premiers minéraux à cristalliser avec la biotite. Cette cristallisation synchrone est attestée par certaines figures de croissance conjuguées de ces deux phases. En effet, ces deux phases minérales montrent très souvent des textures graphiques (Figure 4.8) dans lesquelles un cristal de clinopyroxène inclut des portions de biotite. Ces différentes portions s'éteignent toutes en même temps et appartiennent donc à un seul et même individu. Cependant, la biotite apparait également en bordure du diopside et atteste, dans ce cas, d'une cristallisation relativement plus tardive. Le reste de la roche est exclusivement constituée de plagioclases dont la cristallisation apparait synchrone pour certains et postérieur pour d'autres à celle des deux minéraux précédents. Les minéraux accessoires de cette roche sont les apatites, les zircons, les titanites et les opaques. Les apatites sont en inclusions, à la fois dans les pyroxènes, les biotites et les plagioclases. Elles font donc partie des premières phases à cristalliser.



Figure 4.7 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) du monzo-gabbro à biotite formant l'intrusion la plus au nord au front de la Coulée du Vulcain (13TK36).



Figure 4.8 : Zoom en LSP (a) et LSP (b) du monzo-gabbro au front de la Coulée de Vulcain, illustrant la texture graphique du clinopyroxène et de la biotite.

Les titanites se trouvent surtout en inclusion dans les biotites tandis que les opaques (des oxydes de Fe-Ti) cristallisent surtout en exsolution à partir des titanites, des clinopyroxènes et des biotites. Mais ils sont également présents en inclusions dans les plagioclases. La majorité de ces oxydes montrent des figures d'exsolution d'ilménite à partir de la magnétite, selon les plans de faiblesse du cristal. Les zircons et certaines titanites se retrouvent en inclusions dans les pyroxènes ainsi qu'en association avec les plagioclases les plus tardifs. Il existe dans cette roche quelques veines d'épaisseur inférieure au millimètre. Elles se sont certainement mises en place dans les derniers stades de la cristallisation du monzo-gabbro à biotite. Ces veines sont de véritables drains qui se suivent dans la roche sans montrer de figures de fracturation en environnement cassant ce qui tend à démontrer que la roche n'était pas entièrement solidifiée lors de leur formation. Ce passage de liquides/fluides tardifs a conduit à la cristallisation de plagioclases ± épidotes ± titanites ± zircons et à la déstabilisation des phases déjà cristallisées comme la chloritisation des biotites. L'épidote cristallise notamment lors de cet épisode tardif et accompagne la séricitisation des feldspaths. Toutes ces observations permettent de représenter la séquence de cristallisation de ce monzo-gabbro dans le Tableau 4-2 suivant:

Minéraux	raux Séquence de cristallisation	
Diopside		
Plagioclases		
Biotite	33	
Oxydes Fe-Ti		
Apatite		
Zircon		
Epidote		
Titanite		
Chlorite		

Tableau 4-2 : Séquence de cristallisation du monzo-gabbro à biotite formant l'intrusion mafique (±intermédiaire) la plus au nord au front de la Coulée de Vulcain.

L'intrusion la plus au sud de l'ensemble intrusif intermédiaire au front de la Coulée de Vulcain est une monzo-diorite à texture microgrenue Figure 4.9. Cette roche a une taille de grains inférieure à celle du monzo-gabbro précédent (Figure 4.7 et Figure 4.9) et montre une altération plus avancée.



Figure 4.9 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de la monzo-diorite à biotite formant l'intrusion la plus au sud au front de la coulée de Vulcain (13TK43).

Les minéraux les plus précoces sont des clinopyroxènes calciques de la série du diopside qui cristallisent de façon synchrone avec la biotite tout comme dans le monzo-gabbro précédent. Cependant, la biotite semble avoir cristallisé sur une plus longue période que les pyroxènes. Ces pyroxènes sont toujours partiellement transformés en amphiboles (Figure 4.10). Ces amphiboles, pléochroïques incolores à vertes en LSP font partie du groupe pétrographique de la hornblende et sont donc postérieures à la cristallisation des pyroxènes et à celle d'au moins une partie des biotites.



Figure 4.10 : Zoom en LSP (a), LPA (b) et LR (c) illustrant le remplacement partiel du clinopyroxène par l'amphibole dans la monzo-diorite au front de la Coulée de Vulcain (13TK43).

Certains amas de minéraux forment des structures remarquables dans cette roche (Figure 4.11). Ils correspondent à des figures de remplacement d'un minéral ayant cristallisé précocement et dont il ne reste que le fantôme. Ces structures sont constituées en leur centre de petits cristaux d'amphiboles et de feldspaths dont la taille ne permet pas une identification claire. Cependant, les couleurs jaunâtres à verte claires des amphiboles en LSP pourraient notamment indiquer des compositions actinolitiques. Cet assemblage central est couronné par des cristaux plus grands de biotite qui sont donc légèrement postérieurs.



Figure 4.11 : Photographies en LSP (a) et LPA (b) d'un fantôme de minéral précoce remplacé par un agrégat de différents minéraux formant une texture coronitique.

Ces structures sont inclues dans une matrice de plagioclases qui forment les zones les plus claires de cette roche. Certains de ces plagioclases sont inclus dans les biotites ce qui plaide pour une cristallisation antérieure voire synchrone à celle des biotites. Les apatites s'observent en inclusions dans les minéraux précédemment cités et sont donc l'une des premières phases à avoir cristallisé. Les opaques sont des oxydes de Fe-Ti qui sont également présents en inclusion dans tous les minéraux de cette roche bien que le plus souvent associés à la biotite. Ils se trouvent aussi sous forme d'exsolutions à partir de la titanite. Le zircon se trouve en inclusion dans les plagioclases de la matrice et avec les dernières amphiboles qui cristallisent. Les titanites se trouvent en inclusion dans les pyroxènes, les amphiboles et les biotites ; et semblent en partie issues de leur déstabilisation. Elles apparaissent également en interstices des plagioclases et accompagnent les phases tardives responsables de l'ultime altération des minéraux primaires. Ces phases d'altération sont les chlorites, les actinolites et les épidotes qui déstabilisent les amphiboles, les plagioclases et les biotites. Les épidotes qui s'observent également en pseudomorphose des cœurs de plagioclases laissent penser qu'elles témoignent d'un métamorphisme subit par cette roche causé par son réchauffement. Cette dernière phase de cristallisation est également associée à la séricitisation des plagioclases et la présence de calcite. Toutes ces observations permettent de représenter la séquence de cristallisation de cette monzo-diorite dans le Tableau 4.3 suivant :



Tableau 4-3 : Séquence de cristallisation de la monzo-diorite intrusive la plus au sud de l'ensemble intermédiaire/syénites au front de la Coulée de Vulcain. M1 : minéral précoce inconnu (probablement olivine) et feldspaths non identifiés.

## 4.1.1.4 Roches intermédiaires de l'intrusion de la Plage jaune

Les monzonites sont très peu représentées dans l'ensemble des roches plutoniques de la péninsule de Rallier-du-Baty. En effet, l'unique occurrence de ce type roches intermédiaires se situe au niveau de l'extrême sud de la Plage Jaune. Elle constitue la première intrusion plutonique dans cette partie de la péninsule (voir Chapitre 2 et 3) et forme un complexe « satellite » dissocié du SRBIC. Cette roche intermédiaire transporte de nombreuses enclaves grenues plus mafiques, essentiellement basaltiques et gabbroïques qui n'ont pas été étudiées dans cette thèse.



Figure 4.12 : Echantillon scié (13TK47) de la monzonite de la Plage Jaune.

Cette roche se situe pétrographiquement entre une monzo-diorite et une monzonite. Elle présente une texture microgrenue voire légèrement porphyrique (Figure 4.12). Hormis un échantillon à texture légèrement porphyrique, tous les minéraux de cette monzo-diorite sont de taille relativement similaire ce qui lui confère une texture équante (ou équigranulaire). Elle est essentiellement composée de feldspaths (plagioclases et perthites) et d'amphiboles.



Figure 4.13 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de monzonite du complexe de la Plage Jaune (13TK47).

Les plagioclases les plus gris de la Figure 4.13(a) sont perthitiques. Quelques amphiboles incluent certains de ces feldspaths perthitiques attestant d'une cristallisation synchrone entre ces deux phases. Ces

amphiboles sont calciques et appartiennent au groupe des hornblendes. Caractérisées par leur clivage net à 120°, elles sont pléochroïques dans les teintes vertes à vertes légèrement brunes en LSP. Certaines de ces amphiboles incluent également en leur sein un reliquat qu'il est impossible de caractériser, mais qui atteste certainement de la présence d'un minéral plus précoce au dépends duquel elles se sont développées (tout du moins pour une partie d'entre elles). Les amphiboles présentent elles-mêmes de façon systématique des zones d'altération qui se retrouvent majoritairement en bordure mais également dans les plans de faiblesses des cristaux. Lorsque certaines de ces amphiboles ont subi une transformation avancée, leur structure devient fibreuse. Cette altération conduit donc à la transformation de ces amphiboles de type hornblende en actinolite ( $\pm$  épidote  $\pm$  biotite). D'autres cristaux d'hornblendes sont regroupés en agrégat plus ou moins circulaires dont le centre est composé de petits minéraux d'actinolite  $\pm$  épidote  $\pm$  hornblende  $\pm$  chlorite  $\pm$  calcite (Figure 4.14). Ces zones sont clairement indicatrices de la présence d'un minéral précoce qui a subi une transformation complète et une recristallisation en plusieurs minéraux plus petits.



Figure 4.14 : Photographie en LSP (a) et LPA (b) d'un exemple de structure concentrique formée de l'assemblage successif de plusieurs minéraux et indicatrice de la transformation complète d'un minéral précoce dans la monzonite de la Plage Jaune (13TK47).

Le parallèle avec la transformation des hornblendes en actinolite laisse penser que la formation du cœur de ces amas se fait après la formation de la couronne d'hornblende autour du minéral primaire. De par la nature même de cette roche, on peut supposer que ces minéraux primaires aient été des olivines ou bien des pyroxènes. Le quartz est l'autre minéral qui apparait en quantité importante dans cette roche. Cette phase minérale est tardive dans l'histoire de cristallisation de cette monzonite(≈diorite) car elle remplit les espaces entre les minéraux déjà formés. Cependant, certains de ces quartz sont également synchrones avec la cristallisation des perthites avec lesquels ils ont une texture graphique.



Figure 4.15 : Texture graphique du quartz avec les feldspaths perthitiques dans la monzonite de la Plage Jaune (13TK47).

En effet, il est fréquent d'observer des perthites qui incluent des portions d'un même minéral de quartz comme illustré dans la Figure 4.15. Dans le cas des grands minéraux perthitiques, cette texture graphique s'observe aux bordures et atteste de l'apparition relativement tardive du quartz. Parmi les minéraux accessoires, se trouvent la biotite, la titanite, des oxydes de Fe-Ti, l'épidote et le zircon. Les titanites sont des minéraux qui apparaissent en association avec les actinolites. Les opaques sont majoritairement des oxydes de Ti (type ilménite) reconnaissables à leur teintes rosâtres en lumière réfléchie (LR) et se trouvent exclusivement en exsolution dans les titanites. Les zircons se retrouvent surtout en association avec le quartz, mais parfois en inclusion dans les perthites. Les nombreuses microstructures et textures observables dans cette roche montrent que la plupart des minéraux semblent cristalliser de façon synchrone, comme l'illustre la séquence de cristallisation de cette monzonite(≈diorite) dans le Tableau 4-4 suivant :

Minéraux	Séquence de cristallisation	
M1		
Hbl Amp		
Plagioclase		
Perthite		
Biotite		
Epidote		
Quartz		
Actinolite		
Titanite		
Oxydes Fe-Ti		
Chlorite		
Calcite		
Apatite		
Zircon		

Tableau 4-4 : Séquence de cristallisation de l'intrusion de monzonite du complexe satellite au sud de la Plage jaune. M1 : minéral précoce (pyroxène / olivine ?).

# 4.1.2 Roches plutoniques felsiques

La pétrographie des roches plutoniques felsiques de la péninsule de Rallier du Baty est complexe. Cette complexité ne provient pas d'un large éventail de roches de compositions variées mais plutôt des faibles différences qui existent entre elles. En effet, hormis des différences notables de textures magmatiques (voir chapitre 2), les observations pétrographiques sur le terrain ne mettent en évidence que de faibles différences de couleur des roches et de faibles variations de composition modale avec une minéralogie qui semble peu varier macroscopiquement. C'est pourquoi, il est difficile d'estimer sur le terrain l'importance de ces faibles variations à l'échelle du complexe plutonique. La minéralogie de toutes les roches plutoniques felsiques s'organise autour de quatre phases minérales principales : le quartz, les feldspaths perthitiques, les amphiboles et les pyroxènes.

Ces minéraux communs à toutes les roches et notamment la présence de quartz et de feldspaths perthitiques en grande proportion permet de les définir pétrographiquement au premier ordre comme syénites appartenant à une série sursaturée en silice en accord avec les études antérieures (Marot and Zimine, 1976; Giret, 1983). C'est pourquoi, j'emploierai le terme de roches syénitiques sensu lato (ou de syénites sensu lato) pour l'ensemble des roches felsiques. Bien que des variations texturales et modales soient observables à différentes échelles, de par leur nature, ces roches sont donc très proches du point de vue pétrographique. C'est pourquoi, plutôt que d'en faire une description précise centrée sur toutes les faibles nuances observées, j'ai choisi de définir des grands ensembles pétrographiques basés sur les similitudes observées entre les échantillons qui les constituent. Plus précisément, j'ai établi une nouvelle classification des roches plutoniques du SRBIC bâtie sur les caractéristiques pétrographiques communes aux minéraux silicatés ferromagnésiens que sont les pyroxènes et les amphiboles. Comme démontré dans les sections suivantes ces phases majeures sont d'excellents marqueurs de l'évolution pétrographique des roches plutoniques du SRBIC.

## 4.1.2.1 Syénites calciques (groupe pétrographique CaS)

La Figure 4.16 compile des photographies de lames minces des roches qui composent le premier groupe pétrographique de syénites. Ces exemples sont non exhaustifs mais représentatifs des principaux types d'échantillons de ce groupe. Echantillonnés au cœur de différentes intrusions plutoniques, il apparait clairement que la texture n'est pas un caractère commun à ces différentes roches. Cette figure illustre en effet la diversité des textures observables allant de roches très grenues à microgrenues et microgrenues porphyriques. Bien que leur texture diffère, toutes ces roches sont pétrographiquement des syénites. Elles se caractérisent toutes par un grand nombre de feldspaths perthitiques formant la majorité du volume de la roche. Ce premier groupe pétrographique est définit par la présence de minéraux ferromagnésiens exclusivement calciques. C'est pourquoi nous qualifierons ce premier ensemble pétrographique de groupe « CaS » (pour « Syénites-Calciques ») dans la suite de cette thèse. Ce terme sera rapporté à l'ensemble des syénites dont les caractéristiques sont exposées ci-dessous.



Figure 4.16 : Planche photographique de plusieurs lames minces de syénites appartenant au groupe CaS. (a) échantillon 13TK01A, texture microgrenue porphyrique, (b) échantillon 13TK12, texture grenue, (c) échantillon TC09-10A, texture microgrenue porphyrique, (d) échantillon 13TK42, texture grenue, (e) échantillon 13TK38, texture microgrenue, (f) échantillon 13TK63B, texture microgrenue porphyrique.

Parmi les ferromagnésiens, les pyroxènes, lorsqu'ils sont présents, sont les premiers à cristalliser. Ils se caractérisent par un relief assez fort et un léger pléochroïsme d'incolore à bleu clair ou jaune clair suivant les cristaux. Leurs teintes de polarisation sont du second ordre allant jusqu'à des teintes orange brun. Un des deux plans de clivage est souvent visible dans l'allongement du minéral. L'extinction de ces pyroxènes est oblique par rapport à la trace de ce clivage. Toutes ces caractéristiques sont celles des clinopyroxènes calciques de la série Diopside-Hédenbergite-Augite. Enfin, il n'est pas rare d'observer une macle simple qui associe structuralement deux individus. Certains de ces cristaux montrent des zonations de croissance qui sont typiques de minéraux qui grandissent au sein d'un liquide dont les caractéristiques chimiques évoluent au cours de la cristallisation et qui attestent de la formation précoce de ce minéral. L'identification précise des clinopyroxènes de cette série calcique indique souvent la présence de

plusieurs termes dans un même échantillon sans différences chronologiques relatives à leur cristallisation. De plus, les analyses in-situ de ces pyroxènes montrent des compositions chimiques relativement proches (voir partie 4.2 Minéralogie). C'est pourquoi j'utiliserai seulement le terme de clinopyroxènes calciques pour désigner les diopsides, hédenbergites et augites (sensu stricto) dans la suite de la description pétrographique et « Cpx » dans les figures qui suivent. Les amphiboles se distinguent par leurs couleurs vertes à vert légèrement brun en LSP. Leur pléochroïsme est plus ou moins prononcé en fonction de la section exposée. En LPA, elles polarisent souvent dans les teintes de la fin 1<sup>er</sup> ordre jusque dans les teintes vives du début du second ordre. Elles ont un relief modéré. Le clivage est souvent marqué, avec des traces d'intersection à  $\approx 120^{\circ}$  caractéristiques pour les coupes dans le plan de section basale. Toutes ces caractéristiques sont celles des amphiboles calciques appartenant au groupe des hornblendes. Cette famille d'amphiboles regroupe différentes compositions idéales formant les pôles de plusieurs solutions solides qui incluent les séries Magnesiohornblende-Ferro-hornblende, Tschermakite-Ferrotschermakite, Edenite-Ferroedenite, Pargasite-Ferropargasite et Magnesiohastingsite-Hastingsite (Deer et al., 1992; Roubault, 1963). Il est difficile de distinguer les amphiboles de ces différentes séries pétrographiquement. C'est pourquoi je regroupe également ces amphiboles sous le terme d'hornblendes dans la suite de cette étude pétrographique. Au delà de l'occurrence de ces amphiboles calciques souvent associées à des clinopyroxènes également calciques, la place occupée par ces minéraux ferro-magnésiens dans l'histoire de cristallisation est toujours la même quel que soit l'échantillon considéré de ce groupe CaS. En effet, les relations texturales entres ces deux phases mais aussi celles avec les autres espèces minérales constituant ces échantillons sont toujours identiques, attestant d'une séquence paragénétique commune. Malgré des variations modales, l'apparition de phases minérales ferro-magnésiennes calciques ainsi que les propriétés texturales de ces dernières sont donc des caractères communs à toutes les syénites de ce groupe CaS.

Le pyroxène est le premier de ces minéraux ferromagnésiens à cristalliser dans ces roches. Il est toujours en position d'inclusions dans l'ensemble des autres phases et notamment dans les feldspaths perthitiques. La Figure 4.17 compile les principales textures des clinopyroxènes dans le groupe CaS. Le clinopyroxène le plus sain est illustré en Figure 4.17(a). Son habitus diffère en fonction de la taille du minéral allant de formes xénomorphes et plutôt circulaires pour les petit cristaux à des formes automorphes pour les minéraux de plus grande taille. Il est souvent assez fracturé quelle que soit sa taille attestant de son caractère précoce. Ces fractures sont généralement comblées par de la biotite. La texture la moins « saine » du clinopyroxène est illustrée en Figure 4.17(b). Cette dernière résulte de la déstabilisation et du remplacement partiel du Cpx par une amphibole par pseudomorphose. Entre ces deux exemples extrêmes (Figure 4.17a et b), il existe toute une diversité de figures d'interaction entre le clinopyroxène et l'amphibole qui sont illustrées de la Figure 4.17(c), avec une intensité croissante de cette interaction jusqu'à la Figure 4.17(f). La Figure 4.17(c) représente un clinopyroxène relativement « sain » bien que fracturé à postériori qui ne présente pas d'évidence d'interaction avec l'amphibole mais qui a cristallisé en même temps qu'un cristal de biotite. Les différentes parties de cet unique cristal de biotite apparaissent dispersées dans le clinopyroxènes et les perthites environnantes. Ces deux minéraux se sont donc formés au moins en même temps que les perthites, voire légèrement avant ces dernières. La Figure 4.17(d) montre des cristaux de clinopyroxènes isolés dans le coin supérieur gauche et d'autres en inclusions dans un cristal d'amphibole au niveau la partie droite. Il apparait clairement que la croissance de l'amphibole est ici postérieure à la cristallisation des clinopyroxènes. Cependant, leur interaction semble faible, car aucun signe de déstabilisation ne s'observe dans les pyroxènes. La Figure 4.17(e) montre un cristal de clinopyroxène complètement auréolé de cristaux d'amphibole. L'amphibole déstabilise légèrement le pyroxène en bordure et provoque un changement de sa composition. Ce

127

changement s'observe par une variation de coloration et de teinte de polarisation au niveau des bordures du pyroxène. Enfin, la Figure 4.17(f) montre plusieurs pyroxènes antérieurs aux cristaux d'amphibole qui les incluent et qui clairement déstabilisent et remplacent ces pyroxènes. Ce remplacement se fait aussi bien en bordure qu'à l'intérieur des cristaux via des fractures préexistantes. Cette pseudomorphose aboutie donc aux textures de la Figure 4.17(b) où l'interaction entre ces deux minéraux ferro-magnésiens mènent aussi à un changement net de composition du pyroxène révélé par l'évolution des teintes de polarisation. Quelles que soient leur habitus, les clinopyroxènes peuvent contenir des inclusions qui sont des apatites et des oxydes Fe-Ti.



Figure 4.17 : Photographies au microscope optique des habitus typiques des clinopyroxènes au sein des syénites du groupe CaS. Facies extrême : (a) Clinopyroxène simplement fracturé, (b) Clinopyroxènes en cours de pseudomorphose avancée. Facies intermédiaire : (c) Clinopyroxène et biotite co-formés. (d) Clinopyroxène en inclusion dans l'amphibole. (e) Clinopyroxène auréolé d'amphibole. (f) Clinopyroxènes en cours de déstabilisation.

Les amphiboles sont donc au moins postérieures voire légèrement synchrones aux clinopyroxènes. Cependant ces derniers ne sont pas toujours présents parmi tous les échantillons étudiés tandis que l'amphibole est omniprésente. Tout comme le pyroxène, elle présente plusieurs habitus de cristallisation, caractéristique au sein des syénites du groupe CaS. Comme le montrent ses textures (Figure 4.18 et Figure 4.19); elles se forment à plusieurs moments dans l'histoire de ces syénites. Certaines d'entre elles cristallisent avant la formation des perthites qui les incluent, comme c'est le cas dans la Figure 4.17. Mais la majorité d'entre elles montrent des textures de croissance contraintes par les perthites environnantes comme c'est le cas dans la Figure 4.18(a). Les amphiboles représentées sur cette figure montrent plusieurs lobes de croissance attestant du développement synchrone des feldspaths et de l'amphibole. De plus, une de ces amphiboles en particulier montre une bordure qui englobe clairement le feldspath (Figure 4.18, a –flèche noire). Certaines amphiboles se forment aussi clairement après la cristallisation des feldspaths perthitiques souvent en association avec le quartz. C'est le cas de la Figure 4.18(b) où les



extrémités d'un cristal d'amphibole grandissent et épousent la forme des quartz environnant. Ces deux minéraux comblent tardivement les interstices laissés par la formation des feldspaths perthitiques.

Figure 4.18: Photographies en LSP des habitus typiques de l'amphibole observés dans les syénites du groupe CaS. (a) Amphibole synchrone avec les perthites, (b) Amphibole relativement tardive synchrone avec le quartz, (c) Amphibole synchrones avec la biotite et les feldspaths, (d) Amphiboles en remplacement du clinopyroxène et partiellement transformée en actinolite.

La Figure 4.18(c) illustre également le caractère étendu dans le temps de la cristallisation des amphiboles. Sur cette photographie, certaines amphiboles sont clairement inclues dans les perthites, tandis que d'autres montrent une texture graphique avec les feldspaths. C'est également le cas de la biotite dans cet échantillon.

Une autre particularité qui caractérise les amphiboles du groupe CaS est illustrée par la photographie (d) de la Figure 4.18. La plupart des amphiboles montrent en effet des textures de déstabilisation et de remplacement par un autre minéral. Ceci s'observe notamment par des franges de déstabilisation au niveau desquelles les teintes de coloration et de polarisation des amphiboles révèlent un changement de composition. Ces dernières peuvent également subir une transformation plus avancée visible sur la Figure 4.19. A l'extrême, l'amphibole est complètement remplacée par un ou plusieurs cristaux d'une amphibole tardive de composition différente. Dans ce cas, la structure même de l'amphibole primaire est remplacée puisque les nouvelles amphiboles ont un aspect fibreux. Ce nouveau minéral présente également un pléochroïsme net, d'incolore à vert bleu ou vert jaune suivant les cristaux. Il polarise dans les teintes de la fin du 1<sup>er</sup> ordre et le début du second. Ces caractéristiques sont celles d'autres amphiboles calciques qui font partie de la série actinolite-trémolite. Les amphiboles calciques primaires de type hornblendes sont

donc déstabilisées et remplacées par d'autres amphiboles calciques. Ces dernières (qui s'apparentent au pôle actinolite, voir partie 4.2.2 Minéralogie) sont donc tardives dans l'histoire de cristallisation des syénites. Les seuls exemples où ces amphiboles plus tardives se forment sans entrainer la déstabilisation d'un minéral préexistant correspondent à leur cristallisation dans les interstices laissés par les minéraux déjà cristallisés. Ces exemples texturaux de l'apparition d'une amphibole tardive sont illustrés en Figure 4.19(de a à c).



Figure 4.19 Photographie d'amphiboles de la série Actinolite-Trémolite dans les syénites du groupe CaS cristallisant (a) à partir de la déstabilisation des hornblendes (b, c) dans les derniers interstices laissés par les gros cristaux de feldspaths perthitiques.

Certaines structures particulières impliquant également l'actinolite s'observent de façon hétérogène dans les échantillons du groupe CaS. Les exemples et textures caractéristiques de ces microstructures sont illustrés dans la Figure 4.20. Ces structures se composent d'une association de petits minéraux cristaux d'actinolites et d'oxydes de Fe-Ti en leur centre (±feldspaths). Cet assemblage central est auréolé d'une couronne de biotite plus ou moins épaisse (Figure 4.20a). De par l'apparition tardive de l'actinolite dans les syénites, la forme sub-automorphe de ces agrégats minérals, leur taille variable et leur texture de type coronitique, ces structures sont interprétées comme des figures de remplacement d'un minéral préexistant (Figure 4.20a, b).

La Figure 4.20(c et d) montrent que les clinopyroxènes calciques ne semblent pas du tout affectés par la réaction qui a entrainé la formation de ces structures. Il est donc clair que ces structures ne sont pas issues de la déstabilisation du clinopyroxène mais d'un autre minéral précoce. Dans ces agrégats, les oxydes se concentrent dans les amphiboles. Leurs habitus xénomorphes ainsi que leur petite taille indiquent qu'ils proviennent majoritairement soit (i) du minéral précoce remplacé, soit (ii) des amphiboles (±biotite). Dans les deux cas, ils représentent une phase vraisemblablement exsolvée. Lorsque ce phénomène est important, les oxydes ne laissent qu'une fine frange d'actinolite en bordure et en contact avec la couronne de biotite (Figure 4.20, d). Ces structures sont très semblables à celles déjà observées dans la monzo-diorite au front de la coulée de Vulcain (Figure 4.11) et dans la monzonite/diorite de la Plage Jaune (Figure 4.14).



Figure 4.20 : Photographie en LSP de figures de remplacement d'un minéral précoce formées par de l'actinolite, des oxydes de Fe-Ti et une couronne de biotite. (a, b) Figures typiques au sein des perthites, (c) Relation avec le clinopyroxène, (d) Remplacement avancé formé au centre d'une majorité d'oxydes de Fe-Ti, auréolé d'une frange d'actinolite et surmonté d'une couronne de biotite.

Hormis les minéraux majeurs de ce groupe CaS que sont les clinopyroxènes calciques, les amphiboles calciques, le quartz, la biotite, les feldspaths perthitiques et les oxydes de Fe-Ti; il existe d'autres minéraux accessoires en proportion variable selon les échantillons. Parmi ces minéraux accessoires, les apatites sont les plus abondantes. Elles s'observent en inclusion dans tous les autres minéraux et semblent donc se former tout au long de l'histoire de cristallisation des syénites. Les titanites sont aussi des minéraux accessoires et cristallisent souvent en association avec les amphiboles calciques de type hornblendes. Elles peuvent aussi se retrouver en fin de cristallisation avec le quartz et les actinolites. Les zircons sont relativement abondants et se retrouvent majoritairement en inclusion dans les amphiboles de première génération. Ils sont aussi souvent en inclusion dans les feldspaths perthitiques et plus

rarement présents en fin de séquence de cristallisation avec le quartz. Contenus dans les feldspaths mais le plus souvent associés aux amphiboles de type hornblende, des minéraux du groupe de la chevkinite s'observent également de façon plus ou moins abondante en fonction des échantillons. Ce sont des espèces minérales rares porteuses d'élément traces (notamment La et Ce) et HFSE (notamment Th) caractéristiques des systèmes magmatiques alcalins. Elles sont relativement bien représentées au sein de l'ensemble CaS. Finalement, quelques rares calcites tardives ont pu être observées en interstices ou dans des veines tardives associées avec le quartz. En résumé, le groupe pétrographique CaS regroupe un ensemble de roches de textures variées et caractérisées par l'omniprésence de minéraux ferromagnésiens calciques (pyroxènes et amphiboles en proportion relative variable). Ces minéraux, exclusivement calciques, s'observent tout au long de la séquence paragénétique des échantillons qui composent ce groupe. Ces phases minérales ont des habitus et des relations similaires au travers de tous les échantillons, attestant de caractères pétrographiques communs. En plus de ces phases majeures, les autres minéraux majeurs et accessoires s'observent de façon identique au sein des syénites qui composent ce groupe. C'est pourquoi, une séquence paragénétique commune peut être établie pour toutes les roches du groupe CaS (Tableau 4-5 suivant) :



Tableau 4-5 : Séquence de cristallisation correspondant au groupe CaS. M1 : minéral précoce inconnu (olivine ?). Les minéraux en gras sont toujours présents quel que soit l'échantillon considéré.

Finalement, bien que la texture de ces roches soit différente, et que les proportions minérales soient variables d'un échantillon à l'autre, cette unique séquence de cristallisation permet de définir un premier ensemble pétrographique cohérent. Le terme « calcique » est relié à la composition des amphiboles et pyroxènes mais est également appuyé par la présence de phase telle que l'apatite (accessoire mais abondante) et la titanite, voire la calcite tardive.

### 4.1.2.2 Syénites sodiques (groupe pétrographique NaS)

Un deuxième ensemble a pu être défini sur des similitudes pétrographiques entres les différentes roches qui le composent. A l'instar du groupe précédent, la texture de ces roches est un paramètre variable. Comme le montre la Figure 4.21, ces roches ont en effet des textures qui vont de microgrenues à fortement grenues voire pegmatitiques. Ces roches sont toujours des syénites composées de phases minérales majeures que sont le quartz, les feldspaths, les pyroxènes et les amphiboles.



Figure 4.21 : Planche photographique de plusieurs échantillons appartenant au groupe NaS. (a) échantillon 13TK103B, texture grenue,(b) échantillon 13TK104, texture très grenue quasiment pegmatitique, (c) échantillon 13TK105, texture grenue (±porphyrique), (d) échantillon 13TK79, texture grenue, (e) échantillon 13TK76, texture microgrenue, (f) échantillon 13TK106, texture microgrenue porphyrique.

#### Chapitre 4

De la même manière que pour le groupe CaS, ce second groupe est définit à partir des caractères pétrographiques des minéraux ferro-magnésiens (pyroxènes et amphiboles). Tout comme dans le groupe CaS, les amphiboles sont toujours présentes dans tous les échantillons, contrairement aux pyroxènes dont le mode d'occurrence varie. Au-delà des caractéristiques communes aux amphiboles telles que leur relief modéré et leur clivage souvent finement marqué, avec des angles d'intersection à  $\approx 120$ ; les amphiboles de ce groupe se distinguent de par leurs couleurs. Elles possèdent en effet, un large spectre de teintes caractéristiques en LSP. Cet éventail apparait non seulement d'un échantillon à l'autre mais aussi d'un cristal à l'autre au sein d'une même roche ainsi qu'au sein même d'un unique cristal. Fortement pléochroïques, leurs teintes varient entre le jaune, le vert, le bleu et le brun. Elles passent généralement de teintes pâles vert-jaune à des teintes foncées brun-bleu. Tout comme leurs couleurs en LSP, leurs teintes en lumière polarisée et analysée sont variées. Elles oscillent entre des teintes rouge-bleu du 1<sup>er</sup> ordre et vert-jaune du second ordre. La diversité de coloration et de teintes de polarisation est révélatrice des variations de compositions chimiques de ces amphiboles. La Figure 4.22 suivante présente les différents habitus et colorations des amphiboles observables au sein du groupe NaS.



Figure 4.22 : Photographie en LSP des différents habitus des amphiboles présentes au sein des syénites du groupe NaS.

Cette figure montre des amphiboles de coloration allant de jaune-vert (a) à vert-jaune (b), et de vert-bleu (c) à bleu foncé (d). Défini pétrographiquement comme des amphiboles calco-sodiques, les deux premières (a, b) ont des caractéristiques relativement similaires aux amphiboles calciques du groupe CaS, si ce n'est une légère différence de coloration révélatrice d'un changement de composition élémentaire. Les analyses chimiques réalisées à la microsonde ont permis de les identifier comme des amphiboles calco-sodiques de la série des katophorites et de la série des richtérite (voir partie 4.2.2 Minéralogie), et de confirmer l'implication du sodium dans leur structure élémentaire. Ces amphiboles apparaissent à la fois en inclusions dans les feldspaths perthitiques et contraintes par la croissance de ces derniers (Figure 4.22, a). Cette caractéristique est visible de par les extrémités de l'amphibole dont la croissance est contrainte par les feldspaths environnant en Figure 4.22a. C'est également ce type d'amphibole qui apparait en Figure 4.22(b) et dont le changement de composition est mis en évidence par un changement progressif de coloration, passant de zones (majoritairement des cœurs) vert-jaune à des parties (principalement des bordures) brun-bleu. Ce changement se fait de manière progressive et n'est pas accompagné par la formation de nouveaux cristaux. Cette amphibole se transforme donc en une amphibole d'un bleu intense en LSP. Les teintes de polarisation de cette dernière vont jusqu'à la fin du 1<sup>er</sup> ordre, et sont souvent masquées par de la couleur bleue intense du minéral.

Cette amphibole bleue se retrouve donc en produit de déstabilisation et d'évolution d'une autre amphibole attestant de son caractère secondaire mais également en tant que minéral seul plus précoce dans certains échantillons, tel qu'illustré dans la Figure 4.22(c). Ces caractéristiques sont celles d'une amphibole sodique de la série arfvedsonite-eckermannite. Un dernier type d'amphibole apparait dans certains échantillons. Cette amphibole cristallise au cours des derniers stades de l'histoire de cristallisation de certaines syénites. Elle apparait dans les interstices laissés par les autres minéraux déjà cristallisés. Elles remplacent également l'amphibole sodique bleue à partir de sa bordure. Ce minéral est pléochroïque en LSP, d'incolore à vert jaunâtre. Il polarise dans des teintes vives du second degré. Représenté dans la Figure 4.22(d), cette amphibole a une forme aciculaire lorsqu'elle cristallise librement dans les derniers interstices. Cette amphibole est une eckermannite, un minéral très sodique représentant le pôle alumineux (±magnésien) de la série arfvedsonite-eckermannite. Il existe donc parmi les minéraux ferro-magnésiens caractérisant les roches du groupe NaS, plusieurs types d'amphibole allant de calco-sodiques (série katophorite- série richtérite) remplacées par des amphiboles franchement sodiques (série arfvedsonite – eckermannite). L'arfvedsonite, soit secondaire soit plus précoce, est l'amphibole la plus abondante au sein de ce groupe.

Contrairement au groupe CaS dont les pyroxènes sont exclusivement des clinopyroxènes calciques et relativement abondants, les clinopyroxènes calciques sont très rares dans les syénites du groupe NaS. Ils persistent en tant que reliques partiellement déstabilisés par les amphiboles ou bien en tant que minéral isolé en inclusion dans les feldspaths. Les pyroxènes les plus abondants et caractéristiques de ce groupe sont pléochroïques en LSP passant du jaune au vert intense. Leur teintes de polarisation s'étendent du 1<sup>er</sup> ordre à la fin des teintes vives du second. De plus, l'extinction est généralement droite voir très légèrement oblique. Ils possèdent un relief modéré toutefois plus fort que celui des amphiboles. Ces caractéristiques sont celles de clinopyroxènes sodiques de type aegirine. Ils se trouvent souvent en association avec les amphiboles calco-sodiques (Figure 4.23). Leurs relations texturales avec ces amphiboles calco-sodiques indiquent une cristallisation postérieure voire synchrone dans certains échantillons. Les textures de ces phases minérales semblent généralement montrer la déstabilisation et le remplacement partiel de l'amphibole par le pyroxène (Figure 4.23a). Cependant quelques exemples montrent également une cristallisation synchrone sans réaction évidente.



Figure 4.23 : Photographie en LSP des principales textures du clinopyroxène sodique observables au microscope au sein du groupe NaS. (a) : l'aegirine remplace l'amphibole. (b) L'aegirine cristallise en même temps que l'amphibole qui est déstabilisée en amphibole sodique. (c- haut) : l'amphibole se déstabilise en amphibole sodique tandis que l'aegirine est synchrone de cette transformation et cristallise en association avec l'arfvedsonite.

#### Chapitre 4

D'autres textures sont encore plus révélatrices de cette interaction qui existe entre ces deux phases minérales ferro-magnésiennes. La Figure 4.23b illustre en effet le type de relation et de texture le plus observé dans ce groupe NaS. Ici, l'amphibole calco-sodique montre un changement de composition révélateur de la déstabilisation et du remplacement de cette dernière par l'arfvedsonite en lien ou associé à l'aegirine, ne laissant presque plus de traces de la composition initiale calco-sodique. Ces aegirines sont donc majoritairement postérieures à la formation des amphiboles calco-sodiques et semblent associées à leur transformation en arfvedsonite. Cette phase sub-synchrone de cristallisation de minéraux ferro-magnésiens riches en sodium est également mis en évidence par la co-cristallisation de ces deux phases dans les interstices laissées par les grands feldspaths perthitiques (Figure 4.23c). Les minéraux ferro-magnésiens des syénites du groupe NaS sont donc majoritairement sodiques. De plus, les observations pétrographiques montrent que le caractère sodique de ces minéraux s'accentue au cours de l'histoire de cristallisation. Un autre caractère commun des syénites ce groupe est l'omniprésence du quartz. Malgré un mode variable d'une roche à l'autre, sa proportion est toujours plus grande que celle des syénites du groupe CaS. Il est d'ailleurs visible à l'œil nu dans les roches du groupe NaS contrairement à celles du groupe CaS (Figure 4.16 et Figure 4.21). Il apparait généralement en fin de séquence de cristallisation dans ses syénites dans lesquelles il cristallise dans les interstices laissés vacants par les minéraux plus précoces, souvent en association avec l'aegirine et l'arfvedsonite (Figure 4.24, a). Rarement, il montre une texture graphique avec les bordures des feldspaths perthitiques impliquant une cristallisation au moins synchrone avec ces dernières (Figure 4.24, b).



Figure 4.24 : Photographies en LSP des habitus d'arfvedsonites isolées et de quartz au sein des syénites du groupe NaS.

Cette plus grande proportion de quartz pourrait indiquer un degré de différenciation des roches du groupe NaS plus avancé que pour les échantillons du groupe CaS. Les minéraux opaques les plus grands sont des oxydes de Fe-Ti. Toutefois, les oxydes de Fe (magnétite) qui présentent souvent des figures d'exsolution d'oxydes de Ti (ilménite) tel qu'ils s'observent de façon quasiment ubiquiste dans le groupe CaS sont plus rares et moins abondants que les ilménites seules dans ce groupe NaS. Elles sont en général associées aux amphiboles et se retrouvent plus rarement en inclusion dans les feldspaths perthitiques. Les oxydes les plus tardifs cristallisant en association avec le quartz et les ferromagnésiens les plus sodiques sont des magnétites de petite taille. Les apatites sont en proportion modale moindre que dans les syénites du groupe CaS. Tout comme les oxydes de Fe-Ti, elles se concentrent surtout en inclusion dans les amphiboles et plus rarement dans les feldspaths. Les syénites du groupe NaS ont également la particularité d'être riches en certains minéraux accessoires. Ces minéraux accessoires sont suivant leur abondance relative décroissante : le zircon, la chevkinite et l'aenigmatite. Le zircon plus particulièrement est fortement représenté dans ce groupe et peut atteindre des tailles proches du millimètre. Il apparait

généralement en association avec les amphiboles calco-sodiques. Il cristallise également dans les interstices avec le quartz en fin de séquence de cristallisation. La chevkinite est présente à plusieurs stades de l'histoire de cristallisation, elle se retrouve généralement en association avec l'amphibole mais également en inclusion au sein des perthites et plus rarement en bordures de ces derniers et dans les interstices. L'aenigmatite est un inosilicate particulier riche en titane et en sodium. Une vive coloration « sanguine » permet de le repéré facilement dans ces roches. Des teintes de polarisation tout aussi « sanglantes » permettent de ne pas le confondre avec un mica noir riche en titane. Il se trouve plutôt en association avec l'arfvedsonite et l'aegirine mais peut également se retrouver en inclusion dans les feldspaths. Ce minéral est caractéristique des systèmes alcalins et confirme le caractère sodique de ces syénites observé via les ferromagnésiens et riche en titane repéré par l'abondance d'ilménite. La fin de l'histoire magmatique est caractérisée dans plusieurs échantillons par la cristallisation de petits minéraux accessoires en association avec le quartz et l'albite, dont les plus abondants sont les zircons, les chevkinites et des fluorites. Des cristaux d'astrophyllite, minéral d'aspect fibreux, ainsi que quelques pyrochlores ont également pu être observés.

La Figure 4.25 suivante compile quelques exemples photographiques des minéraux accessoires et de leurs textures majoritairement rencontrés dans le groupe NaS. Ces minéraux sont caractéristiques des systèmes alcalins et révèlent le caractère dit « agpaïtique » de ce groupe pétrographique.



Figure 4.25 : Photographies des principaux minéraux accessoires du groupe NaS. (a) : Cristaux de chevkinite souvent en forme de pyramide et/ou aciculaire. (b) Minéraux de zircons dépassant 0,5mm et formés en même temps que les feldspaths. (c) : Cristaux de zircons en inclusion dans une amphibole calco-sodique et aenigmatite en inclusion dans le quartz et les perthites. (d) Cristal d'astrophyllite cristallisé en fin de séquence dans les interstices laissés par les perthites et en association avec le quartz, l'albite, le pyrochlore et la fluorite.

Après l'histoire magmatique des syénites, un épisode tardif de circulation de fluides affecte plusieurs échantillons. Cette dernière phase aboutit à l'oxydation généralisée de tous les minéraux ferromagnésiens et est accompagnée d'un dépôt d'hydroxyde de fer (Figure 4.21, b). C'est peut être ce même épisode qui a permis de cristallisées les fluorites tardives.

En résumé, le groupe NaS se définit en premier lieu par ses minéraux ferromagnésiens qui sont en grande majorité sodiques et se distinguent donc clairement de ceux du groupe CaS. De plus, toutes les syénites du groupe NaS, ont dans l'ensemble une proportion de quartz plus grande que celle des syénites du groupe CaS et visible à l'œil nu. En outre, ces roches contiennent une plus grande proportion de minéraux accessoires caractéristiques des systèmes alcalins tels que la chevkinite (± pyrochlore) et l'aenigmatite. Les zircons sont également très présents et sont généralement de plus grande taille dans ce groupe NaS. Tout comme pour le groupe CaS, bien que la texture des roches soit différente, et que les proportions minérales soient variables d'un échantillon à l'autre, une séquence de cristallisation (Tableau 4-6) permet de caractériser ces échantillons formant un second groupe pétrographique au sein du SRBIC : le groupe NaS.

Minéraux	Séquence de cristallisation magmatique	altération
Ca - Cpx		
CaNa - Amp		
Na - Amp		
Aegirines	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Quartz		<u> </u>
Perthites		
Feldspaths-K	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Albites	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Zircons		
Apatites		
Pyrochlores		
Chevkinites		
Aenigmatites		
Astrophyllites		
Fluorites		
Oxydes Fe-Ti		
Hydroxydes Fe		

Tableau 4-6 : Séquence de cristallisation des roches appartenant au groupe pétrographique NaS. Les minéraux en gras sont toujours présents quelques soit l'échantillon considéré.

4.1.2.3 Syénites calco-sodiques (groupe pétrographique intermédiaire CaNaS)

A l'instar des syénites des deux groupes précédent de la péninsule de Rallier du Baty, les roches de ce groupe sont des syénites majoritairement composées de feldspaths perthitiques ainsi que de pyroxènes, d'amphiboles et de quartz. Tout comme ces deux groupes précédent, ce troisième ensemble pétrographique est défini ici sur la base des caractéristiques propres à ses minéraux ferro-magnésiens. La texture des roches de ce groupe est également variable, allant de textures magmatiques microgrenues à (±porphyriques) jusqu'à des textures très grenues. Ce dernier groupe est considéré comme un groupe intermédiaire entre les deux groupes CaS et NaS. C'est pourquoi il est nommé « CaNaS » (pour syénites calco-sodiques) dans la suite de cette thèse. Les roches de groupe CaNaS présentent en effet des caractères pétrographiques propres aux deux groupes précédents. Ces caractéristiques se retrouvent d'un échantillon à l'autre mais également et surtout au sein d'un même échantillon. Les pyroxènes de ce groupe sont tous des clinopyroxènes mais de plusieurs types : calciques, calco-sodiques et sodiques. La

#### Chapitre 4

Figure 4.26 représente les habitus communs de ces clinopyroxènes au sein de ce groupe, du clinopyroxène le plus sain (Figure 4.26, a) au plus altéré. Tout comme dans le groupe CaS, les clinopyroxènes calciques font partie des minéraux les plus précoces. Ils se retrouvent le plus souvent en inclusion dans les feldspaths perthitiques (Figure 4.26, a). D'autre part, le clinopyroxène sodique apparait plutôt dans les stades de cristallisation plus avancés en association avec les amphiboles (Figure 4.26, a,c). L'aegirine est souvent contrainte par les bordures des feldspaths perthitiques et cristallise aussi dans les interstices. Il existe donc des clinopyroxènes calciques et sodiques strictement distincts au sein de mêmes échantillons. Cependant, le pyroxène caractéristique de ce groupe est un clinopyroxène à la fois calcique et sodique. Il s'agit en effet d'un clinopyroxène dont le cœur est faiblement coloré voire incolore en LSP et dont les bordures sont de couleur verte intense (Figure 4.26b,c). Ce changement de coloration atteste d'un changement de composition progressif du cœur vers la bordure de ce minéral. Il s'agit de clinopyroxènes calciques dont les bordures se sont déstabilisées et devenues sodiques. Ce pyroxène illustre donc clairement le caractère intermédiaire de ce groupe CaNaS entre des cœurs de type diopside et des bordures de type aegirine. De plus, la texture de ce type de pyroxène ainsi que la chronologie relative des différents types de pyroxènes montre clairement une évolution dans le temps vers des termes sodiques.



Figure 4.26 : Photographie en LSP des habitus typiques de clinopyroxènes observés dans les syénites du groupe CaNaS. (a) Ca-Cpx sains incluent dans une amphibole CaNa + aegirine, (b, c, d, e), (f) Relations Ca-Cpx sains, Ca-Cpx en transformation, aegirine et CaNa-amphibole.

La Figure 4.26(d) à (f) illustre des exemples de relations entre les ferromagnésiens couramment observées au sein du groupe CaNaS. Ainsi, l'observation des amphiboles de ce groupe CaNaS permet de faire un constat identique à celui de l'observation des pyroxènes. En effet, les amphiboles retrouvées au sein de ces roches sont de plusieurs natures mais clairement dominées par les amphiboles calco-sodiques. Ces amphiboles ont des colorations vertes aux nuances prononcées (brunes) ce qui permet de les distinguer optiquement des amphiboles de type hornblende (Figure 4.26a,b,e,f). Ces amphiboles incluent les clinopyroxènes calciques et semblent contemporaines voire légèrement antérieures à la cristallisation du clinopyroxène sodique (Figure 4.26a,b,d,e,f). Elles se forment de façon synchrone avec les feldspaths perthitiques qui les incluent. Les amphiboles de types hornblende sont précoces et plutôt rares tandis que les amphiboles sodiques de coloration bleue intense apparaissent surtout dans les derniers stades de l'histoire magmatique des syénites de ce groupe. Elles cristallisent majoritairement en relation avec la déstabilisation des amphiboles calco-sodiques et plus rarement dans les interstices laissés par les autres minéraux déjà cristallisés.



Figure 4.27 : (a et b) Photographies en LSP des figures de remplacement de l'olivine au sein des syénites du groupe CaNaS

L'amphibole sodique se retrouve également dans des structures particulières présentes dans certains échantillons. Ces structures correspondent à un assemblage de plusieurs minéraux toujours relativement bien organisés de manière concentrique (Figure 4.27,a). On retrouve rarement au centre de ces structures un minéral qui a un fort relief, très fracturé et dont ces fractures sont remplies d'oxydes de Fe-Ti. Incolore en LSP, polarisant dans des teintes vives du second degré et ne présentant pas de clivage apparent, ce minéral est une olivine de type fayalite. Cette olivine est souvent couronnée d'une frange d'amphibole vert-bleu en LSP et polarisant dans les vert-brun en LPA. L'analyse microsonde a révélé qu'il s'agissait d'une amphibole calco-sodique de type richtérite (plutôt magnésienne). Cette frange est toujours surmontée d'une seconde couronne de biotite. Les oxydes se concentrent surtout au centre de ces structures mais s'étendent parfois jusqu'aux micas. Il est clair que cet assemblage minéralogique coronitique est caractéristique du remplacement de l'olivine. Toutefois, il est rare d'observer nettement des reliques d'olivines qui sont souvent remplacées par les oxydes au centre de ces structures tel que sur la Figure 4.27(b) accompagnés d'une phase amorphe jaune. Toujours en association avec ces objets se trouvent d'autres agrégats minérals constituées par des amphiboles sodiques bleues en association avec des oxydes de Fe-Ti. Il pourrait également s'agir des mêmes figures de remplacement que les structures décrites précédemment mais à un stade plus avancé, ou bien de la transformation de plus petits cristaux d'olivine. Les analyses in-situ de ces amphiboles a permis de les identifier comme étant des riebéckites (amphiboles sodiques).

De par les rares amphiboles strictement calciques et la présence des amphiboles sodiques ; la nature et la texture des amphiboles de ce groupe ressemblent à celles des amphiboles du groupe NaS. Cependant l'amphibole calco-sodique est ici clairement dominante. De plus, l'amphibole sodique est ici rarement un minéral qui a cristallisé directement à partir du magma mais apparait surtout en remplacement d'amphiboles plus précoces. Ainsi, le constat sur l'évolution des pyroxènes dans ce groupe CaNaS s'applique également aux amphiboles. Les proportions relatives, la nature et la texture des amphiboles montrent également une évolution vers des termes sodiques au cours du temps.

La biotite est ici présente en tant que minéral précoce. En effet en plus de faire partie des figures de remplacement de l'olivine, elle cristallise tout comme dans le groupe CaS en grande plage, parfois isolée, mais le plus souvent en association avec les clinopyroxènes calciques et les amphiboles calco-sodiques. En majorité, les syénites de ce groupe CaNaS, tout comme celles du groupe CaS, sont relativement pauvres en quartz comparées à celles du groupe NaS. Celui-ci cristallise toujours dans les stades finaux de l'histoire magmatique. Les oxydes de Fe-Ti sont des magnétites à exsolutions d'ilménite de tailles variées. Ils sont présents tout au long de l'histoire de cristallisation de ces roches. Les minéraux accessoires sont surtout des chekvinites, des zircons et des aenigmatites. Contrairement aux syénites du groupe NaS, la titanite est bien présente et l'apatite apparait en proportion plus abondante. La première est en majorité inclue dans les amphiboles calco-sodiques et l'autre dans les perthites. Toutes ces observations permettent de définir une séquence de cristallisation pour les syénites du groupe CaNaS telle que représentée dans le Tableau 4-7 suivant :

Minéraux	Séquence de cristallisation magmatique	
Olivines		
Са - Срх		
Hbl amp		
Biotites		
CaNa - Amp		
Perthites	2	
Na - Cpx	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
Na - Amp		
Actinolites		
Quartz		
Apatites		
Titanites		
Oxydes Te-Ti		
Zircons		
Chevkinites		
Aenigmatites		

 Tableau 4-7 : Séquence de cristallisation des roches appartenant au groupe pétrographique CaNaS

En résumé, les roches du groupe CaNaS se distinguent de celles du groupe CaS par l'apparition du clinopyroxène sodique, lequel se retrouve généralement en produit de déstabilisation des Cpx précoces impliquant une évolution des Cpx au travers des compositions calco-sodiques. Au niveau des amphiboles, malgré quelques amphiboles de type hornblendes semblables au groupe CaS, la grande majorité des amphiboles précoces sont des amphiboles calco-sodiques. Sauf quelques rares actinolites identiques au groupe CaS, l'arfvedsonite est l'amphibole représentative des derniers stades de cristallisation des roches de ce groupe. Les roches du groupe CaNaS se distinguent également de celles appartenant au groupe NaS de par l'abondance des Cpx calciques précoces en cours de déstabilisation. L'aegirine relativement tardive

ne montre pas de réaction avec les amphiboles calco-sodiques telles qu'elles s'observent dans le groupe NaS. L'arfvedsonite est dans ce groupe exclusivement tardive et bien moins abondante que dans le groupe NaS.

Ces distinctions pétrographiques basés sur les minéraux ferro-magnésiens montrent et impliquent des caractères également communs avec les deux groupes précédents, qui se retrouvent aussi au niveau des minéraux accessoires. Ces syénites apparaissent donc clairement comme intermédiaires entre les syénites du groupe CaS exclusivement calciques et les syénites du groupe NaS dont les ferromagnésiens sont majoritairement sodiques. De par ce caractère intermédiaire, certaines roches de ce groupe se rapprochent plus des syénites du groupe CaS tandis que d'autres ressemblent d'autant plus à celles du groupe NaS. Cette particularité est notamment liée aux proportions de modales des différentes phases ferromagnésiennes qui cristallisent au cours de l'histoire magmatique de chaque échantillon. Cependant, l'évolution pétrographique de ces derniers vers des termes sodiques tend à rapprocher naturellement les roches de ce groupe CaNaS de celles du groupe NaS.
# 4.1.3 Filons et dykes tardifs

Il existe deux grands types de filons identifiés comme syn à tardi-plutonisme (voir Chapitre 2). Les exemples qui suivent dans cette section sont issus de filons qui recoupent l'ensemble des structures plutoniques.

## 4.1.3.1 Filons de basalte

Le premier type regroupe les filons de nature basaltique (Figure 4.28 et Figure 4.29). Ces basaltes ont une texture microlitique (± porphyrique). Les phénocristaux sont des plagioclases et des clinopyroxènes. Les pyroxènes sont souvent zonés et possèdent souvent des macles en sablier. Ce sont également ces deux types de minéraux qui forment la mésostase microlitique sans orientation préférentielle marquée des microlites. Les apatites et les oxydes de Fe-Ti sont également présents en quantité significative et semblent avoir cristallisé tout au long de la séquence de cristallisation. La texture squelettique de certains oxydes atteste d'une croissance très rapide dans la mésostase. Tous ces oxydes montrent des figures d'exsolution entre une phase riche en titane (ilménite) et une phase riche en fer (magnétite). Ces roches contiennent également quelques sulfures de Fe-Cu. En effet, la pyrite et la chalcopyrite (plus tardive) s'observent souvent en minéraux accessoires (Figure 4.30). D'autre part, il est fréquent que ces filons aient subit une altération tardive conduisant à la déstabilisation des plagioclases et pyroxènes en micas (majoritairement noirs) et chlorites.



Figure 4.28 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de l'échantillon 13TK06. Dyke de basalte recoupant le SRBIC.



Figure 4.29 : Lame mince en LSP (a) et LPA (b) de l'échantillon 13TK52. Dyke de basalte recoupant le SRBIC.





#### 4.1.3.2 Filons de trachyte

Le second type de filons et dykes syn à post-plutonisme regroupe les filons de nature trachytique. Ces roches ont des textures microlitiques porphyriques (Figure 4.31). Les phénoblastes sont bien visibles à l'œil nu. De couleur blanche et d'aspect laiteux, ils se distinguent de la matrice homogène vert foncé. Pétrographiquement, ces roches sont entièrement cristallisées et sont composées en grande majorité de feldspaths. Les phénocristaux sont formés de plagioclases seuls ou en agrégats. Ils sont entourés de microlites plagioclasiques parfois orientés sur l'ensemble de la lame mince. Ces roches contiennent également quelques microcristaux de titanite souvent en inclusion dans les feldspaths. Les opaques sont des oxydes de Fe-Ti et sont toujours associés avec la titanite. D'autre part, des zircons magmatiques, de taille approchant le millimètre se retrouvent au sein de la mésostase (Figure 4.31). Ces minéraux accessoires particuliers font de ces trachytes des objets d'importance pour l'étude chronologique du SRBIC. Enfin, une phase d'altération tardive dans l'histoire de cristallisation a engendré la déstabilisation des plagioclases en biotite et chlorite. La couleur vert foncé de ces roches à l'affleurement provient donc de cette dernière phase d'altération en grande partie chloriteuse.



Figure 4.31 : Lame mince en LSP (a) et en LPA (b) d'une trachyte recoupant le SRBIC et contenant des zircons (13TK08).

# 4.2 Minéralogie des minéraux ferro-magnésiens

Les observations pétrographiques précédentes ont montré l'importance des minéraux ferro-magnésiens dans les roches plutoniques du SRBIC et de ses satellites, constituant le principal critère de discrimination pétrographique entres les différents types de syénites (partie précédente). Leur omniprésence, leur grande étendue dans les différentes séquences de cristallisation ainsi que leur variabilité compositionnelle à l'échelle du complexe en fait des phases représentatives de l'évolution magmatique au sein du complexe. Elles apparaissent donc comme idéales pour caractériser l'évolution géochimique in-situ des différents magmas à l'origine des roches plutoniques. C'est pourquoi, afin d'aborder cet aspect fondamental, une étude minéralogique a été réalisée via des mesures à la microsonde électronique et concentrée sur ces minéraux ferromagnésiens. Tout comme l'étude pétrographique des roches intrusives, cette étude minéralogique fut entreprise dans le but de mettre en évidence les tendances à grande échelle sur l'ensemble du complexe plutôt que de chercher à distinguer toutes les nuances de composition d'un échantillon à l'autre.

Près de 261 analyses in-situ ont été réalisées sur les pyroxènes présents dans les roches intrusives du complexe sud de Rallier du Baty. Les formules structurales ont été calculées via la feuille Excel « PX-NOM » de Sturm (2002) basées sur 6 Oxygènes. Le ratio  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  a été calculé automatiquement via cette même feuille Excel. Cette estimation stœchiométrique est basée sur l'équilibre des charges électroniques suivant le model général de Droop (1987). D'après ce modèle, l'estimation du  $Fe^{3+}$  peut s'écrire de la façon suivante :F =2 X (1-T/S) où T représente le nombre idéal de cation par formule structurale ( $T_{px}$ =4), S est le nombre total de cation estimé pour un nombre idéal X d'oxygènes ( $X_{px}$ =6). Ce modèle permet de minimiser les incertitudes sur les mesures in situ. Etant données les faibles variations observées pour la somme des oxydes à travers toutes les analyses de pyroxènes (entre 102 et 96%), ce choix de modèle m'est apparut comme étant le plus judicieux, et a été appliqué à toutes les analyses pour le calcul des formules structurales. Le détail des analyses effectuées est reporté en annexe.

# 4.2.1 Pyroxènes

# 4.2.1.1 Pyroxènes des syénites du groupe CaS

L'étude pétrographique des pyroxènes du groupe CaS a permis de mettre en évidence la cristallisation précoce et exclusive dans ces roches de clinopyroxènes calciques. Les 43 analyses in-situ ont été réalisées sur 7 échantillons différents représentatifs du groupe CaS. Toutes les compositions de pyroxènes analysés au sein des syénites sont représentées dans le diagramme En-Fs-Wo de la ← Figure 4.32 suivante :



← Figure 4.32 : Diagramme Enstatite-Ferrosilite-Wollastonite (d'après Morimoto, 1989) dans lequel sont reportés les pyroxènes des syénites du groupe CaS, ainsi que les compositions du monzogabbro (13TK002) de l'anse du Gros Ventre.

Le diagramme de la ← Figure 4.32 démontre que les deux types de pyroxènes identifiés pétrographiquement au sein du monzogabbro de l'anse du Gros Ventre sont des diopsides et des clinoenstatites. Les pyroxènes des syénites du groupe CaS se projettent sur les limites entre les champs du diopside de l'hédenbergite et de l'augite. Ces analyses élémentaires confirment que les pyroxènes des syénites du groupe CaS sont des clinopyroxènes calciques en accord avec les observations pétrographiques. Cependant, aucune distinction n'avait pu être établie microscopiquement entre les différents termes (reportés à la nomenclature) qui composent ces clinopyroxènes. Les analyses in-situ montrent également que ces clinopyroxènes se répartissent de façon hétérogène dans la série diopside-hédenbergite. Bien qu'une quantité certaine de pyroxènes calciques se retrouve dans le champ de l'augite, ces compositions sont très proches des champs du diopside et de l'hédenbergite. L'ensemble des analyses des pyroxènes des syénites du groupe CaS étant contenues entre 48 et 41.5% de Ca (% cationique). La moyenne et la médiane de Ca en % cationique se situant sur la limite qui sépare le champ des augites de la série Diopside-Hédenbergite (45.2 et 44.8 respectivement).

#### 4.2.1.2 Pyroxènes des syénites du groupe NaS

L'étude pétrographique a permis de mettre en évidence le caractère sodique des pyroxènes qui cristallisent au sein des syénites du groupe NaS. La cristallisation des pyroxènes est soit synchrone de celle des amphiboles soit plus tardives dans ces roches. Les 24 analyses in-situ ont été réalisées sur 2 échantillons différents du groupe NaS. Toutes les compositions des pyroxènes ont été reportées dans la Figure 4.33 suivante :



Figure 4.33 : Diagramme Quad-Jadéite-Aegirine d'après (Morimoto, 1989), avec Quad = Wollastonite+Ferrosilite+Enstatite ; où sont reportés les pyroxènes des syénites du groupe NaS.

La Figure 4.33 confirme le caractère sodique des pyroxènes analysés au sein de ce groupe. En effet, la majorité des compositions se projettent dans les champs des aegirines-augites et des aegirines. Seule une analyse se trouve dans le champ des augites-aegirines. Tous les clinopyroxènes sodiques ont des concentrations très faibles en Al et se situent donc le long de la droite reliant le pôle Q=Ca/Mg/Fe<sup>2+</sup> au pôle ferrique. Bien que ces compositions déterminent plusieurs types de pyroxènes dans la nomenclature, aucune distinction pétrographique significative n'a pu être établie entre les différents

types. Il faut noter que le nombre d'analyses et d'échantillons étant moindre que pour le groupe CaS, il est probable qu'un léger biais conduise à une sur représentation des compostions à la limite aegirineaugite / aegirine. Ce biais, s'il existe, ne change en rien les conclusions précédentes.

Les diagrammes de classification des clinopyroxènes (←Figure 4.32 Figure 4.33) montrent donc sans ambiguïté une nette une différence de composition de ces derniers cristallisant au sein de ces roches des groupe CaS et NaS.

#### 4.2.1.3 Pyroxènes des syénites du groupe CaNaS

Les 178 analyses in-situ ont été effectuées sur 23 échantillons représentatifs de ce groupe. Les compositions des pyroxènes ont été reportées dans la Figure 4.34 suivante :



Figure 4.34 : Diagrammes de classification des pyroxènes (d'après Morimoto, 1989) où ont été reportées les compositions de pyroxènes des syénites du groupe CaNaS. (a) diagramme Wo-En-Fs, (b) diagramme Q-Jd-Aeg.

La Figure 4.34 montre que les pyroxènes de ce groupe analysés se répartissent entre à la fois sur le diagramme de classification des pyroxènes calciques (Wo-En-Fs) et celui des pyroxènes calco-sodiques (Q-Jd-Aeg). Cette représentation confirme ainsi les observations pétrographiques et montrent à la fois des clinopyroxènes calciques et sodiques au sein de ce groupe. Les compositions des pyroxènes calciques se retrouvent concentrées le long de la limite des champs des diopsides, hédenbergites et augites. La teneur en Ca des augites est très proches de celles des diopsides et hédenbergites. Tout comme pour les Ca-Cpx du groupe CaS, la moyenne et la médiane des analyses des Ca-Cpx de ce groupe se situent très proche de 45% de Ca (44.7 et 44.9% cationique respectivement). Seules 3 analyses appartenant à un même échantillon dont la plupart des autres pyroxènes se retrouvent dans le champ des diopsides et augites, sont des wollastonites. Tout comme pour les pyroxènes du groupe NaS, les compositions des pyroxènes sodiques sont aussi très pauvres en Al et s'alignent donc le long de l'axe Quad-Aeg dans le diagramme Q-Jd-Aeg (Figure 4.34). Les compositions de ces clinopyroxènes sodiques s'étendent ici des augites-aegirines aux aegirines en passant par les aegirines-augites. Un gap de compositions existe entre 51 et 64% d'aegirine. Il existe donc au sein du groupe CaNaS, des clinopyroxènes calciques, sodiques et calcosodiques. Cette étude minéralogique confirme donc les observations pétrographiques et atteste du caractère intermédiaire de l'ensemble des pyroxènes de ce groupe par rapport à ceux des groupes pétrographiques précédents. De plus, la Figure 4.34 montre que dans une classification basée sur les ferromagnésiens, un échantillon du groupe CaNaS aura des ressemblances plus ou moins prononcées avec le groupe CaS ou NaS, en fonction des compositions de ses pyroxènes.

4.2.1.4 Evolution des pyroxènes à l'échelle du complexe et de ses satellites

Les observations microscopiques ont permis d'établir les séquences de cristallisation des trois grands ensembles syénitiques : CaS, NaS et CaNaS. Ces différentes séquences (Tableau 4-5, Tableau 4-6 et Tableau 4-7) montrent que la cristallisation de l'ensemble des pyroxènes couvre une grande période de l'histoire de cristallisation des syénites du complexe sud de Rallier du Baty. Ceci est particulièrement vrai pour les différents pyroxènes formés dans les syénites du groupe CaNaS. C'est pourquoi, les analyses insitu des pyroxènes dans les roches de ce groupe sont particulièrement utiles pour retracer l'évolution de leur composition au cours de la formation de ces roches. La diversité de composition des pyroxènes dans ces roches permet d'étudier leur évolution aussi bien à l'échelle de l'échantillon qu'à celle du minéral comme le montre la Figure 4.35. Ici sont illustrés deux exemples de l'analyse in-situ de ces pyroxènes dans deux échantillons différents du groupe CaNaS.



Figure 4.35 : Photographies et diagrammes Di-Aeg-Hd illustrant l'évolution des compositions chimiques des pyroxènes au sein de deux échantillons du groupe pétrographique CaNaS. (a) : localisation des analyses in-situ sur un Cpx en cours de transformation (échantillon 13TK07C) ; (b, c) : représentation des analyses de pyroxènes de l'échantillon 13TK07C en (a) et de l'échantillonTC09-68 précédents dans un diagramme ternaire Diopside-Hédenbergite-Aegirine.

La Figure 4.35 (a) illustre la localisation de 6 analyses effectuées sur un pyroxène vu en LPA (gauche) et en LSP (droite) et entouré de plusieurs feldspaths perthitiques. Au moins trois zones de coloration et de teintes de polarisation différentes se distinguent dans ce minéral. Une première zone de teintes de polarisation jaune-orange à rouge-violet du premier ordre contient les analyses n°1 et n°2. Une seconde

partie de couleur et de teinte vert-jaune se distingue au centre du minéral et contient l'analyse n°3. Enfin, une troisième partie au bas de ce minéral est de couleur verte intense et contient les analyses n°4,5 et 6.

Ce minéral et un cristal unique, bien que la photographie puisse laisser croire à deux individus, ce n'est pas le cas. Au vue de l'habitus ovoïde, du changement progressif de coloration, et des relations Ca-Cpx / Na-Cpx observés au sein du complexe, il parait évident que la partie la plus ancienne de ce minéral est incolore en LSP.

Les analyses n° 1 à 6 ont été reportées dans le diagramme Diopside-Hédenbergite-Aegirine de la Figure 4.35 (b). Le calcul des proportions de chaque pôles a été réalisé considérant Di = Mg, Hd =  $Fe^{2+}$  + Mn et Aeg = Na en proportion cationique. Les symboles noirs dans ce diagramme proviennent d'autres analyses in-situ sur des pyroxènes du même échantillon et non-présentés dans la Figure 4.35(a).

Dans cette représentation, les cercles proviennent d'analyses réalisées sur les pyroxènes considérés comme précoce dans l'échantillon en question. Dans cet exemple Figure 4.35(a, b), le pyroxène précoce corresponds aux analyses n°1 et 2. Les carrés correspondent aux pyroxènes qui ont subi une phase de transformation repérée pétrographiquement par un changement de coloration et de teintes de polarisation. Dans ce cas présent, les analyses 3 à 6 ont été réalisées sur un pyroxène qui a subi une transformation progressive et dont les caractéristiques précoces persistent dans la partie des analyses n°1 et 2. La déstabilisation et le remplacement évident du « cœur » ancien se répartissent de façon hétérogène par rapport à celui-ci, ce qui laisse penser que cette phase de transformation est accompagnée d'une nouvelle phase de croissance (vers le bas sur la figure) de composition différente. Les triangles correspondent à des pyroxènes qui ne sont pas issus de la transformation des pyroxènes précoces mais cristallisent directement dans le magma. Ces triangles regroupent donc des pyroxènes synchrones et postérieurs aux amphiboles calco-sodiques. Ces pyroxènes correspondent notamment à ceux qui cristallisent dans les interstices laissés vacants après la cristallisation de la paragénèse minérale précoce. La Figure 4.35 montre que le pyroxène précoce correspondant aux analyses n°1 et 2 est une hédenbergite. Ce minéral subit par la suite une transformation qui s'intensifie du cœur vers les bordures du minéral. Cette transformation implique un changement de composition depuis celle de l'hédenbergite (analyses n°1 et 2) jusqu'à des compositions d'aegirines-augites (analyses n°4,5 et 6). Ce changement de composition met en œuvre la substitution  $Ca^{2+}+Mg^{2+} \rightarrow Na^{+}+Fe^{3+}$ . Les clinopyroxènes plus tardifs de cet échantillon confirment cette tendance au cours du temps.

De la même manière, la Figure 4.35 (c) présente les analyses in-situ réalisées sur les pyroxènes d'un seul et même échantillon (ici le TC09-68). Dans cette roche, les pyroxènes précoces (représentés par des cercles) sont majoritairement des diopsides, seule 1 composition. Les analyses réalisées sur les pyroxènes en cours de transformation sont majoritairement des aegirine-augites, à l'exception de la composition d'augite qui se trouve le plus proche des pyroxènes précoces. Enfin, les pyroxènes qui cristallisent tardivement et directement dans cette roche sans provenir de la transformation d'un clinopyroxène antérieur sont majoritairement des aegirine-augite. C'est dans l'objectif de caractériser les évolutions chronologiques des compositions de pyroxènes que, de façon identique aux deux exemples précédents, toutes les compositions de pyroxènes des syénites du groupe CaNaS ont été reportées dans le diagramme Di-Hd-Aeg de la Figure 36(a). Ce diagramme illustre le large domaine quasiment continu que couvrent les pyroxènes de ce groupe et qui s'étale depuis des compositions franchement calciques jusqu'à des compositions franchement sodiques. Cependant, trois domaines de compositions peuvent être distingués.



Figure 4.36 : Diagramme Di-Hd-Aeg des pyroxènes du groupe CaNaS (a), évolution chronologique au sein de ce groupe (b), diagramme Di-Hd-Aeg de l'ensemble des pyroxènes de Rallier du Baty (c), chemin d'évolution idéal des pyroxènes de Rallier du Baty.

Les pyroxènes les plus précoces, symbolisés par des cercles, sont clairement répartis entre les pôles diopside et hédenbergite et forment un premier domaine (A). Un second domaine B est constitué des pyroxènes calciques précoces ayant subi un changement de composition via la substitution  $Ca^{2+}+Mg^{2+} \rightarrow Na^++Fe^{3+}$ . Ces pyroxènes calco-sodiques sont représentés par des carrés. Enfin, le domaine le plus vaste est composé des pyroxènes de type aegirine-augite et aegirines qui cristallisent directement dans la roche et non pas aux dépends des Cpx déjà présents. Ils sont par contre plus tardifs que les pyroxènes calciques et lié à l'épisode de transformation de ces derniers. La limite qui sépare le domaine A du domaine B a été

tracée graphiquement et de telle façon que tous les Cpx précoces soient contenus dans le champ A. Ainsi, seule une analyse considérée comme provenant d'un Cpx déstabilisé se trouve dans le domaine A. La limite qui sépare le champ B du champ C a été placée graphiquement de façon à ce que la majorité des Cpx tardifs appartiennent au champ C. De cette manière, une seule analyse de Cpx tardif se retrouve dans le domaine B. Lorsque cela a été possible, l'évolution chronologique des compositions des pyroxènes pour 1 échantillon donné dans ce groupe CaNaS à été reporté dans la Figure 4.36(b).

L'ensemble des pyroxènes analysés dans les syénites du SRBIC et de ses satellites a été reportées dans le diagramme de la Figure 4.36 (c) en fonction des 3 groupes pétrographiques. Cette figure montre que les Ca-Cpx du groupe CaS correspondent exclusivement à des compositions se répartissant le long de la série diopside-hédenbergite, tandis que les Na-Cpx du groupe NaS montrent des compositions qui se répartissent le long de l'axe que forment les pôles Hd-Aeg. Les pyroxènes du groupe CaNaS, quant à eux, s'étalent entre ces deux groupes. Les Ca-Cpx du monzogabbro de l'anse du Gros Ventre ont également été reportés. Ils montrent les teneurs en Di les plus élevées de tous les roches plutoniques étudiées. Grace à l'évolution chronologique des compostions de pyroxène et notamment grâce au caractère intermédiaire du groupe CaNaS (Figure 4.36 a,b), une évolution chronologique des pyroxènes peut être envisagée pour l'ensemble du complexe sud de Rallier du Baty. Le domaine grisé de la Figure 4.36(c) représente graphiquement le champ où se concentrent principalement les analyses des pyroxènes des trois groupes de syénites étudiés. Ce dernier illustre donc les compositions représentatives de l'évolution des pyroxènes au cours du temps sur l'ensemble de ces roches plutoniques. Dans ce domaine, un chemin idéal d'évolution tracé graphiquement est reporté avec une flèche dans la Figure 4.36(d), ainsi que les 3 champs de compositions décrits précédemment. Cette tendance générale indique que l'histoire précoce des syénites est caractérisée par une évolution au sein de la série diopside-hédenbergite depuis des compositions plutôt magnésiennes vers des compositions plus riches en Fer ferreux. Cette tendance indique un changement dominé par la substitution  $Mg^{2+} \rightarrow Fe^{2+}$  dans le site octaédrique M1. Cette évolution se poursuit jusqu'à un changement des échanges dominants. Ce changement est représenté par l'étoile n°1 de la Figure 4.36(d), qui a été placé par méthode graphique. La substitution dominante Mg<sup>2+</sup>  $\rightarrow$  Fe<sup>2+</sup> est remplacée progressivement par la substitution couplée Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>  $\rightarrow$  Na<sup>+</sup>+Fe<sup>3+</sup> dans les 2 sites octaédriques M1, M2. Cette évolution est marquée pétrographiquement par des Ca-Cpx précoces montrant des bordures avec des compositions de type aegirine-augite et aegirine, sans variation du Fe<sup>2+</sup> (±Mn<sup>2+</sup>) élémentaire. Enfin, un dernier changement s'opère dans l'évolution des pyroxènes. Il correspond au remplacement progressif de la substitution dominante précédente (Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>  $\rightarrow$  Na<sup>+</sup>+Fe<sup>3+</sup>) par la substitution  $Ca^{2+}+Fe^{2+}(\pm Mn^{2+}) \rightarrow Na^{+}+Fe^{3+}$ . Ce changement est symbolisé dans la Figure 4.36(d) par l'étoile n°2 et permet le passage du champ B des CaCpx en remplacement au champ C des aegirines cristallisées directement dans la roche. En plus du chemin idéal suivi par les compositions des pyroxènes, deux autres chemins sont illustrés en pointillés dans la Figure 4.36(d). Ces tracés correspondent à l'évolution des échantillons qui constituent les pyroxènes ayant les compositions les plus extrêmes par rapport à l'évolution générale. Le chemin qui tend vers le pôle Hd correspond à l'échantillon 13TK119B provenant de la vallée de l'Armor. Son évolution reste assez proche de l'évolution générale. Ce n'est pas le cas du tracé en pointillé qui passe par le centre du diagramme. Cette évolution est dessinée par les pyroxènes de l'échantillon 13TK126 provenant de l'unité structurale 3 sous le contact est du Pic Chastaing. D'autres compositions qui se projettent au centre du diagramme proviennent de l'échantillon 13TK109, prélevé également dans l'unité structurale 3 sous le contact nord-ouest du massif des Deux Frères. Ces deux échantillons ont une position structurale et géographique très proche au sein de l'unité la plus récente. Cette évolution est différente de l'évolution des autres pyroxènes car fortement dominée dès le départ

par la substitution :  $Ca^{2+}+Mg^{2+} \rightarrow Na^{+}+Fe^{3+}$ . Je n'ai pas encore su trouver d'explication satisfaisante à l'évolution à part de ces deux échantillons.

## 4.2.1.5 Synthèse sur la minéralogie des pyroxènes

En résumé, les compositions de pyroxènes analysées sur l'ensemble des syénites du complexe sud de Rallier du Baty et ses satellites confirment et affinent les observations microscopiques. En effet, chacun des trois grands ensembles défini pétrographiquement montrent des compositions de pyroxènes clairement distinctes. Les syénites du groupe CaS regroupent des pyroxènes exclusivement calciques et répartis dans la série diopside-hédenbergite. Ces Ca-Cpx cristallisent précocement dans ces roches. Ce sont également des Ca-Cpx qui composent les pyroxènes précoces du groupe CaNaS. Ces pyroxènes subissent une transformation à partir de leurs bordures, plus ou moins associée à une nouvelle phase de croissance, et montrent ainsi des compositions calciques et sodiques tendant vers des compositions de type aegirine-augite. Cette évolution chronologique s'effectue grâce à la substitution dominante  $Ca^{2+}+Mg^{2+} \rightarrow Na^{+}+Fe^{3+}$ . En même temps et postérieurement à cette déstabilisation, d'autres pyroxènes qui ne sont pas issus de la déstabilisation des Ca-Cpx précoces cristallisent directement dans ces syénites. Ces pyroxènes plus tardifs ont des compositions qui s'étendent depuis celles des aegirines-augites jusqu'à celles des aegirines via la substitution  $Ca^{2+}+Fe^{2+}(\pm Mn^{2+}) \rightarrow Na^{+}+Fe^{3+}$ . Ce sont également des Na-Cpx qui composent les pyroxènes du groupe des syénites NaS. Ainsi, il apparait clairement que l'évolution élémentaire des pyroxènes au cours du temps sur l'ensemble des termes syénitiques de Rallier du Baty se fait depuis un pôle calcique plutôt magnésien vers un pôle sodique ferrique.

# 4.2.2 Amphiboles

273 analyses in-situ ont été effectuées sur les amphiboles des roches plutoniques du SRBIC. Ces analyses ont été traitées en utilisant la feuille de calcul Excel de Locock (2014). Ainsi les formules structurales ont été calculées sur la base de 23(O). Les diagrammes de compositions des amphiboles ainsi que toutes les formules structurales idéales présentées dans les paragraphes suivant sont tirés de Hawthorne et al. (2012).

#### 4.2.2.1 Amphiboles des roches plutoniques mafiques et intermédiaires

Parmi les roches plutoniques mafiques (±intermédiaires) de la péninsule de Rallier du Baty, seules les amphiboles des complexes satellites de l'anse du Gros Ventre (monzo-gabbro) et de la Plage Jaune (monzonite) ont été analysées. Dans le monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre, les amphiboles se sont formées après la cristallisation des pyroxènes. Les mesures in-situ indiquent que ces amphiboles sont des pargasites de formule structurale idéale : NaCa<sub>2</sub>(Mg<sub>4</sub>Al)(Si<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>)O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>. Bien qu'elles puissent incorporer une faible quantité de Na dans leur structure, ces amphiboles représentent un pôle pur de compositions au sein des amphiboles calciques (Leake et al., 1997, 2004; Hawthorne et al., 2012). Les amphiboles qui cristallisent dans la roche grenue la plus mafique de la péninsule de Rallier du Baty sont donc bien calciques. La Figure 4.37 représente les domaines de compositions des amphiboles calciques où ont été reportées les analyses des amphiboles du monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre ainsi que celles des amphiboles de la monzonite de la Plage Jaune.



Figure 4.37 : Diagramme de composition des amphiboles calciques (d'après Hawthorne et al.,2012) où sont reportées les analyses du monzo-gabbro de l'Anse du Gros Ventre et celles de la monzonite de la Plage Jaune. La flèche correspond à une représentation idéale de l'évolution chronologique des compositions d'amphiboles dans la monzonite, passant des pargasites (cercles bruns) aux actinolites (losanges bruns).

Ainsi, les amphiboles du monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre qui n'ont pas subi de transformations tardives sont des pargasites (riches en Ti, nomenclature de Locock (2014). Les amphiboles de 1<sup>ère</sup> génération qui cristallisent dans la monzonite de la Plage Jaune, se trouvent pour la plupart également dans le domaine de compositions des pargasites. Cependant ces amphiboles sont des hastingsites dont le champ de composition est superposé à celui des pargasites dans ce diagramme. L'hastingsite est un autre pôle pur de compositions des amphiboles calciques dont la formule structurale idéale est:  $NaCa_2(Fe^{2+}_4Fe^{3+})(Si_6Al_2)O_{22}(OH)_2$ . Ainsi, les analyses in-situ des amphiboles primaires des roches grenues mafiques (±intermédiaires) et intermédiaires confirment leur appartenance au groupe pétrographique des hornblendes au sens large (Deer et al., 1992; Roubault, 1963). Les hastingsites précoces de la monzonite subissent une déstabilisation tardive et une transformation en amphibole de 2<sup>ème</sup> génération. Cette transformation est illustrée par une flèche en pointillé dans la Figure 4.37 et marquée par le passage de compositions de type hastingsite vers des compositions de type actinolite et ferro-actinolite. L'actinolite forme une solution solide avec la trémolite dont la formule structurale générale est :  $\Box$ Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe<sup>2+</sup>)<sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>. Le terme de trémolite est utilisé pour des compositions avec Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) >0.9, tandis que l'actinolite est utilisé pour des compositions comprise entre 0.5<Mg#<0.9 et la ferroactinolite pour celles avec Mg#<0.5. Le changement de composition des hastingsites vers des actinolites implique donc des substitutions telles que Al<sub>2</sub>+Na+Fe<sup>3+</sup>+Fe<sup>2+</sup>  $\rightarrow$  Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>+Si<sub>2</sub> et une évolution vers des termes plus riches en calcium au cours du temps. Cette évolution idéale est illustrée par une flèche en pointillé dans la Figure 4.37. Les compositions de ferri-ferro-hornblende qui se situent entre les ces deux extrêmes représentent donc des termes intermédiaires entre les hastingsites précoces en cours de transformation vers des compositions d'actinolite.

#### 4.2.2.2 Amphiboles des syénites du groupe CaS

103 analyses in-situ ont été effectuées sur 14 échantillons représentatifs de ce groupe. Toutes les compositions mesurées sur les amphiboles de ce groupe ont été reportées dans les diagrammes de la Figure 4.38 suivante :



Figure 4.38 : Composition des amphiboles analysées des syénites du groupe CaS. (b et a) exemple illustré et diagramme de classification des amphiboles calciques (d'après Hawthorne et al., 2012); (c) diagramme de classification des amphiboles calco-sodiques (d'après Hawthorne et al., 2012).

L'étude pétrographique a permis de montrer que les premières amphiboles à cristalliser dans les syénites de ce groupe sont de type hornblendes au sens large. Les analyses in-situ confirment ces observations (Deer et al., 1992; Roubault, 1963) et montrent qu'il s'agit majoritairement d'hastingsites et de ferroédenites (Figure 4.38). Quel que soit l'échantillon considéré ces amphiboles se forment après la cristallisation des clinopyroxènes calciques. Plus accentuée dans certains échantillons, ces amphiboles précoces subissent une déstabilisation tardive et un remplacement en pseudomorphose par de nouvelles amphiboles. Tout comme c'est le cas pour la monzonite de la Plage Jaune, cette phase tardive de transformation se traduit par l'apparition d'amphiboles de type actinolite représentées par des losanges verts dans la Figure 4.38(a). Plus précisément, ces amphiboles sont des ferro-actinolites. Les hastingsites et ferro-édenites se transforment donc en actinolites. Au sein des amphiboles précoces, quelques analyses tendent à montrer des cœurs plutôt de type hastingsite et des bordures de type ferro-edénite. Dans le cas d'un remplacement progressif d'une hastingsite par une ferro-actinolite, il est probable que la transition se fasse en passant par des compositions de ferro-édenite, ce qui pourrait expliquer une partie de ces compositions qui tendent vers le champ des actinolites. Cette évolution peut être justifiée par le caractère plus primaire de l'hastingsite avec un Mg# élevé par rapport à celui de la ferro-edénite. Cependant, une évolution simple de l'hastingsite vers la ferro-actinolite ne peut expliquer toutes les compositions de ferro-édenite reportées dans la Figure 4.38a. Il est clair que l'hastingsite et la ferroedénite coexistent également dans même échantillon sans aucun lien apparent avec une quelconque phase de déstabilisation. De plus, lorsqu'elles coexistent ces deux amphiboles sont déstabilisées et remplacées de la même manière en ferro-actinolite. C'est pourquoi, ces amphiboles précoces, sont représentées de la même façon dans la Figure 4.38 et Figure 4.39 et évoluant vers des termes actinolitiques au cours du temps. Cette chronologie suppose donc une évolution des compositions idéales telle que : (hastingsite) NaCa<sub>2</sub>(Fe<sup>2+</sup><sub>4</sub>Fe<sup>3+</sup>)(Si<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>)O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> / NaCa<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup><sub>5</sub>(Si<sub>7</sub>Al)O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> (ferro-édenite)  $\rightarrow$  $\Box$ Ca<sub>2</sub>Fe<sup>2+</sup><sub>5</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> (ferro-actinolite). C'est-à-dire un changement des compositions via des substitutions telles que : Na<sup>+</sup>+Al<sub>2</sub>+Fe<sup>3+</sup>  $\rightarrow$  Si<sub>2</sub>+Fe<sup>2+</sup>. La diminution du sodium, théoriquement contenu dans le site A mais dont une partie se retrouve dans le site B avec le Ca entraine l'augmentation de ce dernier dans le site B quelle que soit l'amphibole primaire remplacée. Cette tendance est nettement illustrée à travers les diagrammes de la Figure 4.39 (a, b et c) suivante :



Figure 4.39 : Diagrammes de caractérisation minéralogique (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si, Na vs #Mg) des amphiboles des roches du groupe CaS.

Les premières amphiboles à cristalliser dans les syénites du groupe CaS sont donc calciques et évoluent au cours du temps vers des amphiboles ferreuses plus calciques (augmentation du rapport cationique Ca/Na).

Quelques analyses montrent des compositions d'amphibole calco-sodique qui sont reportées dans la Figure 4.38(c). Ces différents échantillons montrant également des compositions d'amphiboles calciques, elles pourraient être liées à une légère perturbation de la mesure à la microsonde menant à surestimer la proportion de Na tel que c'est surement le cas pour les cercles verts. Cependant certaines de ces amphiboles précoces (cercles bicolores) ont été analysées dans un échantillon qui se placent structuralement au contact avec les syénites du groupe CaNaS (13TK31). Appartenant pétrographiquement à des syénites du groupe CaS, ces analyses pourraient donc marquer ou annoncer un changement significatif dans la chimie globale des intrusions qui vont suivre. Les analyses représentées par des cercles bleus sont des amphiboles précoces analysées dans un échantillon (TC09-37) qui est structuralement au contact avec des intrusions monzo-dioritiques antérieures qui sont les extensions latérales de celles décrites au front de la coulée du Vulcain (Figure 2.19). Il est possible que ces intrusions mafiques aient eu un impact sur la chimie de la roche en profondeur menant à de telles compositions d'amphiboles dans ce cas particulier. Toutefois, il est curieux que ces analyses d'amphiboles calcosodiques proviennent de deux échantillons desquels au moins un zircon est trop jeune pour faire partie de la population principale. Cette coïncidence semble indiguer que ces deux échantillons ont subit une phase de cristallisation tardive en relation avec les caractéristiques des roches CaNaS.



29 analyses in situ des amphiboles ont été réalisées sur 4 échantillons représentatifs du groupe pétrographiques NaS. Toutes ces analyses ont été reportées dans Figure 4.40 suivante :



Figure 4.40 : Composition des amphiboles des syénites du groupe NaS. (b et a) exemple illustré et diagramme de classification des amphiboles calco-sodiques (d'après Hawthorne et al., 2012); (d et c) exemples illustrés et diagramme de classification des amphiboles sodiques (d'après Hawthorne et al., 2012).

En accord avec les observations pétrographiques, certains échantillons présentent parfois des amphiboles précoces de type calco-sodique. En effet, trois amphiboles ont des compositions de type ferrokatophorite, ferri-ferro-katophorite et ferro-richtérite, représentées dans la Figure 4.40(a). Les formules structurales idéales de ces amphiboles sont :  $Na(NaCa)(Fe^{2+}_4AI)(Si_7AI)O_{22}(OH)_2$  pour la ferro-katophorite avec une substitution  $AI^{3+} \Leftrightarrow Fe^{3+}$  donnant la ferri-ferro-katophorite et  $Na(NaCa)Fe^{2+}_5Si_8O_{22}(OH)_2$  pour la ferro-richtérite. Ces amphiboles sont définies par le rapport de [Ca/(Ca+Na)] dans le site B, compris entre 0.75 et 0.25, ce qui justifie leur appartenance au groupe des amphiboles calco-sodiques. Ces amphiboles sont toujours observées en cours de transformation remplacées par d'autres amphiboles associées au pyroxène sodique. Ces amphiboles plus tardives dans ces échantillons particuliers à amphiboles calcosodiques représentent toutefois la majorité des amphiboles de 1<sup>ère</sup> génération qui cristallisent dans les syénites où les amphiboles calco-sodiques sont absentes, lesquelles forment la majorité des roches de ce groupe NaS. En outre les amphiboles calco-sodiques, les compositions des amphiboles précoces se concentrent dans le champ des arfvedsonites -eckermannites. La composition idéale de l'arfvedsonite est NaNa<sub>2</sub>(Fe<sup>2+</sup><sub>4</sub>Fe<sup>3+</sup>)Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub> avec F>(Cl,OH) dans le site W pour la fluoro-arfvedsonite. En accord avec les observations pétrographiques, les amphiboles primaires qui cristallisent au sein des syénites du groupe NaS sont donc en grande majorité sodiques. Des compositions d'amphiboles tardives dans l'histoire des roches de ce groupe sont également reportées sous forme de losange violet dans la Figure 4.40(c). Ces amphiboles tardives apparaissent en remplacement des arfvedsonites à partir de leurs bordures comme le montre la Figure 4.40(d). Il s'agit de ferro-eckermannites parfois riches en fluor ou en titane dont la formule idéale est NaNa<sub>2</sub>(Fe<sup>2+</sup><sub>4</sub>Al)Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>. La majorité des analyses se retrouve cependant à l'extérieur du champ de l'eckermannite. Une des raisons qui pourrait expliquer ce décalage est une mauvaise calibration de la feuille de (Locock, 2014) utilisée pour le calcul des formules structurales de ce type d'amphibole très riches en sodium. Il est plus probable que ces amphiboles, du fait de leur cristallisation tardive, aient incorporé des éléments en traces dans leur structure qui n'ont été pas mesurés lors de l'analyse à la microsonde. Une autre explication serait la confusion de cette espèce minérale, du fait de la petite taille des cristaux, avec l'aegirine dont les compositions sont chimiquement proches. Cependant cette dernière hypothèse ne semble pas cohérente du fait de la présence significative de potassium, fluor et chlore dans certaines analyses. De plus et c'est là l'argument principal, les figures de remplacement entre l'arfvedsonite et ce minéral observées ici (Figure 4.40, d) ne ressemblent pas aux figures de remplacement impliquant l'arfvedsonite, l'aegirine et les CaNa-Amp (Figure 4.40). Même si ce minéral pourrait représenter une 2<sup>ème</sup> génération d'aegirine remplaçant les amphiboles, il est peu probable que le mécanisme de transformation formant un nouvel habitus ait été différent. Une des explications que je privilégie est la mauvaise calibration du ratio Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> dans la formule structurale de ces amphiboles de compositions extrêmes. C'est pourquoi, j'ai donc considéré que l'évolution caractéristique des amphiboles au sein des syénites du groupe NaS se fait dans un premier temps des amphiboles calcosodiques vers les arfvedsonites, et plus tardivement des compositions d'arfvedsonite vers des compositions de ferro-eckermannite. Certains échantillons ne présentant que l'étape calco-sodique sodique.



Figure 4.41 : Diagrammes de caractérisation minéralogique (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si, Na vs #Mg) des amphiboles des roches du groupe NaS.

Cette chronologie implique donc des substitutions de type  $Ca^{2+}+Al_2 \rightarrow Na^++Fe^{3+}+Si^{4+}$  dans le cas de la transformation d'une ferro-katophorite en arfvedsonite et une substitution  $Ca^{2+}+Fe^{2+} \rightarrow Na^++Fe^{3+}$  dans le cas de la transformation d'une ferro-richtérite. Ces transformations marquent donc un enrichissement net en sodium et fer ferrique qui s'illustre bien dans la Figure 4.41 (a, b et c). Plus tardivement le remplacement de l'arfvedsonite par la ferro-eckermannite s'opère via une substitution de type  $Fe^{3+} \rightarrow Al^{3+}$ . Cette dernière phase de remplacement ne s'observe pas dans tous les échantillons et semble donc en relation avec la circulation très localisée d'un fluide tardif alumineux.

#### 4.2.2.4 Amphiboles des syénites du groupe CaNaS

125 analyses ont été effectuées sur 23 échantillons représentatifs du groupe CaNaS. Toutes ces analyses ont été représentées dans la Figure 4.42 suivante :



Figure 4.42 : Diagramme de classification des amphiboles des syénites du groupe CaNaS (d'après Hawthorne et al., 2012). (a) diagramme des amphiboles calciques. (b) Exemple photographique d'une katophorite en cours de remplacement par une arfvedsonite plus tardive illustrant les compositions reportées dans le diagramme des amphiboles calco-sodiques (b) et sodiques (c).

Cette figure montre que les amphiboles analysées au sein de ce groupe se classent à la fois dans les amphiboles calciques (Figure 4.42,a), les calco-sodiques (Figure 4.42,c) et les sodiques (Figure 4.42,d). Une partie des amphiboles les plus précoces sont calciques et composées en majorité de ferro-édenites et d'hastingsites représentées par des cercles dans la Figure 4.42(a). Cependant les amphiboles précoces qui dominent au sein de ce groupe sont des amphiboles calco-sodiques dont les compositions sont reportées en Figure 4.42(c). Ces amphiboles sont principalement des ferro-ferri-katophorites et des ferrorichtérites. L'étude pétrographique préliminaire a permis de mettre en évidence la déstabilisation et le remplacement des amphiboles précoces au cours de l'histoire des roches de ce groupe quelle que soit l'échantillon considéré. Cette déstabilisation est accompagnée de la formation de nouvelles amphiboles qui viennent remplacer en pseudomorphose les amphiboles déjà cristallisées et qui apparaissent aussi tardivement dans les interstices laissés vacants. Ces amphiboles tardives sont représentées par des losanges dans la Figure 4.42. Une partie d'entre elles ont des compositions d'amphiboles calciques et sont des ferro-actinolites (Figure 4.42,a). Ces phases calciques tardives s'observent dans les roches où ont cristallisé initialement des amphiboles majoritairement calciques. Une autre partie de ces amphiboles tardives s'observent dans les échantillons où les amphiboles précoces sont majoritairement calcosodiques. Ces amphiboles secondaires ont des compositions calco-sodiques de type ferro-ferri-winchites et sodiques de type arfvedsonites. Deux analyses d'amphiboles qui forment avec la biotite une figure de remplacement d'un minéral d'olivine sont des magnésio-riebéckites. Cette amphibole a une formule idéale telle que :  $Na_2(Mg_3Fe^{3+}_2)Si_8O_{22}(OH)_2$  et dont le champ est confondu avec celui du glaucophane dans ce diagramme. Les amphiboles des syénites du groupe CaNaS montrent ainsi deux évolutions nettes de leur compositions au cours du temps vers des compositions soit plus calciques soit plus sodiques.



Figure 4.43 : Diagrammes de caractérisation minéralogique (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si, Na vs #Mg) des amphiboles des roches du groupe CaNaS.

Cependant en accord avec les observations pétrographiques, l'évolution dominante est celle qui implique les amphiboles calco-sodiques qui sont prépondérantes au sein de ce groupe. Il s'agit donc de l'évolution vers les amphiboles sodiques, bien que cette tendance dominante ne se reflète pas dans la dispersion des analyses. Les amphiboles des syénites du groupe CaNaS montrent des caractères communs avec les amphiboles des deux groupes précédents. En effet, la comparaison entre les diagrammes des amphiboles calciques du groupe CaS (Figure 4.38, a) et CaNaS (Figure 4.42,a) met en évidence une forte similitude entre les amphiboles calciques de ces deux groupes. De plus, l'évolution chronologique des ces amphiboles calciques est semblable dans les deux groupes, allant des termes précoces calciques de type hastingsite et ferro-édenite vers des amphiboles tardives plus calciques de type ferro-actinolite. Mais les amphiboles du groupe CaNaS ont également des caractères communs avec les amphiboles du groupe NaS puisque leurs amphiboles calco-sodiques de type ferro-ferri-katophorite et ferro-richtérite évoluent vers des termes sodiques de type arfvedsonite. Bien que certaines analyses tendent à montrer un cœur de composition plutôt katophorite et des bordures plutôt de richtérite pour les amphiboles précoces, cette observation ne peut être généralisée pour l'ensemble des roches de ce groupe. De plus, il est clair que ces deux amphiboles coexistent au sein de certains échantillons sans qu'il soit possible de les distinguer chronologiquement dans la séquence de cristallisation. Ainsi, les analyses des amphiboles qui cristallisent dans les syénites du groupe CaNaS confirment bien le caractère intermédiaire de ce groupe par rapport aux syénites à amphiboles calciques du groupe CaS et aux syénites à amphiboles sodiques du groupe NaS.

#### 4.2.2.5 Evolution des amphiboles à l'échelle du complexe

Les analyses in-situ des amphiboles du SRBIC et de ses satellites ont ainsi permis de mettre en évidence des caractéristiques minéralogiques en fonction de la chronologie relative propre à chaque groupe. La comparaison entre ces différentes caractéristiques permet donc de contraindre l'évolution minéralogique des amphiboles à l'échelle du complexe plutonique dans son ensemble. La synthèse des résultats et la comparaison entre les différentes groupes pétrographiques sont présentées dans les figures suivantes qui reprennent en partie les diagrammes présentés précédemment volontairement épurés.



Figure 4.44 : Diagrammes d'évolution des compositions (ternaire Ca-Al-Na en %, Ca vs Si) d'amphiboles (a et b) du monzogabbro de l'Anse du Gros Ventre et intermédiaire de la Plage Jaune, et (c et d) des roches du groupe CaS

L'échantillon le plus mafique de la péninsule, situé dans le complexe satellite de l'anse du Gros Ventre, est en partie constitué d'amphiboles de type pargasite, lesquelles sont représentées par des cercles rouges dans les diagrammes (a et b) de la Figure 4.44. Ces amphiboles constituent le pôle le plus riche en calcium et pauvre en silice de toutes les amphiboles analysées dans les roches du complexe (Figure 4.44,b). Les amphiboles de première génération analysées dans les monzonites qui forment l'intrusion de la Plage Jaune sont également riches en calcium. Plus riches en silice que les pargasites, ces amphiboles sont des hastingsites représentées par des cercles bruns dans la Figure 4.44 (a et b). Ces amphiboles sont remplacées tardivement par des amphiboles de type actinolites. Cette transformation induit un enrichissement relatif en calcium et en silice des amphiboles se traduisant par un étalement net des compositions vers le pôle calcique du diagramme ternaire et vers la composition idéale Tr-Act du diagramme b. Cette évolution chronologique est illustrée par une flèche dans les deux diagrammes. Il apparait donc clairement que les premières amphiboles des roches mafiques et intermédiaires sont calciques et évoluent au cours de l'histoire de ces roches vers un pôle encore plus calcique. Les amphiboles des syénites du groupe pétrographique CaS montrent une tendance similaire. En effet, les premières amphiboles qui cristallisent dans ces roches sont majoritairement de type ferro-édenite (et minoritairement hastingsite), lesquelles subissent une transformation et un remplacement tardif par des amphiboles également de type actinolite. Cette transformation est bien illustrée dans les deux diagrammes c et d de la Figure 4.44, avec un partitionnement net des compositions d'amphiboles précoces par rapport à celles des amphiboles tardives. Les domaines de compositions couverts par les amphiboles des syénites du groupe CaS sont plus vastes que pour les amphiboles des roches mafiques et intermédiaires. Ceci s'explique bien entendu, mais seulement en partie, par le plus grand nombre d'échantillons analysés par rapport aux roches mafiques et intermédiaires. En effet, une tendance des amphiboles précoces CaS à s'étaler vers des compositions plus calco-sodiques de type katophorite s'observe notamment dans le diagramme d de la Figure 4.44 et n'est pas dû aux nombres d'analyses mais bien à la variation des compositions en fonction de l'échantillon considéré. Malgré cette légère variation, il est clair que les amphiboles primaires des roches intermédiaires et celles des syénites du groupe CaS sont calciques et évoluent au cours du temps vers des compositions relativement plus siliceuses et encore plus calciques au cours d'une phase de remplacement progressif.





Les syénites du groupe CaNaS sont, quant à elles, constituées en grande majorité par des amphiboles calco-sodiques de type ferri-ferro-katophorite et ferro-richtérite représentées par des cercles ocres.

Toutefois le large domaine de compositions couvert par les amphiboles précoces de ce groupe indique nettement une variation de composition à partir de termes calciques hastingsite et ferro-édenite vers des compositions d'amphiboles calco-sodiques en fonction de l'échantillon considéré. Aussi, comme décrit dans une partie précédente, les amphiboles précoces de ce groupe sont à la fois calciques et calco-sodiques. Ces amphiboles précoces subissent une transformation et un remplacement tardif par des amphiboles de seconde génération dont le type varie également en fonction de l'échantillon considéré. En effet, illustrée par des champs oranges dans la Figure 4.45(e et f), cette évolution peut déboucher sur des amphiboles tardives plus calciques de type actinolite en passant parfois par des compositions de ferriferro-winchite ou bien vers des termes plus sodiques de type arfvedsonite. En accord avec les observations pétrographiques, c'est cette dernière tendance qui domine l'évolution des amphiboles au sein de ce groupe CaNaS. Enfin, les amphiboles précoces du groupe NaS sont dominées par des compositions d'arfvedsonite, bien que quelque amphiboles calco-sodiques précoces puissent être parfois observées.



Figure 4.46: Diagrammes synthétiques de l'évolution des amphiboles au travers des 3 grands ensembles pétrographiques. a et b) ternaire Ca-Al-Na en %, et (c et d) Ca vs Si.

L'évolution des compositions de ces amphiboles se fait vers des compositions d'arfvedsonites plus riches en sodium et, dans quelques échantillons, aboutit plus tardivement à leur remplacement par des amphiboles de type ferro-eckermannite (Figure 4.45, g et h).

# 4.2.2.6 Synthèse sur la minéralogie des amphiboles

L'analyse minéralogique des amphiboles permet donc de caractériser un large domaine de compositions d'amphiboles précoces et tardives observées au sein des roches plutoniques du complexe sud de Rallier du Baty et de ses satellites. Tout comme c'est le cas pour les pyroxènes, ces compositions oscillent entre des termes très calciques et très sodiques. Cette particularité est illustrée dans la Figure 4.46, ou le domaine grisé, modélisé qualitativement, représente le domaine de concentration des compositions d'amphiboles de première génération sur l'ensemble des roches plutoniques étudiées.

D'autre part, l'étude minéralogique des différentes générations d'amphibole couplée aux observations pétrographiques au sein des roches plutoniques a permis de caractériser l'évolution de leur composition au cours du temps. Les résultats obtenus mettent clairement en évidence une évolution chronologique de ces phases minérales vers des termes calciques dans les roches intermédiaires, les syénites du groupe CaS et dans une faible proportion des syénites du groupe CaNaS. Ils démontrent aussi clairement que dans la majorité des roches du groupe CaNaS cette évolution chronologique se fait vers des termes sodiques tout comme dans les syénites du groupe NaS.

# 4.3 Synthèse sur la pétrographie et la minéralogie

L'étude pétrographique fut conduite sur les roches plutoniques du complexe sud de la péninsule de Rallier du Baty (SRBIC), comprenant le plus gros volume de mise en place et plusieurs de ses intrusions satellitaires. Majoritairement felsiques et plus précisément de compositions syénitiques (voir Chapitre 5), ces roches forment une série alcaline strictement sur-saturée en silice. Elles sont constituées des 4 phases majeures que sont les feldspaths perthitiques, les pyroxènes, les amphiboles et le quartz. Basée sur la pétrographie des clinopyroxènes et des amphiboles, cette étude a permis de distinguer trois grands ensembles pétrographiques parmi ces roches. Cristallisant à différents intervalles de temps dans l'histoire magmatique de ces roches et ce, avec différentes compositions minéralogiques, les amphiboles et les clinopyroxènes sont d'excellents marqueurs de l'évolution du système magmatique à l'origine du complexe. Ils sont donc, sans doute, les minéraux les plus adéquats permettant de discriminer les différentes roches plutoniques.

Ainsi, j'ai distingué un premier ensemble pétrographique constitué de syénites calciques (groupe CaS). Cet ensemble est caractérisé par la cristallisation exclusive de minéraux ferromagnésiens calciques (pyroxènes et amphiboles en proportion relative variable). Les premiers stades de cristallisation sont dominés par les pyroxènes de type Diopside-Hédenbergite-Augite. Les premières amphiboles relativement plus tardives que les pyroxènes sont de la famille des hornblendes. Finalement, les derniers ferromagnésiens cristallisant dans ces roches sont des actinolites. Le terme « calcique » est relié à la composition des amphiboles et pyroxènes mais est également appuyé par la présence de phases telles que l'apatite (accessoire mais relativement abondante), la titanite, voire parfois de la calcite tardive.

Un deuxième ensemble pétrographique correspond aux syénites sodiques (groupe NaS). Cet ensemble est caractérisé par la cristallisation abondante de minéraux ferromagnésiens sodiques. Les plus précoces dans ces syénites sont des amphiboles calco-sodiques et des amphiboles sodiques de type arfvedsonite (ces dernières cristallisent un plus tardivement que les précédentes). Les pyroxènes sont des aegirines qui déstabilisent les amphiboles calco-sodiques et apparaissent en association les arfvedsonites. A la fin de

l'histoire magmatique, ces dernières sont remplacées par des amphiboles de type eckermannite. Malgré la présence des amphiboles calco-sodiques, la proportion relative des ferromagnésiens sodiques (pyroxènes et amphiboles) justifient le terme de syénites « sodique » qui qualifie cet ensemble. D'autre part, les roches de ce groupe, riche en quartz, sont également très riches en minéraux accessoires typiques des systèmes alcalins évolués tels que la chevkinite, le zircon, l'aenigmatite, le pyrochlore, l'astrophyllite et la fluorite.

Un dernier ensemble pétrographique regroupe les syénites calco-sodiques. Comme l'indique cette dénomination, c'est un groupe intermédiaire entre les deux ensembles précédents. Ces roches ont donc des caractéristiques propres aux deux groupes CaS et NaS. Toutefois, elles se distinguent notamment de par les textures de déstabilisation et transformation des (nombreux) clinopyroxènes calciques précoces en clinopyroxènes sodiques, en passant donc par des compositions calco-sodiques. Les premières amphiboles sont calciques et surtout calco-sodiques, apparaissant après la cristallisation des clinopyroxènes calciques précoces. Ces amphiboles sont tardivement déstabilisées et remplacées soit par l'actinolite dans une faible proportion d'échantillons, soit par l'arfvedsonite qui est l'amphibole secondaire la plus abondante. Ces dernières sont contemporaines voire postérieures à la cristallisation des clinopyroxènes sodiques. Ce groupe pétrographique montre donc des similitudes avec les ensembles franchement calciques et franchement sodiques précédents. Cette caractéristique se retrouve également au niveau des minéraux accessoires tels que l'apatite, la titanite, l'aenigmatite, la chevkinite et le zircon. De par leur caractère intermédiaire, il est parfois difficile de distinguer les roches les plus évoluées de ce groupe avec celles les moins évoluées du groupe NaS uniquement via les caractéristiques des minéraux ferromagnésiens. C'est pourquoi, la quantité de quartz, la nature et l'abondance relative des minéraux accessoires ainsi que la proportion des minéraux sodiques doivent être pris en compte. D'autre part, cette difficulté relative révèle également les caractéristiques pétrographiques voisines de syénites. Ce lien apparent sera discuté plus en détail par la suite, notamment via les résultats géochimiques (Chapitre 5) mais permet, à ce stade, de distinguer au moins deux lignées d'évolution magmatique. La première évoluant de termes calciques vers des termes calciques correspondant aux syénites CaS et aux roches intermédiaires (monzo-gabbro/diorites et monzonites). La seconde évoluant de termes calciques précoces vers des termes sodiques incluant les syénites du groupe CaNaS et NaS.

Les caractères pétrographiques généraux du diagramme en Figure 4.47 permettent de mettre en évidence les changements de minéralogie in-situ des ferromagnésiens au travers des différents ensembles pétrographiques. Ces phénomènes d'évolution, notamment les textures de transformation et de remplacement dénotent des changements géochimiques dans l'environnement de cristallisation au cours de l'histoire des roches plutoniques du complexe. Toutes les textures observées sont magmatiques. Ceci implique que même si ces transformations sont accommodées/facilitées par la circulation de fluides, ceux-ci sont magmatiques. C'est pourquoi, ces figures de remplacement peuvent être considérées comme la conséquence d'un phénomène d'auto-métasomatisme des roches magmatiques plus ou moins cristallisées. Seules les figures d'intense oxydation et peut être la présence de minéraux exotiques tardifs (telle que la fluorite) au sein de quelques échantillons sur le massif des Deux frères pourraient être le résultat de la contribution de fluides en partie non magmatiques ayant eu un impact visible en lame mince sur les roches du complexe. En effet, les textures poreuses de certaines bordures de zircon indicatrices d'une potentielle participation de fluides hydrothermaux, révélées par l'imagerie électronique, n'ont pu être constatées à l'échelle de la lame mince.

La pétrographie des roches plutoniques démontre également que le complexe sud de la péninsule de RdB peut se définir pétrographiquement comme étant « agpaïtique transitionnel ». D'abord basés sur l'indice d'agpaïcité qui est en réalité l'index de peralcalinité (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en % molaire-(Ussing, 1912), les termes de « miaskitique » et « agpaïtique » ont été utilisés pour différencier les roches des systèmes peralcalins-alcalins. Révisés et redéfinis comme marqueurs minéralogiques (e.g. Sørensen, 1974; Marks and Markl, 2017), les roches miaskitiques sont les moins alcalines caractérisées par des minéraux porteurs des HFSE tels que la titanite, la pérovskite, le zircon et la baddeléyite. Les roches agpaïtiques sont les termes plus évolués de ces systèmes dont les principaux minéraux porteurs des HFSE sont l'eudyalite, la rinkite, les minéraux des groupes de la wöhlerite et de l'aenigmatite, l'astrophyllite, la catapleiite, la dalyite, l'elpidite, l'hilairite, la lampro-phyllite, la lorenzénite, la lovozérite, la parakeldyshite, la vlasovite, et la wadéite. C'est pourquoi, dans le cas du SRBIC, les syénites calciques (les plus vieilles du complexe) sont plutôt à tendance miaskitique tandis que les celles du groupe NaS (les plus jeunes du complexe) sont à tendance agpaïtique.



Figure 4.47: Diagramme synthétique des caractéristiques pétrographiques permettant de distinguer les 3 grands ensembles de roches plutoniques formant le complexe sud de Rallier du Baty.

# 4.4 Relation pétrographie-structure-géochronologie

# Géochronologie :

L'étude de terrain couplée à l'étude géochronologique a permis de montrer que le complexe plutonique du SRBIC est formé par des injections successives de magma majoritairement syénitique et mises en place de façon continue dans le temps (Figure 3.8). Les premières manifestations plutoniques structuralement déconnectées du complexe majeur se sont mis en place vers 13.7 Ma à l'extrême sud de la péninsule. Les intrusions qui ont suivi se sont mises en place avec un âge décroissant du sud vers le nord et le centre de la péninsule. La mise en place du complexe du SRBIC à proprement dit a duré environ 3.7 Ma entre 11.57 et 7.88 Ma.

## Structure :

Lorsque cela à été possible ces différentes injections ont pu être caractérisées sur le terrain grâce à leur contacts. Ces contacts, plus ou moins bien marqués à l'affleurement, sont tous des contacts magmatiques qui mettent en relation des roches d'aspects différents. Ces différences s'expriment par des changements relatifs et souvent associées, de taille de cristaux, d'agencement interne, de mode minéralogique et de couleur. Les différences texturales, qui sont les plus évidentes sur le terrain, sont donc des critères essentiels qui permettent la distinction entre les différentes injections. Aussi, 4 grands types de textures révélatrices de la construction du complexe ont été identifiées et qui sont: la texture pegmatitique, la texture grenue, la texture microgrenue, et la texture (microgrenue) porphyrique. La texture la plus représentée est sans conteste la texture grenue. Cependant, les observations répétées des différentes textures sur la péninsule ont montré que le SRBIC est formé par l'alternance de roches plutoniques de textures différentes répétées dans l'espace et dans le temps. Toutefois, l'organisation des différentes injections ne permet pas de définir dans le temps un processus qui se pourrait cyclique. La structure interne du SRBIC peut donc se schématiser par l'alternance de sills ou lentilles superposées de façon simple par sous-accrétion à l'échelle du complexe et de façon plus hétérogène à échelle plus fine. De plus, l'étude de terrain a permis de mettre en évidence trois grandes unités structurales toutes 3 composées par l'alternance de ces injections de textures différentes (Figure 2.33 et Figure 2.38). L'unité 1 est l'unité la plus vieille. La limite externe de cette unité est marquée par le contact intrusif avec les basaltes de plateau au sud et marqué par une zone de déformation intense le long de sa bordure interne. Elle est constituée par l'alternance de roche de texture grenue, pegmatitique est microgrenue. C'est également l'unité où se concentre le faciès microgrenue porphyrique. De plus, cette unité est la seule où s'observe une alternance de sills mafiques et syénitiques. L'unité 2, est plus récente. Sa bordure externe est marquée par le contact avec l'unité 1, et sa bordure interne par son contact avec l'unité 3. Elle est également formée par l'alternance des textures qui caractérisent les multiples injections plutonique. L'unité 3 est l'unité la plus récente. Sa bordure externe est formée par le contact avec l'unité 2 et ne possède pas de bordure interne. La proportion de syénite microgrenue dans cette unité est très inférieure à celle des unités précédente. Couplées à ces observations (Figure 2.49), les différentes mesures de terrains (Figure 2.32), l'orientation des basaltes encaissants (Figure 2.33) et les mesures de fabriques magnétiques (Figure 2.42) permettent de proposer un modèle de construction de type laccolithe pour le SRBIC (Figure 3.14).

# Pétrographie :

L'étude pétrographique précédente a permis de mettre en évidence 3 grands ensembles pétrographiques au sein des roches plutoniques majoritairement felsiques du SRBIC. Ces ensembles ont pu être définis suivant une classification basée sur la pétrographie des minéraux ferro-magnésiens que sont les amphiboles et les pyroxènes. Le groupe CaS est défini par la cristallisation exclusive de ferromagnésiens calciques quelle que soit leur place au sein de la séquence de cristallisation. Le groupe NaS est défini par la cristallisation de ferromagnésiens très majoritairement sodiques dès les premiers stades de cristallisation. Le groupe CaNaS est défini comme un groupe intermédiaire entre les 2 précédents. Les premiers stades de cristallisation des Fe-Mg étant dominés par des phases calciques ou calco-sodiques, tandis que les derniers stades sont dominés par la cristallisation ou l'évolution des Fe-Mg antérieurs vers des termes sodiques. Ainsi, chacun des 3 ensembles pétrographiques est défini par une séquence de cristallisation qui lui est propre. D'autre part, il est intéressant de noter que les textures observables sous microscopes différent quelque peu de celles identifiées sur le terrain. En comparant ces observations, il est clair que les textures identifiées sur le terrain dépendent de l'habitus des feldspaths qui forment la majorité du volume cristallisé. Sous le microscope, l'œil est moins attiré par ces gros volumes. Avec un regard critique, la taille des phases qui dépendent de leur nature, pourrait conduire à qualifier la majorité des syénites de porphyriques. Cependant, il faut ici considérer la texture de l'ensemble de la roche qui est majoritairement gouvernée par les feldspaths. De plus, ces minéraux faisant partie des premiers qui cristallisent et ce pendant une grande partie de l'histoire de la roche, ce biais d'observation n'en est finalement pas un. Le report de la pétrographie sur la carte de la péninsule de RdB permet d'aboutir à la Figure 4.48 :



Figure 4.48: Carte pétrographique du complexe sud de Rallier du Baty.

Cette figure permet de montrer que les roches CaS sont exclusivement observées en bordure du complexe et strictement en dessous de 49°38'de latitude, c'est-à-dire de la vallée (autrefois glacier) de la Cascade jusqu'au mont Léon Lutaud. Les roches du groupe NaS sont elles, cantonnées au centre (± nord) de la péninsule, du pic Chastaing au massif du Portillon et s'observent majoritairement sur le massif des Deux Frères. Les roches CaNaS se retrouvent géographiquement entre les deux groupe précédents. Elles entourent les roches NaS et sont elles mêmes entourées par les roches CaS qui constituent la bordure du pluton. Cette caractéristique fait du SRBIC un complexe formé par des anneaux concentriques de pétrographie différente. Seule la bordure NE du complexe n'est pas constituée par les roches du groupe CaS mais formée par l'intrusion de différents complexes satellites, structuralement au dessus du SRBIC et dont les roches appartiennent au groupe CaNaS. Une mission réalisée sous peu permettra de confirmer ce dernier point qui reste pour le moment basé sur un échantillonnage réduit.

#### Mise en relation des résultats précédents :

La combinaison des cartes précédentes, structurale (Figure 2.33) et pétrographique (Figure 4.48) permet donc d'aboutir à la carte géologique du SRBIC présentée en Figure 4.49. La carte géologique ainsi établie permet de montrer qu'il existe une nette corrélation géographique et géochronologique entre la structure et la pétrographie des roches plutoniques à l'échelle du pluton. Cette relation s'illustre également au travers de la coupe NNE-SSO (Figure 4.50).

Les premières roches felsiques mises en place au complexe satellite de l'anse du Gros Ventre appartiennent au groupe pétrographique CaS. L'unité structurale la plus ancienne (unité 1) qui forme la bordure externe du SRBIC est également formée par une alternance de roches felsiques appartenant à ce groupe pétrographique. Au sein de cette unité, dans un temps très court suivant les premières intrusions syénitiques du complexe à proprement dit (à partir de 11.57 ± 0.15 jusqu'à 11.3 ± 0.2Ma sur l'arête Jérémine), se mettent en place les monzonites du complexe satellite de la Plage Jaune. Ces dernières sont suivies des syénites formant le contact du mont de Volz (11.13 ± 0.2Ma). Plus tard, se mettent en place, les intrusions de monzo-diorites au front de la coulée de Vulcain. Cette succession mise en évidence par la géochronologie montre que toutes ces roches de nature variée (monzo-diorite/monzonites/syénites) se mettent en place dans un temps extrêmement courts <1 Ma, voir <0.6Ma si les barres d'erreur ne sont pas prises en compte. Ceci montre également que le contact SRBIC/basalte n'est pas formé par une seule et même syénite (arête Jérémine 11.3±0.2; mont du Commandant 11,53±0.2; 11,13±0.2 mont de Volz; 9.45 mont Lieutard). En effet, même si il est possible de contraindre un âge unique aux vues des barres d'erreur correspondant à une unique et hypothétique intrusion se retrouvant au SSW du complexe, l'âge de la syénite formant le contact de la vallée de Larmor plaide forcément pour des intrusions différentes. Ces dernières sont plus ou moins espacées dans le temps, sachant que les plus vieilles se mettent en place au SSE de la péninsule. Cette caractéristique renseigne également sur le modèle de construction du pluton. Malgré une structure annulaire cartographiquement, les âges du contact SRBIC/basaltes supposent qu'il ne peut pas avoir été formé par un unique filon annulaire (ring-dyke) courant le long des massifs externes. Par extension ce résultat peut être appliqué aux zones plus internes du complexe. La bordure interne de l'unité 1 se caractérise par une zone de forte déformation qui atteste du caractère antérieur de mise en place de cette unité par rapport aux intrusions suivantes. Les écrans de basalte de plateau qui se retrouvent dans cette zone de déformation supportent l'importance structurale de cette zone de transition entre deux unités structurales bien distinctes. Cette déformation est également présente mais moins intense dans la bordure externe de l'unité 2 (voir chapitre 1). Le contact entre les unités 1 et 2 se situe donc dans cette zone de forte déformation.



Figure 4.49: Carte géologique du SRBIC.



Figure 4.50: Comparaison des données structurales, pétrographiques et géochronologiques sur la coupe SSO-NNE.

La syénite caractéristique associée à cette zone de déformation, de texture porphyrique, qui constitue la bordure interne de l'Unité 1 fait partie des roches CaNaS. La transition entre les roches du groupe pétrographique CaS et CaNaS se fait donc au moins dans cette zone déformée, comme c'est le cas au pied du massif du Commandant. Toutefois, cette transition pétrographique s'observe le plus souvent avant le passage de l'unité 1 à l'unité 2 dans l'histoire de construction du complexe. En effet, bien que les roches du groupe CaNaS apparaissent toujours à la base de l'unité 1, elles se trouvent plus ou moins éloignées du contact entre U1 et U2 tel que dans la vallée de Larmor comparé à la vallée Fallot par exemple. Leur apparition semble cependant synchrone à l'échelle du complexe se situant entre 9.45 et 9.38 Ma. Les roches mises en place au sein de l'unité 2 sont toutes de types CaNaS. Le passage à l'unité structurale 3 au nord est marqué par un contact majeur sur le SRBIC. Ce contact structural se traduit également par le passage des roches du groupe CaNaS à la mise en place des roches du groupe NaS. Cette limite structurale est donc également une limite pétrographique. Seul un échantillon de roche (13TK101) appartenant au groupe CaNaS se retrouve enclavé au sein de l'unité 3 au niveau du flanc nord du massif des Deux Frères.



Figure 4.51: Diagramme synthétique des grands ensembles structuraux et pétrographiques du complexe plutonique représentés en fonction des données géochronologiques (à 2σ).

Il est possible que cette enclave se retrouve au sein d'une lentille (ou sills) plus grande qui traverse le massif, s'observant également sur le flanc W des Deux Frères. A cause d'une forte altération tardive qui rend difficile l'observation de la minéralogie originelle, je ne peux pas nier l'existence probable de cette entité, déjà observée par Marot et Zimine (1976). Si une telle extension de roche du groupe CaNaS existe

au sein de l'unité 3, elle est tout à fait en accord avec la structuration des différentes lithologies. Les roches NaS ont été datées entre 8.27  $\pm$  0.1 Ma et 7.88  $\pm$  0.15Ma. Les âges des roches de ce groupe sont tous décroissants du contact sud (Portillon et Deux frères) datés à 8.04  $\pm$  0.1Ma vers le nord (7.88  $\pm$  0.15Ma). Cependant l'âge plus vieux (8.27  $\pm$  0.1 Ma) de l'échantillon 13TK70 pose question. Cet échantillon se trouve structuralement sous les syénites qui forment le contact majeur U2/U3. Ceci suppose donc qu'une première intrusion de type NaS (peut être formant le contact originel U2/U3 sous le massif du portillon) se retrouve structuralement en dessous d'au moins une intrusion plus jeune de syénite sodique, laquelle forme aujourd'hui le contact majeur. Ce recoupement dans les âges pourrait donc traduire l'intercalation d'intrusions au sein des intrusions précédentes telle qu'il a déjà été observé au sein de l'unité 1. Ceci confirme également que la construction du SRBIC n'est pas strictement réalisée par sous-accrétion à petite échelle.

Le diagramme de la Figure 4.51 synthétise les résultats de l'étude structurale et pétrographique en fonction des résultats de l'étude géochronologique. Ces comparaisons montrent clairement une évolution pétrographique des roches plutoniques en lien avec la construction du complexe. Les roches felsiques CaS sont les plus vielles et exclusivement cantonnées à l'unité 1. Les roches CaNaS apparaissent à la base de l'unité 1 et constitue la totalité de l'unité 2. Comme aucune roche CaNaS structuralement dans l'unité 1 n'a été datée, ce chevauchement entre pétrographie et unités structurales n'est pas retranscrit dans la Figure 4.51. Les roches NaS forment l'unité 3, laquelle contient cependant une enclave sous forme de lentilles ou sills appartenant au groupe CaNaS et vraisemblablement à l'unité 2, ce qui est confirmé par la géochronologie et déjà identifié par les précédentes études (Marot and Zimine, 1976). De plus ce diagramme montre que même si les premières intrusions syénitiques à l'anse du gros ventre sont déconnectées dans le temps du reste des syénites, les différents complexes satellites qui forment une partie de la bordure externe du complexe cartographiquement, se mettent en place en même temps que les intrusions qui forment le SRBIC à proprement dit. La pétrographie des roches qui composent ces différents satellites est identique avec la pétrographie des roches intrusives contemporaines au sein du SRBIC. D'autre part, la datation d'un filon tardif de trachyte montre que la fracturation de l'unité 2 est contemporaine de la mise en place des dernières roches de l'unité 3 à l'affleurement. Finalement, la déformation matérialisée par des zones de cisaillement affecte majoritairement la base de l'unité 1. Cette dernière est donc postérieure à la mise en place de l'unité 1 et certainement due à l'intrusion des intrusions suivantes. De plus, des zones de cisaillement ayant été observées au sein de l'enclave de l'unité 2 dans l'unité 3 mais aussi dans des blocs anguleux transportés par la syénite de type NaS sous le contact majeur U2/U3 du Pic Chastaing, la déformation s'étend au moins jusqu'à la mise en place des roches de l'unité 3 centrale. Ayant observé quelques des zones de cisaillement au sein de l'unité 1, il est possible que la déformation est pu débuter plus tôt qu'au moment de l'intrusion de l'unité 2 mais de façon moins intense. De la même manière, il est possible que les déformations visibles dans l'unité 2 soit la conséquence d'une déformation qui se soit poursuivit après l'intrusion des premières syénites formant l'unité 3. Cependant, puisqu'aucune zone de cisaillement n'a été observée dans cette unité, la déformation ne peut être plus tardive.

D'autre par à l'instar des textures (Figure 2.48), les paramètres intensifs de l'analyse de susceptibilité magnétique ne montrent aucune relation avec la pétrographie



Figure 4.52: Corrélation des paramètres intensifs d'anisotropie magnétique en fonction des différentes groupes pétrographique du complexe sud de RdB ; a) T vs. Pp% et b) Pp% vs. Km.

# Chapitre 5 : Géochimie

Cette étude géochimique a pour but de contraindre l'évolution des magmas produisant les roches plutoniques du complexe. Elle fut réalisée sur roches totales à la fois en analysant les éléments majeurs et les éléments traces. Le détail de ces données géochimiques est reporté en annexe.

# 5.1 Géochimie des éléments majeurs

# 5.1.1 Classification et nomenclature

La typologie des roches plutoniques de Rallier du Baty, étudiées au cours de ce travail de thèse, est basée sur la classification chimique de Middlemost (1994). Cette nomenclature est elle-même basée sur des travaux qui remontent au milieu du siècle dernier (e.g. Tilley, 1950) et qui ont montré l'intérêt de confronter les compositions exprimées en % de poids d'oxydes de Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O (Total des Alcalins) et de SiO<sub>2</sub>. Les compositions des roches du complexe sud de Rallier du Baty sont ainsi reportées dans un diagramme TAS (Figure 5.1).



Figure 5.1 : Diagramme TAS (Total Alcalins versus SiO<sub>2</sub>) pour les roches plutoniques étudiées (modifié d'après Middlemost, 1994).

Cette figure illustre également l'étendue des compositions en SiO<sub>2</sub> des roches analysées à l'échelle de l'ensemble du complexe plutonique qui vont de 47.3% pour les plus basiques à 75.9% pour les plus riches en silice.

# 5.1.1.1 Roches mafiques et intermédiaires

7 échantillons de roches plutoniques mafiques et intermédiaires du SRBIC ont fait l'objet d'analyses sur roche totale. Parmi ces échantillons, la roche identifiée comme étant la plus mafique, provient du complexe satellite de l'anse du Gros Ventre. Décrite pétrographiquement (voir Chapitre précédent), cette roche est un monzo-gabbro (Figure 5.1).

3 échantillons provenant des injections mafique-intermédiaires localisées exclusivement dans la partie sud de la péninsule (voir partie 4.4) ont été analysés. Deux de ces échantillons proviennent des injections ou sills situés au pied de la Coulée de Vulcain et le dernier provient d'une lentille située au niveau d'un massif rocheux de la vallée des Sables et situé à l'ouest du Mont du Commandant. Ces trois roches intrusives se projettent, dans la Figure 5.1, dans le champ des monzo-diorites. A la vue des légères différences minéralogiques observées sous le microscope optique entre les deux injections localisées au pied de la coulée de Vulcain, celui situé le plus au Nord avait été décrit pétrographiquement comme un monzo-gabbro.

Les seules roches intermédiaires étudiées proviennent du Sud de la Plage Jaune où elles forment une intrusion plutonique à part entière affleurant de part et d'autre de la vallée et adjacente au SRBIC. Cette intrusion forme le complexe satellite de la Plage Jaune. Les 3 échantillons analysés, représentatifs de ce dernier, ont tous des compositions de monzonites (Figure 5.1).

## 5.1.1.2 Roches felsiques

Les 61 échantillons analysés parmi les roches plutoniques felsiques sensu stricto ont des teneurs en silice qui s'échelonnent entre 60.2 et 75.9%. Ces roches s'échelonnent donc du domaine des syénites jusqu'à celui des granites en passant par des compositions de monzonites quartziques.



Figure 5.2 : Diagramme de classification MALI (Modified Alkaline Lime Index) pour les roches plutonique de la péninsule de Rallier du Baty auxquelles ont été ajoutées les compositions des basaltes de plateau les plus proches du complexe (massif des Trois Ménestrels : Diop, 2008).

Irvine et Baragar (1971) ont défini une limite géochimique dans le diagramme TAS qui est largement utilisée depuis et qui basée sur les différences de compositions observées entre des suites volcaniques alcalines (majoritairement de type point chaud océaniques et continentaux) et sub-alcalines majoritairement associée aux rides médio-océaniques et aux zones de convergence. Cette limite a été étendue et peut être également utilisée pour différencier les suites plutoniques. La grande majorité des roches grenues du complexe sud de Rallier du Baty se projettent au-dessus de cette limite et forme donc une série plutonique alcaline. En effet, seuls une monzonite et trois granites se projettent dans le domaine des séries sub-alcalines. Plus récemment, Frost et al (2001) ont proposé une nouvelle classification basée sur les travaux antérieurs et qui s'appuie davantage sur l'analyse des roches plutoniques. Cette classification basée sur le MALI (Modified Alcalin-Lime Index) prend en compte le CaO et permet de définir 4 domaines entre des séries alcalines et des séries calciques. De la même manière que pour le diagramme TAS (Figure 5.2) montre que la grande majorité des roches plutoniques de Rallier du Baty se projettent dans le champ des suites alcalines. Cependant, deux granites, une monzonite, une monzodiorite et le monzo-gabbro se retrouvent dans le domaine des séries alcalino-calciques. Malgré ces petites variations cantonnées aux compositions extrêmes, l'affinité alcaline des roches plutoniques du SRBIC ne fait aucun doute et est caractéristique du contexte de point chaud dans lequel elles se sont formées (Nougier, 1969; Giret, 1983).

# 5.1.2 Evolution à l'échelle de l'ensemble des roches plutoniques

Afin d'étudier l'évolution des éléments majeurs au sein du SRBIC, j'ai choisi de représenter les compositions des roches en fonction d'un indice de différenciation représenté par le taux de saturation en SiO<sub>2</sub> (Figure 5.3). Ces diagrammes, aussi appelés diagrammes de Harker, sont devenus incontournables et font office de références dans les études géochimiques des roches depuis plus d'un siècle (Harker, 1909).

Les données en éléments majeurs des roches plutoniques du SRBIC montrent un léger gap de composition entre 57 et 60% de silice, séparant l'ensemble des roches mafiques et intermédiaires, de l'ensemble constitué des syénites, Qz-syénites et granites. Cette observation a déjà été faite pour le SRBIC (Marot and Zimine, 1976; Giret, 1983).

L'étude au premier ordre des diagrammes de Harker permet d'identifier la tendance générale associée à chaque élément majeur à l'échelle du complexe plutonique. Ainsi la Figure 5.3 montre, pour des éléments tels que CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, des tendances similaires au premier ordre avec une diminution progressive de leur teneurs en allant des roches les plus mafiques vers les roches les plus riches en silice. Par contre, les évolutions du K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et Na<sub>2</sub>O semblent discontinues. Pour K<sub>2</sub>O et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, cette discontinuité provient de l'évolution différente des roches mafiques et intermédiaire par rapport aux roches felsiques. Avec l'enrichissement en silice, le K<sub>2</sub>O semblent augmenter dans les roches mafiques et intermédiaires alors qu'il diminue dans les roches felsiques. De plus, le K<sub>2</sub>O augmente brutalement de  $\leq 4\%$  à  $\leq 6.3\%$  pour passer des roches intermédiaires à SiO<sub>2</sub>  $\leq 57\%$  aux roches felsiques à SiO<sub>2</sub>  $\geq 60\%$ . Ceci crée une forte discontinuité et déconnecte les roches mafiques et intermédiaires des roches felsiques au contraire de tous les autres éléments majeurs.




Les teneurs en  $Al_2O_3$  des roches mafiques et intermédiaires sont très dispersées. Toutefois, on peut noter une relative constance ou une légère augmentation avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Dans les roches felsiques,  $Al_2O_3$  diminue avec l'augmentation du SiO<sub>2</sub>. Ainsi,  $Al_2O_3$  semble avoir deux évolutions distinctes, tout comme K<sub>2</sub>O. Cependant, contrairement à la forte discontinuité des valeurs de K<sub>2</sub>O, la dispersion de  $Al_2O_3$  dans le groupe des roches mafiques et intermédiaires ne permet pas de conclure sur la déconnexion relative de cet ensemble par rapport à celui des roches felsiques.

Les teneurs en Na<sub>2</sub>O, elles, semblent former un ensemble continu depuis les roches mafiques et intermédiaires jusqu'aux roches felsiques. Cependant la tendance générale est discontinue puisque le Na<sub>2</sub>O augmente au sein des roches les moins riches en silice jusqu'aux roches felsiques avant d'atteindre un point d'inflexion autour de 65% de SiO<sub>2</sub>. La tendance s'inverse à partir de ce point puis Na<sub>2</sub>O diminue avec l'enrichissement en silice.

Au premier ordre, les diagrammes de Harker de la Figure 5.3 montrent donc des tendances assez nettes sur l'ensemble des roches plutoniques du SRBIC. Seule l'évolution de MnO est difficile à identifier et décrire, probablement à cause des faibles teneurs de cet oxyde. C'est au sein des roches mafiques et intermédiaires que les corrélations avec le %SiO<sub>2</sub> sont le moins bien définies pour la totalité des éléments majeurs. Ceci s'explique en partie par le nombre d'échantillons étudiés bien inférieur à celui des roches felsiques et qui reflète les proportions volumiques de roches intrusives du complexe sud de Rallier du Baty. De plus, la grande gamme de variabilité pour certains éléments dans ces roches mafiques et intermédiaires par rapport à celle des roches felsiques doit être prise en compte comme c'est le cas pour CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> ( $\pm$ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  $\pm$ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Il est difficile à ce stade de relier cette dispersion à un processus pétrogénétique en particulier. Cependant, la tendance générale de l'évolution des éléments majeurs telle que la diminution nette de MgO, de Fe<sub>2</sub>O<sub>3(total)</sub>, de CaO et de TiO<sub>2</sub> marque sans doute une évolution chimique contrôlée par des processus de cristallisation fractionnée avec la formation de phase minérales précoces telles que l'olivine, les pyroxènes calciques, les perthites les oxydes de Fe-Ti dans un ou des liquides parents chimiquement proches.

## 5.1.3 Evolution à l'échelle des syénites

La Figure 5.4 représente les mêmes diagrammes de Harker que la Figure 5.3 mais centrés uniquement sur les roches felsiques que sont les syénites, les qz-monzonites et les granites. Les roches plutoniques felsiques de ce complexe forment un ensemble de données relativement bien continu en fonction de l'indice de différenciation exprimé en %SiO2. Les granites sont les roches les moins représentées avec seulement 4 échantillons. Cet ensemble relativement continu permet d'évaluer qualitativement au premier ordre l'évolution de chaque élément majeur à l'échelle de toutes les roches felsiques étudiées. Les diagrammes de CaO, de MgO, de TiO<sub>2</sub> et de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dont les évolutions des teneurs en fonction de la silice sont très similaires semblent donc être des éléments fortement corrélés entre eux. K<sub>2</sub>O montre une évolution proche de celle des éléments précédents mais la faible variabilité des teneurs ne permet pas de le corréler avec certitude à ces éléments au premier ordre. Les diagrammes de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et de MnO sont également assez similaires et leur ressemblance est en partie due à la grande variabilité de leurs teneurs en fonction de l'enrichissement en SiO2. Al2O3 et Na2O sont tous deux des éléments à part car ils ne montrent pas de similitudes évidentes d'évolution avec les autres éléments majeurs au sein de l'ensemble des roches felsiques. Puisque que toutes les compositions des roches felsiques forment des ensembles relativement continus au sein des diagrammes de Harker, la description de l'évolution des éléments majeurs est faite en premier lieu en fonction de la nature des différentes roches felsiques (syénites / Qz-monzonites / granites).





Considérons tout d'abord, les diagrammes CaO, MgO, TiO<sub>2</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> vs SiO<sub>2</sub> qui sont très similaires. Dans chacun de ces diagrammes, l'ensemble des roches syénitiques reparties entre 60.2 et 67.3% de SiO<sub>2</sub> (illustré par des cercles dans la Figure 5.3) suit en effet une tendance identique. Chaque oxyde considéré voit sa concentration diminuer, des termes syénitiques les moins différenciés jusqu'aux syénites contenant environ 66% de SiO<sub>2</sub>. Pour les syénites contenant plus de 66% de SiO<sub>2</sub>, les concentrations des différents éléments semblent toujours diminuer mais de façon moins prononcée avec une pente s'approchant de zéro. Cette variation qui s'observe dans les syénites les plus différenciées se poursuit et s'accentue au sein des Qz-monzonites. Dans ces dernières, les concentrations en CaO, MgO, TiO<sub>2</sub> et  $P_2O_5$ ne semblent pas varier avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Cependant, à cause de la faible variation des teneurs en SiO<sub>2</sub> pour ces roches qui s'étalent seulement entre 66.7 et 69.5%, cette tendance à la stabilité peut être discutable. L'évolution des éléments cités ci-dessus montre de nouveau une variation significative en fonction de SiO<sub>2</sub> avec le passage des Qz-monzonites aux granites. Bien que le nombre d'échantillons de granite soit relativement faible, leurs concentrations en CaO, MgO, TiO2 et P2O5 diminuent avec l'enrichissement en SiO₂ de 71.2 à 75.9%. Les diagrammes de CaO, MgO, TiO₂ et P₂O₅ en fonction de SiO<sub>2</sub> sont donc caractérisés par une même évolution des concentrations en fonction de la nature des roches et donc de l'indice SiO<sub>2</sub>. A l'échelle du type de roche, la tendance est à la diminution des teneurs dans les syénites jusqu'à un point d'inflexion situé vers 66% de SiO<sub>2</sub>. Puis, la concentration semble se stabiliser pour atteindre un pallier dans les Qz-monzonites, et finalement diminuer de nouveau et plus nettement dans les granites. Le coefficient négatif de la pente qui modéliserait cette dernière diminution dans les granites est cependant toujours plus faible que celui de la droite représentative de l'évolution des syénites. En définitive l'évolution des roches felsiques dans les diagrammes CaO, MgO,  $TiO_2$  et  $P_2O_5$  en fonction de SiO<sub>2</sub> peut se traduire par une forte diminution de la concentration dans les termes syénitiques jusqu'à un point d'inflexion situé autour de 66% de SiO2 pour se poursuivre de façon moins accentuée vers les termes les plus différenciés.

Les diagrammes Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub> et MnO en fonction de SiO<sub>2</sub> sont tous deux identiques au premier ordre. Pour les syénites, la dispersion des concentrations de ces deux éléments augmente avec le taux d'enrichissement en silice pour atteindre une dispersion maximale autour de 64% de SiO<sub>2</sub>. Malgré une forte variabilité, les concentrations de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dans les syénites semblent indiquer une diminution des teneurs avec l'augmentation de la concentration en SiO<sub>2</sub>. Une tendance pour le MnO dans les syénites ne peut par contre pas être établie du fait de la trop grande dispersion des concentrations. Le passage des syénites au Qz-monzonites est progressif et montre une diminution de la dispersion avec l'augmentation du SiO<sub>2</sub>. Les Qz-monzonites les plus différenciées montrent des concentrations en MnO proche de celles des syénites les moins différenciées. Les teneurs de ces deux oxydes dans les granites diminuent avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. C'est pourquoi, l'évolution de ces deux éléments entre les syénites les moins différenciées et les granites les plus différenciées et globalement à la baisse.

A première vue, l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se comporte de manière unique par rapport aux autres éléments majeurs. Toutefois comme pour le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et le MnO, la dispersion des données augmente jusqu'à atteindre un maximum situé vers 64%. Malgré cette variation dans les compositions avec l'augmentation du SiO<sub>2</sub>, il est clair que l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminue lorsque le SiO<sub>2</sub> augmente dans les syénites. Cette évolution peut être modélisée par une faible pente négative des termes les moins différenciés jusqu'à ≈64% de SiO<sub>2</sub>, puis par une pente négative avec un coefficient plus élevé vers les syénites les plus riches en SiO<sub>2</sub>. Les compositions des Qzmonzonites suivent l'évolution amorcée dans les syénites les plus enrichies. Malgré la dispersion des teneurs dans les roches granitiques, cette tendance semble se poursuivre vers les termes les plus différenciés. Les compositions en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au sein des roches felsiques montrent donc deux tendances qui pourraient être séparées par un point d'inflexion situé entre 64 et 66% de SiO<sub>2</sub>.

Le diagramme de Harker de K<sub>2</sub>O montre, comme ceux de Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub>, MnO, et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, un maximum de variabilité dans les compositions à SiO<sub>2</sub> ≈64%. Malgré cette dispersion, l'évolution de la concentration en K<sub>2</sub>O des syénites les moins différenciées jusqu'à ≈64% de SiO<sub>2</sub> est clairement décroissante. Cette tendance semble se stabiliser dans les syénites les plus différenciées et se poursuivre dans les Qz-monzonites. Finalement, les teneurs en K<sub>2</sub>O décroissent de nouveau nettement lorsque SiO<sub>2</sub> augmente vers les compositions granitiques. Cette évolution est similaire à celles de CaO, MgO, TiO<sub>2</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, bien que les courbes d'évolution de K<sub>2</sub>O soient faiblement pentées et leur confèrent une allure quasiment constante.

Na<sub>2</sub>O a lui aussi été considéré au premier ordre comme un élément dont l'évolution en fonction de SiO<sub>2</sub> apparait comme spécifique. Dans les syénites, les teneurs en Na<sub>2</sub>O semblent augmenter en même temps que le taux de silice jusqu'à  $\approx$  64-65% de SiO<sub>2</sub>. Cette valeur correspond au maximum de dispersion des teneurs en Na<sub>2</sub>O dans les syénites comme c'est également le cas pour Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO et K<sub>2</sub>O. Cette teneur correspond également à un point d'inflexion dans la courbe qui modélise l'évolution de Na<sub>2</sub>O dans les syénites, correspondant au passage entre cette tendance positive et une tendance négative pour les teneurs en SiO<sub>2</sub> plus élevées. Cette observation doit être tempérée à cause de la gamme de variation des teneurs en Na<sub>2</sub>O dans les syénites. Cependant la diminution avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub> semble se poursuivre au sein des Qz-monzonites et se confirmer avec l'évolution des compositions granitiques. L'augmentation nette de Na<sub>2</sub>O au sein des syénites jusqu'à un point d'inflexion situé autour de 65% de SiO<sub>2</sub> et une tendance décroissante constante jusque dans les termes les plus enrichie en SiO<sub>2</sub>, font bien de Na<sub>2</sub>O un élément au comportement unique dans les diagrammes de Harker.

En résumé, l'étude des diagrammes de Harker en fonction des différents types de roches felsiques permet de mettre en évidence des corrélations nettes entre CaO, MgO, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O. Ces cinq éléments majeurs montrent un comportement similaire avec l'enrichissement en silice au sein des différentes roches étudiées. Leur diminution dans les syénites les moins différenciées semble marquer le contrôle de leur évolutions respectives par des processus de cristallisation fractionnée impliquant la formation précoce des phases telles que l'olivine, les pyroxènes, les perthites, la biotite, les oxydes de Fer-Ti et l'apatite. Fe2O3 et MnO sont également des éléments qui montrent une corrélation. Celle-ci est moins évidente que pour les éléments précédents due à la forte dispersion des teneurs dans les syénites et Qzmonzonites. Enfin, bien que l'évolution du Na2O et de l'Al2O3 ne puisse être indépendante de celle des autres éléments, elles ne peuvent être mises en corrélation directe avec ces dernières à partir des diagrammes de Harker. Ces deux oxydes se comportent de manière unique avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Cependant, certaines caractéristiques de leur évolution sont communes à d'autres éléments comme la dispersion maximum des teneurs entre  $\approx$ 64 et  $\approx$ 66% de SiO<sub>2</sub>. Cette caractéristique s'observe clairement pour tous les éléments majeurs exceptés MgO et P2O5. Na2O et Al2O3 montrent également un point d'inflexion vers 65% de SiO<sub>2</sub> autour duquel varie la tendance au sein des syénites. Cette inflexion (moins prononcée pour  $Al_2O_3$ ) et la variation dans l'évolution des syénites les plus primitives vers les syénites les plus différenciées et les Qz-monzonites s'observent dans tous les diagrammes de Harker vers ≈65% de SiO<sub>2</sub>. C'est pourquoi, malgré l'absence de corrélation entre Na<sub>2</sub>O et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et les autres éléments majeurs, il est clair que leur évolution respective est contrôlée par des processus géochimiques similaires.

J'ai également étudié l'évolution des compositions en éléments majeurs en fonction de l'appartenance des roches étudiées à l'un des trois grands groupes pétrographiques (Chapitre précédent). Cette distinction a pour but d'étudier les similitudes et les différences dans l'évolution des éléments majeurs au travers de chaque groupe pétrographiques en fonction des teneurs en SiO<sub>2</sub> (Figure 5.4 et Figure 5.5).





Une caractéristique importante, illustrée pour tous les éléments majeurs et déjà visible dans le diagramme TAS de la Figure 5.1, correspond à la gamme de % SiO<sub>2</sub> propre à chaque groupe pétrographique. Le groupe CaS s'étale de 60,9% à 75,9% de SiO<sub>2</sub> tandis que le groupe CaNaS couvre seulement des valeurs allant de 60,2% à 66,44% et le groupe NaS de 65,52 à 74,9% de SiO<sub>2</sub>. Ainsi, les compositions des roches appartenant au groupe CaNaS et NaS se recouvrent pour des valeurs de SiO2 comprises entre 65,5 et 66,4%, tandis que les compositions des roches du groupe CaS recouvrent celles des deux groupes précédents de 60,9% à 74,9% de SiO<sub>2</sub>. L'étude des diagrammes de Harker en fonction des différents types de roches (syénites/qz-monzonites/granites) a permis de mettre en évidence des ensembles de compositions relativement continus, pour tous les éléments majeurs (à l'exception de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MnO), des syénites les moins riches en SiO<sub>2</sub> aux granites les plus différenciés. Cette continuité implique donc que les compositions en éléments majeurs des roches sont relativement similaires quel que soit le groupe pétrographique auxquelles elles appartiennent pour une concentration en SiO<sub>2</sub> donnée. Cette caractéristique est notamment vraie pour les syénites du groupe NaS qui ont toujours les mêmes teneurs en éléments majeurs que les syénites les plus différenciées du groupe CaNaS. Toutefois, du fait d'un point d'inflexion ou de dispersion maximum mis en lumière précédemment entre 64 et 65% pour tour les éléments majeurs, l'évolution des CaNaS et des NaS est toujours différente.

TiO<sub>2</sub> est le seul oxyde pour lequel les compositions des roches du groupe CaS se confondent presqu'en totalité avec celles des roches des groupes CaNaS et NaS. Seule une Qz-monzonite du groupe CaS s'écarte significativement des autres compositions.

Pour MgO, les syénites du groupe CaS et CaNaS ont des compositions similaires et suivent la même évolution avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Seules deux analyses de syénites CaS parmi les moins différenciées s'écartent quelque peu de l'allure générale des syénites. A partir de  $\approx$ 67%, les compositions des Qz-monzonites et granites du groupe CaS sont majoritairement enrichies en MgO par rapport à celles des roches du groupe NaS. Malgré cet enrichissement l'évolution des roches du groupe CaS reste parallèle à celles des roches du groupe NaS.

Le diagramme de  $P_2O_5$  montre des résultats similaires à celui de MgO. Les syénites du groupe CaS ont des compositions et une évolution similaire à celles des syénites du groupe CaNaS. La limite de détection du  $P_2O_5$  est atteinte pour les granites du groupe NaS. Les Qz-monzonites et les granites du groupe CaS sont donc enrichis par rapport à ces derniers. Les Qz-monzonites montrent notamment un enrichissement relatif avec l'augmentation de SiO<sub>2</sub> entre  $\approx$ 68 et  $\approx$ 70%.

Le diagramme de CaO est sensiblement différent. Les syénites du groupe CaS suivent également la même évolution avec SiO<sub>2</sub> que celles appartenant au groupe CaNaS mais ont des compositions majoritairement plus élevées que ces dernières. Après le point d'inflexion situé entre 64 et 66% qui régit l'allure générale des roches felsiques, les compositions des syénites, Qz-monzonites et granites du groupe CaS sont identiques à celles des roches du groupe NaS. L'évolution des teneurs en K<sub>2</sub>O par rapport aux concentrations en SiO<sub>2</sub> en fonction de la nature des roches a montré des caractéristiques communes avec CaO, MgO, TiO<sub>2</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Par contre, l'observation des données en fonction des différents groupes pétrographiques fait ressortir des différences notables. Les syénites les moins enrichies en SiO<sub>2</sub> du groupe CaS ont des compositions identiques à celles des syénites les moins riches en silice du groupe CaNaS. Avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>, les compositions respectives des deux groupes de syénites se divisent. En effet, les syénites les plus différenciées du groupe CaS ont des teneurs plus élevées en K<sub>2</sub>O que celles du groupe CaNaS. Ceci implique une évolution différente de K<sub>2</sub>O au sein des syénites de ces deux groupes. La diminution de K<sub>2</sub>O avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub> est plus forte dans les syénites du groupe CaNaS que dans celles du groupe CaS. Les Qz-monzonites et granites du groupe CaS montrent également un enrichissement par rapport aux compositions des roches du groupe NaS. Toutefois l'évolution des roches les plus différenciées de ces deux groupes est parallèle.

Le diagramme de l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> peut être interprété de la même manière. En effet, les syénites les moins différenciées du groupe Cas et CaNaS ont des compositions similaires et qui semblent se diviser avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. La majorité des syénites les plus différenciées du groupe CaS ont des teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supérieures à celles des syénites du groupe CaNaS. Etant donné la répartition des compositions dans les syénites du groupe CaS, il est également possible d'y voir statistiquement des teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> majoritairement supérieures à celles des CaNaS dès les plus faibles teneurs en SiO<sub>2</sub>. Ceci implique donc, soit une évolution identique des syénites entre les deux groupes avec des compositions toujours supérieures dans le groupe CaS, soit des évolutions qui divergent légèrement avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub> pour des compositions comparables dans les syénites les plus primitives des deux groupes. Tout comme pour le K<sub>2</sub>O, les compositions des Qz-monzonites et granites du groupe CaS suivent la même évolution que les roches les plus différenciées du groupe NaS, mais avec des teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> majoritairement plus élevées.

Pour Na<sub>2</sub>O et de la même façon que pour les autres éléments majeurs, les roches du groupe CaNaS et NaS se juxtaposent au niveau du point d'inflexion situé entre 64 et 66% de SiO<sub>2</sub>. Pour cet élément, la corrélation est positive avec l'enrichissement du SiO<sub>2</sub> dans les syénites du groupe CaNaS alors qu'elle est négative pour les roches du groupe NaS. La syénite du groupe CaS la plus appauvrie en SiO<sub>2</sub> a une teneur en Na<sub>2</sub>O identique aux syénites les moins enrichies en SiO<sub>2</sub> du groupe CaNaS. Dès  $\approx$ 62% de SiO<sub>2</sub> les teneurs en Na<sub>2</sub>O des deux groupes CaS et CaNaS se distinguent. En effet, la corrélation positive avec le SiO<sub>2</sub> au sein des syénites du groupe CaS les plus différenciées. Dans ces dernières l'évolution des compositions peut être considéré comme faiblement positive voire invariante avec l'enrichissement en silice. A partir de  $\approx$ 67%, les compositions et donc l'évolution des roches des groupes CaS et NaS semblent identiques et ce malgré la dispersion des compositions des granites du groupe NaS.

Dans le diagramme de Harker de MnO, les syénites les plus appauvries en SiO<sub>2</sub> du groupe CaS ont des compositions similaires aux syénites les moins enrichies du groupe CaNaS. Cependant, tandis que les teneurs en MnO augmentent dans les syénites du groupe CaNaS jusqu'au point d'inflexion situé entre 64 et 66%, celles des syénites du groupe CaS diminuent. C'est pourquoi dès 64% les compositions des roches du groupe CaS sont majoritairement inférieures à celles des roches du groupe CaNaS. Cette évolution se poursuit jusque dans les Qz-monzonites et les granites du groupe CaS. Toutefois alors que les teneurs en MnO des roches du groupe NaS diminuent avec l'enrichissement en silice, celles du groupe CaS tendent à se stabiliser. Cependant la dispersion et le faible nombre d'échantillons de granites ne permettent pas de conclure avec certitude sur l'évolution des termes les plus enrichis en silice. Les granites du groupe CaS ont toutefois des teneurs inférieures aux granites du groupe NaS. Les roches plutoniques ont donc des compositions et des comportements en MnO bien différents selon le groupe pétrographique auxquelles elles appartiennent.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub> dont l'évolution en fonction du SiO<sub>2</sub> dans l'ensemble des roches felsiques est proche de celui de MnO montre des résultats relativement similaires à ce dernier au regard de son évolution au travers des différents groupes pétrographiques. L'évolution des teneurs et leur dispersion au sein des groupes CaNaS et NaS montrent une continuité flagrante de Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub> jusque dans les Qz-monzonites les plus différenciées. Les syénites du groupe CaS ont des compositions majoritairement identiques aux compositions des syénites CaNaS. Ainsi, l'évolution globale des syénites des groupes CaNaS et CaS semble identique jusqu'à 65% de SiO<sub>2</sub> malgré le fait que quelques compositions viennent tempérer cette observation. A partir de 66% de SiO<sub>2</sub> les teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub> dans les syénites les plus différenciées du groupe CaS semblent augmenter avec l'enrichissement en silice, tandis que la tendance générale des roches du groupe NaS est à la diminution. De la même façon que pour le MnO, les granites du groupe NaS montrent des teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub> stables tandis que ceux appartenant au groupe CaS montrent une forte diminution pour les plus hauts pourcentages de SiO<sub>2</sub>. Tout comme MnO, les évolutions des roches des groupes en Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub> des roches appartenant aux groupes NaS et CaS divergent pour des compositions en silice > 66% et montrent la même dispersion. La grande différence entre ces deux éléments réside surtout dans la superposition des champs de compositions des différents groupes pétrographiques. Dans le cas de Fe<sub>2</sub>O<sub>3total</sub>, les teneurs au sein des roches du groupe CaS sont toujours comprises dans les champs définis par les teneurs des roches appartenant aux deux autres groupes pétrographiques (excepté les granites). Dans le cas de MnO et pour les compositions en silice > 64%, les teneurs des roches du groupe CaS sont majoritairement inférieures aux teneurs des roches du CaNaS et NaS.

# 5.2 Géochimie des éléments traces

# 5.2.1 Analyse élémentaire

Afin de tester l'impact de processus d'altération post-magmatiques pouvant avoir affecté les roches analysés, certains éléments traces susceptibles d'avoir été perturbés (Rb, U, Ce) ont été comparés au Nb considéré comme immobile durant de tels processus. Les résultats sont présentés en Figure 5.6. Le diagramme Rb vs Nb montre une bonne corrélation entre les 2 éléments, ce qui laisse supposer que le Rb n'a pas été affecté de façon significative par des processus post-magmatiques pour la plupart des roches. Toutefois, il est possible que les échantillons les plus éloignés de cette droite de corrélation, au niveau des teneurs les plus fortes en Nb, aient subit une altération qui aurait appauvri ces roches en Rb ; notamment les 3 échantillons les plus riches en Nb.





Un même constat peut être établi pour l'uranium qui montre une bonne corrélation avec le Nb. Cependant, plusieurs échantillons, dont les 3 échantillons cités précédemment ainsi que quelques échantillons du groupe CaS, tous situés proches de la zone d'alternance de sills mafiques et syénitiques, montrent un enrichissement en Uranium. Cette observation indiquerait soit (i) un enrichissement en uranium du liquide parent de ces roches ou (ii) une accumulation d'un minéral riche en uranium et pauvre en Nb. Il apparait donc que les trois échantillons considérés comme altérés via le Rb vs Nb soient également enrichi en uranium. Enfin le diagramme du Ce montre une corrélation relativement bonne entre ces deux éléments jusqu'à des compositions d'environ 300ppm de Ce et 120ppm de Nb. Au-delà de ces teneurs, des échantillons de compositions variées se trouvent de part et d'autre de la droite de corrélation. Les syénites et Qz-monzonites du groupe NaS sont nettement enrichies en Ce tandis que les granites de ce même groupe sont appauvris. Une monzonite et quelques échantillons du groupe CaS sont également appauvris. Ces échantillons du groupe CaS font également partie de ceux qui sont enrichis en uranium. Les 3 échantillons les plus riches en Nb, appauvris en Rb et enrichi en uranium se répartissent de chaque côté de la droite de corrélation. La monzonite appauvrit en Rb est également appauvrit en Ce.

A travers la comparaison de ces différents diagrammes, il apparait que la majorité des roches du SRBIC analysées n'ont pas subi d'altération post-magmatique significative ayant affecté Rb, U ou Ce. Cependant, il est clair que certains échantillons ont des compositions qui s'éloignent significativement de la droite de corrélation avec Nb. La plupart de ces échantillons se retrouve d'un diagramme/élément à l'autre. De plus, en fonction de l'élément considéré, ces échantillons semblent plutôt indiquer un enrichissement de leur liquide magmatique parent ou au contraire une altération post magmatique. C'est pourquoi la seule utilisation de ces diagrammes n'est pas suffisante pour discriminer les deux processus à l'échelle de toutes les roches du SRBIC. De plus, les systèmes magmatiques alcalins sont connus pour leur diversité et relative abondance en minéraux « exotiques » accessoires qui en font des sources potentielles de minerais riches en certains éléments traces. Ainsi la proportion de minéraux accessoires tels que la monazite, l'apatite, la baddeléyite, le pyrochlore, le zircon, l'eudyalite, la bastnaésite ou encore la chevkinite parmi les plus communs a un impact considérable sur le contenu en éléments traces de ces roches (e.g. Platt et al., 1987; Chakhmouradian and Zaitsev, 2012). C'est pourquoi les diagrammes U et Ce vs Nb doivent être considérés avec précaution. En supposant qu'une altération post-magmatique ait pu modifier la chimie d'une roche du SRBIC, il est cohérent de penser que l'élément le plus susceptible d'avoir été affecté soit Rb qui se substitue à K dans les feldspaths perthitiques, lesquels représentent 70 à 80% des roches syénitiques. C'est pourquoi les 3 échantillons les plus riches en Nb (TC09-126A, TC09-101 et TC09-102) apparaissent les plus susceptibles d'avoir subi un processus d'altération post-magmatique. Cette hypothèse est en accord avec les observations pétrographiques de TC09-126A et TC09-101. Tandis que l'abondance de chevkinite dans l'échantillon TC09-102 est en accord avec des résultats d'expérimentations montrant que l'altération des chevkinites induit une augmentation du Nb (+Th) (Bagiński and Macdonald, 2013; Bagiński et al., 2015). Cette dernière hypothèse montre bien la difficulté à distinguer un processus d'enrichissement ou d'appauvrissement due à des variations de compositions au niveau des magmas parents des roches plutoniques, de processus physico-chimiques tardimagmatiques. Ces 3 échantillons seront mis en exergue par la suite ainsi que la monzonite enrichie en Nb (13TK47) qui semble se distinguer des autres roches intermédiaires.

A l'instar des éléments majeurs, j'ai choisi de présenter les données en éléments traces sur roches totales à l'aide de diagrammes de Harker. Comme observé précédemment pour les éléments majeurs, les éléments traces montrent tous des ensembles continus au travers des différents types de roches avec l'enrichissement de la silice. C'est pourquoi, ces résultats sont plutôt présentés en fonction du groupe pétrographique auxquelles les roches analysées appartiennent (Figure 5.7). Seules les roches mafiques et intermédiaires forment des ensembles distincts du fait du gap en %SiO2 avec les roches felsiques. La Figure 5.7 et la Figure 5.8 représentent respectivement les données en éléments traces brutes et les interprétations qualitatives de tendances évolutives au sein de chaque groupe. Dans la Figure 5.8 interprétative, les échantillons possiblement altérés et/ou fortement enrichis cités précédemment sont représentés par des symboles noirs. De plus, j'ai choisi de faire ressortir certains groupes d'échantillons appartenant à une même structure sur le terrain lorsque ceux-ci se distinguent au niveau des éléments traces. C'est les cas des échantillons TC09-85, 13TK14 et 13TK23 qui sont représentés par des cercles orange dans cette figure. En effet ces échantillons, considérés comme appartenant au groupe CaNaS, sont tous des syénites porphyriques associées à la zone la plus déformée marquant la limite structurale entre les unités 1 et 2. Ils ont également les teneurs en SiO<sub>2</sub> les plus faibles parmi toutes les roches syénitiques et ne sont donc pas forcément pris en compte pour l'évolution au sein du groupe CaNaS. Sur certains diagrammes, les échantillons TC09-82 et 13TK01 qui constituent les premières intrusions plutoniques de la péninsule de RdB (anse du Gros Ventre) sont aussi mis en évidence pour certains éléments traces.











Sans faire une description minutieuse de l'évolution de chaque élément au travers de chaque groupe comme il a été fait pour les éléments majeurs, les résultats des diagrammes de Harker permettent de distinguer plusieurs types d'évolution au sein des roches plutoniques felsiques. Plus précisément 3 grands types extrêmes d'évolution définissent le comportement des éléments traces au sein du SRBIC en fonction de la teneur en SiO<sub>2</sub>. Il est à noter que certaines de ces évolutions ne prennent pas en compte les granites, leur nombre étant en effet faible et leur composition parfois très dispersées.

Les éléments tels que Rb, Nb, U, Th et Ta montrent une évolution linéaire avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Aucune distinction ne peut être clairement faite quant à l'évolution de ces éléments au travers des différents groupes pétrographiques. Ils sont donc corrélés de la même façon avec SiO<sub>2</sub> quelle que soit la nature de la roche ou le groupe pétrographique auquel elle appartient. Ils définissent donc un premier ensemble d'éléments traces qui évoluent de la même manière.

Les diagrammes Ba et Sr vs SiO<sub>2</sub> sont sensiblement similaires. Les teneurs de ces éléments sont très faibles. Cependant, dans ces deux diagrammes, certaines roches du groupe CaS montrent des compositions bien plus élevées que le reste des roches plutoniques. C'est notamment le cas pour les roches les moins différenciées de ce groupe. Ainsi l'évolution du Ba et du Sr semblent légèrement décroissante pour les roches du groupe CaS avec l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Au contraire, l'évolution de ces 2 éléments pour les roches des groupes CaNaS et NaS semble stable. Un zoom centré sur les roches felsiques et une échelle logarithmique en ordonnée permet de préciser ces observations.



Figure 5.9: Zoom et interprétation des diagrammes Harker de Ba et Sr, représentés en fonction des groupes pétrographiques.

La Figure 5.9 montre que les évolutions du Ba et Sr sont bien similaires au sein des 3 groupes pétrographiques ave l'enrichissement en SiO<sub>2</sub>. Les roches du groupe CaS ont majoritairement des compositions plus élevées que les roches du groupe CaNAS et NaS quel que soit le %SiO<sub>2</sub> considéré. Seuls 2 échantillons ont des compositions très faibles en Ba et Sr et sont situés à chaque extrémité du SRBIC, 13TK31 étant le plus à l'ouest et TC09-118A le plus à l'est. L'évolution du Ba et du Sr est décroissante au sein des syénites du groupe CaS et se stabilise ou décroit moins fortement après un point d'inflexion situé proche de 66% de SiO<sub>2</sub> marquant la transition vers les Qz-monzonites et les granites. Ces 2 éléments décroissent également dans les syénites du groupe CaNaS et se stabilisent aussi après un point d'inflexion situé autour de 66% de SiO<sub>2</sub> et qui marque ici un passage continu des compositions des roches du groupe CaNaS à celles des roches du groupe NaS. Ainsi, les évolutions des roches du groupe CaS sont comparables à celles des groupes CaNaS et NaS, malgré une plus forte anti-corrélation au sein des syénites du groupe CaNaS. Les évolutions de ces 2 éléments dans les diagrammes de Harker peuvent donc se modéliser par deux accents circonflexes plus ou moins ouverts, retournés et superposés. L'accent supérieur représentant l'évolution des compositions des roches du groupe CaS tandis que l'accent inférieur représente l'évolution dans les roches du groupe CaNaS (premier coté) et NaS (deuxième coté). Cette modélisation simpliste définit cependant une évolution particulière bien marquée au sein des roches du SRBIC. Repérée pour le Ba et Sr, ce type d'évolution caractérise également l'Eu, qui semblait unique parmi les diagrammes de Harker (Figure 5.8). Le Ba, Sr et Eu sont donc corrélés de la même façon avec le SiO<sub>2</sub> dans les roches du SRBIC.

Les diagrammes de Harker du Ce, Sm, Nd, et Ga sont également similaires. Tout comme les précédents, l'évolution de ces éléments dans chaque diagramme peut être modélisée par 2 accents circonflexes plus ou moins ouverts. Ceux-ci bien à l'endroit, avec l'accent supérieur représentant les évolutions au sein du groupe CaNaS et NaS, et l'accent inférieur représentant l'évolution au sein des roches du groupe CaS. En effet, bien que les teneurs soient quelques peu superposées dans les syénites les moins différenciées des groupes CaS et CaNaS, les compositions évoluent vers des termes clairement plus enrichis dans les syénites du groupe CaNaS avec l'enrichissement en silice. Il s'en suit un point d'inflexion commun à tous les groupes pétrographiques autour de 65-66% de SiO<sub>2</sub>, après lesquels les compositions se stabilisent ou décroissent et qui marque également le passage quasiment continu des roches du groupe CaNaS à celles du groupe NaS. Les roches du groupe CaS ont donc des compositions en Ce, Sm, Nd et Ga majoritairement inférieures à celles des roches des groupes CaNaS et NaS quelle que soit la concentration de SiO<sub>2</sub> considérée. L'évolution de ces éléments dans les roches du groupe CaNaS tend vers des échantillons fortement enrichis qui sont également les échantillons possiblement affectés par un ou des processus d'altération post-magmatiques. Cependant, ces échantillons sont probablement enrichis avant d'être altéré (c.f. début de cette partie) car même si ils ne sont pas pris en compte pour l'interprétation des tendances, d'autres échantillons du groupe CaNaS et NaS marquent ce net enrichissement des compositions vers 65-66% de SiO<sub>2</sub>. L'évolution du Ce, Sm, Nd et Ga qui montre une nette corrélation positive se trouve donc être l'inverse de celle du Ba, Sr et Eu pour des teneurs en silice < 67%. Les teneurs élémentaires au sein des différents groupes sont également inversées et toujours plus faibles en Ce, Sm, Nd et Ga dans les roches du groupe CaS. Pour les roches > 67 %SiO2, l'évolution de ces éléments devient comparable avec celle du Ba, Sr et Eu tandis que les teneurs des roches du groupe CaS semblent toujours plus faibles que celles du groupe NaS.

Un dernier type d'évolution peut être caractérisé dans les diagrammes de Harker de Yb, Y, Hf et Zr. En effet, ces éléments montrent des évolutions intermédiaires entre celles des groupes Ce, Sm, Nd, Ga et Rb, Nb, U, Th, Ta. Les teneurs en Yb, Y, Hf et Zr des roches du groupe CaS et CaNaS se superposent pour la

plupart des syénites. Seules les teneurs plus faibles dans les Qz-monzonites du groupe CaS pourraient rapprocher leurs évolutions de celles du Ce, Sm, Nd, Ga. Toutefois, certaines fortes teneurs dans les syénites du groupe CaS tendent également à rapprocher ces évolutions de l'évolution croissante linéaire de Rb, Nb, U, Th, Ta. La dispersion des teneurs dans les roches > 66-67% SiO<sub>2</sub> rend une interprétation des tendances difficiles. Toutefois si les granites ne sont pas considérés, les roches les plus enrichies en Hf, Zr, Yb et Y appartiennent aux groupes CaNaS et NaS et se situent autour de 66% de SiO<sub>2</sub>. Par conséquent, même si il existe des similitudes entre ces éléments et le groupe Rb, Nb, U, Th, Ta, cette dernière observation tend à relier l'évolution de Zr, Hf, Yb, Y dans les roches du SRBIC à celle de Ce, Sm, Nd, Ga.

Les roches mafiques et intermédiaires forment des ensembles discontinus des roches felsiques. Pour la plupart des éléments majeurs, l'évolution au sein de ces roches peut difficilement être associée à celles des roches felsiques. Ceci est d'autant plus vrai pour les éléments traces. Il est clairement difficile d'établir une continuité entre les teneurs en traces des roches mafiques et intermédiaires et celles des roches felsiques. De plus, certains éléments comme Rb, U, Th, Yb et Y (parmi les plus flagrants) montrent une tendance sensiblement distincte de celles des roches felsiques. Seules les évolutions et les teneurs en Ba et Sr pourraient être dans la continuité de celles des roches felsiques.

# 5.2.2 Relation éléments majeurs - éléments traces

Le parallèle entre l'évolution des éléments traces et des éléments majeurs, possible grâce à la comparaison des diagrammes de Harker, montre dans un premier temps que Ba, Sr et Eu ont des comportements similaires à K<sub>2</sub>O et CaO. Tous ces éléments ont des évolutions qui peuvent se modéliser par des accents circonflexes inversés plus ou moins ouverts et des teneurs au sein du groupe CaS toujours supérieures à celles des autres groupes. Dans une moindre mesure, ces éléments traces ont également des évolutions semblables à TiO<sub>2</sub>, MgO et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> qui ont toutefois des compositions identiques entre tous les groupes pétrographiques. Les évolutions des teneurs en Ba, Sr et Eu sont donc bien liés à celle des feldspaths perthitiques, des micas noirs et dans une moindre mesure à celle des autres minéraux magnésiens et de l'apatite.

L'évolution particulière des teneurs en Ce, Sm, Nd et Ga est tout à fait semblable à celle de Na<sub>2</sub>O. Les compositions des roches du groupe CaNaS tendent vers de fortes teneurs et établissent une certaine continuité avec les fortes compositions des roches NaS autour d'un point d'inflexion à 66% de SiO<sub>2</sub>. D'autre part, les teneurs dans les roches du groupe CaS sont toujours inférieures à celles dans les roches des deux autres groupes. Ce type d'évolution peut se modéliser par 2 accents circonflexes (à l'endroit) superposés. Les évolutions des teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et MnO ne sont pas vraiment modélisable de cette façon, toutefois les teneurs dans les roches du groupe CaS sont toujours inférieures à celles des autres roches et la forte dispersion des teneurs autours de 66% tendent à rapprocher le comportement de ces éléments de celui de Na<sub>2</sub>O. C'est pourquoi, les évolutions des teneurs en Ce, Sm, Nd et Ga sont dépendantes de l'évolution des feldspaths sodiques et des ferro-magnésiens sodiques du SRBIC.

Rb, Nb, Th, U et Ta montrent des évolutions relativement linéaires au sein des roches du SRBIC, jusqu'à des teneurs en silice proches de 70%. Les compositions sont donc relativement identiques quel que soit le groupe pétrographique considéré. Ce résultat tend à lier ces éléments à TiO<sub>2</sub>, MgO et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> qui montrent ce même comportement. Cependant la corrélation positive linéaire implique également que l'impact d'un point d'inflexion doit être minime voire inexistant dans l'évolution des compositions vers les roches les plus différenciées. Les éléments majeurs dont l'évolution des compositions est la moins affectés par le point d'inflexion situé autour de 66% de SiO<sub>2</sub> sont K<sub>2</sub>O et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Le Na<sub>2</sub>O peut être également mentionné car même si les évolutions au sein de chaque type pétrographiques sont affectées par le point d'inflexion,

les compositions ne varient que faiblement sur l'ensemble du SRBIC. C'est pourquoi le Rb, Nb, U, Th et Ga sont donc plutôt à relier au K<sub>2</sub>O et à l'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et dans une moindre mesure au Na<sub>2</sub>O. Ces éléments sont donc surtout associés à l'évolution des feldspaths perthitiques ainsi qu'a d'autres phases telles que la biotite et les autres ferromagnésiens.

# 5.3 Etude des spectres en éléments traces

# 5.3.1 Caractéristiques générales des spectres des roches du SRBIC et de ses satellites

L'utilisation des spectres élémentaires permet, en s'affranchissant de l'abondance relative des éléments dans l'univers, de comparer directement les teneurs en éléments traces à un ou plusieurs réservoirs standards. Dans ce but, j'ai normalisé les compositions en éléments traces des roches du SRBIC par rapport au réservoir chondritique (CI). La Figure 5.10 représente donc les teneurs en éléments traces normalisés aux chondrites (McDonough and Sun, 1995) dans des diagrammes multi-élémentaires aussi appelés « spectres étendus ». Dans ces diagrammes, les éléments sont classés des plus incompatibles (à gauche) aux moins incompatibles (à droite) par rapport aux solides, c'est-à-dire leur tendance relative à l'incorporation dans les phases minérales. Cette représentation graphique permet de comparer les différentes caractéristiques en éléments traces des roches plutoniques entre elles et au sein du SRBIC. Les roches mafiques et intermédiaires y sont différenciées des roches felsiques, lesquelles sont représentées en fonction du groupe pétrographique auquel elles appartiennent. En tant que références les teneurs moyennes normalisées pour les basaltes OIB (Ocean Islands Basalts) de Sun and McDonough (1989) ont été superposées dans ces diagrammes.

Le champ grisé représente le domaine de compositions de toutes les roches plutoniques analysées dans cette étude du SRBIC. Ce domaine de compositions comparé au spectre des OIB montre de fortes disparités et anomalies caractéristiques. Il est toutefois intéressant de noter que les roches mafiques et intermédiaires ont des spectres présentant souvent une allure générale assez semblable à celle du spectre représentatif de la moyenne de composition des OIBs (Sun and McDonough, 1989).

Le Ba, Sr et Eu notamment montrent un large domaine de variations allant jusqu'à de fortes anomalies négatives. Ces trois éléments tendent vers des compositions jusqu'à 350 fois appauvries en Ba, 440 fois appauvries en Sr et 20 fois appauvries en Eu par rapport aux OIB de références. Le Sr et l'Eu ne montrent jamais d'enrichissement par rapport aux valeurs des OIB, tandis que le Ba peut être enrichi jusqu'à 2.6 fois la valeur des OIB. Le Nb, Ta, Zr, Hf (+U et +Th) sont des éléments très incompatibles et forment les HFSE (High Field Strength Elements). Ils montrent, au sein du SRBIC, des compositions légèrement appauvries par rapport aux OIB (environ 2 fois moins) jusqu'à des teneurs fortement enrichies d'environ 15 fois plus pour U et Th, 8 à 10 fois pour Nb et Ta, et 12 à 7 fois pour Zr et Hf par rapport aux OIB. Le La, Ce, Pr, Nd et Sm font partie des terres rares dites « légères » (LREE) et sont également très incompatibles. A l'instar des HFSE, leurs compositions au sein du SRBIC varient d'un léger appauvrissement par rapport aux OIB (environ < 1.5 fois moins) jusqu'à des enrichissements 10 fois supérieures aux valeurs des OIB (x15 pour le La, x12, x9.5 pour le Ce, x7 pour le Nd, x3.5 pour le Sm).Les terres rares lourdes (HREE) composées de Gd, Dy, Ho, Er et Yb auquel le Y est classiquement associé, sont les éléments les moins incompatibles. Ce sont également ceux dont les compositions varient le moins au sein du SRBIC. Ils sont appauvris jusqu'à environ 1.7 à 2.3 fois moins que les OIB et enrichie au maximum de 2.9 (Gd) à 4.6 (Lu) fois plus. Enfin, le Rb qui n'est pas une terre rare mais qui un élément en traces incompatible, faisant partie des LILE (Large Ion Lithophile Element), se trouve toujours plus enrichi que les OIB quelle que soit la roche du SRBIC considérée.

Chapitre 5



Figure 5.10: Spectres étendus normalisés aux chondrites, représentés en fonction des différents groupes pétrographiques du SRBIC et de ses satellites

#### 5.3.1.1 Spectres des roches intermédiaires (monzo-gabbro/diorite)

Les 3 échantillons de roches mafiques (±intermédiaires) sont le monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre et 2 monzo-diorites provenant de l'affleurement caractéristique de l'Unité 1 au front de la coulée du Vulcain (13TK43 et 13TK36). Ces 3 roches ont des spectres étendus très proches de celui des OIB. Elles sont légèrement plus enrichies en HFSE (excepté Nb) et LREE, et ont des compositions similaires en HREE. Seul le monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre (TC09-79) à des teneurs en HREE appauvries par rapport aux OIB. C'est également cet échantillon qui présente les anomalies négatives en Sr et Eu les moins fortes, le rapprochant des valeurs des OIBs. Il a également la teneur en Rb la plus faible des échantillons mafiques et la teneur en Ba la plus forte. Le spectre du monzo-gabbro de l'anse du Gros Ventre est donc celui qui se rapproche le plus du référentiel OIB pour les éléments les plus incompatibles et le plus éloigné pour les éléments les moins incompatibles. Les roches mafiques ont des rapports moyens Th<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> = 23 ±4 et La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> = 17 ±3 (1 $\sigma$ ).

## 5.3.1.2 Spectres des roches intermédiaires (monzonites)

Les roches intermédiaires (monzonites) proviennent toutes de l'intrusion satellitaire de la Plage Jaune. L'allure de leurs spectres est comparable en plusieurs points à celui des roches mafiques excepté celui de l'échantillon TC09-79 avec lequel ils diffèrent plus franchement. En effet, les teneurs en Rb sont identiques à celles des roches mafiques les plus enrichies. Seul Ba pour l'échantillon 13TK47 est appauvri par rapport aux OIBs tandis que celui des autres roches intermédiaires est enrichi par rapport à ces derniers et similaire à celui des roches mafiques. Les roches intermédiaires ont également des compositions proches ou légèrement plus enrichis que les roches mafiques en LREE (La, Ce, Pr, Nd, Sm) et les HFSE les moins incompatibles (Zr et Hf). Les plus grandes différences avec les roches mafiques résident dans les HFSE les plus incompatibles (Th, U et Nb) et les HREE (Gd->Lu) pour lesquels les roches intermédiaires sont nettement plus enrichies. Notamment pour le Th et U, les compositions sont jusqu'à x 6.6 et x 4.4 plus enrichies respectivement que celles des roches mafiques. Concernant les HREE, elles ont des teneurs jusqu'à x2 fois celles des roches mafiques. Ces enrichissements sont corrélés avec un appauvrissement des teneurs en Sr et Eu qui sont jusqu'à x3 moins enrichies que celles des roches mafiques. Il est à noter que parmi les roches intermédiaires, l'échantillon TC09-117 a des compositions en éléments traces très proches de l'échantillon mafique le plus enrichi (13TK43), excepté un net enrichissement en U et Th. L'échantillon dont les compositions différent le plus des roches mafiques (et des OIBs) est le 13TK47, considéré plus tôt possiblement comme altéré. Les compositions des roches intermédiaires forment donc un ensemble relativement bien continu avec les roches mafiques avec des allures de spectres semblables, et des anomalies plus prononcées. Toutefois, le net enrichissement en Th, U ( $\pm$ Nd  $\pm$ Ta) confère à ces roches des rapports (Th<sub>N</sub>/La<sub>N</sub>) compris entre 1.7 et 3.4 à celui des roches mafiques compris entre 1 et 1.4. Ces rapports témoignent donc d'un fractionnement plus important entre les HFSE + LREE les plus incompatibles par rapport aux autres éléments en comparaison des roches mafiques. Les roches intermédiaires (monzonites) ont des rapports moyens  $Th_N/Lu_N = 37 \pm 4$  et  $La_N/Yb_N =$ 14 ±2 (1σ).

#### 5.3.1.3 Spectres des syénites du groupe CaS

Les roches plutoniques du groupe CaS ont des spectres qui couvrent une large partie du domaine de variation des compositions analysées pour tout le SRBIC. Les teneurs en Rb couvrent la majeure partie des compositions du SRBIC avec un enrichissement par rapport aux OIB de 2.4 à 9.3. Il en est de même pour le Ba dont quelques compositions montrent un enrichissement jusqu'à 1.5 fois supérieur aux valeurs des OIBs donc identiques à celles des roches mafiques et intermédiaires. Mais la majeure partie des teneurs sont appauvries par rapport à celles des OIBs (et donc aux roches mafiques et intermédiaires) allant jusqu'à des teneurs 62 fois moins enrichies que dans les OIBs.

Les compositions en Th couvrent toutes les compositions du SRBIC, au minimum 2 fois plus appauvries que les valeurs des OIBs et au maximum 14.4 fois plus enrichies. Les teneurs en HFSE, LREE et HREE couvrent également une grande partie du domaine de variations observé pour le SRBIC, allant des teneurs les plus faibles analysées jusqu'à environ les 2/3 des compositions les plus enrichies. Les teneurs des roches du groupe CaS sont toutes appauvries en Sr et Eu. Ces teneurs vont des compositions les plus appauvries des roches intermédiaires jusqu'à des teneurs x257 et x11.2 plus faibles que celles des OIBs pour Sr et Eu respectivement. La majorité des roches du groupe du CaS, sont enrichies en HFSE, LREE et HREE. Seuls 4 échantillons (TC09-10B, TC09-26, TC09-99, 13TK63) montrent un comportement significativement différent pour ces éléments traces et des compositions appauvries par rapport aux OIBs. La majorité de spectres des roches du groupe CaS recouvrent donc ceux des roches intermédiaires avec une majorité de compositions plus enrichies que ces dernières en HSFE (hormis U et Th), LREE et HREE. L'enrichissement en U et Th est moins prononcé que pour les roches intermédiaires et le rapport (Th<sub>N</sub>/Pr<sub>N</sub>) des roches du groupe CaS majoritairement compris entre 2 et 5 contre  $3<(Th_N/Pr_N)_{caNa5} > 6$  pour les roches du groupe CaS. Ces dernières ont des rapports moyens Th<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> =  $35 \pm 11$  et La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> =  $16 \pm 3$  (1 $\sigma$ ).

#### 5.3.1.4 Spectre des syénites du groupe CaNaS

Les spectres étendus des roches du groupe CaNaS montrent une grande variabilité de compositions au sein du SRBIC. 5 échantillons caractérisés par des spectres particuliers se distinguent de la majorité des roches de ce groupe. Considérons dans un premier temps la majorité des roches du groupe CaNaS (en jaune). Toutes ces roches montrent de fortes anomalies en Ba, Sr et Eu. Pour Ba, les teneurs sont appauvries de 9.5 fois la valeur des OIBs jusqu'à des valeurs atteignant la limite de détection de la machine (soit plus de 300 fois moins que la valeur des OIBs). Ces teneurs recouvrent donc en partie les compositions les plus appauvries en Ba des roches du groupe CaS. Même constat pour le Sr, qui montre des compositions similaires aux roches les plus appauvries du groupe CaS et qui s'étendent jusqu'à des valeurs atteignant le seuil de détection de la machine (soit plus de 400 fois moins que la valeur des OIBs). Pour l'Eu, les teneurs du groupe CaNaS recouvrent en grande majorité les teneurs des roches du groupe CaS. Elles varient entre 2.9 fois et 25 fois moins que les valeurs des OIBs. Les compositions des HFSE, LREE et HREE vont des teneurs des OIBs aux valeurs les plus enrichies du SRBIC. Elles recouvrent donc les compositions des roches mafiques, intermédiaires et des roches du groupe CaS. Pour le Rb, les compositions recouvrent une grande partie des compositions du Rb du SRBIC allant des teneurs les plus faibles (x2.3 les teneurs des OIBs) à x6.8 plus enrichies par rapport aux OIBs La majorité des roches du groupe CaNaS (en jaune) ont des rapports moyens  $Th_N/Lu_N = 25 \pm 5$  et  $La_N/Yb_N = 20 \pm 3$  (1 $\sigma$ ).

Les 5 échantillons mis en lumière au sein des CaNaS sont les 3 échantillons de syénite porphyrique (13TK14, 13TK23 et TC09-85, en orange) associée à la zone de transition entre le groupe CaS (unité structurale 1) et le groupe pétrographique CaNaS (unité structurale 2) au niveau de la coulée du Vulcain.

Ces trois échantillons diffèrent clairement du reste des roches CaNaS. Ils possèdent les plus fortes teneurs en Ba, Sr et Eu de ce groupe et ont des teneures en LREE et HFSE parmi les plus faibles. Ces compositions en élément traces les rapprochent nettement des teneurs mesurées dans les roches les plus mafiques du complexes (monzo-gabbro/diorite), excepté pour le Sr qui est plus appauvri que dans ces dernières. L'échantillon 13TK120A se situe sur le flanc nord du mont Lieutard. Il constitue l'une des premières roches du groupe CaNaS dans la vallée de Larmor, au contact avec les roches structuralement au dessus du groupe CaS. Cet échantillon a les teneurs les plus faibles de la majorité des roches du groupe CaNaS (en jaune) pour la plupart des éléments en traces excepté le Ba, Sr et le Eu qui y sont les plus fortes. Excepté ces derniers le spectre de cette roche est également très proche de celui des monzo-gabbro/diorite. Finalement, l'échantillon TC09-131, qui se situe à l'embouchure du Val de Longue Attente, sur le flanc nord du mont L. Lutaud, et qui forme vraisemblablement la bordure intrusive du complexe de l'anse Syénite, montre les teneurs en éléments traces les plus faibles des roches de ce groupe pétrographique. Ses compositions rapprochent le spectre de cet échantillon de celui des roches très appauvries du groupe CaS, à l'exception et Th, U pour lesquels celui-ci est plus enrichi.

# 5.3.1.5 Spectre des syénites du groupe NaS :

Les teneurs en éléments traces des roches du groupe NaS sont parmi les plus éloignées des compositions de référence des OIBS. En effet ces roches comptent parmi les roches les plus enrichies en Rb, HFSE, LREE et HREE. Ce sont également les roches ayant majoritairement les plus fortes anomalies en Ba, Sr et Eu. Seul l'échantillon TC09-126A, considéré comme possiblement altéré, montre une composition en Eu de l'ordre de celle de la monzonite la plus appauvrie (possiblement altéré également), soit 2.9 fois moins enrichi que les OIBS. Les teneurs en Rb sont également les plus enrichies du SRBIC. L'allure générale des spectres des roches du groupe NaS peut être définie par un Th<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> = 25±5 et un La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub>= 24 ± 8(1 $\sigma$ ).

## 5.3.1.6 Evolution des éléments traces en fonction de la différenciation

Afin d'étudier l'évolution des teneurs en éléments traces en fonction de la différenciation et en complément des diagrammes de Harker, j'ai choisi de représenter les différents types de roches (syénite/Qz-monzonite/granite) dans des diagrammes de terres rares normalisées aux chondrites.

Les roches du groupe CaNaS montrent le plus grand étalement des niveaux de concentrations des terres rares contrairement à celui des groupes CaS et NaS. Les roches du groupe CaS montrent une plus forte densité de spectres vers les plus faibles teneurs tandis que cette tendance est opposée pour les roches du groupe NaS.

Les roches du groupe CaS, montrent un enrichissement progressif et relativement continu de leurs teneurs en éléments traces avec la différenciation (SiO<sub>2</sub> étant l'indice de différenciation choisi). Ceci s'observe assez bien au niveau des HREE tandis que les spectres des roches les plus différenciées se chevauchent au niveau des LREE. Cette différence se traduit par un rapport La/Lu plus faible dans les roches les plus différenciées traduisant un fractionnement moins important. De plus, le calcul des rapports  $La_N/Sm_N$  et  $Gd_N/Lu_N$  montre qu'avec la différenciation le fractionnement des LREE est légèrement à la hausse, tandis que celui des HREE est plutôt à la baisse. Enfin, malgré quelques particularités, l'anomalie en Eu est globalement plus forte avec l'enrichissement en silice.





Figure 5.11: Diagrammes de terres rares normalisées aux chondrites.

Les roches du groupe CaNaS comprises entre 60 et 66.5% de SiO<sub>2</sub> montrent un enrichissement grossier. Toutefois celui semblent nettement moins continu que pour le groupe CaS. En effet beaucoup des roches de ce groupe se trouvent entre 62 et 65% de SiO<sub>2</sub> et ne montrent donc pas d'enrichissement sur une si faible gamme de silice. Il apparait néanmoins qu'avec la différenciation, le fractionnement des LREE augmente tandis que celui des HREE diminue. La gamme de variation est sensiblement égale à celle des roches du groupe CaS. L'anomalie négative en europium est également moins bien corrélée avec le degré de différenciation bien que la tendance soit dans l'ensemble à son augmentation. Enfin, tout comme pour les roches du groupe CaS, le rapport La<sub>N</sub>/Lu<sub>N</sub> reste sensiblement constant pour les mêmes taux de silice.

Les roches du groupe NaS sont nettement plus enrichies en éléments traces que les autres roches plutoniques. Cependant, il n'y pas de vraiment d'évolution dans les compositions au travers des syénites et des Qz-monzonites. Seuls les spectres des granites diffèrent légèrement et montrent un appauvrissement relatif en LREE et un enrichissement en HREE. En effet, le fractionnement des éléments traces, assez stable dans les syénites et Qz-monzonites diminue avec le passage aux roches de type granite. Toutefois, l'évolution de l'anomalie négative semble bien corrélée avec le degré de différenciation.

#### 5.3.1.7 Evolution des éléments traces dans le temps

Les études structurales et géochronologiques ont permis de mettre en évidence que les roches plutoniques ont été mises en place du sud vers le nord au centre de la péninsule de RdB. En prenant en compte les premiers âges déconnectés du complexe principal, la mise en place s'est déroulée entre environ 13.74 à 7.88 Ma, le volume le plus important formant le SRBIC s'étant mise en place entre 11.57 et 7.88 Ma. Ainsi, un moyen d'appréhender l'évolution des éléments traces au cours du temps est de retracer l'évolution de ces éléments au travers d'une coupe grossièrement N-S. Les analyses géochimiques des roches ont donc été replacées (ou projetées pour les échantillons un peu éloignés) sur

la coupe NNE-SSO réalisée pour l'étude structurale (voir Chapitre 2). Grâce aux échantillons datés le long de cette coupe, l'évolution des éléments en traces peut donc être bornée dans le temps.

La Figure 5.12 représente 7 portions de la coupe NNE-SSO, classées du sud (les plus vieilles) vers le nord (les plus jeunes), et pour lesquels les spectres multi-élémentaires des roches analysées ont été reportés. Dans chaque diagramme représentatif d'une portion de coupe, ont été reportés :(i) les noms d'échantillons classés selon leur teneur pour un élément donné, (ii) la position relative de ces échantillons le long de la coupe. La première portion de coupe (Figure 5.12a) comprend 3 échantillons constitutifs de la plus vieille intrusion de la péninsule de RdB, celle de l'anse du Gros Ventre. Le spectre de référence des OIBs (Sun and McDonough, 1989) a également été ajouté sur ce diagramme à titre de comparaison. Les âges des syénites s'étalent entre 13.74 Ma et 11.87 Ma. Le monzogabbro (TC09-79) est daté entre 13.6 Ma (biotite séparées, Dosso et al., 1979) et 15.7 Ma (K-Ar sur roche totale, (Lameyre et al., 1976). Les compositions de ce monzogabbro sont très proches de celle des OIBs de référence. Son spectre montre tout de même un enrichissement en Rb, en HFSE les plus incompatibles et en LREE ; contrairement au HREE qui sont légèrement appauvris par rapport aux compositions des OIBs. Les 2 syénites précoces ont un spectre tout à fait comparable qui montre un fort enrichissement en LREE et HFSE. Les teneurs en Th notamment sont parmi les plus fortes du SRBIC. Les HREE sont quant à elles faiblement enrichies comparées au monzo-gabbro et aux OIBs. Ces spectres illustrent donc un fractionnement important en élément traces dans les syénites les plus précoces. Bien que les rapports élémentaires soit sensiblement différents, ce fractionnement est également visible dans le plus vieux monzo-gabbro de la péninsule. Les anomalies en Ba, Sr et Eu sont toutes négatives mais d'amplitude relativement faible comparées au spectre des OIBs.

La deuxième portion de coupe (Figure 5.12b) comprend 4 échantillons (3 syénites et une Qz-monzonite) prélevées entre le contact intrusif du SRBIC avec les basaltes de plateau (échantillon TCO9-41 daté à 11.53 ±0.2Ma) et un des petits massifs de syénite situé au SE du front de la Coulée de Vulcain et daté à 11.57 ±0.15Ma (échantillon TCO9-06). Cette portion de coupe du SRBIC s'est donc construite très rapidement. Les spectres de ces 4 roches sont très similaires. La Qz-monzonite est toutefois plus enrichie que les trois syénites pour tous les éléments traces (excepté Zr et Hf). Cependant l'allure du spectre est tout à fait identique à ceux des syénites. Cet enrichissement semble donc être lié à une simple différenciation du même liquide parent que celui des syénites. Comparées aux 2 syénites précoces de l'anse du Gros Ventre ces 4 roches ont relativement les mêmes compositions en éléments traces. Les syénites ont cependant des compositions légèrement plus appauvries en HFSE et LREE, tandis que la Qz-monzonite à des teneurs plus enrichies en HREE. Seules les teneurs en Th et U de ces 4 roches sont moins élevées que celles des syénites plus précoces donnant un aspect plus plat aux spectres au niveau des éléments les plus incompatibles. La grande différence avec les syénites les plus précoces réside dans les anomalies en Ba, Sr et Eu qui sont bien plus importantes pour ces 4 échantillons.

Donc en l'espace de 2.5 Ma pour des roches de même nature, le niveau d'enrichissement en éléments traces n'a pas changer significativement mais les teneurs en Ba, Sr, et Eu se sont nettement appauvries. Ceci implique un fractionnement important des minéraux porteurs tels que les feldspaths perthitiques en profondeur.

La troisième portion de coupe (Figure 5.12c) est constituée de 4 échantillons : 2 syénites, un qzmonzonite et une monzodiorite. Cette portion de coupe prend donc en compte le sill de monzodiorite datée à 11 Ma et localisé au pied de la Coulée de Vulcain. Le premier échantillon de cette portion est une syénite à 60.9% de SiO<sub>2</sub> (TC09-10B) prélevée sur le massif syénitique le plus au sud en contact avec le front de la Coulée du Vulcain. Cette roche montre un spectre clairement différent des autres roches felsiques de cette partie de coupe et des précédentes syénites. Elle est appauvrie en élément traces comparée à la monzodiorite et aux OIBs. Elle possède cependant un spectre de même allure que la monzodiorite en de nombreux points. En effet, seule l'anomalie en Sr donne à cette syénite une allure différente de celle du spectre de la monzodiorite. Plus au nord, une syénite suivie d'une Qz-monzonite montrent des spectres de composition et d'allure identiques entre eux. Ces spectres ont des caractéristiques identiques aux syénites précoces de l'anse du Gros Ventre tels que l'enrichissement en éléments les moins incompatibles. Mais ces 2 roches ont également des caractéristiques proches des syénites de la portion de coupes précédentes telles que des anomalies en Ba, Sr et Eu négatives, prononcées et des teneurs relativement élevées en HREE. Cette partie de coupe du SRBIC contient une succession de sills syénitiques et plus mafiques qui montrent des niveaux d'enrichissements différents. De plus, une des syénites mise en place après la monzodiorite est moins enrichie que cette dernière. Pour un taux de différenciation (SiO<sub>2</sub>) plus élevé cette syénite est moins enrichie en éléments incompatibles que la monzodiorite. Cette syénite ne peut donc être pas le résultat d'une différenciation du même liquide parent ayant formé la monzodiorite. De plus, les différences de compositions entre cette syénite et les autres roches felsiques rencontrées plus au sud impliquent un changement des processus d'enrichissement et/ou un changement au niveau de la source des magmas.



Figure 5.12: Evolution des spectres normalisés aux CI le long d'une coupe SSO-NNE : anse du Gros Ventre – Pic Chastaing

La quatrième partie de la coupe étudiée comprend 4 échantillons et s'étend jusqu'au dernier sill de monzo-diorite mis en place vers le nord et daté à 10.77 Ma. Cette portion de coupe comprend donc les alternances d'intrusions mafiques et syénitiques qui caractérisent l'unité structurale 1. Dans cette petite portion de coupe, l'échantillonnage plus abondant, a permis de mettre en évidence des recoupements chronologiques entre les différentes injections en accord avec les observations de terrain. La syénite la plus jeune étant datée à 10.22 Ma. Dans l'ordre chronologique, c'est la monzodiorite (13TK36) qui s'est mise en place en premier. Les erreurs sur les âges U-Pb peuvent laisser penser que cette monzodiorite  $(10.77 \pm 0.15 \text{ Ma})$  et celle de la partie précédente  $(11 \pm 0.1 \text{ Ma})$  font partie d'une seule et même intrusion. Toutefois, le contact entre les 2 roches ne peut pas être observé car il est aujourd'hui recoupé par des syénites et/ou recouvert par des dépôts récents. De plus, la légère différence minéralogique observée entre les deux roches suggère l'existence de 2 intrusions distinctes bien qu'une variation locale au sein d'une seule intrusion ne peut être exclue. Ceci ne change en rien le propos exposé ici. Cette monzodiorite a en effet un spectre en éléments traces similaire à la précédente monzodiorite. Elle est suivie dans le temps par l'intrusion d'une syénite datée à 10.65 Ma (13TK42) qui a, à peu de chose près, le même spectre. En effet, cette syénite est moins de 1.5 fois plus enrichie que la monzo-diorite en Rb et autres éléments les plus incompatibles jusqu'au Ce. Elle possède en outre les mêmes teneurs en Pr, Nd, Sm, Gd et Dy. Les éléments les moins incompatibles sont jusqu'à deux fois plus enrichis par rapport à la monzodiorite, tout comme le Zr et l'Hf. Seul le Sr montre une anomalie négative avec un appauvrissement de x4.6 par rapport à la monzodiorite. Ainsi, les roches mises en place entre 11 et 10.65 Ma ont des spectres relativement similaires mais l'une d'entre elles est une syénite à 67.2% de SiO<sub>2</sub> présentant une anomalie en Sr. Tout comme pour la syénite TC09-10B de la portion de coupe précédente, il est clair que les différences de compositions entre cette syénite et les autres roches felsiques rencontrées plus au sud impliquent une différence dans les processus d'enrichissement et/ou une différence au niveau de la source. Cette syénite datée à 10.65 Ma est suivie d'une injection de syénite (67.1% de SiO<sub>2</sub>) à 10.22 Ma et de granite (75.9% de SiO<sub>2</sub>). La syénite 13TK45 est une syénite porphyrique qui possède un spectre similaire aux syénites rencontrées plus au sud ou au niveau de l'anse du Gros Ventre. Elle montre également de fortes anomalies en Ba, Sr et Eu. Le granite provenant d'une injection pegmatitique a un spectre différent qui montre des anomalies négatives en Ba, Sr et Eu moins fortes que la syénite porphyrique. Hormis le Th, U, Nb et Ta, il est également moins enrichi que cette syénite. Cet échantillon granitique ne peut donc pas provenir de la différenciation du magma parent de la syénite porphyrique. Cependant, le spectre de ce granite est assez cohérent avec les spectres des syénites rencontrées plus au sud et de celles de l'anse du Gros Ventre. Les différences en LREE et Zr, Hf sont sans doute à mettre en relation avec une proportion plus faible de minéraux porteurs ayant cristallisé dans ce granite tels que les chevkinites et les zircons.

La cinquième portion de coupe (Figure 5.12e) s'étend du dernier sill plutonique mafique alternant avec les syénites au front de la coulée de Vulcain jusqu'aux échantillons de l'unité structurale 2 projetés dans la Vallée des Sables. Cette partie de coupe comprend donc le passage de l'unité 1 constitué des roches du groupe CaS à l'unité 2 constitué des roches du groupe CaNaS. Le diagramme illustre les compositions des 6 échantillons de syénites de cette partie de la coupe et datés entre 9.94 (13TK63) et 9.31 Ma (13TK81A). La première syénite mise en place est en contact avec la monzodiorite précédente datée à 10.77 Ma. Cette syénite du groupe CaS (62.3 %SiO2) est à l'image des syénites précédentes les moins enrichies (TCO9-10B et 13TK42). De ces trois syénites relativement appauvries, celle-ci possède les anomalies les plus négatives en Ba et Sr. De par ses teneurs en HREE, elle ressemble davantage à la syénite appauvrie (TCO9-10B) située la plus au sud de la coupe. Viennent ensuite les syénites porphyriques associées à la zone déformée au front de la Coulée de Vulcain. Ces syénites font partie du groupe pétrographique

CaNaS et marque donc le passage des roches du groupe CaS au groupe CaNaS. Ces deux syénites porphyriques ont des spectres (oranges) de même allure. La syénite porphyrique la moins enrichie est la 13TK14 dont les teneurs sont similaires aux compositions des monzodiorites et monzogabbros rencontrés plus au sud. Seuls le Zr et l'Hf semblent légèrement appauvris par rapport à ces derniers. Elle montre donc des anomalies positives en Ba, négative en Sr et peu ou pas d'anomalie en Eu. La seconde syénite porphyrique a un spectre semblable avec des compositions plus enrichies hormis en Eu. Ces syénites particulières montrent donc une différence notable de niveau d'enrichissement et/ou de source avec les syénites rencontrées au niveau de l'anse du Gros Ventre et dans la majeure partie de l'unité 1. Elles montrent davantage de similitude avec les roches plutoniques mafiques et les syénites les plus appauvries de l'unité 1. Ces syénites porphyriques sont suivies vers le nord par des syénites qui marquent le passage entre l'unité structurale 1 déformée à sa base et l'unité structurale 2. Ces syénites ont des compositions qui sont bornées par celles des 2 syénites porphyriques précédentes. Elles ont notamment les mêmes teneurs en REE. Toutefois ces 3 échantillons de syénites ont des anomalies très négatives en Ba, Sr et Eu (notamment en Ba et Sr pour lesquels elles atteignent presque la limite de détection). Le passage de l'unité 1 à l'unité 2 est donc marqué par un net changement affectant au moins le fractionnement des feldspaths.

La sixième portion de coupe (Figure 5.12f) comprend 9 échantillons et s'étend le long du Massif du Portillon jusqu'aux roches de l'unité structurale 3. Cette partie de coupe illustre donc le passage entre les roches du groupe CaNaS et les premières roches intrusives du groupe NaS (projetées sur la coupe). Les syénites du groupe CaNaS les plus au sud de cette coupe ont les mêmes spectres que les syénites les plus enrichies de la partie de coupe précédente. Elles sont aussi grossièrement de plus en plus enrichies vers le nord mêmes si les deux échantillons les plus riches du groupe des CaNaS ne sont pas strictement les plus au nord. Ces deux échantillons sont les plus riches en silice. Toutefois, il est clair que depuis les syénites les plus vielles de l'unité 2 jusqu'au plus jeunes (< 8.05 Ma) l'enrichissement semble corréler avec la position structurale et, dans une moindre mesure, le taux de différenciation. Au vu des spectres étendus, le passage à l'unité structurale 3 et aux roches appartenant au groupe NaS n'implique pas de changement significatif. Les compositions du granite et de la syénite sont relativement similaires aux syénites les plus enrichies du groupe CaNaS. La différence de nature des échantillons du groupe NaS est due à la position des échantillons, le granite 13TK78 se trouvant sous le contact majeur du portillon et la syénite 13TK80 se trouvant sous le contact sud du massif des Deux Frères. Ces deux échantillons ont les mêmes compositions en HREE. Le granite est plus enrichi en Rb et HFSE les moins incompatibles tandis que la syénite est plus enrichie en LREE. Cette différence est sans doute à relier à la cristallisation plus importante de chevkinite dans la syénite.

La dernière portion de coupe étudiée comprend 5 échantillons (3 syénites et 2 qz-monzonites) de l'unité structurale 3 et s'étend du massif en forme de molaire dans la Vallée jusqu'à la pointe nord-ouest du Massif des Deux Frères. Ces roches du groupe NaS sont parmi les roches les plus enrichies du SRBIC. Bien que la teneur en SiO<sub>2</sub> varie de 66.2 à 68.9% l'enrichissement ne semble pas corrélé avec la différenciation et toutes les roches ont des compositions relativement similaires. Les spectres ont une allure semblable aux syénites du groupe CaNaS de la portion précédente et des compositions semblables à celle qui sont les plus enrichies. Les teneurs varient surtout pour les LREE (La, Ce, Pr) les HFSE les moins incompatibles Zr et Hf, ainsi que les MREE Nd et Sm. Ces variations sont à relier aux différences de proportions de minéraux riches en terres rares telles que les chekvinites et les zircons. Les roches du groupe NaS présentent des anomalies en Ba, Sr et Eu très négatives, similaires ou légèrement plus fortes que celles des syénites CaNaS.

Au travers de cette « coupe géochimique », l'évolution des éléments traces dans le temps a donc permi d'identifier deux comportements distincts entre la succession des roches de l'unité 1 et la succession des roches des unités 2 et 3. Rappelons dans un premier temps que chaque unité est formée par différentes injections successives de roches ayant des degrés de différenciation plus ou moins variés (c.f. Chapitre 1). L'unité 1 est particulièrement caractérisé par des alternances de roches plutoniques mafiques et syénitiques. L'unité 2 et l'unité 3 ne montrent pas une telle variation de degré de différenciation. Toutefois, les roches de l'unité 3 sont majoritairement les plus différenciées du SRBIC.

L'évolution des éléments traces au sein de l'unité 1 se caractérise par l'alternance de spectres enrichis et de spectres appauvris. Les spectres enrichis correspondent à la majorité des roches felsiques. Les spectres appauvris comprennent les roches plutoniques mafiques et quelques roches syénitiques dont certaines sont encore plus appauvries que les monzo-gabbros/diorites. Bien défini dans le temps par la géochronologie, cet appauvrissement des teneurs en éléments traces ne peut donc pas s'expliquer par de simples variations de différenciation d'un même magma parent. Il est clair que ce « reset » des teneurs est induit par un changement dans les processus d'enrichissement lié au changement de composition des magmas parents de ces différentes syénites.

Le passage aux roches du groupe CaNaS (dans la zone déformée) est marqué par des spectres de compositions intermédiaires entre ceux des roches plutoniques mafiques et syénitiques enrichis du groupe CaS. Le passage de l'unité 1 (zone déformée) à l'unité 2 est marqué par le retour à des spectres de syénites de même allure que ceux de la majorité des syénites du groupe CaS mais moins enrichis que ces derniers. L'évolution des éléments traces au sein de l'unité 2 est caractérisée par un enrichissement progressif vers le nord. Malgré des recoupements relatifs à la variation des teneurs en silice dans la superposition des spectres, cet enrichissement est bien corrélé avec la progression vers le nord.

Le passage de l'unité 2 à l'unité 3, donc des roches du groupe CaNaS aux roches du groupe NaS ne peut être distingué dans les éléments traces. Les roches du groupe NaS ont les mêmes spectres que les roches les plus enrichies du groupe CaNaS. Elles montrent également des variations relatives au taux de différenciation mais surtout des variations dues à la proportion de minéraux accessoires tels que les chevkinites et les zircons.

Ainsi, l'évolution des éléments traces au sein de l'unité 2 et de l'unité 3 peut être considérée continue et progressive dans l'espace et dans le temps. Cette unique évolution est directement liée à la structure et donc indirectement au degré de différenciation. Au contraire, l'évolution des éléments traces au sein de l'unité 1 est discontinue et sans relation directe avec le taux de différenciation.

# 5.4 Synthèse de l'étude des éléments majeurs et traces

Les roches plutoniques du SRBIC sont majoritairement des syénites et des monzonites à quartz avec quelques monzogabbros, monzodiorites, monzonites et granites. Elles forment une série plutonique typiquement alcaline avec seulement quelques roches qui ont une affinité alcalino-calcique (Figure 5.1 et Figure 5.2).

Cette étude confirme le gap de composition qui existe entre 57 et 60% de silice et qui sépare les roches mafiques et intermédiaires des roches felsiques sur la péninsule. Ce gap nommé « Daly gap », déjà été observé dans les études précédentes des roches plutoniques des lles Kerguelen (e.g. Bonin and Giret, 1990; Scoates et al., 2007), s'observent également dans de nombreuses séries alcalines volcaniques en domaine océanique (Baker, 1992) comme les Canaries (Chayes, 1977); l'Ascension (Clague, 1978), Hawaii (Cousens et al., 2003) ou encore l'Islande (Bindeman et al., 2012).

La tendance générale de l'évolution des éléments majeurs et traces dans toutes les roches plutoniques du SRBIC, telle que la diminution nette du MgO, du Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(total), du CaO, du TiO<sub>2</sub>, du Ba et du Sr et l'augmentation nette en Nb, U et Th lorsque la teneur en SiO2 augmente, marque sans doutes une évolution chimique contrôlée, du moins en partie, par des processus de cristallisation fractionnée avec la formation de phase minérales précoces telles que l'olivine, les pyroxènes calciques, les perthites et les oxydes de Fe-Ti dans un ou des magmas parents chimiquement proches.

Les roches mafiques et intermédiaires ont des spectres présentant une allure générale assez semblable à celle du spectre représentatif de la moyenne de composition des OIBs (Sun and McDonough, 1989). L'allure des spectres des roches felsiques montrent bien plus de différences avec ces derniers, à cause des très importantes anomalies négatives en Ba, Sr et Eu mais aussi des teneurs plus élevées pour les éléments les plus incompatibles.

Concernant les roches felsiques de loin les plus abondantes, l'étude des diagrammes de Harker en fonction des différents types de roches (syénites/Qz-monzonites/granites) permet de mettre en évidence des ensembles de compositions relativement continus, pour de nombreux éléments majeurs et traces, des syénites les moins enrichies en SiO2 aux granites les plus différenciés (Figure 5.3, Figure 5.4 et Figure 5.7). Cette continuité implique donc que les compositions des roches sont relativement similaires quel que soit le groupe pétrographique auxquelles elles appartiennent pour une concentration en SiO2 donnée. Cette caractéristique est notamment vraie pour les syénites les moins riches en silice du groupe NaS qui ont toujours les mêmes teneurs en éléments majeurs et traces que les syénites les plus différenciées du groupe CaNaS.

Toutefois dans le détail, il est clair que les roches du groupe CaS définissent une série qui se distingue d'une série formée des roches CaNaS et NaS. Que ce soit par des évolutions et/ou compositions légèrement différente avec l'augmentation du degré de différenciation cette distinction se retrouve aussi bien au niveau des éléments majeurs que des éléments en traces (Figure 5.5 et Figure 5.8). Au niveau des traces, ces évolutions sont souvent en partie floutées par le contrôle qu'exerce certaines phases minérales accessoires sur les concentrations de certains éléments traces, comme par exemple le zircon pour Zr, Hf, U et Th et la chevkinite pour les terres rares (en particulier les légères). De plus, les roches felsiques les moins différenciées de ces deux lignées ont des teneurs en éléments très similaires. Ceci pourrait supposer que les compositions des magmas parents de ces deux séries sont identiques.

Finalement, l'étude géochimique des éléments majeurs et des éléments traces va dans le même sens que l'étude pétrographique en montrant qu'il existe deux grandes unités plutoniques au niveau du SRBIC sensu lato:

-une plus ancienne (entre 13.7 et environ 9.45Ma) constituée par l'ensemble des roches du groupe pétrographique CaS auxquelles peuvent être associées les roches mafiques/intermédiaires. Dans le temps, cette série est discontinue montrant des variations hétérogènes du degré de différenciation ainsi que des épisodes répétés d'appauvrissement en éléments traces. Ce résultat porte à croire que cette série dont l'évolution est en partie contrôlée par des processus de cristallisation fractionnée subit des épisodes répétés de recharges magmatique du réservoir magmatique à partir duquel elles sont extraites. Cette série semble donc avoir évolué dans un système magmatique relativement ouvert.

- une plus récente (entre 9.45 et 7.88 Ma) qui regroupe les roches felsiques CaNaS et NaS dont les termes sodiques sont les plus différenciées et les plus jeunes. Ce résultat montre que cette série dont l'évolution est également contrôlée par des processus de cristallisation fractionnée, évolue au sein d'un système magmatique clos.

# Chapitre 6 : Géochimie isotopique

La détermination des compositions isotopiques en Sr et Nd a été effectuée pour 34 échantillons dont 2 monzogabbro/diorites, 1 monzonite, 24 syénites (<66.5% SiO<sub>2</sub>), 4 monzonites à quartz (<67.1% SIO<sub>2</sub>), 2 granites (>70% SiO<sub>2</sub>) et 1 trachyte. Les rapports père/fils pour les deux systèmes isotopiques ont été directement mesurés sur un ELEMENT XR, sur une aliquote de chaque échantillon destiné à la mesure des compositions isotopiques. Les syénites et lithologies associées sont susceptibles de présenter des très forts rapports Rb/Sr et donc de développer rapidement des signatures fortement radiogéniques en Sr, ce qui justifie la détermination précise des rapports père/fils. Les rapports isotopiques ont été mesurés au GET sur un TIMS Finnigan Mat 261 (1987). Le comportement des deux systèmes isotopiques étant très différents pour ce type de faciès, les deux géochronomètres sont traités séparément. Les résultats et détails des traitements appliqués sont reportés en annexe.

## 6.1 Système Rb/Sr

## 6.1.1 Résultats à l'actuel

Les données sont reportées dans un diagramme isochrone (Figure 6.1) classique en fonction des affinités pétrographiques.



Ce diagramme rend compte de la grande variabilité des rapports isotopiques mesurés sur le SRBIC. Les rapports isotopiques mesurés varient entre 0.705720 et 0.706947 pour les roches mafiques. Le 13TK47 est la seule roche intermédiaire (monzonite) à avoir été analysée et présente un rapport de 0.705833. Les roches mafiques et intermédiaires montrent donc des rapports isotopiques relativement semblables contrairement aux roches felsiques. Les syénites du groupe CaS qui se situent entre 62.3 et 67.1% de SIO<sub>2</sub> présentent des rapports isotopiques mesurés entre 0.706130 et 0.714997. Une seule Qz-monzonite (TC09-75) a été mesurée avec un rapport de 0.706173. Enfin, un seul granite du groupe CaS a également été mesuré avec un rapport de 0.713863. L'ensemble des roches appartenant au groupe pétrographique CaS (entre 62,3 et 71,6 % SiO<sub>2</sub>) présentent donc des rapports isotopiques variant de 0,706130 à 0,714997.

Les syénites du groupe pétrographiques CaNaS (entre 60,25 et 64,8% SiO<sub>2</sub>), dont fait partie la syénite 13TK23 de la zone fortement déformée, présentent des rapports isotopiques allant de 0,705790 à 0,722467. Ce sont les échantillons du groupe NaS qui montrent la plus grande amplitude de variation isotopique, avec des syénites allant de 0.719495 à 0.725521, jusqu'au granite à 0.716503, en passant par deux Qz-monzonites ayant des rapports de 0.749252 et 0.757258. Ces deux dernières ont donc des rapports isotopiques bien supérieurs aux autres roches du complexe. Pour élargir le champ des données mesurées sur les syénite du SRBIC, une trachyte tardive recoupant les syénites a également été mesuré et se situe à 0.710447. Et finalement, un échantillon de syénite appartenant au groupe NaS, situé à l'entrée de la Vallée Milady et faisant partie du CRBIC donne un rapport isotopique mesuré de 0.719442.

Globalement, l'ensemble des échantillons se répartit de manière hétérogène autour d'une isochrone théorique moyenne montrant un âge cohérent (environ 12Ma) avec ceux connus dans le massif. Cependant, il semble que la dispersion des données augmente avec le rapport <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr, ce dernier pouvant atteindre des valeurs extrêmes, autour de 230. Avec de telles valeurs, les syénites vont développer en un bref laps de temps des signatures très radiogéniques. Effectuer une correction d'âge est donc critique si l'on veut discuter de la source de ces magmas. C'est pourquoi, j'ai représenté une seconde isochrone théorique ne prenant pas en compte les 2 qz-monzonites au rapport père/fils les plus élevés. Bien que cette deuxième isochrone montre également un âge cohérent avec les données géochronologiques, la dispersion des rapports isotopiques ne peut s'expliquer par une source isotopiquement homogène commune à tous les échantillons.

Sans faire un zoom détaillé des valeurs les plus faibles en (<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr)<sub>calculé</sub>, il apparait également impossible d'identifier sur ce diagramme isochrone une source homogène pour chaque groupe pétrographique.

La majorité des échantillons ayant été datés par la méthode U/Pb in situ sur zircon, les rapports isotopiques du Sr ont été corrigés de l'âge déterminé pour chaque échantillon. Parmi ces échantillons, seuls 4 échantillons n'ont pas été datés par cette méthode. L'âge du monzo-gabbro (13TK002) provient de l'étude géochronologique de Dosso et al., 1979 qui ont également daté un gabbro provenant du même affleurement (anse du Gros Ventre / K-Ar sur biotite séparées). Cet âge est identique à l'âge obtenu ici par U-Pb pour la première intrusion syénitique dans la même aire géographique (échantillon TC09-82). Les âges des échantillons 13TK77 et TC09-59 ont été estimés de par leur position structurale en accord avec la géométrie et géochronologie de mise en place du complexe. En plus de ces critères, l'âge estimé de l'échantillon TC09-131 (Anse !syénite) est supporté par une datation Ar-Ar sur apatites séparées (F.Ahadi et al, in progress – communication personnelle).

# 6.1.2 Résultats à l'état initial

Les données ont été reportées dans un diagramme isochrone initial, c'est à dire où les rapports <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr et <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr sont corrigés des âges U-Pb de chaque roche obtenus précédemment.



La plupart des échantillons tombe dans un intervalle de compositions isotopiques initiales plus restreint, tout en conservant une grande variabilité des rapports <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr. Toutefois, certaines syénites des groupes CaNaS et NaS présentent des compositions isotopiques initiales fortement radiogéniques (0.713196 pour CaNaS-13TK81A et 0.723058 à 0.733282 pour NaS-13TK106 et 13TK108 respectivement) et non documentées dans cette région.

Ce résultat pose la question de la validité de la correction d'âge et surtout de la propagation d'erreur de ce calcul sur la valeur initiale. Dans des lithologies anciennes ou métamorphisées, la perte de Rb, préférentiellement au Sr, est souvent envisagée pour expliquer la mauvaise estimation des compositions initiales. Cette hypothèse ne peut cependant pas s'appliquer dans le cas des roches plutoniques de la péninsule. Une autre explication peut être un décalage temporel entre la fermeture des géochronomètres U/Pb sur zircon et Rb/Sr sur roche totale. En effet, les rapports <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr extrêmes vont favoriser le développement de signatures différentes si ces deux chronomètres s'initialisent avec un décalage dans le temps. Là aussi, les signatures initiales calculées nécessiteraient un décalage temporel trop élevé (de l'ordre de plusieurs millions d'années pour les Qz-monzonites par exemple), incompatible avec le temps de refroidissement d'un corps magmatique de cette taille (e.g. Annen et al., 2015). Etant donné que la correction de l'âge a un impact cohérent pour la majorité des échantillons, je suppose que les échantillons dont les rapports isotopiques initiaux sont les plus forts (13TK81, 13TK106 et 13TK108) et
qui divergent fortement des autres données ont donc certainement subit un biais analytique (tel qu'une hétérogénéité lors du prélèvement avant la mise en solution). Ils ne peuvent pas être considérés comme viables dans le système Rb/Sr et ne seront donc pas considérés par la suite.



Figure 6.3: Diagramme de compositions isotopiques initiales en Sr reportées en fonction des âges de chaque échantillon.

Considérant de manière pragmatique ces résultats, les rapports initiaux en Sr pourraient s'interpréter comme le reflet de sources isotopiques aussi diverses que le nombre d'échantillons analysés (

Figure 6.3). Cette première interprétation peu réaliste doit être mise en parallèle des données isotopiques acquises dans le système suivant. Toutefois la carte de répartition des valeurs initiales montre un net signal au centre du complexe (Figure 6.4).



 Figure 6.4: Carte de répartition
des compositions isotopiques
initiales en strontium corrigés de l'âge U-Pb des échantillons.

# 6.2 Système Sm/Nd

Deux échantillons de plus ont été analysés par rapport aux analyses en Strontium que sont le 13TK117B (daté à 8.75Ma) et le 13TK118A (9.45Ma). Le même traitement de données a été effectué pour le couple père-fils Sm/Nd.

Les rapports isotopiques <sup>147</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd mesurés sur l'ensemble des échantillons du SRBIC s'échelonnent entre 0.512276 et 0.512628. Toutefois, mis à part un échantillon de composition intermédiaire (monzo gabbro) et trois syénites (deux CaS et une CaNaS), la plupart des mesures se concentrent dans une gamme assez restreinte entre 0.512502 et 0.512628 qui sont 2 syénites du groupe CaS. Les roches du appartenant au groupe CaNaS s'étalent entre 0.512542 et 0.512613. Les roches du groupe NaS se concentrent entre 0.512563 et 0.512627. Les 4 échantillons dont les rapports isotopiques sont très faibles en comparaison des autres roches du SRBIC s'étalent entre 0.5122276 et 0.512418. Ces échantillons sont un monzo-gabbro, deux syénites du groupe CaS et une syénite du groupe CaNaS. L'échantillon de trachyte tardive et la syénite du CRBIC ont des rapports isotopiques similaires aux autres échantillons du SRBIC.

De la même façon que pour le couple Rb/Sr, les données isotopiques du système Sm/Nd sont reportées sur un diagramme isochrone (Figure 6.5).





Il n'apparait aucun alignement particulier, contrairement à celui présenté dans le diagramme isochrone Rb/Sr, mais la gamme de variation du rapport <sup>147</sup>Sm/<sup>144</sup>Nd est beaucoup plus faible. Ceci ajouté à la période de demi-vie du <sup>147</sup>Sm fait que le développement de signatures radiogéniques sur des échantillons jeunes est assez improbable. De la même manière que pour le Sr, les données ont été corrigées de l'âge en utilisant les âges U/Pb sur zircon et reportées dans un diagramme isochrone initiale (Figure 6.6).



Les valeurs corrigées sont pratiquement identiques aux valeurs mesurées et les échantillons avec des valeurs nettement moins radiogéniques conservant leurs spécificités. La correction maximale est de  $-1.10^{-5}$  et de  $-6.10^{-6} \pm 1.10^{-5}$  en moyenne du rapport isotopique <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd sur l'ensemble des échantillons. Cette correction se situe donc dans l'erreur sur la mesure des rapports isotopiques actuels.

Mis à part les 4 échantillons les moins radiogéniques (13TK001, 13TK002, TC09-131 et TC09-82), le fait que les compositions isotopiques initiales en Nd présentent peu de différences est un argument de plus pour affirmer que certaines des compositions isotopiques initiales en Sr sont entachées d'erreur, en particulier celles des échantillons possédant de très forts rapports corrigés. En effet, à part sur des roches ayant subi de fortes interactions avec des fluides hydrothermaux comme l'eau de mer, il n'est pas documenté de découplage aussi fort entre ces deux traceurs isotopiques sur des lithologies magmatiques. Les données en Nd confirment donc la non-viabilité des données Rb/Sr envisagée précédemment des deux monzonites à quartz (13TK106 et 13TK108) et de la syénite du groupe CaNaS (13TK81).

A l'instar du couple Rb/Sr les rapports isotopiques initiaux en Nd ont été reportés en fonction de l'âge des échantillons afin d'étudier l'évolution de ces rapports dans le temps à l'échelle du complexe plutonique.



Figure 6.7 : Diagramme des compositions initiales en Nd reportées en fonction de l'âge de chaque échantillon

A l'exception des 4 échantillons les moins radiogéniques, la Figure 6.7 précédente permet de montrer une certaine évolution non linéaire de la composition isotopique initiale au sein des différents groupes pétrographiques. En effet, ne considérant que les valeurs médianes de chaque groupe pétrographique, un signal à grande échelle semble se dessiner. Ces valeurs ont été calculées sans tenir compte des 4 échantillons particuliers, ni des échantillons 13TK008 (filons trachytique tardif) et TC09-135 (complexe CRBIC). Ces valeurs médianes sont respectivement de  $0.512547 \pm 0.000056$  (2 $\sigma$ ),  $0.512561 \pm 0.000037$  et 0.512572 ± 0.000030 pour les roches du groupe CaS, CaNaS et NaS respectivement. Les roches appartenant au groupe pétrographique CaS datées entre 11.57 et 9.35 Ma ont la valeur médiane la plus faible. Avec le passage aux roches du CaNaS comprises entre 9.38 et 8.1 Ma cette valeur médiane isotopique augmente. Cette augmentation semble se prolonger vers les roches appartenant au groupe NaS datées entre 8.1 et 7.88 Ma. Ces observations doivent être modérées de la dispersion des valeurs isotopiques au sein de chaque groupe. En effet, l'évolution entre les roches du groupe CaNaS et NaS peut également être considérée comme stable. Malgré l'amplitude de variation, il parait plus difficile de considérer une évolution stable en partant des roches du groupe CaS. Le filon de trachyte tardif 13TK008 (7.93 Ma) et la syénite TC09-135 (7.31 Ma) qui appartient au CRBIC semblent confirmer une certaine augmentation des rapports isotopiques vers les termes les plus jeunes.

Quatre échantillons ont des compositions initiales qui sont très différentes du reste des échantillons du SRBIC. Trois de ces échantillons proviennent d'une même zone géographique. De nature différente, ces échantillons sont les plus vieux du SRBIC et forment le petit complexe plutonique, structuralement déconnecté du complexe majeur SRBIC, anciennement décrit et nommé « satellite » de l'anse du Gros Ventre. Les compositions initiales de ces trois échantillons sont clairement les plus faibles de la péninsule de RdB avec une moyenne de  $0.512297 \pm 0.000046$  (2 $\sigma$ ). La composition isotopique initiale la plus faible (0.512268) est atteinte pour l'échantillon syénitique le plus vieux (13.74Ma). Un dernier échantillon donne une composition isotopique initiale de  $0.512412 \pm 0.000017$  intermédiaire entre ces roches les plus vieules et la majorité des échantillons du SRBIC. Cet échantillon (TC09-131) dont l'âge est estimé autour de

9.45Ma est lui aussi situé au niveau d'une intrusion considérée comme satellite du SRBIC et nommée « l'anse Syénite ».

Pour résumer, en dépit de variations relative d'un échantillon à l'autre, il semble exister une source relativement homogène en néodyme à l'origine de la majeure partie des roches du SRBIC. Il est possible que cette source unique ait pu évoluer légèrement entre 11.5 et 7.3 Ma vers des compositions légèrement plus radiogéniques. D'autre part, il existe au moins une composante bien moins radiogénique à l'origine (ou au moins en partie) d'intrusions mineures structuralement déconnectées du volume le plus important de roches plutoniques mises en places formant le SRBIC. La Figure 6.8 suivante illustre cartographiquement les compositions initiales en Néodyme du SRBIC (réalisée avec le logiciel Surfergoldensoftware.com).



Figure 6.8 : Carte de répartition des valeurs initiales en Nd sur la péninsule de Rallier du Baty.

#### 6.3 Corrélation des deux systèmes isotopiques

De nombreuses études isotopiques ont été conduites sur l'archipel et le Plateau de Kerguelen depuis les années 70. Elles ont permis de contraindre et d'affiner les compositions isotopiques des sources mises en jeu dans la genèse des roches constitutives du plateau depuis environ 118Ma. Plus récemment, les dernières études isotopiques ont permis de relier génétiquement le plateau océanique de Kerguelen à plusieurs localités continentales attestant de l'impact du point chaud dès 140-130Ma, précédant de peu la dislocation du Gondwana. Afin de replacer les échantillons du SRBIC dans le contexte du plateau océanique, les résultats isotopiques des couples Rb/Sr et Sm/Nd ont été comparés aux données disponibles sur le plateau de Kerguelen dans la littérature.



← Figure 6.9: Diagramme de corrélation Nd<sub>initial</sub> et Sr<sub>initial</sub> des données provenant du LIP lié à la présence du panache de Kerguelen. a) à grande échelle, b) zoomée sur les roches intrusives de l'archipel.

La  $\leftarrow$  Figure 6.9 représente les différentes compositions isotopiques corrigées des âges attribués dans la littérature. L'ensemble des compositions isotopiques utilisées est reportée en annexe.



Figure 6.10: Diagramme de corrélation Nd<sub>initial</sub> vs Sr<sub>initial</sub> centré sur les données obtenues de péninsule de RdB.

Dans cette représentation  $\leftarrow$  Figure 6.9a, les basaltes du plateau océanique (>68 Ma CKP et SKP) présentent tous l'implication d'une contamination crustale continentale (en brun). Les basaltes du NKP (bleu) ainsi que ceux de la Ninetyeast Ridge se retrouvent entre les pôles des MORB typiques de la SEIR et du panache de Kerguelen, témoignant de l'interaction des deux pôles à l'origine de ces basaltes. Les basaltes qui forment l'archipel témoignent donc également de ces deux influences mais le pôle du plume de Kerguelen devient de plus en plus prédominant avec l'éloignement de l'archipel par rapport à la dorsale au cours du temps. Les roches intrusives mises en place dans les basaltes de l'archipel dont les premières forment le pluton du Val Gabbro (24.25 Ma – en pourpre) ont toutes été interprétées comme formées par la source de type panache de Kerguelen, plaidant pour une certaine hétérogénéité intrinsèque menant à une certaine variation de compositions (en rose). Les données isotopiques en Rb/Sr qui sont utilisées dans la littérature comme référence pour le panache de Kerguelen (e.g. Mattielli et al., 2002; Ingle et al., 2003; Scoates et al., 2007) proviennent de l'échantillonnage du Mont Crozier alors considéré comme son expression la plus pure (notamment grâce à ces compositions isotopiques extrêmes en Pb). Au contraire des données isotopiques Pb et Hf, les données géochimiques (majeurs et traces) et isotopiques en Sr et Nd de ce dernier ne sont pas publiées et uniquement cité sous cette appellation : Weis et al. 1998 unpublished data. Seule une moyenne des données du plume Rb/Sr = 0.70523 et Sm/Nd = 0.51259 apparait dans Weis et Frey (2002). En prenant en compte ce manque de données et les variations isotopiques du pôle utilisé comme référentiel dans la littérature, j'ai utilisé des valeurs de 0.7053 en Rb/Sr et 0.512598 en Sm/Nd pour la composition isotopique du plume de Kerguelen. Ces valeurs qui sont des moyennes graphiques et numériques, sont tout à fait cohérentes avec les valeurs recensées dans la littérature pour le plume (e.g. Weis et al., 1998; Weis and Frey, 2002; Doucet et al., 2002; Mattielli et al., 2002; Ingle et al., 2003; Delpech, 2004; Scoates et al., 2007; Xu et al., 2007).

Les données isotopiques du SRBIC et de ses satellites ne se répartissent pas au hasard, mais tombent pour la majorité dans un domaine correspondant aux roches issues du point chaud de Kerguelen (en rose), du moins pour les compositions isotopiques en Nd. Il est donc cohérent de supposer que la source de type panache de Kerguelen soit à l'origine de la majorité de ces roches telle qu'il a déjà été proposé auparavant (Dosso et al., 1979; Dosso and Murthy, 1980).

Les 4 échantillons les moins radiogéniques en Nd se retrouvent dans le champ des basaltes continentaux de Bundury (137 Ma – Australie) et proches de ceux de Rajmahal (118Ma). Hormis ces derniers, comme documenté précédemment, les valeurs en (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)initial sont toujours très variables, jusqu'à des rapports corrigés fortement radiogéniques, décorrélés du Nd. Cependant la majeure partie des syénites du groupe CaS sont anti-corrélées en Sr et Nd (Figure 6.10). Ce type de comportement est habituellement attribué à un phénomène de mélange ou de contamination crustale. Afin de déterminer les sources potentiellement responsables d'un tel comportement toutes les données isotopiques disponibles ont été corrigées à 14Ma, c'est-à-dire l'âge de la première intrusion plutonique de la péninsule de Raller du Baty. Les données isotopiques des roches plus jeunes n'ont pas subi cette correction (Figure 6.11).

La tendance des roches du groupe CaS anti-corrélées en Sr et Nd nécessite l'implication d'une source fortement radiogénique en Sr et faiblement radiogénique en Nd. D'après la Figure 6.11, ces caractéristiques sont remplies par les sources formant les domaines du site 1137 qui implique une participation de la croûte continentale, soit limitée (1137-CC : conglomérat, grès, trachyte et rhyolite) soit totale (gneiss d'Elan Bank). La contribution d'une telle source est bien connue dans la genèse des complexes plutonique continentaux (e.g. Eby, 1985; Landoll et al., 1994; Harris et al., 1999 parmi d'autre) sachant que la migration et différentiation magmatique de ces corps sont des facteurs facilitant les interactions avec l'encaissant.

Afin de tester cette hypothèse, j'ai réalisé une modélisation du comportement des signatures isotopiques lors d'un processus de contamination crustale de type AFC (assimilation-fractionnal crystallisation) entre un pôle primaire de composition type « panache de Kerguelen » et un pôle de type croûte continentale. Les détails de cette modélisation sont reportés en annexe. N'ayant pas réalisé de modélisation pétrogénétique, j'ai utilisé la composition d'un microgabbro de Val Gabbro (24.25Ma - péninsule de Jeanne d'Arc) comme proxy de la composition du magma parent des syénites de RdB. Cette considération repose sur l'étude Scoates et al, (2007) montrant qu'il était possible de former les roches plutoniques felsiques du Val Gabbro à partir de cette composition typique de liquide basaltique alcalin et dont les corroborée par de nombreuses études montrant que les magmas felsiques alcalins en domaine océanique peuvent être produit par différenciation ultime de liquide basaltique alcalin (Marsh et al., 1991; Bonin et al., 1994; Gagnevin et al., 2003; Cousens et al., 2003; Martin and Sigmarsson, 2007). Le pôle contaminant de type « croûte continentale » est représenté par l'équivalent récent (dont les compositions isotopiques ont été recalculées à 14 Ma) du « vieux » gneiss d'Elan Bank.

Chapitre 6



Figure 6.11: haut) Diagramme de corrélation Nd<sub>initial</sub> vs. Sr<sub>initial</sub> avec toutes les compositions recalculées à 14Ma (excepté les plus jeunes), bas) résultats de modélisation AFC entre le panache de Kerguelen et le gneiss d'Elan Bank et mélange entre le panache de Kerguelen et le manteau métasomatisé à l'origine des lamproïtes du Gaussberg.

Les résultats de cette modélisation sont illustrés dans la Figure 6.11. L'AFC montre qu'il est possible de modéliser les compositions de la majeure partie des roches du CaS grâce à l'assimilation de croûte continentale par les liquides primitifs des roches du SRBIC avec un rapport de Masse assimilée/Masse cristallisée de r = 0.4 et ce dans les premiers 10 pourcents de cristallisation fractionnée.

Si les incertitudes sur les compositions du pôle primitif ou le % de masse assimilée permettent d'obtenir différentes modélisations, il est n'en reste pas moins clair que la majeure partie des compositions des roches du groupe CaS sont le reflet de l'interaction de liquide basaltique issu d'une source type panache de Kerguelen avec un contaminant de type croûte continentale probablement identique au gneiss d'Elan Bank.

Même si cette modélisation est satisfaisante pour les roches CaS, elle ne peut expliquer les valeurs faiblement radiogéniques en Nd qui caractérisent les échantillons de l'anse du Gros Ventre et de l'Anse Syénite. En effet, le seul contaminant « continental » ne peut expliquer ces compositions. Ces dernières traduisent donc l'implication d'une autre composante faiblement radiogénique en Sr et faiblement radiogénique en Nd dans leur genèse. Cet autre contaminant, dictée par la position de ces échantillons dans le diagramme (Nd/Nd)initial vs (Sr/Sr)initial pourrait être la source supposée à l'origine des lamproites du Gaussberg (Antarctique). Cette source a été récemment identifiée par (Olierook et al., 2017) comme étant un manteau métasomatisé. Afin de tester également cette hypothèse, j'ai donc réalisé une seconde modélisation isotopique. Toutefois, les concentrations élémentaires des pôles sont telles qu'une assimilation de type AFC ne permet pas d'expliquer les valeurs faiblement radiogéniques en Nd. Ces compositions isotopiques particulières ne peuvent être modélisées que grâce au mélange en profondeur entre des liquides basaltiques issus de la fusion d'un manteau métasomatisé à l'origine des Kerguelen » et des liquides basaltiques issus de la fusion d'un manteau métasomatisé à l'origine des roches du Gaussberg dans des proportions inférieures à 20%. Les résultats de cette modélisation (mixing curve) sont représentés dans la Figure 6.11bas.



Figure 6.12: Diagramme de corrélation Nd<sub>initial</sub> vs Sr<sub>initial</sub> illustrant les résultats de l'AFC (avec r=0.4) des roches CaS vieillies (jusqu'à 6Ma) par les suivantes. Le domaine en dégradé rouge représente le faible impact du gneiss et/ou du manteau métasomatisé. Les pourcentages représentent le taux de CF de l'AFC.

Les résultats des modélisations d'AFC et de mélange magmatique permettent donc d'expliquer la plupart des roches du groupe CaS ainsi que les échantillons faiblement radiogénique en Nd. Plusieurs échantillons tels que la monzodiorite au front de la coulée de Vulcain, la monzonite de l'intrusion satellite de la plage jaune (CaS), la syénite de la zone déformée proche de la coulée du Vulcain, ainsi qu'une syénite du groupe CaNaS sur le mont des Deux Frères peuvent également s'expliquer soit par la simple origine du panache de Kerguelen soit par des processus semblables aux modélisations précédentes. Toutefois, les compositions initiales pour 2 syenites du groupe CaS mais surtout celles de la majeure partie des roches CaNaS et toutes celles des NaS sont trop radiogéniques en Sr pour être expliquées par ces processus. L'explication la plus plausible est que les magmas à l'origine des roches les plus jeunes du complexe (CaNaS et nas) aient intérLes roches des groupes CaNaS et NaS étant plus jeunes que les roches CaS, ces syénites plus récentes ont probablement interagit avec les roches déjà cristallisées. Une dernière modélisation d'AFC, dont les résultats sont illustrés dans la Figure 6.12, permet de vérifier cette hypothèse. Un laps de temps suffisant permet aux syénites les plus anciennes de développer des signatures plus radiogéniques en Sr et Nd. Ce décalage est représenté par les traits pleins à 4 et 6 Ma issus du vieillissement des compositions « idéales » provenant de la première modélisation d'AFC avec le gneiss d'Elan Bank. Si les compositions des liquides syénitiques qui vont former les syénites les plus récentes sont au départ identiques à ces compostions CaS modélisées, alors l'assimilation des premières syénites ayant vieilli de plusieurs millions d'années permet de fortement enrichir en Sr les plus récentes sans affecter le Nd. Ces processus d'assimilation sont représentés par les traits en pointillés.



Figure 6.13: Diagramme de corrélation Ndinitial vs Srinitial corrigés à 14 Ma centré sur les données obtenues de péninsule de RdB.

Il est donc possible de modéliser les compositions initiales des roches les plus récentes du SRBIC grâce l'assimilation des roches préalablement formées. En effet, la composition initiale calculée pour l'échantillon NaS le plus radiogénique en Sr (13TK80) est atteinte pour une masse assimilée/Masse cristallisée de 0.4 dans les 15 premiers pourcents de cristallisation fractionnée. Même si la contamination crustale qui dicte les compositions d'entrée des ces liquides syénitiques récents peut être discutable, il est clair que le manteau métasomatisé « contaminant » n'est pas ou très peu impliqué dans la genèse de ces roches au vu de la gamme de variation des rapports en Nd.

Pour résumer, les modélisations isotopiques précédentes ont permis d'expliquer les compositions isotopiques de la majeure partie des échantillons. Cependant, au moins un granite appartenant aux roches du groupe CaS reste inexpliqué. Sa composition en néodyme suggère qu'il est sans doute un produit majoritairement issu du panache de Kerguelen. Pourtant sa faible composition en Sr ne permette pas d'en faire l'unique source. Ce granite tombe proche du domaine des basaltes de plateau issus du site 1137 d'Elan Bank sans doute contaminés par la croûte continentale lorsqu'ils sont corrigés à 14Ma (Figure 6.13). De plus, il est également dans le domaine des basaltes continentaux du Rajmahal (Inde). Bien qu'un peu faible en Sr, ceci est un argument pour bien relier ce granite avec les autres roches CaS modélisées par la contamination crustale.

L'un des paramètres les plus sujets à controverse dans l'interprétation de ces données isotopique réside dans l'incertitude sur les valeurs isotopiques du panache de Kerguelen. En effet, comme illustré sur la ← Figure 6.9, les données disponibles dans la littérature permettent de contraindre ce panache entre 051255 et 0.51256. Même si cette gamme de variation parait faible, c'est dans cette gamme que se situent la plupart des données du SRBIC et notamment les roches les plus récentes. C'est pourquoi, la contamination crustale à l'origine des liquides syénitiques les plus récents ne peut être vérifiée et, si elle a bien eu lieu, son impact a été minime. Au contraire, l'anti-corrélation à l'intérieur du groupe des roches CaS ne laisse pas de place au doute. Le décalage des compositions les plus récentes vers des valeurs plus radiogéniques en Sr sans variations en Nd s'explique par « l'auto-contamination » des roches du SRBIC. L'assimilation des roches les plus anciennes permet de modéliser ces compositions récentes. Ce processus peut également être invoqué pour deux roches du groupe CaS enrichies en Sr radiogénique. Cette hypothèse est cohérente avec les arguments géochronologiques de terrains et in-situ qui montrent que ces roches 13TK42 et 13TK45 recoupent des roches préalablement mises en places. Il faut noter que l'assimilation + cristallisation nécessaire pour modéliser leurs compositions est moindre que pour les roches plus récentes. Enfin, le mélange entre une source dominante qu'est le panache de Kerguelen et une source mantellique métasomatisé permet de modéliser les compositions les moins radiogéniques en Nd des roches provenant de plusieurs satellites du SRBIC. Comme évoqué précédemment pour la contamination continentale, il est difficile d'impliquer ce type de mélange pour le reste des roches du complexe étant donné la gamme de variation du Nd. La encore, si ce type d'interaction a eu lieu, son impact fut tellement faible qu'il ne peut être décelé pour le reste des roches du complexe.

Contrairement à l'échelle des différentes unités pétrographiques, cette prédominance du panache de Kerguelen sur la plupart des roches du complexe par rapport aux faibles pourcentages d'interactions avec les différents « contaminants » ne permet pas de corréler avec exactitudes l'influence des différents pôles avec l'âge de mise en place des différents échantillons au sein de ces ensembles. Par exemple, il n'est pas possible d'établir de corrélation entre l'âge des différentes syénites CaS et l'importance de la contamination crustale à l'intérieur de ce groupe.

Finalement, l'étude isotopique a permis de montrer pour la première fois que plusieurs sources ont été impliquées dans la genèse des roches plutoniques de la péninsule de RdB.

Les premières roches mises en place à l'anse du gros Ventre résultent du mélange profond entre des liquides basaltiques majoritairement issus de la fusion du manteau de type panache de Kerguelen et des fractions de liquides basaltiques issus de la fusion d'un manteau relativement plus ancien et métasomatisé.

Par la suite, les nouveaux liquides basaltiques issus du panache de Kerguelen interagissent et assimilent en proportion variable des fragments de croûte continentale pour donnent les premières roches formant le SRBIC et appartenant au groupe CaS.

Les liquides basaltiques qui vont évoluer par différenciation par la suite pour former les roches plus récentes CaNaS et NaS sont majoritairement ou uniquement issus de la fusion du manteau de type panache de Kerguelen. Une fois différenciée ces liquides syénitiques interagissent et assimilent des proportions de roches mise en place précédemment avant de se mettre en place à leur tour.

Les roches plutoniques de la péninsule ont donc une origine prédominante qui est le manteau du panache de Kerguelen et des origines « contaminantes » mineures. Ces origines ou contaminations mineures sont : premièrement, un manteau relativement ancien métasomatisé dont l'implication semble effective entre 14 et 9.5 Ma mais discontinue dans le temps car affectant des roches d'âges différents,

: deuxièmement, une contamination mineure continentale qui affecte les liquides magmatiques qui forment les premières intrusions du laccolithe entre 11.5 et 10Ma,

: troisièmement, une auto-contamination des roches nouvellement mise en place par assimilation partielle des précédentes entre au moins entre 9.5 et 8 Ma.

Les roches du complexe du SRBIC et de ces satellites montrent donc en 6 Ma plusieurs sources impliquées dans leur(s) genèse(s) suggérant différents niveaux d'interactions magmatiques évoluant dans le temps depuis les niveaux sources profond jusqu'aux niveaux supra-crustaux/hypo-crustaux/plus superficiels de la croûte océanique proche de la mise en place.

# Chapitre 7 : Synthèse et discussion

### 7.1 Le SRBIC : un complexe plutonique composite

L'étude pétrographique m'a permis de confirmer que les roches plutoniques de la partie sud de la péninsule Rallier du Baty, sont majoritairement des roches felsiques de type syénites et syénites à quartz accompagnées de quelques granites lorsque le quartz est abondant. Ces roches felsiques sont associées à des roches plutoniques plus mafiques de type monzogabbros, monzodiorites et monzonites dans la partie sud mais qui restent volumétriquement subordonnées aux roches felsiques. Au sein de l'ensemble felsique, trois grands ensembles pétrographiques ont pu être définis en se basant sur la nature des silicates ferro-magnésiens que sont les amphiboles et les clinopyroxènes.

Les roches du groupe CaS sont définies par la cristallisation exclusive de clinopyroxènes et d'amphiboles calciques. Le groupe NaS est défini par l'apparition de ferromagnésiens très majoritairement sodiques dès les premiers stades de cristallisation. Le groupe CaNaS est défini comme un groupe intermédiaire entre les 2 précédents. Dans ce groupe CaNaS, les premiers clinopyroxènes et amphiboles à cristalliser dans les roches les moins différenciées sont calciques et/ou calco-sodiques, tandis que les derniers stades de cristalliser dans les roches les moins différenciées sont calciques et/ou calco-sodiques. Ainsi, chacun de ces 3 ensembles est défini par une séquence paragénétique qui lui est propre. Etant données les relations de terrains et l'étude géochronologique, il est clair que les roches plutoniques felsiques appartenant au groupe CaS et roches plus mafiques associées, sont les plus anciennes de la péninsule Rallier du Baty (13,74 - 9,45 Ma-Figure 4.51). Les roches appartenant au groupe CaNaS se positionnent entre les deux précédentes (9,38 - 8,47 Ma). Le caractère sodique semble s'étendre vers le nord dans les intrusions plus jeunes du CRBIC (TCO9-135 à 7,31 Ma).

Les études antérieures et notamment les travaux précurseurs de Marot et Zimine (1976) avaient mis en évidence au moins sept grands types pétrographiques de roches plutoniques. En accord avec leurs observations de terrain, les premières roches intrusives sont bien composées par des silicates Fe-Mg exclusivement calciques quelle que soient leur place dans la séquence de cristallisation. Les intrusions plutoniques qui suivent, montrent une nette évolution minéralogique des pyroxènes et amphiboles entre un pôle calcique précoce (augite et hornblende) et un pôle sodique tardif (aegyrine et arfvedsonite). Enfin, ce pôle sodique caractérise bien les silicates Fe-Mg des roches grenues les plus récentes qu'ils avaient observés. La classification pétrographique et la répartition des roches felsiques en 3 grands ensembles pétrographique. Cette nouvelle approche pétrographique s'affranchit des compositions modales et notamment celle des minéraux accessoires tout en se concentrant sur la nature des clinopyroxènes et des amphiboles qui s'observent dans toutes les roches plutoniques du SRBIC et de ses satellites. Cette classification est donc plus simple que celle de Marot et Zimine (1976), tout en rendant compte des différentes roches qui composent le SRBIC et de leur évolution.

Il existe donc trois ensembles de roches plutoniques au sein desquelles l'évolution des silicates ferromagnésiens au cours de la différenciation magmatique est la suivante :

1- Au sein du groupe le plus ancien CaS, une évolution de la minéralogie d'un pôle précoce calcique vers un pôle tardif également calcique. La nature des ferro-magnésiens ne change pas et reste calcique.

2- Au sein du groupe intermédiaire CaNaS, une évolution d'un pôle calcique précoce vers un pôle sodique, en passant par des clinopyroxènes et amphiboles calco-sodiques

3- Dans le groupe des roches NaS, les plus jeunes, une évolution des clinopyroxènes et amphiboles depuis des termes calco-sodiques vers des termes franchement sodiques.

Au cours du temps et des intrusions successives, il y a donc le passage d'une phase magmatique pendant laquelle la nature des silicates ferro-magnésiens n'évolue pas puisqu'ils sont toujours de type calcique vers une phase magmatique caractérisée par l'apparition et l'implication de plus en plus tôt dans la séquence de cristallisation de minéraux ferromagnésiens sodiques. Sur cette base, je propose donc que les 3 ensembles pétrographiques forment deux lignées d'évolution distinguant d'une part les roches les plus âgées appartenant au groupe CaS et d'autre part les roches des groupes CaNaS et NaS mises en place plus tardivement.

Débuté par Aubert de la Rüe (1932), les études géochimiques des éléments majeurs des roches du SRBIC ont été poursuivies par Nougier (1969), Marot et Zimine (1976) et Giret (1983). Ce dernier a de plus étudié les éléments en traces sur roche totale de quelques échantillons du SRBIC. Ces études ont été conduites essentiellement dans le but de comparer ces roches grenues aux autres roches intrusives de la péninsule Rallier du Baty (Marot and Zimine, 1976), à celles de l'archipel dans son ensemble, ainsi qu'à des roches similaires d'autres contextes géodynamiques (Giret, 1983).

En accord avec ces travaux antérieurs, les compositions en éléments majeurs que j'ai obtenu lorsqu'elles sont reportées en fonction des teneurs en SiO<sub>2</sub> (considéré comme indice de différenciation), montrent un ensemble de compositions relativement continu au sein des roches plutoniques felsiques (Figure 5.3). Les compositions des roches plus mafiques, que sont les monzogabbros, monzodiorites et monzonites (les deux dernières étant des roches qualifier d'intermédiaires), sont d'autre part séparées des roches felsiques par un gap de composition. En accord avec les travaux antérieurs, ce gap entre 57 et 60% de SiO<sub>2</sub> interrompt une certaine continuité géochimique entre les deux familles de roches. Ce gap est comparable au « Daly gap » observé au niveau des suites de roches de plusieurs systèmes volcaniques océaniques (e.g. Baker, 1968; Chayes, 1977; Clague, 1978). Sur la base des premiers travaux géochimiques, les roches plutoniques du SRBIC ont donc été interprétées au premier ordre, comme une suite ou une lignée magmatique unique issue de la différenciation d'un magma parent de composition monzonitique. Dans un tel schéma, ces études antérieures ont donc proposé que les roches felsiques représentent les liquides différenciés et que les roches plus « mafiques » représentent les cumulats.

Toutefois, l'étude géochimique conduite à une échelle plus fine pendant ma thèse permet de mettre en évidence une évolution beaucoup plus complexe. En effet, couplée à l'étude géochronologique elle montre clairement qu'il existe deux lignées de différenciation bien distinctes : (i) une première correspondant aux roches les plus anciennes qui englobe les roches intermédiaires et les syénites de type CaS et (ii) une seconde plus récente qui va des syénites du groupe CaNaS aux granites les plus différenciés du groupe NaS (Figure 5.4 et Figure 5.8). En effet, le comportement des éléments au sein des trois groupes pétrographiques définis pour les roches felsiques, et caractérisés par des âges de mise en place différents, montre une évolution relativement bien continue depuis les roches du groupe CaNaS jusqu'aux roches du groupe NaS. Cette continuité semble donc souligner l'appartenance de ces deux groupes à une unique lignée magmatique régit par les mêmes processus d'évolution géochimique. D'autre part, bien que les compositions des roches felsiques les moins différenciées du groupe CaS et CaNaS soient similaires pour la plupart des éléments majeurs, l'ensemble des compositions des roches du groupe CaS se distinguent des compositions formant la lignée précédente (en particulier pour Al2O3, K2O et MnO). Malgré un comportement élémentaire relativement similaire en fonction du SiO<sub>2</sub> qui suppose une évolution régit par des processus proches de ceux qui régissent la suite CaNaS-NaS, l'évolution et les compositions des roches plus anciennes se distinguent généralement de la série précédente à partir de 63% de silice. Les plus fortes disparités s'illustrant majoritairement entre 63 et 68%, les roches du groupe CaS forme donc une série magmatique évoluant différemment de la série CaNaS-NaS au cours de la différenciation.

Associés aux résultats géochronologiques, l'étude géochimique des éléments majeurs montre donc que l'ensemble des roches du SRBIC ne peut pas représenter une seule série de roches plutoniques produite par la différenciation continue dans le temps d'un seul magma parent quelle que soit la nature de ce dernier. Ce résultat géochimique est tout à fait en accord avec les observations pétrographiques qui montrent une lignée plus ancienne exclusivement calcique (suite roches intermédiaires-groupe felsique CaS) et une lignée récente calco-sodique/sodique (groupes felsiques CaNaS et NaS).

L'étude des éléments traces mène à la même conclusion. En effet, l'évolution de ces derniers au cours de la différenciation souligne l'enrichissement relativement bien continu des roches CaNaS aux roches NaS, tandis que l'évolution au sein des roches CaS les plus anciennes est clairement dissociée de cette lignée.

A l'instar des éléments majeurs, la géochimie des éléments en traces des roches du SRBIC avait été regardée au 1<sup>er</sup> ordre par les auteurs précédents, c'est-à-dire à des fins de comparaison et d'identification de processus pétrogénétiques à grande échelle. L'évolution des éléments traces a donc également été interprétée comme traceur de l'évolution par différenciation d'un magma parent unique, malgré une mise en évidence d'incohérences entre le degré de différenciation et l'enrichissement relatif au cours du temps par Giret (1983). Ces incohérences constatées n'ont pas été expliquées ni considérées dans ces études à grandes échelles. Tout comme pour les éléments majeurs, il est clair que les roches du SRBIC les plus enrichies en éléments traces correspondent aux roches les plus jeunes et majoritairement les plus différenciées, celles du groupe NaS. Et tout comme précédemment soulignée par les éléments majeurs, les roches du groupe CaNaS plus anciennes et moins enrichies montrent des concentrations en éléments traces inférieures mais corrélées à celles du groupe NaS. De plus, dans cette suite CaNaS-NaS, l'augmentation des anomalies négatives en Ba, Sr et Eu au cours des injections successives marquent une évolution des éléments en trace contrôlée par la cristallisation fractionnée. Les éléments en traces confirment donc l'appartenance de ces deux groupes à une même série de différenciation magmatique essentiellement contrôlée par des processus de cristallisation fractionnée. C'est sans doute cette lignée magmatique que les premières études géochimiques avaient mises en évidence. Cependant, l'évolution des éléments traces au sein des roches les plus anciennes du SRBIC n'est pas si simple. En effet, au sein du groupe CaS, certaines syénites mises en place à des moments différents, ont des compositions en éléments traces semblables voire inférieures aux compositions des roches intermédiaires. Par conséquent, il n'existe pas de corrélation entre l'enrichissement en éléments traces et le degré de différenciation pour les intrusions qui forment cet ensemble magmatique CaS-roches mafiques/ intermédiaires (monzogabbros, monzodiorites et monzonites). Il n'existe donc pas non plus de corrélation entre l'évolution des éléments traces et l'âge de mise en place des différentes intrusions de ce groupe. Les éléments en traces confirment donc les résultats des études pétrographiques et géochimiques des éléments majeurs et supportent les interprétations suivantes :

- Les roches des groupes CaNaS et NaS forment une unique série magmatique différenciée dont l'évolution est essentiellement contrôlée par des processus de cristallisation fractionnée. Cette différenciation se traduit par le passage relativement progressif de syénites jusqu'à des monzonites-à quartz et granites à l'échelle du pluton. De plus, cette évolution se traduit pétrographiquement par l'implication de plus en précoce d'un pôle sodique dans la cristallisation des minéraux ferro-magnésiens par rapport à un pôle calcique primaire.

- Les roches les plus anciennes de nature intermédiaire (monzogabbros, monzodiorites et monzonites) et appartenant au groupe felsique CaS sont clairement distinctes de la lignée magmatique précédente.

232

L'évolution chimique de ces roches ne peut être expliquée par une différenciation simple au cours du temps. Le comportement proche des éléments majeurs et traces avec ceux de la série précédente suggère toutefois une implication certaine des processus de cristallisation fractionnée dans l'évolution de ces roches. L'évolution des éléments traces au fil de ces intrusions successives suggère des recharges plus ou moins régulières de matériel plus juvénile permettant de ré-appauvrir la composition des magmas parents des ces roches produites au moins en partie par des processus de cristallisation fractionnée. La dernière phase d'appauvrissement en éléments traces correspond à la recharge qui marque le passage dans le temps aux roches du groupe CaNaS à partir de laquelle les intrusions suivantes sont enrichies progressivement. Cette transition est également corrélée avec l'apparition du pôle sodique dans la minéralogie des minéraux ferromagnésiens jusque là exclusivement calciques.

La géochronologie et les observations de terrains montrent que l'emplacement des monzogabbros, monzodiorites et monzonites du SRBIC est synchrone de celles des syénites. Les compositions en éléments traces de ces roches intermédiaires sont tout à fait semblables à celles des syénites les moins différenciées. Ces caractéristiques supposent que ces roches ne sont pas des cumulats issus du processus de différenciation qui aurait produit les roches syénitiques les moins évoluées et illustrent donc le caractère bimodal du magmatisme dans les premiers millions d'années de formation du complexe.

Les spectres des terres rares et d'éléments en traces des roches du SRBIC ont des caractéristiques typiques des OIBs (Figure 5.10). Ils confirment les résultats des études antérieures qui pointaient l'affinité alcaline de ces roches et les reliaient à une origine issue de l'activité du point chaud de Kerguelen (Dosso et al., 1979; Giret, 1983).

Finalement l'étude pétrographique et géochimique plus détaillée et centrée sur le complexe du SRBIC m'ont permis de mieux caractériser l'évolution de ces roches plutoniques au cours du temps :

1- Un magmatisme alcalin bimodal a produit les premières roches plutoniques (monzogabbros, monzodiorites, monzonites et syénites CaS), caractérisées par des minéraux silicatés ferro-magnésiens calciques (clinopyroxènes et amphiboles) ; lesquelles se sont mises en places entre 14 et 10 Ma. La géochimie de ces roches met en évidence des processus de ré-appauvrissement en éléments traces répétés dans le temps. Ces épisodes traduisent donc une évolution magmatique en système ouvert avec des processus de réinjections magmatiques réguliers dans les premiers millions d'années. Les nouveaux apports de magma conduisent à des teneurs similaires en éléments traces à celles des roches intermédiaires synchrones des syénites à cette époque.

2 - Puis un changement du magmatisme alcalin s'opère entre environ 10 et 9,5 Ma. Ce changement souligne le début de l'évolution magmatique en système clos ; marquée par la disparition de la bimodalité et l'apparition de la lignée de roches felsiques CaNaS-NaS qui va évoluer presque complètement par des processus de cristallisation fractionnée et dont les phases silicatées ferro-magnésiennes évoluent progressivement depuis un pôle calcique vers un pôle sodique en passant par des termes calco-sodiques.

## 7.2 Origines et sources des roches plutoniques du SRBIC et de ses satellites

De par leur contexte géodynamique intraplaque et de par leurs caractéristiques géochimiques : (i) série alcaline sur-saturée en silice, (iia) fort enrichissement en éléments incompatibles, (iib) présence de minéraux de terres rares et (iii) caractère bimodal ; les roches grenues de la partie sud de la péninsule Rallier du Baty sont comparables à de nombreux exemples intrusifs en domaine continental (exemples plutoniques et volcaniques) et en domaine océanique (volcaniques) liés à l'activité d'un point chaud. Ainsi l'origine de ces roches rejoint un débat plus large sur l'origine de la production de produits felsiques issus d'un magmatisme alcalin en contexte géodynamique de type intraplaque anorogénique. Les références sont nombreuses et se retrouvent compilées (entre autres) dans les reviews suivantes : (Sørensen, 1974; Fitton and Upton, 1987; Eby, 1990; Frost et al., 2001; Bonin, 2007; Dall'Agnol et al., 2012). Basées sur les conclusions des études de ces exemples continentaux et océaniques, deux grandes hypothèses peuvent être avancées pour la formation des roches du SRBIC et particulièrement les roches felsiques qui sont de loin les plus abondantes :

- Les hypothèses purement mantelliques : dans ce cas, les roches felsiques de type syénites et associées (syénites à quartz, granites alcalins) mais aussi les roches intermédiaires associées (monzogabbros, monzodiorites et monzonites) sont issues de la différenciation d'un magma basaltique alcalin. Cette hypothèse suppose que la formation du magma parent basaltique provient soit de la fusion partielle d'un manteau asthénosphérique de type point chaud, soit celle d'un manteau lithosphérique métasomatisé. Dans les deux cas, ce manteau source est relativement enrichi en éléments incompatibles, et suppose des taux de fusion partielle faibles à des profondeurs de l'ordre de 100 Km. Des exemples récents se retrouvent dans Jung et al. (2007); Kogarko et al. (2010); Owen-Smith et al. (2013) parmi d'autres dans les reviews citées plus haut.
- Les hypothèses avec implication totale ou partielle de la croûte continentale. Dans ce cas, ces roches seraient issues de la contamination d'un magma basaltique par des roches provenant de la croûte continentale (assimilation, mélange...) voire même directement de la fusion de roches en base de croûte continentale (e.g. Foland et al., 1993; Marks et al., 2003; Riishuus et al., 2008; Markl et al., 2010; Elburg and Cawthorn, 2017 et reviews précédentes). La digestion de roches crustales relativement enrichies en éléments incompatibles par rapport au liquide basaltique permettrait notamment d'expliquer les teneurs en incompatibles des roches felsiques issues de la différenciation de ce liquide. L'implication possible de la croûte continentale ne fait aucun doute dans la plupart des intrusions en domaine continental même si les conséquences pétro-géochimiques de cette implication sont encore mal comprises. En domaine océanique, plusieurs études isotopiques appuyées par des évidences xénolithiques ont prouvé l'implication de la croûte continentale dans la genèse des produits felsiques (Ascension, Açores et Seychelles). Ce concept d'influence continentale, lié à la rareté des roches felsiques en domaine océanique, est apparu très tôt dans les études sur l'archipel de Kerguelen conduisant Watkins et al. (1974) à s'interroger sur la nature même de l'archipel : « Kerguelen : Continental Fragment or Oceanic Island ? ».

Ces deux hypothèses n'étant pas exclusives, il est possible que plusieurs des processus associés à l'un ou l'autre de ces deux extrêmes aient joué un rôle plus ou moins important dans la genèse des roches du SRBIC. Ces deux grandes hypothèses et leur relation montrent bien la difficulté d'identification des paramètres susceptibles de conduire à la formation des roches différenciées alcalines.

Une seule étude impliquant une modélisation pétrogénétique a été réalisée sur les roches plutoniques de l'archipel de Kerguelen (Scoates et al., 2007). Elle s'est focalisée sur le massif plutonique du Val Gabbro, situé au niveau de la presqu'île Jeanne d'Arc, c'est-à-dire au sud-est de l'archipel. Cet édifice plutonique à tendance moyennement alcaline est la plus vielle intrusion datée de l'Archipel (U-Pb sur zircons : 24,25 ± 0,15 Ma). Les roches qui composent ce pluton sont essentiellement des cumulats ultrabasiques et différents types de gabbros et microgabbros associés à des roches felsiques (monzonites et monzonites à quartz). Les auteurs ont démontré que les compositions felsiques de ce pluton peuvent être modélisées à partir de la composition d'un microgabbro de composition alcaline échantillonné sur le complexe. Cette composition supposée la plus représentative du magma parent de ces roches felsiques est typique de celle d'un magma basaltique alcalin. Il est donc possible de former, au niveau de l'archipel de Kerguelen, des roches felsiques (monzonites et monzonites à quartz dans le cas du Val Gabbro) à partir de la différenciation d'un liquide basaltique alcalin. Cette étude montre donc qu'il n'est nul besoin d'impliquer des contaminations crustales pour former des roches felsiques sur l'archipel. Tout comme pour le complexe du SRBIC, le pluton du Val Gabbro présente un gap de composition entre les roches mafigues (type gabbros) et les roches felsiques (type monzonites). Scoates et al (2008) expliquent ce caractère bimodal, qui ne s'observe pas pour toutes les suites magmatiques de Kerguelen, comme le résultat du piégeage des compositions intermédiaires en profondeur du fait essentiellement d'une augmentation de la viscosité au cours du processus de différenciation magmatique. Toujours concernant le pluton du Val Gabbro, les données isotopiques quelque peu hétérogènes mesurées sont représentatives de l'hétérogénéité du plume de Kerguelen lui-même selon Scoates et al. (2007). Ces données sont également très proches des données isotopiques obtenues pour la majorité des roches du SRBIC. Je suppose donc que la composition du microgabbro du Val gabbro utilisé par Scoates et al. (2007) peut être utilisée comme un « proxy » de la composition du magma parent des deux séries plutonique du SRBIC.

Les sources du magma parent des roches du SRBIC ont déjà fait l'objet de travaux antérieurs, il y a plusieurs décennies, via l'utilisation du couple isotopique Rb/Sr comme traceur. Ces travaux (Watkins et al., 1974; Lameyre et al., 1976; Dosso et al., 1979) ont permis d'identifier à l'aide d'isochrones, un rapport isotopique <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr initial commun à toutes les roches autour de 0,7057  $\pm$  0.0003. A l'époque de ces études, les auteurs ne pouvaient pas savoir que cette valeur est extrêmement proche de la composition isotopique admise aujourd'hui comme la plus représentative du panache de Kerguelen (Weis and Frey, 2002). Ils avaient justement conclu à l'époque que l'unique source des roches du SRBIC était un manteau enrichi quelque peu hétérogène (type panache) et qu'aucune contamination crustale n'était impliquée dans la genèse des roches plutoniques de la péninsule Rallier du Baty. Un couplage avec le système Sm/Nd (Dosso and Murthy, 1980) sur quelques échantillons du complexe SRBIC a abouti aux mêmes conclusions avec des valeurs du rapport <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd initial situées entre 0.512500  $\pm$  25.10<sup>-6</sup> et 0.512550  $\pm$  37.10<sup>-6</sup>. Ces mesures semblent donc supporter l'hypothèse d'une source strictement mantellique telle qu' elle a été proposée pour le pluton du Val Gabbro.

Reportées à l'échelle des compositions isotopiques du plateau de Kerguelen, les compositions isotopiques des roches de la péninsule obtenues au cours de cette thèse montrent que la majorité est voisine de celle représentative du panache de Kerguelen (Figure 6.10). En accord avec les interprétations antérieures, le plume de Kerguelen est donc bien la source principale de la plupart des roches magmatiques de l'archipel de Kerguelen, y compris des roches plutoniques du SRBIC.

Cependant, l'étude isotopique que j'ai conduite sur plusieurs systèmes radiogéniques durant cette thèse sur les roches du SRBIC apporte beaucoup de précisions et vient modérer l'hypothèse de cette unique source mantellique. Dans ce cadre, la modélisation AFC a permis de montrer que les compositions isotopiques des roches du groupe CaS peuvent être expliquées par l'assimilation de croûte continentale (représenté par le gneiss d'Elan Bank) par un liquide de composition de type basalte alcalin (microgabbro du Val Gabbro) au cours de sa cristallisation. En effet, pour un ratio de masse assimilée/ masse cristalisée = 0.4, les premiers 11% de cristallisation fractionnée permettent d'obtenir des compositions isotopiques similaires à celles observées pour les roches felsiques de type CaS du SRBIC. Il apparait donc que le liquide basaltique parent des roches du groupe CaS et issu de la fusion partielle de la source mantellique « Plume de Kerguelen » a interagi à un moment de son histoire avec un fragment de croûte continentale certainement similaire au gneiss de l'Elan Bank. Ce processus de contamination ne s'observe pas pour les roches les plus récentes du SRBIC (CaNaS et NaS). Entre ≈10 et≈ 9,5 Ma, l'implication de la composante continentale a donc soit (i) cessé, soit (ii) ne fut plus assez significative pour être perçue dans les roches mises en place par la suite. Ces dernières ont des compositions isotopiques caractéristiques, bien plus radiogéniques en Strontium que les roches CaS. Mon étude isotopique met en évidence pour la première fois un autre processus d'assimilation résultant de l'interaction entre la majorité des magmas felsiques les plus récents (formant la suite CaNaS et NaS) avec des roches felsigues plus anciennes de la suite roches intermédiaires-CaS (Figure 6.11). Le processus d'AFC suggère qu'il faut un maximum de 6 Ma pour permettre l'évolution isotopique d'une première syénite de type CaS qui soit ensuite assimilée par une nouvelle syénite permettant d'expliquer les compositions les plus radiogéniques en strontium. Cette hypothèse est en accord avec les données géochronologiques qui stipulent une construction du SRBIC en 4 Ma. La différence de 2 Ma peut être modérée du fait que les 6 Ma sont un maximum mais également du fait qu'il peut exister des intrusions en profondeur plus anciennes similaires aux roches de type CaS aujourd'hui à l'affleurement. Cette dernière hypothèse enfin est supportée par l'existence d'intrusions au niveau de la péninsule Rallier du Baty datée à ≈14 Ma, c'est-à-dire mises en place environ 2 Ma d'années avant le SRBIC. D'autre part, les résultats isotopiques montrent qu'au moins 4 échantillons issus de complexe plutonique satellitaire du complexe majeur SRBIC sont très faiblement radiogéniques en Nd comparés à la valeur du panache de Kerguelen. Les signatures isotopiques de ces échantillons ne peuvent donc pas s'expliquer comme provenant de l'unique source de type « panache de Kerguelen ». Elles ne peuvent pas non plus s'expliquer par l'assimilation de matériel crustal du même type que le gneiss d'Elan Bank. Elles suggèrent donc l'implication d'une 3<sup>ème</sup> composante isotopique dans la genèse de ces roches. Grâce à la modélisation, ces compositions isotopiques particulières peuvent être expliquées par des processus de mélange en profondeur. Ces processus impliquent que le liquide basaltique issu de la fusion partielle du composant panache (représenté encore une fois par le microgabbro du Val Gabbro) a interagi avec de faibles fractions d'un liquide hyperalcalin provenant de la fusion partielle d'un manteau lithosphérique métasomatisé (type source des lamproites du Gaussberg, (Olierook et al., 2017). Ces échantillons proviennent de complexes plutoniques satellites (anse du Gros Ventre et anse Syénite) d'âges différents et constitués de roches appartenant à des groupes pétrographiques différents (CaS et CaNaS, respectivement). Ce type de liquide « contaminant » est donc impliqué à différents moments ou étapes de la construction du complexe plutonique de la péninsule Rallier du Baty.

Ainsi, contrairement, à ce qui avait été proposé auparavant, les résultats isotopiques Rb/Sr et Sm/Nd obtenus au cours de ce travail de thèse mettent en évidence l'influence de plusieurs sources dans la genèse des roches plutoniques du SRBIC : une source principale (la seule mise en avant auparavant) qui correspond au manteau asthénosphérique de type « Panache de Kerguelen », et deux sources secondaires : (i) des fragments de croûte continentale et (ii) des fractions de liquides hyperalcalins issus d'un manteau lithosphérique métasomatisé.

Entre 14 et 11,5 Ma, les premières roches intrusives de la péninsule ont été formées à partir d'un liquide basaltique parent issu d'un mélange profond entre la source typique du panache de Kerguelen et un manteau métasomatisé. A partir de 11,5 Ma, la construction du SRBIC débute avec des syénites formées par un liquide basaltique issu du plume de Kerguelen et ayant assimilé de la croûte continentale en faible proportion. A partir de 9,5 Ma, l'implication de cette composante crustale disparait pour ne laisser que la prédominance du panache de Kerguelen. Jusqu'à 8 Ma les liquides syénitiques formés à partir de ce dernier assimilent en proportion variable les roches felsiques préalablement mises en place. Ce processus plaide en faveur d'au moins un dernier réservoir commun de différenciation du magma parent des roches felsiques du SRBIC, lequel empreinte des chemins relativement identiques à travers les niveaux supérieurs de la coute durant la construction du complexe. Ce processus d'assimilation semble perdurer au delà de 8 Ma comme le montrent les compositions isotopiques d'un filon trachytique tardif et au moins une intrusion du nord de la péninsule (échantillons 13TK008 et TC09-135 respectivement).

Ces résultats ont été mis en parallèle avec les résultats issus des mesures isotopiques Lu/Hf réalisées sur les zircons ayant servi précédemment à l'étude géochronologique. Les détails des données mesurées et calculées pour l'initial (t) sont reportés en annexe.



□ Qz-monzonite ○ Syenite ◇ Monzodiorite □ variation intra-echantillon Figure 7.1: Données isotopiques Lu/Hf sur zircon, corrigés de l'âge de chaque échantillon et reportés en fonction du temps.

En dépit des grandes variations intra-échantillons qui reflètent des fluctuations analytiques, ces résultats montrent que les compositions initiales en Hf s'étalent de part et d'autre de la composition du CHUR(t) quel que soit l'échantillon considéré (Figure 7.1). Seul l'échantillon TC09-82, le plus vieux, a des compositions strictement inférieures au CHUR(t). En effet, à l'exception de ce dernier, les rapports isotopiques initiaux qui forment un nuage de compositions indépendant de la nature et de l'âge de la roche hôte. Lorsqu'ils sont comparés aux données de la littérature (Figure 7.2), les résultats Hf forment également un nuage de point situé entre le panache de Kerguelen (Mont Crozier) et les basaltes du plateau moins radiogéniques en Hf affectés par une faible contamination crustale (site 747). Ils forment donc un ensemble cohérent avec les données des autres roches intrusives de l'archipel considérées comme formées majoritairement par le panache de Kerguelen étant plus ou moins hétérogène. Seule la syénite la plus ancienne de l'anse du Gros Ventre (TC09-82) se distingue réellement du reste des échantillons du SRBIC vers des compositions proches du site 738 (à 112 Ma) du SKP.



Figure 7.2: Diagramme de corrélation ɛNd vs ɛHf à l'état initial des roches étudiées et comparées aux données existantes sur le plateau de Kerguelen.

Ces données isotopiques en Hf in-situ sont donc cohérentes avec les systèmes Nd et Sr (roches totales) précédents. Même si une partie de l'hafnium est sans doute contenu dans d'autres minéraux non analysés comme l'apatite, ces résultats sur zircons confirment néanmoins le caractère particulier de l'anse du Gros Ventre par rapport au reste du complexe. Toutefois, si cette particularité traduit l'influence du manteau métasomatique dans la genèse des premières roches mise en place sur la péninsule, la contamination crustale identifiée précédemment avec les systèmes Sr et Nd est transparente dans le système de Lu/Hf.

A plus grande échelle, les deux composantes isotopiques secondaires mises en avant pour expliquer les compositions isotopiques des roches plutoniques du SRBIC ont été identifiées comme ayant une influence à un moment donné de l'histoire de l'activité magmatique du « Grand Plateau de Kerguelen » (c'est-à-dire le plateau de Kerguelen et les basaltes continentaux plus anciens lié à l'existence du panache mantellique, Olierook et al., 2017). En effet, l'assimilation de matériel crustal a été proposée pour rendre compte des signatures isotopiques des basaltes tholeiitiques des sites du SKP et CKP : ODP 738 (Mahoney et al., 1995) ; ODP 747, 749 et 750 (Frey et al., 2002b). Le gneiss dragué au niveau de l'Elan Bank est à ce jour le seul témoin direct de la présence de fragments continentaux emballés dans les produits magmatiques issus de l'activité du point chaud de Kerguelen (site ODP 1137 - Nicolaysen et al., 2001; Ingle et al., 2002). L'influence d'une source de type manteau lithosphérique métasomatisé a été plus récemment mise en avant pour expliquer les caractéristiques isotopiques d'une partie du « Grand plateau de Kerguelen » reléguant la participation du plume en tant que source effective influente seulement à partir de 95 Ma (Olierook et al., 2017). Les lamproïtes de Gaussberg (Sushchevskaya et al., 2014) ainsi que des enclaves de péridotites mantelliques remontées par les laves alcalines l'archipel de Kerguelen témoignent de l'existence d'un tel manteau lithosphérique métasomatisé dans la région (Delpech et al., 2004; Grégoire et al., 2000, 2001; Wasilewski et al., 2017). De plus, des filons de lamprophyres ont été décrits au niveau de l'archipel de Kerguelen (Leyrit, 1992; B. Moine, J-Y Cottin et M Grégoire, communications personnelles). Or les lamprophyres sont des roches magmatiques hyperalcalines qui présentent des compositions proches de celles des lamproites, lesquelles sont souvent pensés comme provenant de sources de type manteau supérieur métasomatisé ou ayant assimilé une lithosphère océanique (Bergman, 1987; Neal and Davidson, 1989; Riley et al., 2003; Tappe et al., 2006).

Il est également à noter que plusieurs données « oubliées » dans la littérature, volontairement ou pas, peuvent également s'expliquer par un mélange entre la source de type panache de Kerguelen et le même manteau lithosphérique métasomatisé (Figure 7.3). Parmi ces données se trouvent les roches plutoniques de l'île de l'Ouest (Dosso and Murthy, 1980), datés (Giret and Lameyre, 1983) entre 16.6 ± 0.9Ma (gabbros) et 12.4 ±0.7Ma (syénites), qui présentent un caractère bimodal identique à celui du SRBIC. Le complexe de l'île de l'Ouest qui est vraisemblablement plus jeune que le SRBIC semble donc indiquer que l'interaction entre les deux sources mantelliques est bien à l'origine des premières intrusions au sudouest de l'archipel. En outre, quelques trachytes et phonolites provenant de la péninsule Jeanne d'Arc et Loranchet, ainsi qu'une monzonite provenant de la péninsule de Courbet tendent également vers des compositions isotopiques très faibles en Nd, potentiellement explicables par ce type d'interaction à la source.



Figure 7.3: Diagramme de corrélation Nd<sub>initial</sub> vs Sr<sub>initial</sub> (corrigés à 14Ma), centré sur les données isotopiques obtenues. Les domaines en rouge correspondent aux données non présentées dans la ←Figure 6.9. Les noms en gras correspondent aux données sur roches felsiques (volcaniques et plutoniques), « oubliées » dans la littérature, de Dosso et al. (1979), Dosso et Murphy (1980), Weis et al. (1994), et celles plus récentes de Gagnevin et al. (2003).

Ainsi, au niveau du seul complexe plutonique sud de Rallier du Baty (SRBIC) et de ses satellites, les roches plutoniques montrent l'influence des différentes sources proposées par les études isotopiques pour expliquer certaines compositions de roches de l'archipel et même du plateau océanique dans son ensemble. Ce résultat prouve également que les deux « contaminants » (croûte continentale et manteau lithosphérique métasomatisé), dont l'implication n'était établie que jusqu'à 68 Ma au niveau du plateau de Kerguelen, ont encore eu une influence sur le magmatisme de l'archipel il y a moins de 10 Ma.

#### 7.3 Les deux suites plutoniques du SRBIC

L'étude isotopique a permis de mettre en évidence un réservoir de différenciation commun aux deux suites magmatiques Mafiques/intermédiaires–Cas et CaNaS-NaS (= assimilation). L'étude géochimique a permis de montrer que les différentes sources impliquées dans la genèse des roches du SRBIC n'ont eu que très peu d'impact sur la composition des magmas parents des deux lignées magmatiques qui peuvent donc être considérés comme identiques. Pourtant il existe bien deux séries de roches felsiques géochimiquement et pétrographiquement différentes. Les processus qui ont donc permis de faire évoluer ces 2 lignées de roches différentent ont opéré par conséquent ;(i) soit dans le réservoir au sein duquel les liquides syénitiques se sont différenciés, (ii) et/ou entre ce réservoir et le niveau de mise en place.

L'évolution des minéraux silicatés ferromagnésiens calciques précoces vers des termes sodiques plus tardifs qui s'observe au travers de la série formée des roches felsiques CaNaS et NaS est une évolution « classique » reconnue dans de nombreux complexes plutoniques et volcaniques d'affinité alcaline. Cette évolution s'observe en effet aussi bien dans les systèmes sursaturés que sous-saturés en silice (Sørensen, 1974; Mitchell, 1990; Bonin, 2007; Marks and Markl, 2017). Elle est souvent associée dans la littérature à la transition des termes dits « miaskitiques » aux termes « agpaïtiques ». D'abord basés sur l'index d'agpaïcité, qui est en réalité l'index de peralcalinité (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en % molaire (Ussing, 1912), ces deux termes ont été révisés et redéfinis comme marqueurs minéralogiques dans les systèmes peralcalins (e.g. Sørensen, 1974; Marks and Markl, 2017). Les roches miaskitiques sont les moins alcalines et sont caractérisées par des minéraux porteurs des HFSE tels que la titanite, la pérovskite, le zircon et la baddeléyite. Les principaux minéraux porteurs des HFSE des roches agpaïtiques sont l'eudyalite, la rinkite, les minéraux des groupes de la wöhlerite et de l'aenigmatite, l'astrophyllite, la catapleiite, la dalyite, l'elpidite, l'hilairite, la lampro-phyllite, la lorenzénite, la lovozérite, la parakeldyshite, la vlasovite, et la wadéite.

Toutes les roches felsiques du SRBIC contiennent du zircon. La titanite est présente en majorité dans les roches les plus anciennes de type CaS et CaNaS. L'aenigmatite est présente dans les roches du type CaNaS mais surtout dans les roches les plus jeunes de type NaS, tandis que l'astrophyllite et la fluorite ont également été identifiées dans ces dernières. Ainsi, le SRBIC peut être défini comme composé de roches « agpaïtiques transitionnelles » (Marks and Markl, 2017). Les roches les plus anciennes sont à tendance miaskitique et les plus jeunes à tendance agpaïtique.

Pour la suite CaNaS-NaS, l'évolution des roches les moins alcalines vers les termes les plus alcalins est accompagnée d'une évolution classique des pyroxènes calciques de type Augite vers les pyroxènes sodiques de type Aegyrine. Dans cette suite, l'évolution des amphiboles correspond à la lignée Hastingsite  $\rightarrow$  Katophorite (± Ferro-Edénite)  $\rightarrow$  Arfvedsonite. Ces deux évolutions ne s'observent pas pour la suite roches intermédiaires-CaS au sein desquelles les silicates ferromagnésiens restent calciques tout au long du processus de différenciation magmatique.

La minéralogie exacte des silicates ferromagnésiens dépend de chaque complexe alcalin (Figure 7.4), toutefois l'évolution générale des termes calciques précoces riches en Ca + Fe<sup>2+</sup> vers les termes sodiques



tardifs riche en Na + Fe<sup>3+</sup> est indéniable (e.g. Sørensen, 1974; Giret et al., 1980; Bonin and Giret, 1985; Mitchell, 1990, 1996; Marks and Markl, 2001; Marks et al., 2008 parmi d'autres).

Figure 7.4: Exemples et comparaison d'évolution des pyroxènes (a et b) et des amphiboles (c et d) au sein de complexes alcalins sur-saturés et sous saturés de par le monde. a) évolution des pyroxènes du SRBIC (voir Figure 4.36) ; b) évolution des pyroxènes de : (1) Ilimaussaq (Larsen, 1976), (2) Coldwell (Mitchell and Platt, 1982) ; (3) South Qôroq (Stephenson, 1972) ; (4) Alnö (Vuorinen, 2005), (5) Iron Hill (Nash, 1972), (6) Kilombe (Ridolfi et al., 2006), (7) Tenerife (Wolff, 1987) ; c) évolution des amphiboles du SRBIC ; d) évolution des amphiboles de : (A) Ilimaussaq (Larsen, 1976; Marks et al., 2004) , (B) Zomba-Malosa (Woolley and Jones, 1992), (C) Pulken (Marks et al., 2004).

L'enrichissement en alcalin d'un liquide magmatique se fait de manière naturelle au cours de la différenciation, la cristallisation précoce des minéraux anhydres tel que l'olivine et les pyroxènes permettant d'augmenter les rapports Na/Ca et Fe<sup>3+</sup>/Fe<sup>2+</sup> dans le magma résiduel. Ce processus est d'autant plus efficace dans un système magmatique évoluant en système clos (e.g. Byers et al., 1984; Bézos and Humler, 2005). Cet enrichissement est également une conséquence directe du fractionnement des plagioclases connu sous le nom d'« effet de Bowen » (Bowen, 1945). La cristallisation de ces minéraux permet en effet d'appauvrir le liquide résiduel en Al et d'en augmenter les teneurs en Na et K. Le caractère agpaïtique des roches les plus jeunes de la lignée CaNaS-NaS peut donc s'expliquer par un simple processus de différenciation au cours du temps dans un réservoir clos. La spéciation du Fer est, d'autre part, en relation directe avec les conditions d'oxydo-réduction qui sont approchées au travers des estimations de la fugacité en O<sub>2</sub>. Il a été montré que lorsqu'un liquide se différencie, le liquide différencié s'enrichi en Fe<sup>3+</sup> (+Na+K) et sa fugacité d'oxygène augmente via l'équation  $4Fe^{3+} + 2O^{2-} = 4Fe2^+ +O^2$ . (Kress

and Carmichael, 1988; Lange and Carmichael, 1989; Gerlach et al., 1998, 1999; Rüssel and Wiedenroth, 2004). Ceci explique également pourquoi le liquide magmatique résiduel, qui représente une fraction de plus en plus faible en volume est de plus en plus oxydé. En effet, à l'échelle de l'échantillon, les silicates ferromagnésiens précoces riches en Fe<sup>2+</sup> et Ca, clinopyroxènes et amphiboles calciques, témoignent d'une cristallisation en milieu relativement réduit. Cette cristallisation permet d'augmenter le caractère oxydant et l'alcalinité du liquide résiduel interstitiel qui va permettre la cristallisation tardive de minéraux ferromagnésiens riches en Na tel que l'ægyrine et l'arfvedsonite. Un simple processus cristallisation fractionnée permet donc d'augmenter naturellement l'alcalinité de concert avec la fugacité d'oxygène (e.g. Carmichael, 1991). Ces variations temporelles de fO<sub>2</sub> à l'échelle de l'échantillon peuvent être étendues à l'échelle de la lignée CaNaS-NaS. En effet, l'évolution des roches CaNaS vers les roches agpaïtiques NaS les plus jeunes pourrait s'expliquer par le caractère réduit du réservoir à partir duquel elles s'injectent au cours du temps. Ces conditions réduites permettraient d'étendre le champ de stabilité de l'olivine aux dépens de celui des oxydes ferro-titanés via l'équation du tampon FMQ : 3Fayalite + O<sub>2</sub> = 2Magnetite + 3Quartz. En conséquence, les termes les plus évolués seraient marqués par un enrichissement en fer et une diminution du SiO<sub>2</sub> dans les termes les plus évolués (Marks and Markl, 2017). Cette interprétation semble cohérente avec la géochimie des majeurs qui montre que les roches du SRBIC les plus jeunes (datées à ≈7.9 Ma) sont des Qz-monzonites à 68% de SiO<sub>2</sub> (échantillons 13TK106 et 13TK108). Aussi et surtout, la présence exclusive de fayalite relativement bien conservée dans les roches plus anciennes de cette série CaNaS-NaS, supporte cette hypothèse. La lignée magmatique CaNaS-NaS qui montrent l'évolution classique miaskitique vers agpaïtique peut donc s'expliquer par un processus simple de différenciation magmatique au sein d'un réservoir clos et dans des conditions de faible fO<sub>2</sub>.

Bien que les deux lignées felsiques CaS et CaNa-NaS soient différentes, elles évoluent toutes les deux à partir d'un magma parent similaire et relativement riche en Ca et Fe<sup>2+</sup>. Toutefois, contrairement à ceux de la série CaNaS-NaS, les clinopyroxènes et les amphiboles des roches du groupe CaS demeurent calciques tout le long du processus de différenciation de cette lignée alors que les amphiboles ne sont remplacées et transformées en actinolites au cours des stades tardifs de l'histoire de ces roches. Ceci suppose donc que pour un échantillon donné, le rapport Ca/Na et Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> des ferromagnésiens augmente au cours du temps. Cette observation pourrait traduire l'évolution du liquide syénitique dans des conditions relativement oxydantes (e.g. Marks and Markl, 2017). Ces dernières pourraient ainsi faciliter l'incorporation du Fe<sup>3+</sup> dans les phases minérales qui cristallisent et enrichir de façon relative le liquide interstitiel différencié en Fe<sup>2+</sup> et donc permettre la cristallisation tardive des actinolites.

Les différences d'évolution des deux lignées magmatiques pourraient donc être liées à une évolution différente des conditions d'oxydo-réduction entre le réservoir syénitique et le niveau de mise en place des intrusions. Cette hypothèse est en accord avec plusieurs études qui ont montré que les roches à tendance miaskitiques sont souvent formées dans des conditions plus oxydantes que les roches à tendance agpaïtiques (e.g. Markl et al., 2010). D'autre part, la cristallisation de calcite interstitielle associée aux derniers stades (actinolites) des roches CaS dénote la présence de phases fluides relativement riche en CO<sub>2</sub>. Cette observation est également en accord avec plusieurs études qui ont montré qu'en conditions oxydantes les phases fluides associées aux liquides magmatiques alcalins sont plutôt à dominante  $H_2O+CO2$  (e.g. Marks et al., 2003). L'absence de carbonates dans les derniers stades de cristallisation des roches de la lignée CaNaS-NaS semble confirmer une évolution des liquides magmatiques dans des conditions plus réduites pouvant traduire un changement de la nature des fluides dans le temps via la réaction « redox » CO<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>O→CH4+2O<sub>2</sub> qui a été mise en évidence dans plusieurs

études (e.g. Schonenberger and Markl, 2008; Marks and Markl, 2017). Un paramètre tel que la fugacité d'oxygène a donc probablement joué un rôle important dans la dichotomie observée entre les 2 séries magmatiques. Ce paramètre est interdépendant des conditions de pression et de température. Il est donc clair que la combinaison de ces trois paramètres intensifs est responsable de l'évolution des produits magmatiques felsiques. Etant donné que les deux lignées partagent au moins un dernier réservoir commun et qu'elles se mettent en place à un niveau structural relativement similaire, la pression n'est pas un paramètre qui a pu varier de manière significative au cours du temps. Au contraire, la température est un paramètre susceptible de varier avec amplitude au cours du temps. Lorsque les premières intrusions de la péninsule Rallier du Baty se mettent en place, elles intrudent les basaltes de plateau qui sont relativement froids. La différence de température entre les intrusions et leur encaissant basaltique est donc relativement élevée. Au cours du temps, les intrusions successives (au moins au niveau de mise en place) ainsi que les recharges magmatiques répétées au niveau du réservoir ont sans doute augmenté les températures du réservoir jusque dans les niveaux d'emplacement. Les liquides syénitiques plus jeunes ont sans doute connu un environnement de cristallisation plus chaud que les premières intrusions. De plus, ces liquides ont évolué et traversé un encaissant non plus seulement formé des basaltes de plateau mais également constitué des intrusions syénitiques qui les ont précédées. Les intrusions successives ont donc formé progressivement un nouvel environnement de cristallisation et d'intrusion. Je propose donc que le passage d'un environnement basaltique froid à un environnement plus chaud et avec une forte proportion de syénites plus anciennes, ait eu un impact progressif sur la fugacité d'oxygène et la température qui contrôlent l'évolution des deux séries magmatiques du SRBIC.

## 7.4 La construction du SRBIC

#### 7.4.1 Comparaison avec les études antérieures

Les premières observations structurales sur la péninsule de Rallier du Baty ont été faites par Jacques Nougier. De nombreuses descriptions de grande valeur ont été consignées dans sa thèse d'état en 1969. Cependant, sa thèse contient une étude géologique complète de l'archipel, dont Rallier du Baty ne représente qu'une partie parmi d'autres. Ce travail remarquable pour l'époque, a posé les bases des deux campagnes d'André Marot et Serge Zimine centrées sur l'étude des complexes de Rallier du Baty. Leur thèse commune présente donc la première étude structurale (entre autre) centrée sur la péninsule qui est aussi la plus complète. Un certain nombre de leurs observations ont pu donc être vérifiées ici et confirmées 40 ans plus tard.

Ces auteurs et les suivants, ont tous observé que le pendage des basaltes de plateaux augmente à l'approche du complexe plutonique. L'érosion a laissé des basaltes de plateaux sur quelques sommets marginaux. Sur ces sommets, le contact intrusif du SRBIC est concordant et ne recoupe pas les coulées basaltiques. Par conséquent, passé un certain point d'inflexion, le pendage des basaltes s'horizontalise vers les parties topographiquement hautes de la zone et épouse la géométrie de l'intrusion plutonique. Pour reprendre les termes utilisés dans les études précédentes, les basaltes à l'échelle de la péninsule sont bien « bombés » et envelopperaient aujourd'hui les roches plutoniques sans les effets de l'érosion.

Egalement observé auparavant, le SRBIC est formée par l'injection successive de magma syénitique de la bordure vers le centre de la péninsule. Les roches les plus vielles forment la bordure externe et le contact avec les basaltes de plateaux tandis que les roches les plus jeunes forment le nord ouest du massif des Deux Frères. Ces différentes injections reportées en 2D sur une carte forment bien des anneaux concentriques (des plus vieux en bordures aux plus jeunes au centre-nord de la péninsule).

Quelques écrans de basaltes pouvant atteindre une centaine de mètres ont été observés à plusieurs endroit sur le complexe et souvent au contact entre deux injections syénitiques. Les plus grands de ces écrans basaltiques marquent une zone particulièrement déformée (zones de cisaillement, cataclases, brèches...), laquelle forme également un arc de cercle cartographiquement.

Toutes ces observations majeures faites par Nougier (1969) et Marot et Zimine (1976) que nous avons confirmées sur le terrain, leur ont permis de proposer que le complexe annulaire du SRBIC se soit mis en place selon un modèle de subsidence en chaudron.

## 7.4.2 Précédent modèle de construction : subsidence en chaudron

Les bases de ce modèle sont posées par Clough et al. (1909) dont les travaux sur le volcanisme établissent un modèle d'effondrement de caldera par subsidence de blocs. Ce modèle a été étendu par la suite aux intrusions plutoniques (Richey, 1928). En 1936, Anderson a proposé un modèle théorique qui permet de justifier les observations de terrains. Ce modèle hypovolcanique prévoit le bombement initial d'un substratum rigide par surpression dans une chambre magmatique sous-jacente. Cette surpression provoque la création de failles radiaires (et plus rarement concentriques = cone-sheets) à fort pendage vers un épicentre situé a l'aplomb de la chambre magmatique. Les failles permettent l'éjection de magma tout en faisant redescendre la pression dans la chambre. Cette chute de pression permet d'individualiser un bloc de la structure, initialement bombée, grâce à la formation de failles annulaires. Ces failles en coupole sont à pendage centripète. Le bloc ainsi découplé de la structure va descendre plus ou moins progressivement dans la chambre magmatique permettant à l'espace laissé libre de se remplir par des injections magmatiques nommées filons annulaires. Suite à une nouvelle hausse de pression (associé à l'augmentation de volume dû à la différenciation dans la chambre magmatique), ce cycle va se répéter plusieurs fois pour permettre la mise en place successives de sills injectés dans les failles annulaires. Ces différentes étapes mécaniques peuvent s'opérer de façon plus ou moins continue dans le temps, ce qui les rendrait parfois difficiles à voir.

## 7.4.3 Arguments en défaveur du modèle de subsidence en chaudron

Au-delà des questions théoriques et mécaniques que pose ce modèle sur l'initiation du bombement ou la taille du bloc descendant, quelques observations nécessaires à l'application de ce modèle sur le SRBIC sont manquantes à notre étude de terrain.

Le modèle de subsidence en chaudron suppose de distinguer un toit et des murs pour les différentes intrusions. D'après Marot et Zimine le contact intrusif est plutôt discordant à la base des massifs, dans les bas niveaux topographiques, et plutôt concordants dans les parties hautes. Le toit et le mur de la première intrusion représentant respectivement les contacts intrusifs concordant et discordant avec les basaltes. Toutefois, nos observations montrent clairement que la géométrie du contact intrusif est soit : (i) fortement pentée et discordante, soit (ii) faiblement pentée et concordante avec les basaltes; et ce à différentes échelles d'observation. Il existe en effet des parties basses aux contacts intrusifs concordants tels que sur le flanc ouest de la Plage Jaune (SRBIC et complexe satellite); mais également des parties topographiquement hautes aux contacts discordants avec les basaltes tels que sur le massif de L. Lutaud dans les vallées de l'Armor et de Longue Attente. Cette géométrie du contact intrusif implique que la distinction entre mur et toit à l'échelle du complexe perd quelque peu de son sens. Il est clair que cette géométrie des basaltes suppose qu'à grande échelle le contact intrusif soit globalement concordant avec les basaltes.

La subsidence de blocs basaltiques est également proposée pour expliquer les intrusions satellites du SRBIC. Or, comme le montre la Figure 2.10, il n'existe pas de traces d'un tel mécanisme sous l'intrusion de l'anse Syénite par exemple. Si une phase de fracturation synchrone de l'intrusion a pu faciliter son passage dans ces derniers la géométrie du contact telle qu'elle s'observe partout sur le SRBIC impliquerait des failles de dislocation « en marche d'escalier » peu compatible avec le modèle de subsidence. Je me permets de remettre en avant les écrits de J.Nougier qui avait déjà décrit et interprété la relation du SRBIC avec les basaltes encaissants en ces termes :

« [...] L'ensemble de ces faits montre l'antériorité du basalte par rapport aux roches grenues. Il faut donc considérer ces roches comme un batholite qui lors de sa montée, a traversé les basaltes préexistants, les a basculés sur son pourtour, expliquant ainsi le fort pendage sud-est des basaltes de la région de la baie de la Mouche. Le batholite grenu, véritable volcano-pluton, a même conservé lors de sa mise en place, des capuchons basaltiques qui couronnent actuellement plusieurs sommets de la périphérie et de l'intérieur de la péninsule. [...] » (Nougier, 1963)

Afin de palier au problème d'épaississement sur l'élongation que suppose le modèle d'intrusion en filon annulaire, les auteurs ont supposé que l'épaisseur des flancs des intrusions était bien plus fine que leur épaisseur verticale. Selon leur interprétation, l'épaisseur des parties formant ce qu'ils ont considéré comme les murs est donc plus fine que l'épaisseur des parties formant les toits. Aucun indice de terrain ne nous a permis de confirmer cette hypothèse, que ce soit la distinction entre des toits et des murs ou bien des différences d'épaisseur entre ces différentes parties. De plus, tel que ce modèle avait été envisagé, il nécessite d'impliquer au moins un découplage de la partie inférieure des intrusions pouvant subsider avec le bloc basaltique ou la subsidence de blocs entiers de syénites pour permettre l'intrusion des nouvelles syénites au même niveau topographique que les précédentes. Si un tel mécanisme avait existé, cela aurait dû laisser des traces de discordances fortes avec la structure générale du pluton, lesquelles n'ont pas été observées.

D'autre part, le manque de bordures figées, noté par Marot et Zimine suppose (entre autres) une température proche dans chaque intrusion, ce qu'il est difficile de concevoir dans un modèle ou le moteur du processus intrusif est la fracturation dans les intrusions précédentes ou à l'interface du bloc en subsidence-intrusions. En outre, la complexité des textures et des injections à l'échelle de quelques mètres sur le terrain est difficilement compatible avec ce modèle qui implique des injections de grands volumes et donc relativement homogènes.

Dans le modèle de subsidence, il se peut que les éventuelles fractures annulaires ne puissent pu être visibles aujourd'hui car masquées par les intrusions qui les ont empruntées. Cependant, aucune fracturation conique à pendage interne n'a pu être observée. Il existe en effet des filons tardifs basiques (interprétés comme des cone-sheets par Marot et Zimine) et trachytiques recoupant les syénites mais leurs orientations ne coïncident pas avec une fracturation conique à l'échelle du complexe (Figure 2.32). Certains de ces filons se propagent dans les massifs basaltiques externes mais ne forment en aucun cas des injections d'une fracturation radiaire. Cette observation est également en accord avec l'étude des orientations de failles et filons de Mathieu et al. (2011). Au-delà de ces filons majoritairement tardifs, toutes les autres entités constituantes de ce complexe sont co-structurées avec le litage magmatique général centripète dont le pendage diminue vers le centre de l'intrusion.

# 7.4.4 Arguments en faveur d'un modèle de construction alternatif : laccolithe

La comparaison de nos observations de terrains avec celles de Marot et Zimine sont bien cohérentes dans les grandes lignes. Cependant, il est clair que leurs données de terrain, pourtant précises, ont été interprétées et probablement adaptées à des modèles de mise en place actifs (diapirs) ou passifs (subsidence en chaudron) largement utilisés pour justifier de la circularité apparente des intrusions en domaine continental. (Jacobson et al., 1958; Bonin and Lameyre, 1978; Black et al., 1985; Vail, 1985; Bowden et al., 1987; Bonin et al., 1998).

Il est clair que le changement de pendage des basaltes à l'approche du SRBIC est une conséquence directe de l'intrusion plutonique. De fait, l'espace nécessaire à la mise en place de l'intrusion est directement accommodé par le soulèvement des basaltes de plateau. Là encore je remets en avant un autre exemple des écrits de J.Nougier qui figure dans sa thèse associés à ses coupes de terrain :

« [...] Un examen tectonique est particulièrement significatif des conditions de mise en place du pluton. Partout où nous avons pu les étudier (Est, Sud, Ouest) les pendages divergent de la région centrale du massif et s'orientent normalement à la cote (voir carte). L'intensité du pendage qui est généralement très faible (O à 10° environ) atteint des valeurs beaucoup plus considérables (40 à 60°) sur la cote Sud. On conçoit que dans ces conditions les strates basaltiques aient été soulevées lors de la poussée verticale provoquée par la mise en place du pluton. [...] » (Nougier, 1969, p. 61)



Figure 7.5: Coupes W-E extraites de la thèse de J.Nougier (1969) qui montrent la concordance à grande échelle entre le SRBIC et les basaltes de plateau soulevés par ce dernier.

Ce soulèvement est estimé à 3 kilomètres (Marot and Zimine, 1976). La géométrie en dôme de ces basaltes de plateau est également en accord avec les profils sismiques réalisés sur l'archipel dont les auteurs avaient conclu :

« In the Kerguelen Isles, at the western end of profile P2-87, velocities of 6.2-6.3 km s-', higher than those observed in lava flows at shallow depth (Fig. 6a), denote the seaward extension of the Rallier du Baty plutonic complex. » (Charvis et al., 1995).

Cette géométrie implique donc que le SRBIC est concordant à grande échelle. Les géométries de contacts intrusifs discordantes et fortement pentées sont dues à des irrégularités impliquant un mécanisme de « stopping » peu développé comme le suggère l'occurrence d'enclaves basaltiques sous ses contacts irréguliers. Il peut également s'agir par endroits de remplissage de failles en extension due à la composante extensive de déformation dans les basaltes induite par le remplissage magmatique. Dans la Figure 7.6 illustrant ces mécanismes, la longueur initiale des basaltes BC = AB est devenue plus grande (BC > AB) après l'injection de syénite impliquant l'ouverture et le remplissage de failles en extension.



Figure 7.6 : Représentation schématique des mécanismes responsables des géométries discordantes au contact SRBIC-basaltes de plateau (opérants à plusieurs échelles).

Nos observations de terrain ont montré que le SRBIC est composé de trois unités structurales majeures constituées par une superposition de sills ou lentilles dont le nombre et la variabilité de taille ne peut être retranscrite cartographiquement avec exactitude. Les cartes de terrains présentées dans cette thèse, ainsi que les cartes géologiques (issue de cette thèse et celle de Marot et Zimine) ne peuvent retranscrire cette complexité. Formé d'une multitude d'injections successives, la structure du SRBIC traduit une construction de l'intrusion par succession de pulses magmatiques. Les contacts entres les différentes intrusions sont francs et ne montrent aucune bordure figée. Ce sont donc des contacts magmatiques impliquant (entre autre) un faible contraste de température entre les intrusions successives. Toutes ces différentes intrusions forment un litage magmatique à pendage centripète dont l'orientation est parallèle au contact intrusif dans les basaltes de plateau.

Les contacts internes entre les différentes injections confirment la structure en dôme à grande échelle du complexe. Comme les roches du SRBIC ne montrent que peu d'orientation préférentielle de forme des minéraux a l'échelle macroscopique, l'étude des fabriques minérales a été conduite indirectement. L'anisotropie de susceptibilité magnétique a permis de mettre en évidence la fabrique magnétique des roches du SRBIC. Les foliations magnétiques sont parallèles aux contacts externes et internes du SRBIC et confirment la structure en dôme. Les linéations magnétiques sont N-S dans les intrusions les plus jeunes au centre –nord du complexe lesquelles évoluent graduellement vers des linéations parallèles au contact SRBIC-basaltes de plateau dans les intrusions les plus anciennes. Ces dernières montrent le contrôle qu'exerce ce contact sur la mise en place/ l'injection des magmas. Ce type de fabrique est similaire à celui de nombreux exemples continentaux (e.g. St Blanquat et al., 2001, 2006). Les linéations N-S observées

dans les syénites les plus jeunes peuvent être interprétées comme représentatives de la direction d'injection du magma lors de sa mise en place.

Les marqueurs de déformation observés sur le SRBIC correspondent essentiellement à plusieurs générations de zones de cisaillement. Ces zones de cisaillement organisées en réseau recoupent et décalent de quelques millimètres à quelques mètres les structures préexistantes. Les relations de terrains ainsi que des évidences macro et microscopiques de déformation à la transition ductile-fragile montrent qu'elles sont syn-plutonisme. Elles se retrouvent de façon hétérogène dans les unités les plus anciennes mais se concentrent surtout à la base de l'unité structurale la plus ancienne. Cette zone définit donc un anneau concordant avec la géométrie des intrusions successives du complexe. La présence de quelques brèches syn-magmatiques à plusieurs endroits atteste de l'intensité de la déformation dans cette zone. Les zones de cisaillement du SRBIC sont tout à fait comparables à celles qui déforment les bordures du pluton d'Eastern Mourne (Stevenson et al., 2007). En accord avec les interprétations de ce dernier, ces déformations marquent le caractère plus ancien de l'unité intrusive externe qui est au contact des basaltes de plateau. Les orientations de ce réseau de déformations traduisent un raccourcissement perpendiculaire aux différents contacts externes et internes (Figure 7.7).



Figure 7.7: Représentation schématique des contraintes subies par l'encaissant lors de la propagation d'un sill.

Ces zones de cisaillement enregistrent l'amincissement d'une injection due à l'injection suivante. La concentration de la déformation à la base de l'unité indique que cette unité était dans un état de cristallisation suffisamment avancée pour enregistrer cette déformation. Cependant des évidences de déformations ductile montrent que la roche n'était pas complètement froide lors de sa déformation (Gapais, 1989; Vigneresse et al., 1996).

La géométrie concordante en dôme ainsi que la construction à partir de pulses/injections magmatiques successives du SRBIC est en accord avec les études conduites depuis une vingtaine d'années sur la formation des plutons en domaine continental. En effet, il est maintenant établi que les plutons sont généralement tabulaires horizontalement ou verticalement (Cruden, 1998; Vigneresse et al., 1999; Mahan et al., 2003; Michel et al., 2008), formés par de nombreux pulses magmatiques (e.g. Coleman et al., 2004; Glazner et al., 2004; Horsman et al., 2009) et que le problème d'espace lié à l'apport intrusif est essentiellement compensé par le déplacement de l'encaissant (e.g. Tikoff et al., 1999; Acocella, 2000; Menand et al., 2015). Ainsi, des modèles de mise en place tels que la montée massive de magma par diapirisme et la subsidence en chaudron sont de plus en plus remis en questions (e.g. Petford et al., 2000; Stevenson et al., 2007; Horsman et al., 2009). De part ces avancées dans la compréhension des mécanismes de formation des plutons et d'après les évidences de terrain décrites plus haut, il est clair que le SRBIC est un complexe plutonique laccolithique dont la construction a soulevé les basaltes de plateau. C'est également dans ce sens que plusieurs massifs continentaux considérés comme des complexes annulaires ont été réinterprétés (e.g. Stevenson et al., 2007; Magee et al., 2012).

Les données sur lesquelles repose ce modèle proposé pour le complexe sud de RdB sont sujettes à un certain biais dû à la sur-représentation de l'étude d'une partie de la péninsule (Figure 7.8). Cependant, la

comparaison entre les mesures de terrain et les mesures attendues pour un laccolithe en fonction de cette répartition montre la compatibilité des données de terrain avec ce modèle.



Figure 7.8: Impact de la sur-représentation des données dans une aire spécifique de la zone d'étude et compatibilité avec le modèle de construction du SRBIC.

7.4.5 Questions en suspens

#### - Forme du laccolithe

Le caractère elliptique de ce laccolithe est indéniable aux vues de la géométrie de l'intrusion bien visible cartographiquement. Toutefois, les épanchements trachytiques plus récents et la couverture glaciaire (prolongement la calotte Cook) ne permettent pas d'observer le contact intrusif avec les basaltes de plateaux au NW du complexe. C'est pourquoi, il est possible que ce laccolithe puisse être asymétrique selon un axe N-S. Seul l'avenir pourra permettre de confirmer cette hypothèse en appliquant des méthodes géophysiques ou en s'armant de patience au vue de l'état actuel du réchauffement climatique et de l'assèchement de l'air (Favier et al., 2016). Qu'il soit asymétrique ou pas, le laccolithe est la géométrie plus simple pour décrire la forme de cette intrusion. De la même manière, le soulèvement des basaltes est le processus mécaniquement le plus simple qui explique la construction de ces intrusions. Une autre possibilité serait que le SRBIC puisse s'interpréter comme un bysmalithe, lequel aurait permis, en plus d'un bombement des basaltes, le soulèvement vertical d'une grande partie par « effet piston » , accommodé par des failles de grande ampleur. Si ce modèle est connu en domaine continental (e.g. St Blanquat et al., 2006), l'absence de ces grandes failles sur RdB ne permet pas de valider ce modèle.

#### - Volume – flux magmatique

Etant donné le manque d'informations sur la structure profonde du SRBIC, l'estimation des volumes magmatiques intrusifs reste à ce jour approximative. Toutefois, les données cartographiques et structurales permettent d'estimer le volume du SRBIC de l'ordre de 550 ± 150 Km<sup>3</sup>. En considérant une durée de mise en place de 3.7 Ma mise en évidence par les données géochronologiques, le flux

magmatique moyen est donc de l'ordre de  $1.5 \times 10^{-4} \text{ Km}^3/\text{an}$  (±  $5.10^{-5} \text{ Km}^3$ ). Ce dernier est tout à fait comparable aux flux moyen observés dans la croûte continentale (voir St Blanquat et al., 2011).

#### - Structure interne – fabrique - feeder

La fabrique magnétique du SRBIC peut s'interpréter comme l'expression de la direction d'injection des intrusions magmatiques du nord vers le sud. Cette dernière pourrait donc indiquer un conduit d'alimentation situé au nord de la péninsule. La géométrie de ce conduit d'alimentation ne peut être définie avec certitude à l'heure actuelle. De plus, le rajeunissement des âges des intrusions successives du sud vers le nord pourrait traduire une migration de cette zone d'alimentation vers le nord au cours du temps. Cette hypothèse semble en accord avec la chronologie des différents complexes identifiés au nord de la péninsule de RdB. Toutefois, même si cette migration est sans doute en lien avec la migration du plateau de Kerguelen vers le sud par rapport à la SEIR et la SWIR, les vitesses d'expansion des fonds océaniques (Royer and Schlich, 1988; Cande et al., 2010) supposent qu'en 4 Ma un point immobile en profondeur aurait parcouru entre 100 et 260 Km sur la plaque. Une migration aussi rapide est incompatible avec la migration de la zone d'alimentation des intrusions estimable à 2.5Km/Ma au maximum (entre l'anse du Gros Ventre ≈14Ma et Castor et Pollux ≈4.9Ma). La migration des intrusions vers le nord n'est donc pas uniquement contrôlée par le mouvement relatif du plateau de Kerguelen par rapport aux dorsales. De façon plus générale, la tectonique régionale extensive liée aux dorsales ne semble pas avoir eu d'impact sur les structures plutonique de mise en place de la péninsule comme le montrent les orientations des marqueurs de déformations.

#### - Textures et thermicité

Les textures magmatiques se développent dans les niveaux superficiels de cristallisation des roches intrusives contrairement aux caractéristiques chimiques qu'elles acquièrent au travers des niveaux plus profonds de la croûte (e.g. Annen et al., 2006; Jagoutz, 2010). Elles dépendent donc des paramètres thermodynamiques qui sont propres à la dynamique d'injection du magma tel que son volume, sa température, sa vitesse d'emplacement, son pourcentage de charge solide et sa composition (notamment en éléments volatiles). Elles dépendent également des contrastes entre ces paramètres du magma et ceux de l'encaissant. A grande échelle, les différent faciès texturaux du SRBIC montrent une certaine évolution au cours du temps. Les syénites porphyriques ne se retrouvent qu'au sein de l'unité 1 recoupant l'alternance monzodiorites-syénites ainsi qu'au contact entre cette dernière et l'unité 2. Certaines passées porphyriques ont également pu être observées ça et là au contact intrusif du SRBIC, lequel est également formé de syénite grenues et injections aphyriques. Au cours du temps et de la construction du complexe le volume de syénite microgrenue injectée diminue. Ce facies est peu abondant dans l'unité 3 structurale la plus récente. C'est pourquoi sur le SRBIC, le fait que les textures soient progressivement dominées par les facies grenus au cours du temps indique une certaine stabilisation des dynamiques d'injection et de mise en place dans l'encaissant. Cette hypothèse est en accord avec les interprétations géochimiques qui montrent que l'environnement d'évolution des liquides syénitiques, les plus anciens, est ouvert avec des recharges magmatiques répétées, tandis que l'environnement d'évolution des liquides syénites les plus jeunes est plus stable, probablement déjà syénitique, avec une évolution classique en système fermé. De plus, il est probable que la température des niveaux de mise en place ait augmenté par l'accumulation des précédentes injections, ce qui pourrait avoir favorisé le développement des faciès grenus. Ainsi, même si la texture se forme lors de la mise en place et la cristallisation, elle contient également des informations sur l'évolution progressive de la dynamique magmatique.
A l'échelle de l'affleurement les variations de textures aux contacts entre les différents sills renseignent sur les contrastes thermiques encaissant – injections. Tous les contacts observés sur le terrain ne montrent pas de bordures figées. Cette particularité s'observe également à l'échelle microscopique ou les rares bordures figées observées sont de tailles millimétriques. Cette observation suggère donc que de faibles contrastes thermodynamiques entre les intrusions successives. Elle suppose notamment que le contraste de température entre les deux intrusions est faible. Par conséquent, la première intrusion ne peut être entièrement refroidie lorsque la suivante se met en place. De telles observations pourraient même traduire une recristallisation ou une homogénéisation des textures aux contacts impliquant une recristallisation ou une nouvelle phase de nucléation dans la première intrusion. Cette hypothèse suppose donc la mise en jeu d'une faible portion de liquide magmatique contenue dans la première intrusion. Cette faible fraction de liquide ne peut exister que si la température de la première intrusion se trouve au dessus du solidus. Deux hypothèses peuvent donc être avancées pour expliquer cette fraction de liquide magmatique résiduelle : soit la température de la première intrusion n'est jamais descendue en dessous du solidus lorsque la seconde se met en place, soit la mise en place de la seconde permet d'augmenter la température de la précédente pour permettre de franchir à nouveau le solidus.

L'observation des textures pose donc plusieurs questions dont les réponses relèvent de l'état thermique du SRBIC. Les premiers travaux de modélisation thermiques des intrusions plutoniques (e.g. Harrison and Clarke, 1979) ont montré que le refroidissement d'une intrusion magmatique dans les niveaux supérieurs froid de la croûte est très rapide : de l'ordre de la centaine de milliers d'années. Les travaux plus récents ont montré que la température du solidus est atteinte d'autant plus vite (<10000 ans) si cette intrusion a la forme d'un sill ou un dyke (e.g. Annen et al., 2008). Evidement, ces considérations dépendent de la taille de l'intrusion, de sa vitesse d'emplacement, de sa composition et de l'état thermique initial de l'encaissant. Toutefois, quelle que soit la forme du pluton, le temps de refroidissement est souvent inférieur au temps de construction total mesuré par différentes méthodes, supportant de fait les modèles de mises en place par succession de pulses magmatiques.

Les observations de contacts magmatiques entre les différentes intrusions à l'intérieur de chaque grande unité structurale du SRBIC supposent donc que, pour la plupart, le temps qui sépare la mise en place d'une intrusion à une autre est inférieur au temps qu'il faut pour refroidir entièrement la première intrusion. Cette hypothèse impliquerait une construction de chaque unité en quelques milliers, dizaine de milliers voire centaine de milliers d'années. Or, les âges U-Pb obtenus sur zircons montrent, au moins pour la première et la seconde unité, des temps de construction qui dépassent le million d'années. Ce résultat devrait conduire à l'observation d'au moins une forte discontinuité temporelle et structurale à l'intérieur de ces unités. Bien que nous ayons observé différents contacts magmatiques, aucune forte discontinuité structurale, telle qu'elle existe entre l'unité 2 et 3 par exemple, n'a pu être identifiée à l'intérieur de ces unités. Cette caractéristique pourrait donc signifier que les âges U-Pb obtenus pour chaque échantillon ne représentent pas seulement les âges minimum d'emplacement. Cependant ces âges obtenus sont tout à fait similaires aux âges précédemment obtenus par K-Ar (Dosso et al., 1979) dont la température de fermeture est inférieure à celle du zircon. La cohérence entre ces deux systèmes est notamment vérifiée dans les parties externes du complexe à la vue de l'âge identique entre le métamorphisme des basaltes au contact intrusif et les syénites directement sous ce contact. De plus, les datations U-Pb sont indirectement vérifiées par la modélisation isotopique qui implique un intervalle de temps de plusieurs Ma entre les premières manifestations plutoniques et les plus récentes. Les âges U-Pb des différents échantillons semblent donc représenter l'âge minimum d'emplacement des différentes intrusions, ce qui devrait permettre des cycles de refroidissement suffisant pour donner lieu à des fortes discontinuités texturales et structurales.

Pourtant, au delà des contacts magmatiques sans bordures figées, l'organisation des fabriques magnétiques au cours de temps, les déformations localisées en zones de cisaillement à la limite fragileductile ainsi que les injections sinueuses trachy-basaltiques tardives supposent que l'environnement de mise en place du SRBIC est un environnement où des températures élevées proches du solidus (estimé autour de 700°C) ont été maintenues ou ont oscillé pendant des temps relativement longs. Il y a donc une incompréhension « temps vs. textures » qui reste en suspens.

Afin de maintenir des températures élevées au sein d'intrusions plutoniques, les travaux récents de modélisation thermique (Annen et al., 2015 et références inclues) supposent que les taux d'accrétion et de flux magmatique doivent être suffisamment élevés. Couplé à des temps de longévité assez long, ces caractéristiques laissent penser que le SRBIC serait formé d'innombrables intrusions accrétées progressivement et dont les contacts sont aujourd'hui masqués sur le terrain. Chaque grande unité structurale étant formée de nombreuses intrusions d'échelle métrique/décamétrique, lesquelles pourraient être également formées de plusieurs injections relativement continues dans le temps et presque invisible à l'affleurement. Les différentes grandes unités structurales représentant des phases ou épisodes magmatiques relativement continus séparés par des discontinuités (au moins) temporelles plus ou moins grandes. Cette hypothèse va dans le sens des résultats obtenus sur d'autres complexes plutoniques tel que le Torres del Paine (Chili) expliquant les contacts francs entre les grandes unités structurales (Baumgartner et al., 2007) et le peu de contacts visibles à l'affleurement entre les intrusions successives qui composent ces unités (Leuthold et al., 2012). Cette hypothèse d'intrusions de petite échelle relativement continues et indiscernables sur le terrain est tout à fait envisageable dans le cas de SRBIC. Ainsi, en fonction de la dynamique d'injection (taille des intrusions, différentiel de température, vitesses, charge solide etc...) la température élevée du système pourrait permettre la rééquilibration texturale des intrusions déjà mises en place, voire permettre à une faible portion de liquide magmatique d'être maintenue à chaque instant t au sein de l'intrusion fraichement mise en place. Les intrusions suivantes s'injecteraient donc dans ou au contact d'un « mush » syénitique capable de masquer ce contact par rééquilibration texturale ou nouvelle phase de cristallisation expliquant ainsi l'absence de bordures figées entre les différentes intrusions (Wiebe, 2004; Miller et al., 2011; Leuthold et al., 2014).

Même si cette hypothèse est séduisante, le maintien de températures élevées proche du solidus est difficile à concevoir et correspond certainement plus à des oscillations cycliques autour de cette valeur (e.g. Johnson and Glazner, 2010; Mills and Glazner, 2013). Elle reste également et surtout difficile à concevoir en termes de temps. Bien que 32 échantillons aient pu être datés pendant cette thèse, il est clair que la maille d'échantillonnage est trop grande pour permettre de contraindre avec assez de précisions des injections multiples à l'échelle métrique ou inférieure. De plus, les erreurs analytiques sur la mesure des âges par ablation laser obtenus sont de l'ordre de la centaine de milliers d'années. Cette technique n'est pas la plus adaptée pour quantifier des processus de refroidissement du même ordre de grandeur et inférieur. A l'échelle de l'échantillon, le traitement des données géochronologiques montre que tous les zircons n'ont pas exactement le même âge (aux erreurs près). En effet, même s'il est cohérent d'estimer l'âge concordant comme l'âge de fermeture du système U-Pb le plus représenté au sein de l'échantillon, tous les zircons ne montrent pas strictement le même âge de fermeture. Certains échantillons présentent ainsi des zircons dont les âges se répartissent sur des intervalles avoisinant le million d'années (mais toujours inférieur). Faisant abstraction des erreurs relatives, ceci implique que la température de fermeture de chaque zircon a été atteinte à des moments différents dans un même

échantillon. La répartition de ces âges au sein d'un seul échantillon pourrait s'expliquer soit (i) par un biais dans les âges obtenus directement lié au traitement analytique mis en œuvre soit (ii) à la présence de zircons « hérités » dont les systèmes U-Pb ont été fermés précocement. La présence de ces zircons hérités peut être envisagée comme le transport de cristaux cristallisés plus profondément. Cette hypothèse semble cohérente avec des circulations et multi-injections dans un mush, lesquelles auraient engendré un certains brassage minéral. Cependant, le magma transportant ces zircons permet également la cristallisation des zircons plus récents dont les plus jeunes cristallisent au minimum au niveau de cristallisation finale de la roche. Cela suppose que la saturation en zircon atteinte à un moment donné aurait dû former des couronnes de croissance récentes sur les premiers zircons transportés. Or, si ces surcroissances existent, je les ai assurément manqués en cathodoluminescence. Ces zircons devraient donc être plutôt assimilés à des « antecryst » similaires à ceux décrits par Charlier et al., 2005, qui ne présentent pas vraiment de cœurs hérités et de bordures. Les rares mesures effectuées sur les cœurs et bordures des zircons du SRBIC montrent néanmoins des périodes espacées de plusieurs centaines de milliers d'années ce qui supporte le maintien ou les oscillations de températures sur des temps relativement longs.

En faisant abstraction de ces problèmes de textures, la répartition des âges des zircons dans un même échantillon ne peut être acquise seulement dans le niveau d'emplacement. Il faudrait donc concevoir différents niveaux de mush contenant des zircons en cours de cristallisation à partir desquels un liquide aurait pu être extrait ou ségrégé pour transporter ces derniers, ou bien le passage d'un liquide au travers ces différents mush. En accord avec la présence de rare zircon clairement hérités, ces hypothèses envisagent donc des niveaux de mush qui se placeraient entre le niveau du dernier réservoir de différenciation des syénites et les niveaux de mise en place.

Il est clair que les données thermiques et géochronologiques dont je dispose ne permettent en aucun cas de valider un tel modèle. Toutefois, elles permettent de l'envisager et mettent surtout en lumière un des axes de recherches futures sur le SRBIC des plus prometteur : la nécessité des observations détaillées à petite échelle.

### 7.4.6 Modèle de formation du SRBIC à l'échelle de la lithosphère

Tous les résultats obtenus durant ce travail et synthétisés dans ce chapitre permettent de proposer un modèle interprétatif à l'échelle de la lithosphère. Ce dernier est illustré par un schéma évolutif sous forme de coupe verticale synthétique à différents instants de la formation du pluton. Cette évolution est reportée sur la structure de la croûte océanique épaissie du plateau (Figure 7.9), elle-même basée sur les études antérieures de la structure profonde sous l'archipel (Recq et al., 1990; Charvis et al., 1995; Grégoire et al., 1998; Chevet, 2009). Cette structure est composée d'une première épaisseur de croute basaltique (layer 2) qui s'étend jusqu'à environ 9.5 Km. Délimitée par une limite physique mise en évidence par la sismique, elle est distinguée d'une croute de plus forte vitesse de propagation d'onde p pensée comme une croûte gabbroïque (layer 3). Cette dernière s'étend de 9.5 à 18Km de profondeur sous l'archipel. La transition croûte manteau est repérée par une zone de forte vitesse de propagation entre 18 et 20 Km. Cette zone d'approximativement 2 Km correspond à une aire de sous-plaquage et d'intrusions magmatiques. Elle est formée par de nombreux cumulats mafiques et ultramafiques, principalement reliée à l'activité de la dorsale océanique dont les produits montrent des évidences de métamorphisme HP-HT de type granulitique. Il est possible que cette zone puisse également contenir des cumulats alcalins présents à 14 Ma (dont les xénolithes, contrairement aux roches ultramafiques n'ont pas été récupérés en tant que tels sur le terrain jusqu'à présent). Un peu avant et surtout après cette zone particulière, les vitesses augmentent progressivement jusqu'à atteindre les vitesses de propagation « classiques » d'un manteau de type harzburgitique. Cette particularité suppose donc qu'au-delà de cette zone de cumulats bien marquée la transition croute-manteau sous l'archipel est très diffuse. Il est assez évidement que cette transition est marquée par de nombreux niveaux d'intrusions et de cumulats qui se superposent progressivement jusqu'à former cette zone de forte concentration entre 18 et 20 Km. C'est pourquoi il est assez difficile de délimiter la transition croûte-manteau en profondeur. D'âpres les études antérieures, je la conçois et la dessine comme pouvant s'étendre proche des 30 Km de profondeur.



Figure 7.9: Structure de la croute océanique épaissie sous l'archipel de Kerguelen, a) d'après Grégoire et al. (1998) ; (b) détaillée sous le complexe de RdB

Sur la base de cette structure de croûte du plateau océanique sous l'archipel, la  $\leftarrow$  Figure 7.10 suivante schématise les différentes étapes de construction du SRBIC à 14 Ma (âge des premières roches mises en place) ; 11 Ma et 7.5 Ma (âge-limite connu des dernières roches mises en place sur le complexe). Les différentes interactions étant déjà exposées ci-dessus, je serais bref quant à la description de ce modèle.

- Peu avant 14 Ma et jusqu'à 11.5 Ma : Les liquides de fusion partielle du manteau asthénosphérique du panache de Kerguelen (qui s'effectue entre 60 et 100Km de profondeur) se mélangent avec des liquides basaltiques issus d'un manteau sub-continental métasomatisé. Les liquides ainsi mélangés sont transportés par densité vers les niveaux supérieurs de la lithosphère. Ils traversent la zone de transition manteau-croute, ainsi que la croûte gabbroïque et viennent se localiser dans un niveau de différenciation semblable à une chambre magmatique que je situe à la limite croûte basaltique/gabbroïque à 9.5 Km. A l'intérieur de ce niveau intermédiaire, ces liquides vont se différencier pour donner les premiers liquides syénitiques alcalins calciques. Ces derniers sont ensuite, ou en même temps mais de façon progressive, injectés dans la croute basaltique. Ils se stoppent et finissent la plus grande partie de leur cristallisation



dans les niveaux de mise en place que je situe entre 2 et 3 Km. Ces premières intrusions forment le massif de l'anse du Gros Ventre.

#### ← Figure 7.10: Modèle de la formation du SRBIC à l'échelle de la lithosphère, à travers 3 schémas évolutifs

- Aux alentours de 11.5 Ma : Le mélange en profondeur avec les liquides de fusion du manteau métasomatisé n'ont plus lieu. Seuls les liquides basaltiques de signature du panache de Kerguelen remontent à travers les différentes enveloppes de la croûte océanique épaissie. Ces liquides basaltiques dont la production est plus volumineuse forment probablement des conduits de drainage ou d'alimentation de plus grande envergure. Ils vont interagir avec un fragment de croûte continentale qui se localise forcément entre le niveau de différenciation et le niveau d'extraction ou de drainage de ces liquides (AFC). Je propose donc que ce fragment soit situé proche du niveau de différenciation, dans la croûte inférieure gabbroïque, aux alentours de 12-13 Km. La production de ces liquides semble discontinue avec des phases répétées d'alimentation dans le niveau de différenciation. L'assimilation et la différenciation de ces liquides forment des magmas alcalins calciques. Ces derniers sont ensuite mise en place sous forme de sills ou lentilles diachrones dans les hauts niveaux de la croûte pour donner la série des roches mafiques/intermédiaires-CaS.

- Depuis 9.5Ma jusqu'à 7.5 Ma: Les liquides basaltiques précédents ayant interagi avec le fragment de croûte continentale ont progressivement diminué son pouvoir de contamination. Aussi, la dernière recharge magmatique issue du panache de Kerguelen ne contient plus cette signature continentale. De plus, le système qui était auparavant ouvert se ferme et les derniers liquides basaltiques produits se différencient dorénavant en système clos de manière plus « classique ». De par les précédentes intrusions de liquides au travers de la croûte océanique froide, leur différenciation et leur mise en place, cette croute océanique a changé progressivement. Le système magmatique actif depuis environ 5 Ma, a engendré l'augmentation de la température de cette croute qui fut initialement froide. Mais il a également changé les conditions de fugacité d'oxygène qui sont devenues de plus en plus réduites ainsi que la nature des fluides associés, auparavant chargés en H2O et CO2, vers des compositions de type CH4. Ces changements ont pu s'opérer sur l'ensemble de la croute traversée mais sont sans doute concentrés depuis le niveau de différenciation jusque dans les niveaux de mise en place. L'activité de ce système dynamique a même changé la nature de la croute sur son passage. Auparavant, supposée strictement basaltique, les liquides différenciés ont drapés les murs des conduits d'alimentation et certainement formé plusieurs petits niveaux intrusifs syénitiques entre le niveau de différenciation et le niveau de mise en place. Entre 10 et 3 Km cette croute basaltique est donc maintenant lardée d'intrusions filonniennes syénitiques et sa composition est probablement intermédiaire entre une syénite et un basalte. C'est pourquoi, les derniers liquides qui vont se différencier depuis 9.5Ma évoluent dans un environnement nettement différent de celui qui existait à 14 Ma. Cette différence a pour conséquence de former des magmas de plus en plus sodiques. Au cours de leur différenciation en système clos cette caractéristique s'accentue pour donner des magmas de plus en plus agpaïtique. Lors de leur injection progressive via les mêmes conduits, ces liquides syénitiques assimilent les premières roches intrusives CaS, qu'ils croisent entre le niveau de différentiation et le SRBIC (AFC). Finalement, ces magmas qui forment la série magmatique CaNaS-NaS se mettent en place progressivement de manière pulsée sous les premiers niveaux intrusifs CaS et termine la construction du laccolithe.

Ce modèle, et les schémas qui l'illustrent, synthétise clairement les différents résultats obtenus. Bien qu'il ait l'avantage de découpler clairement les différentes sources impliquées dans la genèse du SRBIC, ce modèle pose plusieurs questions. Notamment sur la signification et la viabilité de ce niveau intermédiaire requis, pour la différenciation des roches, et dont le volume est probablement sous estimé ici. En effet, mis à part la limite physique qu'il existe à 9.5 Km entre la croûte sup et inf., il n'y a pas d'autres d'arguments qui justifient de le placer à cet endroit. De plus, où sont les basaltes qui lui ont laissé la place ? Ont-ils été digérés ? Et si non, ne devrait il pas y avoir quelconques indices de déplacement visibles 6-7 Km plus haut (dans les niveaux basaltiques aujourd'hui à l'affleurement). A là vue de cette incertitude majeure, je propose un modèle alternatif où ce niveau nécessaire à la différenciation des liquides basaltiques est situé dans la zone de transition manteau-croute. Par conséquent, afin de respecter les résultats obtenus il est également nécessaire de placer le fragment continental sous ce niveau de différenciation dans la zone de transition. Ce modèle alternatif ne change en rien les différentes interactions, dynamiques et processus exposé dans le précédent modèle. Il translate simplement les processus supposés entre 14 et 7 Km dans la zone de transition manteau-croute. C'est pourquoi je ne représente que la dernière coupe à 7.5 Ma en comparaison du modèle précédent.

Ce second modèle semble plus viable que le précédent car la zone de transition croûte-manteau sous l'archipel est une autre discontinuité forte dans la lithosphère océanique. En plus d'être plus franche, son épaisseur permet de supposer que de nombreuses interactions y prennent place. L'importance physique de cette zone est déjà mise en évidence par les cumulats granulitiques qui s'y concentrent. D'autre part, une zone de production de magmas felsiques située en base de croûte est une hypothèse aujourd'hui largement envisagée en domaine continental (Annen et al., 2006). Si tel semble également le cas dans la lithosphère sous l'archipel de Kerguelen, ce modèle mettrait en évidence l'une des premières « Deep Oceanic Hot Zone ».



Figure 7.11: Modèle alternatif à l'échelle de la lithosphère, impliquant une Deep Hot Zone en domaine océanique.

Quel que soit le modèle privilégié, il implique nécessairement la présence d'un fragment continental ; lequel je situe dans la croûte inférieure (à l'intérieur de celle-ci ou à sa base). Ces deux modèles supposent donc que ce fragment continental a dû être incorporé dans la croûte océanique lors de la dislocation du Gondwana. Je propose que ce fragment continental constitue une des parties manquantes, non-identifiée jusqu'ici, entre la marge indienne et la marge antarctique dans les modèles actuels de reconstruction de l'Océan Indien. Situé entre l'Elan Bank et la butte de Gulden Draak à 120 Ma, ce fragment est certainement issus de la marge indienne. La position de ce fragment, reportée sur les cartes de reconstruction paléogéographique de l'Océan indien, met clairement en évidence une logique continue de dislocation et incorporation de fragments continentaux ; lesquels forment aujourd'hui des monts sous-marins ou plateaux océanique dans cet océan tels que le NKP.



Figure 7.12: Position du fragment continental reportée (par une flèche en a) sur les cartes de reconstruction de l'ouverture de l'Océan indien de Gibbons et al., (2013).

# **Conclusions et perspectives**

# 8.1 Conclusions générales

Ce travail de thèse avait pour objectif spécifique de revoir la géologie du complexe sud de Rallier-du-Baty à la lumière des progrès réalisés dans les analyses et la compréhension des systèmes magmatiques plutoniques. Au travers d'une approche multi-disciplinaire ce travail fournis de nouveaux résultats qui permettent de répondre aux questions à l'origine de cette étude :

### $\rightarrow$ Quelle est l'origine des magmas ?

L'étude isotopique sur roche totale, menée au travers des couples Rb/Sr et Sm/Nd a permis d'identifier plusieurs composantes impliquées dans la genèse des roches plutoniques du SRBIC et de ses satellites. Il est clair que la composante principale est le plume de Kerguelen. L'origine des roches plutoniques se situe donc dans le manteau enrichi qui forme ce panache et qui les relie directement au magmatisme de point chaud. Le magma parent des syénites et monzonites/diorite/gabbros du complexe est donc un liquide basaltique alcalin. Cependant, trois autres composantes isotopiques impliquées de façon plus discrète ont pu être identifiées. Ces dernières interagissent en faible proportion avec les liquides primaires extraits du manteau enrichi de type plume de Kerguelen. Elles peuvent donc être considérées comme des « contaminants ». La première de ses composantes, faiblement radiogénique en Nd, trouve son origine dans un manteau métasomatisé relativement ancien, dont les liquides issus de la fusion partielle se sont mélangés en proportion variable avec les liquides alcalins issus du panache de Kerguelen (« mixing »). Cette interaction semble être prédominante dans les liquides magmatiques à l'origine des premières intrusions plutoniques sur la péninsule (Massif du Gros Ventre). La seconde composante, faiblement radiogénique en Nd et fortement radiogénique en Sr, est de type croûte continentale. Il s'agit vraisemblablement d'un (ou plusieurs) fragment(s) de croûte continentale d'âge Crétacé assimilé(s) en faible proportion par les liquides alcalins issus du plume (« AFC »). Cette interaction s'observe dans premiers volumes de syénite qui constituent le laccolithe du SRBIC. La dernière composante isotopique identifiée, isotopiquement identique au panache de Kerguelen en Nd et fortement radiogénique en Sr, correspond à des syénites du SRBIC lui-même. En effet, les premières syénites mises en place, développant des signatures très radiogéniques en Sr au cours du temps, ont été en partie assimilées à de faibles degrés par des nouveaux liquides syénitiques. Ces derniers ne montrent pas de traces de contamination crustale. Les dernières syénites mises en place sur la péninsule résultent donc d'une « auto-contamination » du SRBIC.

Cette étude confirme donc l'origine essentiellement mantellique du complexe sud de Rallier du Baty comme cela avait été déjà mis en avant par les travaux antérieurs pour ce pluton et pour les autres complexes plutoniques de l'archipel (Dosso et al., 1979; Scoates et al., 2007). Cependant, cette étude montre pour la première fois la complexité des sources secondaires impliquées dans la genèse des roches plutoniques qui forment ce complexe. Elle met en évidence trois sources secondaires n'ayant jamais été décrites pour les roches plutoniques de l'archipel de Kerguelen, dont une source syénitique jamais décrite auparavant quelques soient les roches intrusives. Les interactions entre ces différentes sources impliquent plusieurs niveaux d'interactions magmatiques, évoluant dans le temps, depuis les niveaux sources profonds jusqu'aux niveaux plus superficiels de la croûte océanique. Ces résultats montrent également que les différentes sources reconnues ou supposées ayant joué un rôle dans la construction du plateau océanique de Kerguelen (KP) se retrouvent au sein d'un pluton 7000 à 9000 fois plus petit à l'affleurement (estimation, SRBIC : 175 km<sup>2</sup> / KP : 1,395 ( $\pm$ 0,045) x 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup>). Ces résultats confirment enfin que ces différentes sources presenties dans les roches intrusives de l'archipel (<25Ma) et reconnues au niveau du plateau océanique (jusqu'à 68 Ma) ont bien eu une influence dans la construction de ce plateau

entre 14 et 9,5 Ma. D'autre part, il n'est donc définitivement pas nécessaire d'impliquer avant tout la croûte continentale pour former d'importants volumes de roches syénitiques en contexte océanique.

#### ↔ Comment (ces magmas) ont-ils évolué pour former les roches plutoniques?

Les observations de terrain, les études pétrographiques, minéralogiques et géochimiques montrent que les roches plutoniques qui composent le SRBIC et ses satellites sont largement dominées par les syénites (± monzonites à Qz) et forment une série alcaline strictement sur-saturée en silice. Les roches les moins felsiques sont des monzo-gabbros et monzo-diorites non-cumulatifs. Le spectre de composition et les relations de terrain montrent donc que le magmatisme fut bimodal et ce, exclusivement dans les premiers épisodes du magmatisme intrusif de RdB. L'étude pétrographique a permis de définir, sur la base des caractéristiques des amphiboles et des pyroxènes, trois grands ensembles pétrographiques au sein des roches plutoniques felsiques du complexe. Ces minéraux ferro-magnésiens, montrent une évolution d'un pôle calcique vers un pôle sodique à l'échelle du complexe, depuis les syénites les plus anciennes (groupe CaS) vers les syénites les récentes (groupe NaS) en passant par des syénites intermédiaires (groupe CaNaS). Couplée aux relations de terrain, la pétrographie et la géochimie (majeurs et traces) montre un lien génétique entre les syénites des types CaNaS et NaS (plus différenciées). Elles définissent une lignée magmatique unique formée à partir de la différenciation d'un liquide basaltique alcalin par des processus de cristallisation fractionnée en système clos. Les syénites du groupe CaS forment une autre série magmatique, plus ancienne, également formée par des processus de cristallisation fractionnée, associées à plusieurs épisodes de recharges magmatiques du réservoir à partir duquel elles se sont formées. Les liquides, qui se sont différenciés pour former les premières syénites mises en place, ont donc évolué au sein d'un système magmatique ouvert. Les roches plutoniques intermédiaires (monzo-gabbros/diorites et monzonites) sont exclusivement associées avec ces syénites précoces. L'étude isotopique a permis de montrer que l'implication des contaminants était très faible au regard de la source primaire mantellique du panache de Kerguelen. L'absence d'évidences de ces différentes contaminations en géochimie élémentaire (majeurs et traces) appuie cette conclusion. C'est pourquoi, les compositions des magmas parents de toutes les syénites du SRBIC peuvent être considérées comme identiques. De plus, le phénomène d'assimilation des syénites les plus vielles par les syénites les plus jeunes supposent que le (dernier ?) réservoir de différenciation est commun aux deux séries magmatiques. Ces résultats impliquent donc que le passage de la série magmatique CaS à la série magmatique CaNaS-NaS ne se fait pas dans les niveaux plus profonds que celui de ce dernier réservoir de différenciation. L'existence de ces deux séries magmatiques se traduit également par l'évolution des minéraux ferro-magnésiens à l'échelle de l'échantillon. Les amphiboles et pyroxènes secondaires des roches de la série CaS (+intermédiaires) sont exclusivement calciques tandis qu'ils sont majoritairement sodiques dans la lignée CaNaS. L'évolution des ferromagnésiens (primaires et secondaires) ainsi que la paragénèse associée (notamment les minéraux accessoires) traduit également un changement affectant le système magmatique jusque dans les niveaux de mise en place. Les roches plutoniques du SRBIC évoluent depuis des roches à tendance miaskitique vers des roches à tendance agpaïtique au cours du temps. Ce passage est révélateur des changements des conditions d'évolution magmatique (température - fugacité d'O<sub>2</sub>) entre le (dernier ?) niveau de différenciation et le niveau de mise en place. Je propose que ces changements soient le reflet du degré de contrôle des basaltes encaissants sur le système magmatique se mettant en place pour former le SRBIC. Les basaltes de plateaux directement en contacts avec les premiers magmas de compositions intermédiaires ou felsiques ascendants forceraient ces derniers à évoluer au sein d'un environnement relativement froid et oxydé. Avec la dynamique des injections magmatiques qui continuent de fonctionner, la croûte océanique épaissie se retrouverait progressivement intrudée par de nombreux dykes felsiques. Ce mécanisme entrainerait un changement local de sa composition au cours du temps. Ce changement s'accompagne d'une augmentation en température via l'accumulation des intrusions ainsi qu'une diminution de la fugacité d'oxygène. Les liquides syénitiques plus récents n'évolueraient donc plus directement au contact avec les basaltes de plateaux mais au travers d'un environnement plus syénitique. La preuve en est donnée par l'étude isotopique qui met en évidence des processus d'assimilation des syénites les plus vieilles par les plus récentes.

#### ↔ Comment ce complexe syénitique s'est mis en place ?

#### $\hookrightarrow$ En combien de temps ?

Les observations de terrains montrent sans doute possible que la place nécessaire à la mise en place du complexe est accommodée par le soulèvement des basaltes de plateau. La forme en dôme de cette intrusion est donc concordante à l'échelle de la péninsule. Le complexe est constitué de trois grandes unités structurales. Les relations de terrains montrent que l'unité intrusive dans les basaltes est la plus ancienne, suivent des deux unités plus jeunes situées structuralement en dessous de la première. Ces trois unités correspondent grossièrement aux unités pétrographiques, de l'unité la plus ancienne formée en majorité par des syénites CaS (+ monzo-diorites) à l'unité la plus jeune située au centre du complexe et constitué des syénites NaS. Chaque unité est formée par l'alternance des roches syénitiques de textures différentes. Les contacts entre ces différentes roches sont souvent francs et sans bordures figées. Ces alternances texturales reflètent la dynamique d'injection des intrusions successives qui forment un litage magmatique à l'échelle du SRBIC. L'unité la plus ancienne est la seule qui présente des alternances entre injections plutoniques de compositions intermédiaires (monzo-diorites) et syénitiques. L'orientation de ce litage est parallèle au contact intrusif SRBIC/basaltes ainsi qu'aux contacts internes qui séparent les grandes unités. Ces observations et mesures confirment donc la structure concordante en dôme du complexe formée par des injections successives sous accrétées à l'échelle de l'ensemble du complexe. L'analyse des fabriques de forme, via l'analyse des fabriques magnétiques, soulignent également cette structure. En mettant en évidence la déformation accumulée, elles confirment également le basculement progressif des unités vers le sud induit par les accrétions successives vers le nord, en accord avec les observations de terrain. Les évidences de déformation (zones de cisaillement) exclusivement observées dans les unités les plus anciennes, et concentrées à la base de la première, confirment cette conclusion. La géochronologie in-situ sur zircons montrent que les intrusions plutoniques de la péninsule de RdB, (comprenant le SRBIC et ses satellites situés structuralement au dessus de celui-ci) s'étalent entre 13.7 ± 0.2 Ma à 7.88 ± 0.15 Ma. La construction du SRBIC se fait sans discontinuité temporelle marquée entre 11.57 + 0.15 Ma et 7.88 ± 0.15 Ma de la bordure externe au sud vers le centre du complexe au nord. Ces résultats montrent donc que l'étude géochronologique ne rend pas compte des discontinuités structurales observées à l'échelle des différentes injections ou même à l'échelle des grandes unités structurales. Cependant, quelques recoupement dans les âges confirment les observations de terrains et suppose que le complexe n'est pas strictement former par sous-accrétion des intrusions mais qu'une partie d'entre elles ont pu être injectées à l'intérieur (ou entre) les précédentes. L'âge de 7.31 Ma d'une intrusion appartenant au complexe situé plus au nord (CRBIC) dans la province plutonique de RdB suppose que migration des âges vers le nord constaté sur la péninsule se poursuit au travers de la province plutonique. Ces résultats montrent également que la mise en place des intrusions les plus récentes du SRBIC voire du CRBIC est synchrone de l'injection d'au moins une partie des trachytes (et basaltes?) sous forme de dyke tardif recoupant le SRBIC au sud.

Ces conclusions sont en accord avec la plupart des observations de terrain antérieures, à savoir :

Oui : le SRBIC est bien formé par les intrusions successives de magmas majoritairement syénitiques, sous accrétées à l'échelle du complexe et de plus en plus jeune de l'extérieur vers le centre de ce dernier.

Oui : les basaltes de plateau sont soulevés et le complexe a une géométrie en dôme légèrement aplatie verticalement.

Oui : Les différentes intrusions décrivent cartographiquement des anneaux concentriques. De plus :

Oui : La fabrique magnétique analysée pour la première fois au niveau d'un complexe plutonique océanique confirme ces conclusions.

La géochronologie in-situ sur zircon réalisée pour la première fois sur ce complexe confirme et affine considérablement les âges précédents obtenus par K-Ar et Rb/Sr. Et oui, elle confirme également les conclusions précédentes.

Finalement,

Non : Toutes les caractéristiques et les nouvelles interprétations issues des relations de terrain, révélatrices de la construction du SRBIC, ne peuvent pas s'expliquer par un modèle de subsidence en chaudron. Ce complexe plutonique est un laccolithe.

Ce type de mise en place, similaire à de nombreux exemples continentaux, implique donc que la croûte océanique épaissie du plateau de Kerguelen joue un rôle identique à celui de la croûte continental dans la construction et la mise en place d'un pluton dans les niveaux superficiels. Il semble donc que la nature de la croûte ne joue aucun rôle dans le mode de construction et de mise en place des corps plutoniques.

## 8.2 Perspectives

La construction du laccolithe de Rallier du Baty est similaire à de nombreux exemples continentaux. Ceci signifie donc qu'au moins dans les niveaux superficiels de mise en place, la composition, la densité, la rigidité, ou le géotherme de la croûte n'a pas un impact différent de celui de la croûte continentale sur la construction d'un pluton. L'épaisseur totale de la croûte (env. 18 km sous l'archipel) n'a pas non plus d'influence. Le mode de construction dans les niveaux d'intrusion plutonique est donc régit par la dynamique magmatique plutôt que par les caractéristiques physico-chimique de l'encaissant. La construction d'un pluton est donc le reflet des processus magmatiques profonds entre la source et la croûte moyenne qui contrôlent cette dynamique. Pour aller plus loin dans la formation des corps plutoniques, il faut donc s'intéresser plus en détail à ces processus profonds. Cette idée est peu réjouissante car les occurrences de manteau, de croûte inférieure et moyenne sont rares et souvent perturbés, modifiés ou altérés. Une des façons d'accéder à ces parties profondes, serait d'utiliser par exemple la modélisation numérique en constante évolution couplé à des études pétrographiques et géochimiques expérimentales sous pression contrôlée.

Les conclusions sur la construction du SRBIC montrent également que les modèles classiques de construction par diapirisme et/ou chaudron doivent être revus. Elles permettent notamment de poser une question plus précise qui va dans le sens de plusieurs études récentes : le modèle de subsidence en chaudron est –il obsolète ? Il semble que non. Plusieurs études montrent que ce mode de construction est toujours d'actualité (e.g. Troll et al., 2002; Kennedy and Stix, 2007). Cependant, ce modèle ne semble aujourd'hui s'appliquer qu'aux systèmes volcaniques et hypovolcaniques caractérisés par l'effondrement d'une caldéra. La question est donc plutôt de savoir à partir de quelle profondeur ce modèle ne semble – t- il plus opérer et pourquoi? Cette question s'inscrirait également dans un débat plus large et relativement vif sur le couplage ou découplage volcanisme – plutonisme.

Les résultats de cette thèse démontrent qu'un seul et unique pluton, dont le contexte et les roches uniquement sur-saturées en silice, laisseraient supposer à un mode de formation et une histoire magmatique « simple », peut avoir une histoire très complexe. Là encore, la plomberie magmatique et le transport magmatique au travers de la croûte (niveaux de différenciation, chemins empruntés...) ont un impact évident sur l'évolution des magmas à une échelle de quelques millions d'années et ce, sur une zone géographique très restreinte. La nécessité de pouvoir accéder de manière indirecte à la structuration de la croûte en profondeur est encore une des clés pour comprendre cette évolution, que ce soit en domaine océanique ou ailleurs. C'est pourquoi, il faut conduire sur Kerguelen plusieurs campagnes géophysiques. En lien avec la nécessité de comprendre la structuration de la croûte, les résultats isotopiques obtenus dans cette thèse et leur interprétation permettent de porter un nouveau regard sur les données isotopiques des roches intrusives de l'archipel de la littérature. En effet, si des processus d'assimilation continue ou d'auto-assimilation ont pu être mis en évidence sous RdB, il est probable que ce phénomène ait pu se produire ailleurs dans les systèmes intrusifs de l'archipel. Cette hypothèse expliquerait les données isotopiques précédentes « tombées dans l'oubli » du SRBIC et CRBIC mais pourrait également expliquer, les forts rapports isotopiques en Sr des syénites de l'île de l'Ouest, des syénites du Val gabbro et des trachytes et phonolites (LMS) de la péninsule Jeanne d'Arc, dont certaines ont été considérés comme inutilisables. Sans remettre en cause les interprétations issues des précédentes études isotopiques, il me semble cependant cohérent d'évoquer la possible mise en jeu des processus d'assimilation pour les roches les plus évoluées plutôt qu'une simple hétérogénéité du Plume de Kerguelen. Une hypothèse qu'il reste à vérifier sur les différents complexes intrusifs.

Pour 4 échantillons plutoniques (1 intermédiaire et 3 syénitiques) la croûte continentale n'a pas à être impliquée dans leur genèse et donc pour expliquer la formation de faciès sursaturés en silice. Pour les roches les plus anciennes du laccolithe SRBIC, l'influence de la croûte continentale ne fait par contre aucun doute. Ainsi, l'implication obligatoire de la croûte continentale dans la formation et l'évolution des roches magmatiques alcalines sursaturées, proposée par de nombreuses études ne peut pas être clairement réfutée avec les résultats de cette thèse. Toutefois, que ce soit par des fragments de croûte continentale, ou par des produits de fusion d'un manteau lithosphérique métasomatisé, les roches du SRBIC d'origine mantellique sont « contaminées ». Par conséquent, les roches plutoniques alcalines sursaturées, semblent donc très souvent être affectée par des processus de contamination qui peuvent être d'origine mantellique ou continentale. Pour aller plus loin sur le complexe, peut-on supposer que de tels processus de contamination puissent avoir affecté toutes les roches plutoniques mais que les systèmes isotopiques du Sr et du Nd (tel qu'ils ont été utilisés ici) ne soient pas assez sensibles et puissent pas rendre compte d'une très faible contamination mantellique ou crustale ? Afin de tester cette hypothèse il me parait nécessaire de coupler ces systèmes avec d'autres traceurs de sources isotopiques comme le système Lu/Hf (dont les premiers essais sur zircons sont peu satisfaisant) et Pb/Pb, lequel a déjà été appliqué à d'autres roches magmatiques de l'archipel. Conscient des limites et des complémentarités, la multiplication des traceurs isotopiques (mais aussi élémentaires) permettra certainement d'encore mieux comprendre et contraindre l'origine et l'évolution des roches alcalines de l'archipel (et plus globalement terrestre) et notamment les différences entre suites sursaturées et soussaturées.

Les questions en suspens évoquées en fin du chapitre précédent montrent également la nécessité de conduire des études plus approfondies et mieux contraintes dans les différents aspects du travail qui fut conduit durant cette thèse. Avec des travaux plus détaillés de terrain (ce qui nécessite plus de temps sur place), de meilleur contraintes géochronologiques (la mesure via ID-TIMS est plus précise mais comment

séparer les cœurs de zircons des bordures pour garder une trace de l'héritage ?), une étude pétrographique et minéralogique élargie à l'ensemble des minéraux (notamment les accessoires), les prochains résultats permettraient d'établir l'un des premiers modèle thermique basé sur un pluton en domaine océanique ; un modèle pétrogénétique qui permettrait de contraindre la composition du magma parent en s'approchant de la dualité série sur-saturée-sous-saturée; ainsi que d'aborder les conditions P-T fO2 de formation de ces roches.

N'en déplaise à la direction de la Réserve Naturelle des T.A.A.F., tous ces futurs chantiers d'investigations sur les roches de Kerguelen sont très prometteurs. En ce qui me concerne, rien n'est plus exaltant que la promesse d'y retourner un jour.

# Références

- Acocella, V., 2000. Space accommodation by roof lifting during pluton emplacement at Amiata (Italy). Terra Nova 12, 149–155. https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2000.00286.x
- Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report 204 Pb. Chemical geology 192, 59–79. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00195-X
- Anderson, E.M., 1936. The Dynamics of the Formation of Cone-sheets, Ring-dykes, and Cauldronsubsidences. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 56, 128–157. https://doi.org/10.1017/S0370164600014954
- Annell, H., 2005. Petrology and geochemistry of the 25 Ma Mt. Marion Dufresne basaltic section on the Kerguelen Archipelago : constraining the transition from tholeiitic to mildly alkalic volcanism on a major oceanic island. The University of British Columbia. https://doi.org/10.14288/1.0052331
- Annen, C., Blundy, J.D., Leuthold, J., Sparks, R.S.J., 2015. Construction and evolution of igneous bodies: Towards an integrated perspective of crustal magmatism. Lithos 230, 206–221. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.05.008
- Annen, C., Blundy, J.D., Sparks, R.S.J., 2006. The Genesis of Intermediate and Silicic Magmas in Deep Crustal Hot Zones. Journal of Petrology 47, 505–539. https://doi.org/10.1093/petrology/egi084
- Annen, C., Pichavant, M., Bachmann, O., Burgisser, A., 2008. Conditions for the growth of a long-lived shallow crustal magma chamber below Mount Pelee volcano (Martinique, Lesser Antilles Arc). Journal of Geophysical Research 113. https://doi.org/10.1029/2007JB005049
- Aubert de la Rüe, E., 1932. Etude géologique et géographique de l'archipel de Kerguelen. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique.
- Bagiński, B., Macdonald, R., 2013. The chevkinite group: underestimated accessory phases from a wide range of parageneses. Mineralogia 44. https://doi.org/10.2478/mipo-2013-0006
- Bagiński, B., Macdonald, R., Dzierżanowski, P., Zozulya, D., Kartashov, P.M., 2015. Hydrothermal alteration of chevkinite-group minerals: products and mechanisms. Part 1. Hydration of chevkinite-(Ce). Mineralogical Magazine 79, 1019–1037. https://doi.org/10.1180/minmag.2015.079.5.01
- Bailey, J., 1974. Origin of alkaline magmas as a result of anatexis-crustal anatexis., in: The Alkaline Rocks. H. Sorensen, London, pp. 436–442.
- Baker, I., 1968. Intermediate oceanic volcanic rocks and the 'Daly gap.' Earth and Planetary Science Letters 4, 103–106. https://doi.org/10.1016/0012-821X(68)90002-2
- Baker, P.E., 1992. Oceanic islands and the mantle: historical perspectives. Journal of Volcanology and Geothermal Research 50, 17–32. https://doi.org/10.1016/0377-0273(92)90034-B
- Baksi, A.K., 2005. Evaluation of radiometric ages pertaining to rocks hypothesized to have been derived by hotspot activity, in and around the Atlantic, Indian, and Pacific Oceans, in: Special Paper 388: Plates, Plumes and Paradigms. Geological Society of America, pp. 55–70. https://doi.org/10.1130/0-8137-2388-4.55
- Bardintzeff, J.-M., Bellon, H., Bonin, B., Brousse, R. & McBirney, A. R. (1988). Plutonic rocks from Tahiti-Nui caldera (Society Archipelago, French Polynesia): a petrological, geochemical and mineralogical study, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 35, 31–53.
- Bardintzeff, J.-M., Leyrit, H., Guillou, H., Guille, G., Bonin, B., Giret, A., Brousse, R., 1994. Transition between tholeiitic and alkali basalts: Petrographical and geochemical evidence from Fangataufa, Pacific Ocean, and Kerguelen, Indian Ocean. Geochemical Journal 28.
- Barker, F., Wones, D.R., Sharp, W.N., Desborough, G.A., 1975. The Pikes Peak batholith, Colorado front range, and a model for the origin of the gabbro—anorthosite—syenite—potassic granite suite. Precambrian Research 2, 97–160. https://doi.org/10.1016/0301-9268(75)90001-7
- Baumgartner, L.P., Jürgen, M., Putlitz, B., Leuthold, J., Müntener, O., Robyr, M., Darbellay, B., Demant, A., Hervé, F., Menichetti, M., Tassone, A., 2007. Field guide to the Torres del Paine Igneous Complex

and its contact aureole, International Congress on the Southern Hemisphere. ed, GEOSUR 2007. Demant A., Santiago.

- Beaux, J., 1986. Le complexe volcano-plutonique de la Presqu'Ile de la Société de Géographie (Iles Kerguelen). Structure et Pétrologie. Université Paris 6.
- Belousova, E.A., 2005. Zircon Crystal Morphology, Trace Element Signatures and Hf Isotope Composition as a Tool for Petrogenetic Modelling: Examples From Eastern Australian Granitoids. Journal of Petrology 47, 329–353. https://doi.org/10.1093/petrology/egi077
- Belousova, E.A., Griffin, W.L., Shee, S.R., Jackson, S.E., O'Reilly, S.Y., 2001. Two age populations of zircons from the Timber Creek kimberlites, Northern Territory, as determined by laser-ablation ICP-MS analysis. Australian Journal of Earth Sciences 48, 757–765. https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.2001.485894.x
- Bénard, F., Callot, J.-P., Vially, R., Schmitz, J., Roest, W., Patriat, M., Loubrieu, B., 2010. The Kerguelen plateau: Records from a long-living/composite microcontinent. Marine and Petroleum Geology 27, 633–649. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2009.08.011
- Benisek, A., Finger, F., 1993. Factors controlling the development of prism faces in granite zircons: a microprobe study. Contributions to Mineralogy and Petrology 114, 441–451. https://doi.org/10.1007/BF00321749
- Bergman, S.C., 1987. Lamproites and other potassium-rich igneous rocks: a review of their occurrence, mineralogy and geochemistry. Geological Society, London, Special Publications 30, 103–190. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.030.01.08
- Bézos, A., Humler, E., 2005. The Fe3+/ΣFe ratios of MORB glasses and their implications for mantle melting. Geochimica et Cosmochimica Acta 69, 711–725. https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.07.026
- Bindeman, I., Gurenko, A., Carley, T., Miller, C., Martin, E., Sigmarsson, O., 2012. Silicic magma petrogenesis in Iceland by remelting of hydrothermally altered crust based on oxygen isotope diversity and disequilibria between zircon and magma with implications for MORB: Silicic magma petrogenesis in Iceland. Terra Nova 24, 227–232. https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2012.01058.x
- Black, L.P., Gulson, B.L., 1978. The age of the Mud Tank Carbonatite, Strangways Range, Northern Territory. Journal of Australian Geology & Geophysics 3, 227–232.
- Black, R., Lameyre, J., Bonin, B., 1985. The structural setting of alkaline complexes. Journal of African Earth Sciences (1983) 3, 5–16.
- Blanc, P., Baumer, A., Cesbron, F., Ohnenstetter, D., Panczer, G., Rémond, G., 2000. Systematic Cathodoluminescence Spectral Analysis of Synthetic Doped Minerals: Anhydrite, Apatite, Calcite, Fluorite, Scheelite and Zircon, in: Pagel, M., Barbin, V., Blanc, Philippe, Ohnenstetter, D. (Eds.), Cathodoluminescence in Geosciences. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 127– 160. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04086-7\_5
- Boher, M., Abouchami, W., Michard, A., Albarede, F., Arndt, N.T., 1992. Crustal growth in West Africa at 2.1 Ga. Journal of Geophysical Research 97, 345. https://doi.org/10.1029/91JB01640
- Bonin, B., 2007. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects. Lithos 97, 1–29. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.12.007
- Bonin, B., Azzouni-Sekkal, A., Bussy, F., Ferrag, S., 1998. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic settings. Lithos 45, 45–70. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00025-5
- Bonin, B., Bardintzeff, J.-M., Giret, A., 1994. The distribution of felsic rocks within the alkaline igneous centres. Mémoires de la Société géologiques de France.
- Bonin, B., Ethien, R., Gerbe, M.C., Cottin, J.-Y., Feraud, G., Gagnevin, D., Giret, A., Michon, G., Moine, B., 2004. The Neogene to Recent Rallier-du-Baty nested ring complex, Kerguelen Archipelago (TAAF, Indian Ocean): stratigraphy revisited, implications for cauldron subsidence mechanisms. Geological Society, London, Special Publications 234, 125–149. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.234.01.08

- Bonin, B., Giret, A., 1990. Plutonic alkaline series: Daly gap and intermediate compositions for liquids filing up crustal magma chambers. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 70, 175–187.
- Bonin, B., Giret, A., 1985. Clinopyroxene compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline ring complexes. Journal of African Earth Sciences (1983) 3, 175–183. https://doi.org/10.1016/0899-5362(85)90035-1
- Bonin, B., Lameyre, J., 1978. Réflexions sur la position et l'origine des complexes magmatiques anorogeniques. Bulletin de la Société géologique de France S7-XX, 45–59. https://doi.org/10.2113/gssgfbull.S7-XX.1.45
- Borisova, A.Y., Faure, F., Deloule, E., Grégoire, M., Béjina, F., de Parseval, P., Devidal, J.-L., 2014. Lead isotope signatures of Kerguelen plume-derived olivine-hosted melt inclusions: Constraints on the ocean island basalt petrogenesis. Lithos 198–199, 153–171. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.03.022
- Bouchez, J.L., 1997. Granite is Never Isotropic: An Introduction to AMS Studies of Granitic Rocks, in: Bouchez, J. L., Hutton, D.H.W., Stephens, W.E. (Eds.), Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 95–112. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1717-5\_6
- Bowden, P., Black, R., Martin, R.F., Ike, E.C., Kinnaird, J.A., Batchelor, R.A., 1987. Niger-Nigerian alkaline ring complexes: a classic example of African Phanerozoic anorogenic mid-plate magmatism. Geological Society, London, Special Publications 30, 357–379. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.030.01.17
- Bowen, N.L., 1945. Phase equilibria bearing on the origin and differentiation of alkaline rocks. American Journal of Science 243, 75–89.
- Brooks, C.K., 1982. Compositional Variation in the Pyroxenes and Amphiboles of the Kangerdlugssuaq Intrusion, East Greenland: Further Evidence for the Crustal Contamination of Syenite Magma. Mineralogical Magazine 45, 1–9. https://doi.org/10.1180/minmag.1982.045.337.01
- Burchardt, S., Tanner, D.C., Krumbholz, M., 2010. Mode of emplacement of the Slaufrudalur Pluton, Southeast Iceland inferred from three-dimensional GPS mapping and model building. Tectonophysics 480, 232–240. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.10.010
- Byers, C.D., Christie, D.M., Muenow, D.W., Sinton, J.M., 1984. Volatile contents and ferric-ferrous ratios of basalt, ferrobasalt, andesite and rhyodacite glasses from the Galapagos 95.5°W propagating rift. Geochimica et Cosmochimica Acta 48, 2239–2245. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90220-5
- Cande, S.C., Patriat, P., Dyment, J., 2010. Motion between the Indian, Antarctic and African plates in the early Cenozoic: Indian Ocean Plate motions. Geophysical Journal International 183, 127–149. https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04737.x
- Carmichael, I.S.E., 1991. The redox states of basic and silicic magmas: a reflection of their source regions? Contributions to Mineralogy and Petrology 106, 129–141. https://doi.org/10.1007/BF00306429
- Chakhmouradian, A.R., Zaitsev, A.N., 2012. Rare Earth Mineralization in Igneous Rocks: Sources and Processes. Elements 8, 347–353. https://doi.org/10.2113/gselements.8.5.347
- Charlier, B.L.A., Wilson, C.J.N., Lowenstern, J.B., Blake, S., Van Calsteren, P.W., Davidson, J.P., 2005.
  Magma Generation at a Large, Hyperactive Silicic Volcano (Taupo, New Zealand) Revealed by U–
  Th and U–Pb Systematics in Zircons. Journal of Petrology 46, 3–32.
  https://doi.org/10.1093/petrology/egh060
- Charvis, P., Recq, M., Operto, S., Brefort, D., 1995. Deep structure of the northern Kerguelen Plateau and hotspot-related activity. Geophysical Journal International 122, 899–924.
- Chayes, F., 1977. The oceanic basalt–trachyte relation in general and in the Canary Islands. American Mineralogist 62, 666–671.
- Chen, C.-Y., Frey, F.A., 1985. Trace element and isotopic geochemistry of lavas from Haleakala Volcano, east Maui, Hawaii: Implications for the origin of Hawaiian basalts. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 90, 8743–8768. https://doi.org/10.1029/JB090iB10p08743

- Chevet, J., 2009. INTRUSIVE BASALTIC ROCKS AND ASSOCIATED MAFIC/ULTRAMAFIC CUMULATES FROM THE THICKENED OCEANIC CRUST OF THE KERGUELEN ARCHIPELAGO. Macquarie.
- Chiaradia, M., Schaltegger, U., Spikings, R., Wotzlaw, J.-F., Ovtcharova, M., 2013. How accurately can we date the duration of magmatic-hydrothermal events in porphyry systems?—an invited paper. Economic Geology 108, 565–584.
- Claesson, S., Pallister, J.S., Tatsumoto, M., 1984. Samarium-neodymium data on two late Proterozoic ophiolites of Saudi Arabia and implications for crustal and mantle evolution. Contributions to Mineralogy and Petrology 85, 244–252. https://doi.org/10.1007/BF00378103
- Clague, D.A., 1978. The Oceanic Basalt-Trachyte Association: An Explanation of the Daly Gap. The Journal of Geology 86, 739–743. https://doi.org/10.1086/649740
- Clarke, I., 1983. Volcanic evolution of Heard and McDonald Islands, southern Indian Ocean, in: Antarctic Earth Science.
- Clough, C.T., Maufe, H.B., Bailey, E.B., 1909. The Cauldron-Subsidence of Glen Coe, and the Associated Igneous Phenomena. Quarterly Journal of the Geological Society 65, 611–678. https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1909.065.01-04.35
- Coffin, M.F., Eldholm, O., 1994. Large igneous provinces: Crustal structure, dimensions, and external consequences. Reviews of Geophysics 32, 1. https://doi.org/10.1029/93RG02508
- Coffin, M.F., Pringle, M.S., Duncan, R.A., Gladczenko, T.P., Storey, M., Muller, R.D., Gahagan, L.A., 2002. Kerguelen Hotspot Magma Output since 130 Ma. Journal of Petrology 43, 1121–1137. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1121
- Coleman, D.S., Gray, W., Glazner, A.F., 2004. Rethinking the emplacement and evolution of zoned plutons: Geochronologic evidence for incremental assembly of the Tuolumne Intrusive Suite, California. Geology 32, 433. https://doi.org/10.1130/G20220.1
- Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O., Kinny, P., 2003. Atlas of Zircon Textures. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 53, 469–500. https://doi.org/10.2113/0530469
- Cousens, B.L., Clague, D.A., Sharp, W.D., 2003. Chronology, chemistry, and origin of trachytes from Hualalai Volcano, Hawaii: HUALALAI VOLCANO TRACHYTES. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 4, n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2003GC000560
- Crisp, J.A., 1984. Rates of magma emplacement and volcanic output. Journal of Volcanology and Geothermal Research 20, 177–211. https://doi.org/10.1016/0377-0273(84)90039-8
- Cruden, A.R., 1998. On the emplacement of tabular granites. Journal of the Geological Society-London 155, 853–862. https://doi.org/10.1144/gsjgs.155.5.0853
- Dall'Agnol, R., Frost, C.D., Rämö, O.T., 2012. IGCP Project 510 "A-type Granites and Related Rocks through Time": Project vita, results, and contribution to granite research. Lithos 151, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.003
- Davies, G.R., Macdonald, R., 1987. Crustal Influences in the Petrogenesis of the Naivasha Basalt--Comendite Complex: Combined Trace Element and Sr-Nd-Pb Isotope Constraints. Journal of Petrology 28, 1009–1031. https://doi.org/10.1093/petrology/28.6.1009
- Deer, W., Howie, R., Zussman, J., 1992. An introduction to the Rock-Forming Minerals, 2nd ed. Longman Group UK Limited, Essex.
- Delpech, G., 2004. Etude des enclaves ultramafiques des Iles Kerguelen: caractérisation du métasomatisme sous un plateau océanique. Jean Monnet Macquarie, Sydney.
- Delpech, G., Grégoire, M., O'Reilly, S.Y., Cottin, J.Y., Moine, B., Michon, G., Giret, A., 2004. Feldspar from carbonate-rich silicate metasomatism in the shallow oceanic mantle under Kerguelen Islands (South Indian Ocean). Lithos 75, 209–237. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2003.12.018
- DePaolo, D.J., 1981. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fractional crystallization. Earth and Planetary Science Letters 53, 189–202. https://doi.org/10.1016/0012-821X(81)90153-9
- Diop, H.E.H.S., 2008. Geochemical investigation of basalts from Trois Menestrels, Kerguelen Archipelago. Kansas State University.

- Dosso, L., Murthy, V.R., 1980. A Nd isotopic study of the Kerguelen Islands: Inferences on enriched oceanic mantle sources. Earth and Planetary Science Letters 48, 268–276. https://doi.org/10.1016/0012-821X(80)90190-9
- Dosso, L., Vidal, P., Cantagrel, J.M., Lameyre, J., Marot, A., Zimine, S., 1979. "Kerguelen: Continental fragment or oceanic island?": Petrology and isotopic geochemistry evidence. Earth and Planetary Science Letters 43, 46–60. https://doi.org/10.1016/0012-821X(79)90154-7
- Doucet, S., Weis, D., Scoates, J., Nicolaysen, K., Frey, F., Giret, A., 2002. The Depleted Mantle Component in Kerguelen Archipelago Basalts: Petrogenesis of Tholeiitic-Transitional Basalts From the Loranchet Peninsula. Journal of Petrology 43, 1341–1366. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1341
- Droop, G.T.R., 1987. A General Equation for Estimating Fe3+ Concentrations in Ferromagnesian Silicates and Oxides from Microprobe Analyses, Using Stoichiometric Criteria. Mineralogical Magazine 51, 431–435. https://doi.org/10.1180/minmag.1987.051.361.10
- Duncan, R.A., 2002. A Time Frame for Construction of the Kerguelen Plateau and Broken Ridge. Journal of Petrology 43, 1109–1119. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1109
- Duncan, R.A., Quilty, P.G., Barling, J., Fox, J.M., 2016. Geological development of Heard Island, Central Kerguelen Plateau. Australian Journal of Earth Sciences 63, 81–89. https://doi.org/10.1080/08120099.2016.1139000
- Eby, G.N., 1990. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos 26, 115–134. https://doi.org/10.1016/0024-4937(90)90043-Z
- Eby, G.N., 1985. Sr and Pb isotopes, U and Th chemistry of the alkaline Monteregian and White Mountain igneous provinces, eastern North America. Geochimica et Cosmochimica Acta 49, 1143–1153. https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90005-5
- Eby, G.N., Woolley, A.R., Din, V., Platt, G., 1998. Geochemistry and Petrogenesis of Nepheline Syenites: Kasungu-Chipala, Ilomba, and Ulindi Nepheline Syenite Intrusions, North Nyasa Alkaline Province, Malawi. Journal of Petrology 39, 1405–1424. https://doi.org/10.1093/petroj/39.8.1405
- Elburg, M.A., Cawthorn, R.G., 2017. Source and evolution of the alkaline Pilanesberg Complex, South Africa. Chemical Geology 455, 148–165. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.10.007
- Elhlou, S., Belousova, E., Griffin, W.L., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., 2006. Trace element and isotopic composition of GJ-red zircon standard by laser ablation. Geochimica et Cosmochimica Acta 70, A158. https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.06.1383
- Estrade, G., Béziat, D., Salvi, S., Tiepolo, M., Paquette, J.-L., Rakotovao, S., 2014. Unusual evolution of silica-under- and -oversaturated alkaline rocks in the Cenozoic Ambohimirahavavy Complex (Madagascar): Mineralogical and geochemical evidence. Lithos 206–207, 361–383. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.08.008
- Favier, V., Verfaillie, D., Berthier, E., Menegoz, M., Jomelli, V., Kay, J.E., Ducret, L., Malbéteau, Y., Brunstein, D., Gallée, H., Park, Y.-H., Rinterknecht, V., 2016. Atmospheric drying as the main driver of dramatic glacier wastage in the southern Indian Ocean. Scientific Reports 6. https://doi.org/10.1038/srep32396
- Fielding, P.E., 1970. The distribution of uranium, rare earths, and color centers in a crystal of natural zircon. The American Mineralogist 55, 428–440.
- Fitton, J.G., 1987. The Cameroon line, West Africa: a comparison between oceanic and continental alkaline volcanism. Geological Society, London, Special Publications 30, 273–291. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.030.01.13
- Fitton, J.G., Upton, B.G.J., 1987. Alkaline Igneous Rocks: Introduction. Geological Society, London, Special Publications 30, ix-xiv. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.030.01.01
- Foland, K.A., Henderson, C.M.B., 1976. Application of age and Sr isotope data to the petrogenesis of the Marangudzi ring complex, Rhodesia. Earth and Planetary Science Letters 29, 291–301. https://doi.org/10.1016/0012-821X(76)90133-3

- Foland, K.A., Landoll, J., Henderson, C.M.B., Jiangfeng, C., 1993. Formation of cogenetic quartz and nepheline syenites. Geochimica and Cosmochimica Acta 57, 697–704. https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90380-F
- Frey, F.A., Coffin, M.F., Wallace, P.J., Weis, D., 2003. Leg 183 synthesis: Kerguelen Plateau-Broken Ridge a large igneous province, in: Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results. pp. 1–48.
- Frey, F.A., Coffin, M.F., Wallace, P.J., Weis, D., Zhao, X., Wise, S.W., Wähnert, V., Teagle, D.A.H., Saccocia, P.J., Reusch, D.N., others, 2000. Origin and evolution of a submarine large igneous province: the Kerguelen Plateau and Broken Ridge, southern Indian Ocean. Earth and Planetary Science Letters 176, 73–89. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00315-5
- Frey, F.A., Nicolaysen, K., Kubit, B.K., Weis, D., Giret, A., 2002a. Flood Basalt from Mont Tourmente in the Central Kerguelen Archipelago: the Change from Transitional to Alkalic Basalt at 25 Ma. Journal of Petrology 43, 1367–1387. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1367
- Frey, F.A., Nobre Silva, I.G., Huang, S., Pringle, M.S., Meleney, P.R., Weis, D., 2015. Depleted components in the source of hotspot magmas: Evidence from the Ninetyeast Ridge (Kerguelen). Earth and Planetary Science Letters 426, 293–304. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.06.005
- Frey, F.A., Pringle, M., Meleney, P., Huang, S., Piotrowski, A., 2011. Diverse mantle sources for Ninetyeast Ridge magmatism: Geochemical constraints from basaltic glasses. Earth and Planetary Science Letters 303, 215–224. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2010.12.051
- Frey, F.A., Weis, D., Borisova, A. Y., Xu, G., 2002b. Involvement of Continental Crust in the Formation of the Cretaceous Kerguelen Plateau: New Perspectives from ODP Leg 120 Sites. Journal of Petrology 43, 1207–1239. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1207
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Davis, J.E., Frost, C.D., 2001. A Geochemical classification for granitic rocks. Journal of petrology.
- Furman, T., Meyer, P.S., Frey, F., 1992. Evolution of Icelandic central volcanoes: evidence from the Austurhorn intrusion, southeastern Iceland. Bulletin of volcanology 55, 45–62.
- Gagnevin, D., Ethien, R., Bonin, B., Moine, B., Féraud, G., Gerbe, M., Cottin, J., Michon, G., Tourpin, S., Mamias, G., Perrache, C., Giret, A., 2003. Open-system processes in the genesis of silicaoversaturated alkaline rocks of the Rallier-du-Baty Peninsula, Kerguelen Archipelago (Indian Ocean). Journal of Volcanology and Geothermal Research 123, 267–300. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(02)00509-7
- Gaina, C., Müller, R.D., Brown, B.J., Ishihara, T., 2003. Microcontinent formation around Australia. Geological Society of America Special Papers 372, 405–416.
- Ganerod, M., Torsvik, T.H., van Hinsbergen, D.J.J., Gaina, C., Corfu, F., Werner, S., Owen-Smith, T.M., Ashwal, L.D., Webb, S.J., Hendriks, B.W.H., 2011. Palaeoposition of the Seychelles microcontinent in relation to the Deccan Traps and the Plume Generation Zone in Late Cretaceous-Early Palaeogene time. Geological Society, London, Special Publications 357, 229–252. https://doi.org/10.1144/SP357.12
- Gapais, D., 1989. Shear structures within deformed granites: Mechanical and thermal indicators. Geology 17, 1144. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017<1144:SSWDGM>2.3.CO;2
- Garver, J.I., 2014. Radiation-damage and cooling ages of Precambrian detrital zircon. Presented at the 14th International Conference on Thermochronology, chamonix.
- Garver, J.I., Kamp, P.J.J., 2002. Integration of zircon color and zircon fission-track zonation patterns in orogenic belts: application to the Southern Alps, New Zealand. Tectonophysics 349, 203–219. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00054-9
- Gautier, I., 1987. Les basaltes des îles Kerguelen. Université Paris 6.
- Gautier, I., Weis, D., Mennessier, J.P., Vidal, P., Giret, A., Loubet, M., 1990. Petrology and geochemistry of the Kerguelen Archipelago basalts (South Indian Ocean)evolution of the mantle sources from ridge to intraplate position. Earth and Planetary Science Letters 1–3, 59–76. https://doi.org/10.1016/0012-821X(90)90176-X
- Gerlach, S., Claußen, O., Rüssel, C., 1999. A voltammetric study on the thermodynamics of the Fe3+/Fe2+equilibrium in alkali–lime–alumosilicate melts. Journal of Non-Crystalline Solids 248, 92–98. https://doi.org/10.1016/S0022-3093(99)00103-9

- Gerlach, S., Claußen, O., Rüssel, C., 1998. Thermodynamics of iron in alkali–magnesia–silica glasses. Journal of Non-Crystalline Solids 238, 75–82. https://doi.org/10.1016/S0022-3093(98)00681-4
- Gibbons, A.D., 2012. Regional plate tectonic reconstructions of the Indian Ocean, PhD thesis, the University of Sydney.
- Gibbons, A.D., Whittaker, J.M., Müller, R.D., 2013. The breakup of East Gondwana: Assimilating constraints from Cretaceous ocean basins around India into a best-fit tectonic model. Journal of Geophysical research: Solid Earth 118, 808-822. https://doi.org/10.1002/jgrb.50079e.
- Giret, A., 1983. Le plutonisme oceanique intraplaque: exemple des Iles Kerguelen, CNFRA. Comité national français pour les recherches antarctiques. Laboratoire de pétrologie, Université Pierre et Marie Curie.
- Giret, A., Bonin, B., Leger, J.-M., 1980. Amphibole compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring-composition. The Canadian Mineralogist 18, 481–495.
- Giret, A., Chotin, P., Verdier, O., 1988. Des laves aux roches plutoniques. L'exemple du mont Ross, îles Kerguelen. Comptes rendus de l'Academie des Sciences.
- Giret, A., Lameyre, J., 1983. A study of Kerguelen plutonism Petrology, Geochronology and Geological Implications, in: Antarctic Earth Science. Oliver, R. L., James, P. R. & Jabo, J. B., Cambridge, pp. 647–651.
- Gladczenko, T.P., Coffin, M.F., 2001. Kerguelen Plateau crustal strucure and basin formation from seismic and gravity data. Journal of Geophysical Research 106, 16583–16601. https://doi.org/10.1029/2001JB000370
- Glazner, A.F., Bartley, J.M., Coleman, D.S., Gray, W., Taylor, R.Z., 2004. Are plutons assembled over millions of years by amalgamation from small magma chambers? GSA Today 14, 4. https://doi.org/10.1130/1052-5173(2004)014<0004:APAOMO>2.0.CO;2
- Götze, J., Kempe, U., Habermann, D., Nasdala, L., Neuser, R.D., Richter, D., 1999. High-resolution cathodoluminescence combined with SHRIMP ion probe measurements of detrital zircons. Mineralogical Magazine 63, 179–187.
- Grégoire, M., 1994. Pétrologie des enclaves ultrabasiques et basiques des îles Kerguelen. Les contraintes minéralogiques et thermobarométriques et leurs implications géodynamiques. Jean Monnet, Saint Etienne.
- Grégoire, M., Cottin, J.Y., Giret, A., Mattielli, N., Weis, D., 1998. The meta-igneous granulite xenoliths from Kerguelen Archipelago: evidence of a continent nucleation in an oceanic setting. Contributions to Mineralogy and Petrology 133, 259–283. https://doi.org/10.1007/s004100050451
- Grégoire, M., Jackson, I., O'Reilly, S., Cottin, J., 2001. The lithospheric mantle beneath the Kerguelen Islands (Indian Ocean): petrological and petrophysical characteristics of mantle mafic rock types and correlation with seismic profiles. Contributions to Mineralogy and Petrology 142, 244–259. https://doi.org/10.1007/s004100100289
- Grégoire, M., Moine, B.N., O'Reilly, S.Y., Cottin, J.Y., Giret, A., 2000. Trace element residence and partitioning in mantle xenoliths metasomatized by highly alkaline, silicate-and carbonate-rich melts (Kerguelen Islands, Indian Ocean). Journal of Petrology 41, 477–509. https://doi.org/10.1093/petrology/41.4.477
- Griffin, W.L., Belousova, E.A., Shee, S.R., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., 2004. Archean crustal evolution in the northern Yilgarn Craton: U–Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. Precambrian Research 131, 231–282. https://doi.org/10.1016/j.precamres.2003.12.011
- Griffin, W.L., Powell, W.J., Pearson, N.J., O'Reilly, S.Y., 2008. Glitter: Data reduction software for laser ablation ICP-MS, in: Laser Ablation ICP-MS in the Earth Sciences: Current Practices and Outstanding Issues, Mineralogical Association of Canada Short Course Series. Vancouver, pp. 308–311.
- Griffiths, R.W., Campbell, I.H., 1990. Stirring and structure in mantle starting plumes. Earth and Planetary Science Letters 99, 66–78. https://doi.org/10.1016/0012-821X(90)90071-5
- Gutscher, M.-A., Olivet, J.-L., Aslanian, D., Eissen, J.-P., Maury, R., 1999. The "lost inca plateau": cause of flat subduction beneath peru? Earth and Planetary Science Letters 171, 335–341. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00153-3

- Halden, N.M., Hawthorne, F.C., 1993. The fractal geometry of oscillatory zoning in crystals: Application to zircon. American Mineralogist 78, 1113–116.
- Hanchar, J.M., Miller, C.F., 1993. Zircon zonation patterns as revealed by cathodoluminescence and backscattered electron images: Implications for interpretation of complex crustal histories. Chemical Geology 110, 1–13. https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90244-D
- Hanchar, J.M., Watson, E.B., 2003. Zircon Saturation Thermometry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 53, 89–112. https://doi.org/10.2113/0530089
- Harker, A., 1909. The Natural History of Igneous Rocks. MacMillan, New York. https://doi.org/10.1017/CBO9780511920424
- Harris, C., 1983. The Petrology of Lavas and Associated Plutonic Inclusions of Ascension Island. Journal of Petrology 24, 424–470. https://doi.org/10.1093/petrology/24.4.424
- Harris, C., Marsh, J.S., Milner, S.C., 1999. Petrology of the Alkaline Core of the Messum Igneous Complex, Namibia: Evidence for the Progressively Decreasing Effect of Crustal Contamination. Journal of Petrology 40, 1377–1397. https://doi.org/10.1093/petroj/40.9.1377
- Harrison, T.M., Clarke, G.K.C., 1979. A model of the thermal effects of igneous intrusion and uplift as applied to Quottoon pluton, British Columbia. Canadian Journal of Earth Sciences 16, 411–420. https://doi.org/10.1139/e79-039
- Hassler, D.R., Shimizu, N., 1998. Osmium Isotopic Evidence for Ancient Subcontinental Lithospheric Mantle Beneath the Kerguelen Islands, Southern Indian Ocean. Science 280, 418–421. https://doi.org/10.1126/science.280.5362.418
- Hawthorne, F.C., Oberti, R., Harlow, G.E., Maresch, W.V., Martin, R.F., Schumacher, J.C., Welch, M.D., 2012. Nomenclature of the amphibole supergroup. American Mineralogist 97, 2031–2048. https://doi.org/10.2138/am.2012.4276
- Henderson, C.M.B., Pendlebury, K., Foland, K.A., 1989. Mineralogy and Petrology of the Red Hill Alkaline Igneous Complex, New Hampshire, U.S.A. Journal of Petrology 30, 627–666. https://doi.org/10.1093/petrology/30.3.627
- Hoffman, J.F., Long, J.V.P., 1984. Unusual sector zoning in Lewisian zircons. Mineralogical magazine 48, 513–517. https://doi.org/10.1180/minmag.1984.048.349.05
- Hopkinson, J., 1890. Magnetic properties of alloys of nickel and iron. Proceedings of the Royal Society of London 1–13.
- Horsman, E., Morgan, S., St Blanquat, M. (de), Habert, G., Nugent, A., Hunter, R.A., Tikoff, B., 2009.
  Emplacement and assembly of shallow intrusions from multiple magma pulses, Henry Mountains, Utah. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh 100, 117–132. https://doi.org/10.1017/S1755691009016089
- Horsman, E., Tikoff, B., Morgan, S., 2005. Emplacement-related fabric and multiple sheets in the Maiden Creek sill, Henry Mountains, Utah, USA. Journal of Structural Geology 27, 1426–1444. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2005.03.003
- Hoskin, P.W., Schaltegger, U., 2003. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. Reviews in mineralogy and geochemistry 53, 27–62. https://doi.org/10.2113/0530027
- Hoskin, P.W.O., 2000. Patterns of chaos: fractal statistics and the oscillatory chemistry of zircon. Geochimica et Cosmochimica Acta 64, 1905–1923. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00330-6
- Ingle, S., Weis, D., Doucet, S., Mattielli, N., 2003. Hf isotope constraints on mantle sources and shallowlevel contaminants during Kerguelen hot spot activity since ~120 Ma: Hf isotope constraints on mantle sources. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 4, n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2002GC000482
- Ingle, S., Weis, D., Scoates, J.S., Frey, F.A., 2002. Relationship between the early Kerguelen plume and continental £ood basalts of the paleo-Eastern Gondwanan margins. Earth and Planetary Science Letters 197, 35–50. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00473-9
- Irvine, T.N., Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of earth sciences 8, 523–548. https://doi.org/10.1139/e71-055

- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L., Belousova, E.A., 2004. The application of laser ablationinductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. Chemical Geology 211, 47–69. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.017
- Jacobson, R.R.E., MacLeod, W.N., Black, R., 1958. Ring-complexes in the younger granite province of Northern Nigeria, Geologycal Society of London. ed. London.
- Jagoutz, O.E., 2010. Construction of the granitoid crust of an island arc. Part II: a quantitative petrogenetic model. Contributions to Mineralogy and Petrology 160, 359–381. https://doi.org/10.1007/s00410-009-0482-6
- Johnson, B.R., Glazner, A.F., 2010. Formation of K-feldspar megacrysts in granodioritic plutons by thermal cycling and late-stage textural coarsening. Contributions to Mineralogy and Petrology 159, 599–619. https://doi.org/10.1007/s00410-009-0444-z
- Jung, S., Hoffer, E., Hoernes, S., 2007. Neo-Proterozoic rift-related syenites (Northern Damara Belt, Namibia): Geochemical and Nd–Sr–Pb–O isotope constraints for mantle sources and petrogenesis. Lithos 96, 415–435. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.11.005
- Kennedy, B., Stix, J., 2007. Magmatic processes associated with caldera collapse at Ossipee ring dyke, New Hampshire. Geological Society of America Bulletin 119, 3–17. https://doi.org/10.1130/B25980.1
- Kent, D.V., Gradstein, F.M., 1986. A Jurassic to recent chronology, in: The Geology of North America. pp. 45–50.
- Kent, R.W., Pringle, M.S., Muller, R.D., Saunders, A., Ghose, N.C., 2002. 40Ar/39Ar Geochronology of the Rajmahal Basalts, India, and their Relationship to the Kerguelen Plateau. Journal of Petrology 43, 1141–1153. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1141
- Kieffer, B., Arndt, N.T., Weis, D., 2002. A bimodal alkalic shield volcano on shiff bank: its place in the evolution of the Kerguelen plateau. Journal of Petrology 43, 1259–1286.
- Klinger, M., Kempe, U., Pöpl, A., Böttcher, R., Trinkler, M., 2012. Paramagnetic hole centres in natural zircon and zircon colouration. European Journal of Mineralogy 24, 1005–1016. https://doi.org/10.1127/0935-1221/2012/0024-2236
- Kogarko, L.N., 1974. Role of volatiles, in: The Alkaline Rocks. H. Sorensen, London, pp. 474–487.
- Kogarko, L.N., Lahaye, Y., Brey, G.P., 2010. Plume-related mantle source of super-large rare metal deposits from the Lovozero and Khibina massifs on the Kola Peninsula, Eastern part of Baltic Shield: Sr, Nd and Hf isotope systematics. Mineralogy and Petrology 98, 197–208. https://doi.org/10.1007/s00710-009-0066-1
- Köksal, S., Cemal Göncüoglu, M., Toksoy-Köksal, F., Möller, A., Kemnitz, H., 2008. Zircon typologies and internal structures as petrogenetic indicators in contrasting granitoid types from central Anatolia, Turkey. Mineralogy and Petrology 93, 185–211. https://doi.org/10.1007/s00710-007-0228-y
- Kostov, I., 1973. Zircon morphology as a Crystallogenetic indicator. Kristall und Technik 8, 11–19. https://doi.org/10.1002/crat.19730080103
- Kramm, U., Kogarko, L.N., 1994. Nd and Sr isotope signatures of the Khibina and Lovozero agpaitic centres, Kola Alkaline province, Russia. Lithos 32, 225–242. https://doi.org/10.1016/0024-4937(94)90041-8
- Kress, V., Carmichael, I.S., 1988. Stoichiometry of the iron oxidation reaction in silicate melts. American Mineralogist 73, 1267–1274.
- Kroenke, L.W., 1974. Origin of continents through development and coalescence of oceanic flood basalt plateaus. EOS. Trans. AGU, Fall Meeting 443.
- Lameyre, J., Marot, A., Zimine, S., Cantagrel, J.M., Dosso, L., Vidal, P., 1976. Chronological evolution of the Kerguelen Islands syenite–granite ring complex. Nature 263, 306–307. https://doi.org/10.1038/263306a0
- Landoll, J.D., Foland, K.A., Henderson, C.M.B., 1994. Nd isotopes demonstrate the role of contamination in the formation of coexisting quartz and nepheline syenites at the Abu Khruq Complex, Egypt. Contributions to Mineralogy and Petrology 117, 305–329. https://doi.org/10.1007/BF00310871
- Lange, R.A., Carmichael, I.S., 1989. Ferric-ferrous equilibria in Na2O-FeO-Fe2O3-SiO2 melts: Effects of analytical techniques on derived partial molar volumes. Geochimica et Cosmochimica Acta 53, 2195–2204. https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90343-8

- Larsen, L.M., 1976. Clinopyroxenes and Coexisting Mafic Minerals from the Alkaline Ilimaussaq Intrusion, South Greenland. Journal of Petrology 17, 258–290. https://doi.org/10.1093/petrology/17.2.258
- Larsen, L.M., Sørensen, H., 1987. The Ilímaussaq intrusion—progressive crystallization and formation of layering in an agpaitic magma. Geological Society, London, Special Publications 30, 473–488. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1987.030.01.23
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, E., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Rock, N.M.S., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W., Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. European Journal of Mineralogy 9, 623–651. https://doi.org/10.1127/ejm/9/3/0623
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Birch, W.D., Burke, E.A.J., Ferraris, G., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Schumacher, J.C., Stephenson, N.C.N., Whittaker, E.J.W., 2004. Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's amphibole nomenclature. Mineralogical Magazine 68, 209–215. https://doi.org/10.1180/0026461046810182
- Leclaire, L., Bassias, Y., Denis-Clocchiatti, M., Davies, H., Gautier, I., Gensous, B., Giannesini, P.-J., Patriat, P., Segoufin, J., Tesson, M., others, 1987. Lower Cretaceous basalt and sediments from the Kerguelen Plateau. Geo-marine letters 7, 169–176. https://doi.org/10.1007/BF02242768
- Leuthold, J., Blundy, J.D., Holness, M.B., Sides, R., 2014. Successive episodes of reactive liquid flow through a layered intrusion (Unit 9, Rum Eastern Layered Intrusion, Scotland). Contributions to Mineralogy and Petrology 168. https://doi.org/10.1007/s00410-014-1021-7
- Leuthold, J., Müntener, O., Baumgartner, L.P., Putlitz, B., Ovtcharova, M., Schaltegger, U., 2012. Time resolved construction of a bimodal laccolith (Torres del Paine, Patagonia). Earth and Planetary Science Letters 325–326, 85–92. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.01.032
- Leyrit, H., 1992. Kerguelen: Cartographie et magmatologie des presqu'îles Jeanne d'arc et Ronarc'h. Paris Sud, Orsay.
- Locock, A.J., 2014. An Excel spreadsheet to classify chemical analyses of amphiboles following the IMA 2012 recommendations. Computers & Geosciences 62, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.09.011
- Loftus, T., Weis, D., Scoates, J.S., Giret, A., 2011. The 13 Ma Monts Ballons alkalic plutonic suite, Kerguelen Archipelago, Indian Ocean, in: American Geophysical Union, Fall Meeting 2011. Presented at the AGU.
- Magee, C., Stevenson, C., O'Driscoll, B., Schofield, N., McDermott, K., 2012. An alternative emplacement model for the classic Ardnamurchan cone sheet swarm, NW Scotland, involving lateral magma supply via regional dykes. Journal of Structural Geology 43, 73–91. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2012.08.004
- Mahan, K.H., Bartley, J.M., Coleman, D.S., Glazner, A.F., Carl, B.S., 2003. Sheeted intrusion of the synkinematic McDoogle pluton, Sierra Nevada, California. Geological Society of America Bulletin 115, 1570. https://doi.org/10.1130/B22083.1
- Mahoney, J.J., Jones, W.B., Frey, F.A., Salters, V.J.M., Pyle, D.G., Davies, H.L., 1995. Geochemical characteristics of lavas from Broken Ridge, the Naturaliste Plateau and southernmost Kerguelen Plateau: Cretaceous plateau volcanism in the southeast Indian Ocean. Chemical Geology 120, 315–345. https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00144-W
- Markl, G., Marks, M.A.W., Frost, B.R., 2010. On the Controls of Oxygen Fugacity in the Generation and Crystallization of Peralkaline Melts. Journal of Petrology 51, 1831–1847. https://doi.org/10.1093/petrology/egq040
- Marks, M., Halama, R., Wenzel, T., Markl, G., 2004. Trace element variations in clinopyroxene and amphibole from alkaline to peralkaline syenites and granites: implications for mineral?melt traceelement partitioning. Chemical Geology 211, 185–215. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.06.032

- Marks, M., Markl, G., 2001. Fractionation and Assimilation Processes in the Alkaline Augite Syenite Unit of the Ilímaussaq Intrusion, South Greenland, as Deduced from Phase Equilibria. Journal of Petrology 42, 1947–1969. https://doi.org/10.1093/petrology/42.10.1947
- Marks, M., Vennemann, T., Siebel, W., Markl, G., 2003. Quantification of Magmatic and Hydrothermal Processes in a Peralkaline Syenite-Alkali Granite Complex Based on Textures, Phase Equilibria, and Stable and Radiogenic Isotopes. Journal of Petrology 44, 1247–1280. https://doi.org/10.1093/petrology/44.7.1247
- Marks, M.A.W., Markl, G., 2017. A global review on agpaitic rocks. Earth-Science Reviews 173, 229–258. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.002
- Marks, M.A.W., Schilling, J., Coulson, I.M., Wenzel, T., Markl, G., 2008. The Alkaline-Peralkaline Tamazeght Complex, High Atlas Mountains, Morocco: Mineral Chemistry and Petrological Constraints for Derivation from a Compositionally Heterogeneous Mantle Source. Journal of Petrology 49, 1097– 1131. https://doi.org/10.1093/petrology/egn019
- Marot, A., Zimine, S., 1976. Les complexes annulaires de syenites et granites alcalins dans la peninsule de Rallier du Baty (Iles Kerguelen, T.A.A.F). Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, Laboratoire Scientifique des T.A.A.F.
- Marsh, B.D., Gunnarsson, B., Congdon, R., Carmody, R., 1991. Hawaiian basalt and Icelandic rhyolite: Indicators of differentiation and partial melting. Geologische Rundschau 80, 481–510. https://doi.org/10.1007/BF01829378
- Martin, E., Martin, H., Sigmarsson, O., 2008. Could Iceland be a modern analogue for the Earth's early continental crust? Terra Nova 20, 463–468. https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2008.00839.x
- Martin, E., Sigmarsson, O., 2007. Crustal thermal state and origin of silicic magma in Iceland: the case of Torfajökull, Ljósufjöll and Snæfellsjökull volcanoes. Contributions to Mineralogy and Petrology 153, 593–605. https://doi.org/10.1007/s00410-006-0165-5
- Martin, R., 2006. A-type granites of crustal origin ultimately result from open-system fenitization-type reactions in an extensional environment. Lithos 91, 125–136. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.03.012
- Mathieu, L., Byrne, P., Guillaume, D., van Wyk de Vries, B., Moine, B., 2011. The field and remote sensing analysis of the Kerguelen Archipelago structure, Indian Ocean. Journal of Volcanology and Geothermal Research 199, 206–215. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2010.11.013
- Mattielli, N., Weis, D., Blicherttoft, J., Albarède, F., 2002. Hf Isotope Evidence for a Miocene Change in the Kerguelen Mantle Plume Composition. Journal of Petrology 43, 1327–1339. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1327
- Mattielli, N., Weis, D., Scoates, J.S., Shimizu, N., Grégoire, M., Mennessier, J.P., Cottin, J.-Y., Giret, A., 1999. Evolution of Heterogeneous Lithospheric Mantle in a Plume Environment Beneath the Kerguelen Archipelago. Journal of Petrology 40, 1721–1744. https://doi.org/10.1093/petroj/40.11.1721
- Mattinson, J.M., Graubard, C.M., Parkinson, D.L., McClelland, W.C., 1996. U-Pb Reverse Discordance in Zircons: The Role of Fine-Scale Oscillatory Zoning and Sub-Micron Transport of Pb, in: Basu, A., Hart, S. (Eds.), Earth Processes: Reading the Isotopic Code. American Geophysical Union, Washington, D. C., pp. 355–370. https://doi.org/10.1029/GM095p0355
- McDonough, W.F., Sun, S. -s., 1995. The composition of the Earth. Chemical Geology 120, 223–253. https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4
- Menand, T., Annen, C., St Blanquat, M. (de), 2015. Rates of magma transfer in the crust: Insights into magma reservoir recharge and pluton growth. Geology 43, 199–202. https://doi.org/10.1130/G36224.1
- Menand, T., St Blanquat, M. (de), Annen, C., 2011. Emplacement of magma pulses and growth of magma bodies. Tectonophysics 500, 1–2. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2010.05.014
- Michel, J., Baumgartner, L.P., Putlitz, B., Schaltegger, U., Ovtcharova, M., 2008. Incremental growth of the Patagonian Torres del Paine laccolith over 90 k.y. Geology 36, 459–465.
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. Earth-Science Reviews 37, 215–224. https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9

- Miller, C.F., Furbish, D.J., Walker, B.A., Claiborne, L.L., Koteas, G.C., Bleick, H.A., Miller, J.S., 2011. Growth of plutons by incremental emplacement of sheets in crystal-rich host: Evidence from Miocene intrusions of the Colorado River region, Nevada, USA. Tectonophysics 500, 65–77. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.07.011
- Miller, C.F., McDowell, S.M., Mapes, R.W., 2003. Hot and cold granites? Implications of zircon saturation temperatures and preservation of inheritance. Geology 31, 529. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2003)031<0529:HACGIO>2.0.CO;2
- Mills, R.D., Glazner, A.F., 2013. Experimental study on the effects of temperature cycling on coarsening of plagioclase and olivine in an alkali basalt. Contributions to Mineralogy and Petrology 166, 97–111. https://doi.org/10.1007/s00410-013-0867-4
- Mingram, B., Trumbull, R., Littman, S., Gerstenberger, H., 2000. A petrogenetic study of anorogenic felsic magmatism in the Cretaceous Paresis ring complex, Namibia: evidence for mixing of crust and mantle-derived components. Lithos 54, 1–22. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00033-5
- Mitchell, R.H., 1996. Compositional Variation of Pyroxene and Mica from the Little Murun Ultrapotassic Complex, Aldan Shield, Russia. Mineralogical Magazine 60, 907–925. https://doi.org/10.1180/minmag.1996.060.403.06
- Mitchell, R.H., 1990. A review of the compositional variation of amphiboles in alkaline plutonic complexes. Lithos 26, 135–156. https://doi.org/10.1016/0024-4937(90)90044-2
- Mitchell, R.H., Platt, R.G., 1982. Mineralogy and Petrology of Nepheline Syenites from the Coldwell Alkaline Complex, Ontario, Canada. Journal of Petrology 23, 186–214. https://doi.org/10.1093/petrology/23.2.186
- Montelli, R., 2004. Finite-Frequency Tomography Reveals a Variety of Plumes in the Mantle. Science 303, 338–343. https://doi.org/10.1126/science.1092485
- Moore, J., White, W.M., Paul, D., Duncan, R.A., Abouchami, W., Galer, S.J.G., 2011. Evolution of shieldbuilding and rejuvenescent volcanism of Mauritius. Journal of Volcanology and Geothermal Research 207, 47–66. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2011.07.005
- Morgan, J., Reston, T., Ranero, C., 2004. Contemporaneous mass extinctions, continental flood basalts, and 'impact signals': are mantle plume-induced lithospheric gas explosions the causal link? Earth and Planetary Science Letters 217, 263–284. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00602-2
- Morgan, S., Stanik, A., Horsman, E., Tikoff, B., de Saint Blanquat, M., Habert, G., 2008. Emplacement of multiple magma sheets and wall rock deformation: Trachyte Mesa intrusion, Henry Mountains, Utah. Journal of Structural Geology 30, 491–512. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.01.005
- Morgan, W.J., 1971. Convection Plumes in the Lower Mantle. Nature 230, 42–43. https://doi.org/10.1038/230042a0
- Nasdala, L., Lengauer, C.L., Hanchar, J.M., Kronz, A., Wirth, R., Blanc, P., Kennedy, A.K., Seydoux-Guillaume, A.-M., 2002. Annealing radiation damage and the recovery of cathodoluminescence. Chemical Geology 191, 121–140. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00152-3
- Nash, W.P., 1972. Mineralogy and Petrology of the Iron Hill Carbonatite Complex, Colorado. Geological Society of America Bulletin 83, 1361. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1972)83[1361:MAPOTI]2.0.CO;2
- Neal, C.R., Davidson, J.P., 1989. An unmetasomatized source for the Malaitan alnöite (Solomon Islands): Petrogenesis involving zone refining, megacryst fractionation, and assimilation of oceanic lithosphere. Geochimica et Cosmochimica Acta 53, 1975–1990. https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90318-9
- Neal, C.R., Mahoney, J.J., Chazey III, W.J., 2002. Mantle sources and highly variable role of continental lithosphere in basalt petrogenesis of the Kerguelen Plateau and Broken Ridge LIP: Results from ODP Leg 183. Journal of Petrology 43, 1177–1205. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1177
- Nesbitt, R.W., Talbot, J.L., 1966. The layered basic and ultrabasic intensives of the Giles Complex, Central Australia. Contributions to Mineralogy and Petrology 13, 1–11. https://doi.org/10.1007/BF00518123
- Nicolaysen, K., Bowring, S.A., Frey, F.A., Weis, D., Pringle, M.S., Coffin, M.F., 2001. Provenance of Proterozoic garnet-biotite gneiss recovered from Elan Bank, Kerguelen Plateau, southern Indian

Ocean. Geology 29, 235–238. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0235:POPGBG>2.0.CO;2

- Nicolaysen, K., Frey, F.A., Hodges, K.V., Weis, D., Giret, A., 2000. 40Ar/39Ar geochronology of flood basalts from the Kerguelen Archipelago, southern Indian Ocean: implications for Cenozoic eruption rates of the Kerguelen plume. Earth and Planetary Science Letters 174, 313–328. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(99)00271-X
- Nougier, J., 1972. Geochronology of the Volcanic activity in îles Kerguelen, in: Antarctic Geology and Geophysics, Scientific Committee on Antarctic Research. R.J. Adie, Oslo, pp. 809–815.
- Nougier, J., 1969. Contribution à l'étude géologique et géomorphologique des îles Kerguelen, CNFRA. Comité national français pour les recherches antarctiques.
- Nougier, J., 1963. Les phases volcaniques successives dans la péninsule Rallier du Baty (archipel des Kerguelen). Comptes rendus de l'Academie des Sciences.
- Nougier, J., Ballestracci, R., Blavoux, B., 1982. Les manifestations post-volcaniques dans les îles australes françaises 'TAAF): zones fumerolliennes et sources thermo-minérales. Comptes rendus de l'Academie des Sciences 295, 389–392.
- Nougier, J., Pawlowski, D., Cantagrel, J.-M., 1983. Chronospatial Evolution of the Volcanic Activity in Southeastern Kerguelen (T.A.A.F.), in: Antarctic Earth Science. Oliver, R. L., James, P. R. & Jabo, J. B., Cambridge, pp. 640–645.
- Nur, A., Ben-Avraham, Z., 1982. Oceanic plateaus, the fragmentation of continents, and mountain building. Journal of Geophysical Research 87, 3644. https://doi.org/10.1029/JB087iB05p03644
- Olierook, H.K.H., Jourdan, F., Merle, R.E., Timms, N.E., Kusznir, N., Muhling, J.R., 2016. Bunbury Basalt: Gondwana breakup products or earliest vestiges of the Kerguelen mantle plume? Earth and Planetary Science Letters 440, 20–32. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.02.008
- Olierook, H.K.H., Merle, R.E., Jourdan, F., 2017. Toward a Greater Kerguelen large igneous province: Evolving mantle source contributions in and around the Indian Ocean. Lithos 282–283, 163–172. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.03.007
- Olierook, H.K.H., Merle, R.E., Jourdan, F., Sircombe, K., Fraser, G., Timms, N.E., Nelson, G., Dadd, K.A., Kellerson, L., Borissova, I., 2015. Age and geochemistry of magmatism on the oceanic Wallaby Plateau and implications for the opening of the Indian Ocean. Geology 43, 971–974. https://doi.org/10.1130/G37044.1
- Operto, S., Charvis, P., 1996. Deep structure of the southern Kerguelen Plateau (southern Indian Ocean) from ocean bottom seismometer wide-angle seismic data. Journal of Geophysical Research 101, 25077–25103. https://doi.org/10.1029/96JB01758
- Operto, S., Charvis, P., 1995. Kerguelen Plateau: A volcanic passive margin fragment? Geology 23, 137–140.
- Owen-Smith, T.M., Ashwal, L.D., Torsvik, T.H., Ganerød, M., Nebel, O., Webb, S.J., Werner, S.C., 2013. Seychelles alkaline suite records the culmination of Deccan Traps continental flood volcanism. Lithos 182–183, 33–47. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.09.011
- Pankhurst, R.J., Beckinsale, R.D., Brooks, C.K., 1976. Strontium and oxygen isotope evidence relating to the petrogenesis of the Kangerdlugssuaq alkaline instrusion, East Greenland. Contributions to Mineralogy and Petrology 54, 17–42. https://doi.org/10.1007/BF00370870
- Petford, N., Cruden, A.R., McCaffrey, K.J., Vigneresse, J.-L., 2000. Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust. Nature 408, 669–673. https://doi.org/10.1038/35047000
- Pidgeon, R.T., 1992. Recrystallisation of oscillatory zoned zircon: some geochronological and petrological implications. Contributions to Mineralogy and Petrology 110, 463–472. https://doi.org/10.1007/BF00344081
- Pidgeon, R.T., Compston, W., 1992. A SHRIMP ion microprobe study of inherited and magmatic zircons from four Scottish Caledonian granites. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 83, 473–483. https://doi.org/10.1017/S0263593300008142
- Platt, R.G., Wall, F., Williams, C.T., Woolley, A.R., 1987. Zirconolite, chevkinite and other rare earth minerals from nepheline syenites and peralkaline granites and syenites of the Chilwa Alkaline Province, Malawi. Mineralogical Magazine 51, 253–263.

- Poldervaart, A., 1955. Zircons in rocks; Part 1, Sedimentary rocks; Part 2, Igneous rocks. American Journal of Science 253, 433–461. https://doi.org/10.2475/ajs.253.8.433
- Pringle, M.S., 2008. A simple linear age progression for the Ninetyeast Ridge, Indian Ocean: New constraints on Indian plate motion and hot spot dynamics. EOS. Trans. AGU, Fall Meeting, Fall Meet. Suppl. 89, Abstract T54B-03.
- Pringle, M.S., 2007. New Ar/Ar ages from the Ninetyeast Ridge, Indian Ocean: Beginning of a robust Indo-Atlantic hotspot reference frame. EOS. Trans. AGU, Fall Meeting 88, Abstract U13A-0871.
- Pupin, J.P., 1980. Zircon and granite petrology. Contributions to Mineralogy and Petrology 73, 207–220. https://doi.org/10.1007/BF00381441
- Quilty, P.G., Wheller, G.E., 2000. Heard Island and the McDonald Islands: a window into the Kerguelen Plateau, in: Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania. pp. 1–12.
- Recq, M., Brefort, D., Malod, J., Veinante, J.-L., 1990. The Kerguelen Isles (southern Indian Ocean): new results on deep structure from refraction profiles. Tectonophysics 182, 227–248. https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90165-5
- Remond, G., Phillips, M.R., Roques-Carmes, C., 2000. Importance of Instrumental and Experimental Factors on the Interpretation of Cathodoluminescence Data from Wide Band Gap Materials, in: Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., Ohnenstetter, D. (Eds.), Cathodoluminescence in Geosciences. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 59–126. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04086-7\_4
- Richey, J.E., 1928. The Structural Relations of the Mourne Granites, Northern Ireland. Quarterly Journal of the Geological Society 83, 653–687. https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1927.083.01-05.27
- Ridolfi, F., Renzulli, A., Macdonald, R., Upton, B., 2006. Peralkaline syenite autoliths from Kilombe volcano, Kenya Rift Valley: Evidence for subvolcanic interaction with carbonatitic fluids. Lithos 91, 373–392. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.03.026
- Riishuus, M.S., Peate, D.W., Tegner, C., Wilson, J.R., Brooks, C.K., 2008. Petrogenesis of Cogenetic Silica-Oversaturated and -Undersaturated Syenites by Periodic Recharge in a Crustally Contaminated Magma Chamber: the Kangerlussuaq Intrusion, East Greenland. Journal of Petrology 49, 493–522. https://doi.org/10.1093/petrology/egm090
- Riley, T.R., Leat, P.T., Storey, B.C., Parkinson, I.J., Millar, I.L., 2003. Ultramafic lamprophyres of the Ferrar large igneous province: evidence for a HIMU mantle component. Lithos 66, 63–76. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00213-X
- Romé De l'Isle (de), J.-B.L., 1772. Essai de cristallographie ou description des figures géométriques propres à différents corps du règne minéral. Didot, Paris.
- Roubault, M., 1963. Détermination des minéraux des roches au microscope, Lamarre-Poinat. ed. Paris.
- Royer, J.-Y., Coffin, M.F., 1988. 50. Jurassic to eocene plate tectonic reconstructions in the Kerguelen plateau region, in: Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results. pp. 917–928.
- Royer, J.-Y., Sandwell, D.T., 1989. Evolution of the eastern Indian Ocean since the Late Cretaceous: Constraints from Geosat altimetry. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 94, 13755–13782. https://doi.org/10.1029/JB094iB10p13755
- Royer, J.-Y., Schlich, R., 1988. Southeast Indian Ridge Between the Rodriguez Triple Junction and the Amsterdam and Saint-Paul Islands: Detailed Kinematics for the Past 20 m.y. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 93, 13524–13550. https://doi.org/10.1029/JB093iB11p13524
- Rubatto, D., Gebauer, D., 2000. Use of Cathodoluminescence for U-Pb Zircon Dating by Ion Microprobe: Some Examples from the Western Alps, in: Pagel, M., Barbin, V., Blanc, P., Ohnenstetter, D. (Eds.), Cathodoluminescence in Geosciences. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 373– 400. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04086-7\_15
- Rüssel, C., Wiedenroth, A., 2004. The effect of glass composition on the thermodynamics of the Fe2+/Fe3+ equilibrium and the iron diffusivity in Na2O/MgO/CaO/Al2O3/SiO2 melts. Chemical Geology 213, 125–135. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2004.08.037
- Saunders, A.D., Tarney, J., Kerr, A.C., Kent, R.W., 1996. The formation and fate of large oceanic igneous provinces. Lithos 37, 81–95. https://doi.org/10.1016/0024-4937(95)00030-5

- Schärer, U., 1984. The effect of initial230Th disequilibrium on young UPb ages: the Makalu case, Himalaya. Earth and Planetary Science Letters 67, 191–204. https://doi.org/10.1016/0012-821X(84)90114-6
- Schärer, U., Tapponnier, P., Lacassin, R., Leloup, P.H., Zhong Dalai, Ji Shaocheng, 1990. Intraplate tectonics in Asia: A precise age for large-scale Miocene movement along the Ailao Shan-Red River shear zone, China. Earth and Planetary Science Letters 97, 65–77. https://doi.org/10.1016/0012-821X(90)90099-J
- Schonenberger, J., Markl, G., 2008. The Magmatic and Fluid Evolution of the Motzfeldt Intrusion in South Greenland: Insights into the Formation of Agpaitic and Miaskitic Rocks. Journal of Petrology 49, 1549–1577. https://doi.org/10.1093/petrology/egn037
- Scoates, J.S., Weis, D., Franssens, M., Mattielli, N., Annell, H., Frey, F.A., Nicolaysen, K., Giret, A., 2007. The Val Gabbro Plutonic Suite: A Sub-volcanic Intrusion Emplaced at the End of Flood Basalt Volcanism on the Kerguelen Archipelago. Journal of Petrology 49, 79–105. https://doi.org/10.1093/petrology/egm071
- Scott, D.J., Helmstaedt, H., Bickle, M.J., 1992. Purtuniq ophiolite, Cape Smith belt, northern Quebec, Canada: A reconstructed section of Early Proterozoic oceanic crust. Geology 20, 173. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1992)020<0173:POCSBN>2.3.CO;2
- Shaw, H.R., 1985. Links between magma-tectonic rate balances, plutonism, and volcanism. Journal of Geophysical Research 90, 11275. https://doi.org/10.1029/JB090iB13p11275
- Sørensen, H., 1974. The Alkaline Rocks, Wiley and Sons. ed. H. Sorensen, London.
- St Blanquat, M. (de), Habert, G., Horsman, E., Morgan, S.S., Tikoff, B., Launeau, P., Gleizes, G., 2006. Mechanisms and duration of non-tectonically assisted magma emplacement in the upper crust: The Black Mesa pluton, Henry Mountains, Utah. Tectonophysics 428, 1–31. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.07.014
- St Blanquat, M. (de), Horsman, E., Habert, G., Morgan, S., Vanderhaeghe, O., Law, R., Tikoff, B., 2011. Multiscale magmatic cyclicity, duration of pluton construction, and the paradoxical relationship between tectonism and plutonism in continental arcs. Tectonophysics 500, 20–33. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.12.009
- St Blanquat, M. (de), Law, R.D., Bouchez, J.-L., Morgan, S.S., 2001. Internal structure and emplacement of the Papoose Flat pluton: An integrated structural, petrographic, and magnetic susceptibility study. Geological Society of America Bulletin 113, 976–995. https://doi.org/10.1130/0016-7606(2001)113<0976:ISAEOT>2.0.CO;2
- Stacey, J.S., Kramers, J.D., 1975. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. Earth and Planetary Science Letters 26, 207–221. https://doi.org/10.1016/0012-821X(75)90088-6
- Stephenson, D., 1972. Alkali clinopyroxenes from nepheline syenites of the South Qôroq Centre, south Greenland. Lithos 5, 187–201. https://doi.org/10.1016/0024-4937(72)90069-2
- Stevenson, C.T.E., Owens, W.H., Hutton, D.H.W., Hood, D.N., Meighan, I.G., 2007. Laccolithic, as opposed to cauldron subsidence, emplacement of the Eastern Mourne pluton, N. Ireland: evidence from anisotropy of magnetic susceptibility. Journal of the Geological Society 164, 99–110. https://doi.org/10.1144/0016076492006-008
- Stevenson, R., Upton, B.G.J., Steenfelt, A., 1997. Crust-mantle interaction in the evolution of the Ilímaussaq Complex, South Greenland: Nd isotopic studies. Lithos 40, 189–202. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(97)00025-X
- Sun, S. -s., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications 42, 313–345. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19
- Sushchevskaya, N.M., Migdisova, N.A., Antonov, A.V., Krymsky, R.S., Belyatsky, B.V., Kuzmin, D.V., Bychkova, Y.V., 2014. Geochemical features of the quaternary lamproitic lavas of Gaussberg Volcano, East Antarctica: Result of the impact of the Kerguelen plume. Geochemistry International 52, 1030–1048. https://doi.org/10.1134/S0016702914120106
- Tappe, S., Foley, S.F., Jenner, G.A., Heaman, L.M., Kjarsgaard, B.A., Romer, R.L., Stracke, A., Joyce, N., Hoefs, J., 2006. Genesis of Ultramafic Lamprophyres and Carbonatites at Aillik Bay, Labrador: a

Consequence of Incipient Lithospheric Thinning beneath the North Atlantic Craton. Journal of Petrology 47, 1261–1315. https://doi.org/10.1093/petrology/egl008

- Tikku, A.A., Cande, S.C., 2000. On the fit of Broken Ridge and Kerguelen plateau. Earth and Planetary Science Letters 180, 117–132. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00157-6
- Tikoff, B., St Blanquat, M. (de), Teyssier, C., 1999. Translation and the resolution of the pluton space problem. Journal of Structural Geology 21, 1109–1117. https://doi.org/10.1016/S0191-8141(99)00058-9
- Tilley, C.E., 1950. Some aspects of magmatic evolution. Quarterly Journal of the Geological Society 106, 37–61. https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1950.106.01-04.04
- Timms, N.E., Reddy, S.M., 2009. Response of cathodoluminescence to crystal-plastic deformation in zircon. Chemical Geology 261, 12–24. https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.09.008
- Troll, V.R., Walter, T.R., Schmincke, H.-U., 2002. Cyclic caldera collapse: Piston or piecemeal subsidence? Field and experimental evidence. Geology 30, 135. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0135:CCCPOP>2.0.CO;2
- Tucker, R.D., Ashwal, L.D., Torsvik, T.H., 2001. U–Pb geochronology of Seychelles granitoids: a Neoproterozoic continental arc fragment. Earth and Planetary Science Letters 187, 27–38. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00282-5
- Uenzelmann-Neben, G., 2013. Volcanology: Magma giant. Nature Geoscience 6, 902–903. https://doi.org/10.1038/ngeo1958
- Ussing, N.V., 1912. Geology of the country around Julianehaab, Greenland. Meddelelser om Grønland, C.A. Reitzel. ed. Copenhagen.
- Vail, J.R., 1985. Alkaline ring complexes in Sudan. Journal of African Earth Sciences (1983) 3, 51–59. https://doi.org/10.1016/0899-5362(85)90022-3
- Vavra, G., 1993. A guide to quantitative morphology of accessory zircon. Chemical Geology 110, 15–28. https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90245-E
- Vavra, G., 1990. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance: a cathodoluminescence study. Contributions to Mineralogy and Petrology 106, 90–99.
- Vigneresse, J.L., Barbey, P., Cuney, M., 1996. Rheological Transitions During Partial Melting and Crystallization with Application to Felsic Magma Segregation and Transfer. Journal of Petrology 37, 1579–1600. https://doi.org/10.1093/petrology/37.6.1579
- Vigneresse, J.-L., Tikoff, B., Améglio, L., 1999. Modification of the regional stress field by magma intrusion and formation of tabular granitic plutons. Tectonophysics 302, 203–224. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00285-6
- Vuorinen, J.H., 2005. The Alnö alkaline and carbonatitic complex, east central Sweden a petrogenetic study. Stockholm, Stockholm.
- Wasilewski, B., Doucet, L.S., Moine, B., Beunon, H., Delpech, G., Mattielli, N., Debaille, V., Delacour, A., Grégoire, M., Guillaume, D., Cottin, J.-Y., 2017. Ultra-refractory mantle within oceanic plateau: Petrology of the spinel harzburgites from Lac Michèle, Kerguelen Archipelago. Lithos 272–273, 336–349. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2016.12.010
- Watkins, N.D., Gunn, B.M., Nougier, J., Baksi, A.K., 1974. Kerguelen: Continental Fragment or Oceanic Island? Geological Society of America Bulletin 85, 201. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<201:KCFOOI>2.0.CO;2
- Watson, E.B., Liang, Y., 1995. A simple model for sector zoning in slowly grown crystals; implications for growth rate and lattice diffusion, with emphasis on accessory minerals in crustal rocks. American Mineralogist 80, 1179–1187. https://doi.org/10.2138/am-1995-11-1209
- Wedepohl, K.H., 1991. Chemical composition and fractionation of the continental crust. Geologische Rundschau 80, 207–223. https://doi.org/10.1007/BF01829361
- Weis, D., Frey, F.A., 2002. Submarine Basalts of the Northern Kerguelen Plateau: Interaction Between the Kerguelen Plume and the Southeast Indian Ridge REvealed at ODP Site 1140. Journal of Petrology 43, 1287–1309. https://doi.org/10.1093/petrology/43.7.1287
- Weis, D., Frey, F.A., Giret, A., Cantagrel, J.M., 1998. Geochemical characteristics of the youngest volcano (Mount Ross) in the Kerguelen Archipelago: inferences for magma flux, lithosphere assimilation

and composition of the Kerguelen plume. Journal of Petrology 39, 973–994. https://doi.org/10.1093/petroj/39.5.973

- Weis, D., Frey, F.A., Leyrit, H., Gautier, I., 1993. Kerguelen Archipelago revisited: geochemical and isotopic study of the Southeast Province lavas. Earth and Planetary Science Letters 118, 101–119. https://doi.org/10.1016/0012-821X(93)90162-3
- Weis, D., Frey, F.A., Schlich, R., Schaming, M., Montigny, R., Damasceno, D., Mattielli, N., Nicolaysen, K.E., Scoates, J.S., 2002. Trace of the Kerguelen mantle plume: Evidence from seamounts between the Kerguelen Archipelago and Heard Island, Indian Ocean. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 3, 1–27. https://doi.org/10.1029/2001GC000251
- Weis, D., Giret, A., 1994. Kerguelen plutonic complexes: Sr,Nd,Pb isotopic study and inferences about their sources, age and geodynamic settings. Mémoires de la Société géologiques de France.
- Weis, D., Ingle, S., Damasceno, D., Frey, F.A., Nicolaysen, K., Barling, J., others, 2001. Origin of continental components in Indian Ocean basalts: Evidence from Elan Bank (Kerguelen Plateau, ODP Leg 183, Site 1137). Geology 29, 147–150. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0147:OOCCII>2.0.CO;2
- White, R., Tarney, J., Kerr, A., Saunders, A., Kempton, P., Pringle, M., Klaver, G., 1999. Modification of an oceanic plateau, Aruba, Dutch Caribbean: Implications for the generation of continental crust. Lithos 46, 43–68. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(98)00061-9
- White, S.M., Crisp, J.A., Spera, F.J., 2006. Long-term volumetric eruption rates and magma budgets: Eruption rates and magma budgets. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 7. https://doi.org/10.1029/2005GC001002
- Whitechurch, H., Montigny, R., Sevigny, J., Storey, M., Salters, V., 1992. K-Ar and 40Ar-39Ar ages of central Kerguelen Plateau basalts, in: Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results. pp. 71–77.
- Widom, E., Gill, J.B., Schmincke, H.-U., 1993. Syenite Nodules as a Long-Term Record of Magmatic Activity in Agua de Pao Volcano, Sao Miguel, Azores. Journal of Petrology 34, 929–953. https://doi.org/10.1093/petrology/34.5.929
- Wiebe, R.A., 2004. Late-Stage Mafic Injection and Thermal Rejuvenation of the Vinalhaven Granite, Coastal Maine. Journal of Petrology 45, 2133–2153. https://doi.org/10.1093/petrology/egh050
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., Quadt, A. von, Roddick, J.C., Spiegel, W., 1995. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. Geostandards newsletter 19, 1–23. https://doi.org/10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x
- Wolff, J.A., 1987. Crystallisation of nepheline syenite in a subvolcanic magma system: Tenerife, canary islands. Lithos 20, 207–223. https://doi.org/10.1016/0024-4937(87)90009-0
- Woolley, A.R., Jones, G.C., 1992. The alkaline/peralkaline syenite-granite complex of Zomba-Malosa, Malawi: mafic mineralogy and genesis. Journal of African Earth Sciences (and the Middle East) 14, 1–12. https://doi.org/10.1016/0899-5362(92)90050-M
- Xu, G., Frey, F.A., Weis, D., Scoates, J.S., Giret, A., 2007. Flood basalts from Mt. Capitole in the central Kerguelen Archipelago: Insights into the growth of the archipelago and source components contributing to plume-related volcanism: FLOOD BASALTS IN KERGUELEN ARCHIPELAGO. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 8, n/a-n/a. https://doi.org/10.1029/2007GC001608
- Yang, H.-J., Frey, F.A., Weis, D., Giret, A., Pyle, D., Michon, G., 1998. Petrogenesis of the flood basalts forming the northern Kerguelen Archipelago: implications for the Kerguelen plume. Journal of Petrology 39, 711–748. https://doi.org/10.1093/petroj/39.4.711
- Zhao, D., 2015. Multiscale Seismic Tomography, in: Multiscale Seismic Tomography. Springer Japan, Tokyo. https://doi.org/10.1007/978-4-431-55360-1\_1
- Zhao, D., 2009. Multiscale seismic tomography and mantle dynamics. Gondwana Research 15, 297–323. https://doi.org/10.1016/j.gr.2008.07.003
- Zhu, D.-C., Chung, S.-L., Mo, X.-X., Zhao, Z.-D., Niu, Y., Song, B., Yang, Y.-H., 2009. The 132 Ma Comei-Bunbury large igneous province: Remnants identified in present-day southeastern Tibet and southwestern Australia. Geology 37, 583–586. https://doi.org/10.1130/G30001A.1
- Zimmerle, W., 1975. Accessory Zircon from Rhyolite, Yellowstone National Park (Wyoming, U.S.A.). Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 130, 361–369.

# Annexes

- Annexe n°1 : Carte topographique IGN de la péninsule de Rallier du Baty
- Annexe n°2 : Liste des abréviations utilisées
- Annexe n°3 : Liste des points GPS des échantillons
- Annexe n°4 : Carte de localisation des échantillons (13TKXX)
- Annexe n°5 : Carte de localisation des échantillons (TC09 -KXX)
- Annexe n°6 : Mesures des fabriques (foliations magmatiques) observées sur le terrain
- Annexe n°7 : Protocole d'échantillonnage et d'analyse pour l'anisotropie de susceptibilité magnétique
- Annexe n°8 : Données d'anisotropie de susceptibilité magnétique
- Annexe n°9 : Données U-Pb sur zircons
- Annexe n°10 : Données d'analyses microsondes et formules structurales des pyroxènes
- Annexe n°11 : Données d'analyses microsondes et formules structurales des amphiboles
- Annexe n°12 : Données d'analyses en éléments majeurs et traces sur roche totale
- Annexe n°13 : Protocole de séparation des isotopes Rb/Sr et Sm/Nd
- Annexe n°14 : Résultats des modélisations isotopiques (Mixing / AFC)
- Annexe n°15 : Compilation des données isotopiques (et géochronologiques) disponibles dans la littérature modifiée d'après Olierook et al. (2017) et calculs à l'état initial (âge biblio + âge à 14 Ma)

. 94 5 km LA MOUCHE ш LL L 50190 Potillon np -14 2 m 1ª Coules 7 LEG ш ă 0 la Grande Coulée 2 3 **filles** 2

Annexe n° 1 : Carte topographique IGN de la péninsule de Rallier du Baty
## Annexe n° 2 : Liste des abréviations

Structure :

RdB:	Rallier du Baty	Di	Diopside
SRBIC :	South Rallier du Baty Igneous Complex	En	Enstatite (clino)
CRBIC :	Central Rallier du Baty igneous complex	Prg	Pargasite
NKP:	North part of the Kerguelen Plateau	Ар	Apatite
CKP:	Center part of the Kerguelen Plateau	Zrn	Zircon
SKP:	South part of the Kerguelen Plateau	Bt	Biotite
KIR :	Kerguelen Intrusive Rocks	Hbl	Hornblendes
BR:	Broken Ridge	Ру	Pyrite
EB:	Elan Bank	Ttn	Titanite
SB:	Skiff Bank	Ox	Oxydes (Fe-Ti)
CR:	Crozet Islands	Act	Actinolite
ASP:	Amsterdam-and Saint Paul islands	Fsp	Feldspaths
C :	Crozet islands	Opq	Opaques (oxydes de Fe-Ti)
CR:	Conrad Rise	Prt	Perthites
G :	Gaussberg volcano	Qz	Quartz
К:	Kerguelen archipelago	Chv	Chevkinite
PE:	Prince Edouard islands	Срх	Clinopyroxènes
U1	Unité structurale 1	Arf	Arfvedsonite
U2	Unité structurale 2	Eck	Eckermannite
U3	Unité structurale 3	Aeg	Aegirine
ASM	Anisotropie de Susceptibilité Magnétique	Ang	Aenigmatite
Km	Susceptibilité moyenne	FI	Fluorite
Рр	Anisotropie totale	Ast	Astrophyllite
Т	Paramètre de forme	Pcl	Pyrochlore
		Ab	Albite
Pétrogr	aphie:	Hd	Hédenbergite
CaS	Groupe des syénites calciques	Jd	Jadéite
CaNaS	Groupe des syénites calco-sodiques	Fs	Ferrosilite
NaS	Groupe des syénites sodiques	Q	Quad = Wollastonite, Enstatite
Chl	Chlorite	Et	Ferrosilite
Ep	Epidote	Ed	Edenite
Ol	Olivine	Tr	Trémolite
Px	Pyroxènes	Hst	Hastingsite
Amp	Amphibole	Ktp	Katophorite
Pl	Plagioclases	Rct	Richtérite
Phl	Phlogopite	Wnc	Winchite

Annexe n°3 : Liste des points GI	PS des échantillons
----------------------------------	---------------------

		UTI	Μ	Decimal of	degrees	Degree	s Minutes Seconds	
	SAMPLE	lat	lon	lat	lon	lat	lon	
х	□ 13TK001	4492472	494060	-49.72023	68.91759	49°43'12.81"	S 68°55'03.34"	Е
v	13TK002	4492607	493966	_40 71001	68 01620	40°43'08 43"	S 68°54'58 65"	F
^	□ 13TK007	4498502	496228	-49 66601	68 94773	49°39'57 62"	S 68°56'51 82"	F
x	13TK008	4498992	496344	-49 66160	68 94934	49°39'41 75"	S 68°56'57 63"	F
~	□ 13TK021	4495936	495603	-49 68908	68 93904	49°41'20 69"	S 68°56'20 54"	F
	□ 13TK022	4496063	495639	-49.68794	68.93954	49°41'16.58"	S 68°56'22.34"	Ē
х	□ 13TK023	4496063	495639	-49.68794	68.93954	49°41'16.58"	S 68°56'22.34"	Е
	□ 13TK026	4497722	495386	-49.67302	68.93605	49°40'22.85"	S 68°56'09.79"	E
х	13TK031	4499670	491714	-49.65545	68.88520	49°39'19.64"	S 68°53'06.72"	E
	□ 13TK032	4495281	495059	-49.69497	68,93149	49°41'41.88"	S 68°55'53.36"	Е
	□ 13TK034	4495352	495053	-49.69433	68.93141	49°41'39.59"	S 68°55'53.06"	Е
	13TK036	4495241	495035	-49.69533	68.93116	49°41'43.18"	S 68°55'52.16"	Е
	□ 13TK041	4495228	494815	-49.69544	68.92811	49°41'43.59"	S 68°55'41.18"	Е
х	13TK042	4495126	494725	-49.69636	68.92686	49°41'46.89"	S 68°55'36.68"	Е
х	<ul> <li>13TK043</li> </ul>	4495126	494725	-49.69636	68.92686	49°41'46.89"	S 68°55'36.68"	Е
х	<ul> <li>13TK045</li> </ul>	4495126	494725	-49.69636	68.92686	49°41'46.89"	S 68°55'36.68"	Е
х	<ul> <li>13TK047</li> </ul>	4494657	501167	-49.70060	69.01618	49°42'02.16"	S 69°00'58.26"	Е
	13TK053	4493914	494121	-49.70726	68.91846	49°42'26.12"	S 68°55'06.46"	Е
	□ 13TK054	4494183	494187	-49.70484	68.91938	49°42'17.41"	S 68°55'09.77"	Е
	□ 13TK055	4494469	494481	-49.70227	68.92346	49°42'08.16"	S 68°55'24.47"	Е
	□ 13TK057	4494709	494489	-49.70011	68.92358	49°42'00.39"	S 68°55'24.88"	Е
	□ 13TK059	4494943	494594	-49.69800	68.92504	49°41'52.81"	S 68°55'30.13"	Е
	□ 13TK060	4495725	495524	-49.69098	68.93794	49°41'27.52"	S 68°56'16.59"	Е
	□ 13TK061	4495648	495511	-49.69167	68.93776	49°41'30.01"	S 68°56'15.94"	E
	□ 13TK062	4495648	495487	-49.69167	68.93743	49°41'30.01"	S 68°56'14.74"	E
х	13TK063	4495387	495341	-49.69402	68.93540	49°41'38.46"	S 68°56'07.44"	E
	□ 13TK064	4495345	495212	-49.69439	68.93361	49°41'39.82"	S 68°56'85601"	E
	□ 13TK065	4495220	494934	-49.69552	68.92976	49°41'43.86"	S 68°55'47.12"	E
	□ 13TK066	4498152	495070	-49.66915	68.93168	49°40'08.92"	S 68°55'54.04"	E
	□ 131K067	4499295	495349	-49.65887	68.93556	49°39'31.92"	S 68°56'08.01"	E
	□ 131K068	4500364	495545	-49.64925	68.93829	49*38'57.3'1"	S 68°56°17.83°	E
X	■ 131K009 - 12TK060	4503394	490121	-49.62200	68.94630	49 37 19.21	5 08 00 40.00 6 60°56'47 45"	
v	= 13TK009	4503394	490121	-49.02200	68 03811	49 30 03.09 40°30'10"	5 00 00 17.10 S 68°56'08 30"	
×	■ 13TK070	4302020	495551	-49.03430	68 03566	49 39 10 40°30'10"	S 68°56'08 30"	
×	13TK077	4499972	495356	-49.05278	68 03566	49 39 10 40°30'10"	S 68°56'08 30"	
	□ 13TK079	4500008	496946	-49.65246	68.95769	49°39'22.46"	S 68°58'53.71"	Ē
v	13TK080	1100580	108671	10 65624	68 08150	40°40'21 05"	S 68°54'40 33"	F
Ŷ	13TK081	4497776	493593	-49.67251	68 91120	49°41'05 1"	S 68°55'00 41"	F
^	□ 13TK096	4496416	400000	-49 68475	68 91678	40°37'30 35"	S 68°58'840 3"	F
x	■ 13TK101	4503051	498401	-49 62510	68 97786	40°37'24 55"	S 68°57'52 75"	F
~	□ 13TK103	4503230	497447	-49.62349	68.96465	49°37'24.55"	S 68°57'52.75"	E
x	■ 13TK104	4502343	497474	-49.63146	68.96502	49°37'53.27"	S 68°57'54.07"	Ē
	□ 13TK105	4501927	497649	-49.63521	68.96744	49°38'06.74"	S 68°58'02.79"	E
х	□ 13TK106	4501744	497783	-49.63685	68,96930	49°38'12.67"	S 68°58'09.47"	Е
х	13TK108	4500926	498194	-49.64421	68.97498	49°38'39.16"	S 68°58'29.94"	Е
х	13TK117	4498531	497844	-49.66575	68.97012	49°39'56.71"	S 68°58'12.44"	Е
х	<ul> <li>13TK118</li> </ul>	4498549	505690	-49.66557	69.07885	49°39'56.04"	S 69°04'43.86"	Е
х	<ul> <li>TC09-06</li> </ul>	4494112	494120	-49.70547	68.91845	49°42'19.69"	S 68°55'06.42"	Е
	TC09-13	4494685	494450	-49.70032	68.92303	49°42'01.15"	S 68°55'22.91"	Е
	□ TC09-18	4495071	494697	-49.69685	68.92647	49°41'48.66"	S 68°55'35.29"	Е
	□ TC09-26	4497361	491752	-49.67622	68.88568	49°40'34.39"	S 68°53'08.45"	E
	□ TC09-31	4494754	496488	-49.69972	68.95130	49°41'58.99"	S 68°57'04.68"	E
х	□ TC09-37	4494850	497112	-49.69886	68.95995	49°41'55.9"	S 68°57'35.82"	Ē
	- TOOD 44	44940/U	490403	-49.09000	00.97009	49 41 00.20	0 00 00 40.20	
х	■ 1C09-41	4493503	496559	-49.71097	68.95227	49°42'39.49"	S 68°57'08.17"	E
	□ TC09-45	4503920	495008	-49.61726	68.93089	49°37'02.14"	S 68°55'51.2"	E
х	TC09-59	4496910	498401	-49.68033	68.97783	49°40'49.2"	S 68°58'40.2"	E
	□ TC09-63	4496472	498430	-49.68427	68.97824	49°41'03.37"	S 68°58'41.66"	E
	□ TC09-69	4498921	494447	-49.66222	68.92306	49°39'44"	S 68°55'23"	E
	□ TC09-70	4499230	494527	-49.65944	68.92417	49°39'34"	S 68°55'27"	E
x	<ul> <li>IC09-75</li> <li>TC00-70</li> </ul>	4495305	491907	-49.69472	60.00050	49*41'41"	5 08 53 10" 6 68 56 100 40"	E
		4493755	495044	-49.70870	00.93958	49 42 31.32"	5 00 50 22.49" S 60°54/46 0"	E
x		4492543	493729	-49./1958	00.91300	49 43 10.5	0 00 04 40.0 0 60°50'06"	
		449/05/	497715	-49.07301	00.90033	49 40 25	00 00 00 00" 0 0000145"	
X		4490200 1101001	500902	-49.00011 10.60922	60 01600	49 41 10 10°11'50 6"		
×		4434921 1101711	501162	-43.03022 10 70011	60 01611	45 41 00.0 10°10'00 1"	S 60°00'50.4	E
v		4494711	502/10	-49.70011	69.01011	43 42 UU.4 10°36'22"	5 60°00'00 1"	Ē
~		4500714	502410	-49.00011	69.00000	40°38'16"	S 60°02'00.1	E
¥	TC09-120	4502200	502352	-49.04011	69 03278	49°37'54 7"	S 69°01'58"	F
x	□ TC09-131	4502868	505878	-49.62672	69.08139	49°37'36.2"	S 69°04'53"	Ē
x	TC09-135	4508347	501608	-49.57746	69.02224	49°34'38.86"	S 69°01'20.06"	E



# Annexe n°4 : Carte de localisation des échantillons (13TKXX)



# Annexe n°5 : Carte de localisation des échantillons (TC09 -KXX)

Annexe n°6 : Mesures des fabriques (foliations magmatiques) observées sur le terrain

Localisation		L	JTM	Plans	de fo	oliation
Anse Gros Ventre	Gabbro	493966	4492607	105	S	18
Zone déformée Zone déformée Zone déformée	Syenite porphyrique Syenite porphyrique Syenite porphyrique	495592 495592 493997	4495920 4495920 4496416	102 85 120	N N S	68 72 45
Flanc sud armor	Syenite grenue (+- porphyrique)	504011	4498280	80	S	39



291

# Annexe n°7 : Protocole d'échantillonnage et d'analyse de l'anisotropie de susceptibilité magnétique

Le texte qui suit est extrait sans modification du Data Repository associé à l'article soumis à la revue Geology.

#### Sampling

Field observations and sampling were conducted during two field campaigns of ~1 month each, only possible during the austral summer from November to February because of the weather conditions. The first, realized in 2009, was part of the Dylioker 444 IPEV (Paul Emile Victor Institute, http://www.institut-polaire.fr) program directed by Dr B.N. Moine (LMV, Saint-Etienne, France), and the second occurred in 2013 as part of the Talisker 1077 IPEV program directed by Prof. D. Guillaume (LMV, Saint-Etienne, France). Samples collected during these missions correspond to TC09 and 13TK, respectively.

#### AMS theory and protocol

The magnetic susceptibility (K) is defined by  $M = K \times H$ , where M is the induced magnetization of the material and H is the inducing magnetic field. As both M and H are expressed in amperes per meter, the volumetric susceptibility is dimensionless. Susceptibility varies according to the applied magnetic field and temperature, and may also vary according to the measurement direction resulting in a nonparallelism between H and M vectors. The output of an AMS measurement of one rock sample is an ellipsoid of magnetic susceptibility defined by the length and orientation of its three principal axes, kmax  $\geq$  kint  $\geq$  kmin, which are the three eigenvectors of the susceptibility tensor. Depending on their mineralogy, magmatic rocks may have paramagnetic or ferromagnetic behavior. In paramagnetic rocks, AMS is induced by the Fe-bearing silicates such as biotite or amphibole. In ferromagnetic rocks, i.e. magnetite-bearing granitoids, the paramagnetic contribution of Fe-Mg silicates may become negligible with respect to the ferromagnetic contribution because of the high intrinsic magnetic susceptibility of magnetite. Hence, the magnetic fabric results primarily from the shape anisotropy of the grains of magnetite. This effect was postulated by Stacey (1960), examined by Khan (1962) and Uyeda et al. (1963) by microscopic observations on different rock types, and by Ellwood and Whitney (1980) and Grégoire et al. (1995) on granites. A component of the magnetic anisotropy may also result from the anisotropy of grain distribution, often referred to as distribution anisotropy (Hargraves et al., 1990; Stephenson, 1994; Grégoire et al., 1995; Gaillot et al., 2006).

The magmatic texture is defined by the shape-preferred orientation (SPO) of ferromagnesian minerals and feldspar phenocrysts. Their SPO must be associated with the orientation and the characteristics of the magmatic flow: they are early-crystallized minerals which are oriented in the flow while the magma is still viscous. The shape and distribution of magnetite grains should reflect the geometrical characteristics of the SPO of these early-crystallizing minerals, regardless of when the magnetite crystallized during the emplacement history of the magma: early crystallized magnetite grains would become aligned with the earlier-formed minerals, while later crystallized magnetite would preferentially grow along the pre-existing grain-shape fabric of the ferromagnesian minerals (Knight &

Walker, 1988) (see below). The magnetic anisotropy that results from the mean orientation of these minerals is thought to reflect the orientation and shape of the finite strain ellipsoid. The plane of maximum flattening (foliation) and the direction of maximum elongation (lineation) thus defined can be mapped over an entire pluton and, along with microstructural data, are used to interpret the structural history of the intruding magma.

Due to the particular logistical issues/limits we didn't drill directly in the field. 65 samples were collected (on average 1000-3000 cm<sup>3</sup> per sample) and oriented on the field taking into account the regional declination (-56.5°). All sampled were then drilled at the GET-laboratory, Observatoire Midi-Pyrénées, Université Paul Sabatier, Toulouse (France) with at least 2 oriented cores from 7 to 9 cm in length and 2.5 cm in diameter per sample. Cores were then cut in standard specimens (2.2 cm long, 10.8 cm<sup>3</sup>). Measurements were all acquired with a Kappabridge MKF1 (2 x 10<sup>-8</sup> SI sensitivity from AGICO) at the LMV-laboratory, Saint-Etienne (France). The ANISOFT program package (Hrouda et al., 1990) was used for statistical treatment of the AMS of each sample using the methods of Jelínek and Kropáček (1978). The site averaging was realized with the AMS\_50 spreadsheet of Patrick Launeau (Launeau and Robin, 2005).

Particular 1	SHDDHC-Sat. T	SRDBIC 1	ZNDBIC T	SRDBIC-SHE T	SRDBIC-sat T	SRDBIC 1	SRDBIC-sat T	SHDBIC 1	SHORIC T	2100HC 1	SNDBIC 1	SRDBIC T	SHORIC T	SHORIC T	SHDBIC 1	SHDBIC T	ADBIC 1	THORY T	SHDBIC 1	ShiDerc 1	SRDBHC 1	SHDBIC 1	SHDBIC 1	Sabar 1	SRDBIC 1	SNDBIC 1	SHDOIC 1	SHORIC 1	SHORIC 1	SHDBIC 1	SRDBIC 1	SHDBIC 1	SHORIC 1	SNDBIC 1	SHDBHC 1	SHDBIC 1	SNDBIC 1	SRDBIC 1	SND0IC 1	SHORIC 1	SRDBIC-Lat 1	SNDBIC 1	SNDBIC 1	SHDBIC 1	SRDBIC 1	SKDBIC 1	SHDBIC 1	SNDBHC 1	SHDBIC 1	SHORE 1	matult e SRDBIC-sat 1	
CC1-CM1	111-100	C09-129	009-125	C09-120	C09-115	C09-109	09-082	009-076	C09-069	C09-063	009-045	009-041	09-038	(09-037	109-025	C09-018	09-013	009-006	37K117A	316105	376104	STR103A	3TKLO1	ATBOALS	371K080	3710079	311077	3TK070	STROSS	3110067	31K066A	3110064	3780638	3110062	311060	3110059	3TK0578	311K055	378054	311K0538	STK047A	3110045	311X042	3780418	3TK034A	3TK031	310026	TROST	318022	STKOUTA	ch 3760018	
Anthonized in the			moyen	COMPACT NO.	basique	gros	gros	grue	moyen	gros	gras	gros		7	fin	uavon	Tr.	fron	and and	moyen	fros	flox	porphyrique	mayon	5	gros	(Pop	moven	3	gros	(ros	porphylique	gros	moyen	grou	gros	fin	gros	(POS	fl.co	basique	boldpilling	Bas	fros	For	grus	grou	5	porphyrique	13	grain, texture moyen	
	Canas	CaMaS	CaNu5	NaS	Manzonite	CuMaS	Ca5	Ca5	CaNas	Callad	CaNaS	ŝ	88	6	8.8	2 8	Ca5	C15	CuNas	CaNas	MaS.	NuS	CaNad	Canao	NuS	NaS	CaNad	NaS	Nas	CaNas	CaNas	88	8	Callad	CaNas	ß	6	8	6		Monzonite	Ca5	65	g	65	66	CaNas	CaNaS	CaNas	CaNas	gpe pétro CaS	
5	-	1500	1639	167	2296	956	1394	2967	1831	2374	2125	1737	1541	1887	1149	14	1034	1418	1596	ŝ	378	1216	1512	29.05	472	432	1456	ET CODE	20	1046	2851	2818	1141	3074	1580	1367	26	3216	2420	2698	3752	1027	1210	1059	1998	1184	1309	1804	2205	3440	Km 10-55i 2655	
t	1	1.0	t	8	t; t;	11	ŝ	5	: :	č	Ľ	ţ	t i	5	5 5	5	r,	0	1.6	2	2.1	¥.	21	: :	ï	8.9	ţ,	2 t	: 3	C	=	5 5	t	51	2.0	L	51	: []	23	i ii	Ľ	3	: 5	26	#	5	Ľ,	ŭ	: 3	10	23	
-	12.0	0.31	-0.41	0.17	-0.61	-0.70	0.85		-05	-0.01	0.36	-0.16	0.08	0.71	0.89		0.51	-0.23	0.31	-0.16	-0.60	10	-	0.02	0.50	0.10	86.0	10.0	-	0.47	0.72	0.47	0.17	251	-0.34	0.50	10.0	-0.76	235	0.85	0.47	-0.0	0.19	0.19	0.01	0.92	0.30	-0.14	016	0.0	7 20.0	
			5				2	ι,		2										n 30		4				10		ut a	. 10	u	5					-			ú .	, pr		æ. 1			ŵ,		10		-		9 18	
ter	1990	15002	16386	1670	22963	9658	13938	29671	25308	23742	21254	17369	15410	18872	11485	8440	10340	14180	15559	5427	3776	12158	15120	12946	4716	4320	16560	234	103	10458	28511	9657	11412	30744	36775	13670	2956	32164	24204	26583	37516	10274	12199	10588	19981	49307	13092	180318	22054	14403	Km 10-651 (J 26552	
101	1 20	150	165	167	2 2	974	139	5 8	í ji	240	213	174	5 5	8	117	1 43	ij	H.	16	1 2	382	5	5 5	1 10	474	433	16	2 8	5 3	105	100	291	114	ii i	2 2	137	88	324	24.8	271	378	10 10	12	107	202	49 13	131	10	88	240	270	
2	: 2	66 80	56 15	2	65 23	3 3	74 14	00 34	43 31	07 10	68 33	58 35	22 22		09 19	1.5	84 26	46 33	31		10	37 17		10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1	14	5	66 15	10.1	15	60 14	27 25	17 23	15 28	78 31	24 20	N 17	19 A 15 S	12	26.5	11	11 85	22 12	29 14	15 74	89 27	01 11 30	91 14	26 6	01 21	10 10	90 L2	
1			ें 2	80 	o •			9. 9 0. 1	5 U			54			ें संस		ः 			ે . મ		-		1.5	. e	-		5 	<u>, 1</u>		100 1400	4 F		***		- 14 - 14			° '		50 20	-		-	е -	Pr 14				127	4 044	
		-	2		2 5		6	2.5		0	2	p	2 2	2 1			2	2	0.0	0	0	2				0	2	00		8	8	9 8	2	9.1	0.0	2	2.9		8.5	0.0	0	2 9	. 0	9	0	2.9	2 2		21	2.9	2 D.	
100	3 3	2	59	8	8 3	18	56	8.2	197	88	2	8	8 5		5 5	1 75	3	8	8 3	17	32	3	25	R 2	1	52	2	23	91	91	56 I	8 8	2	74	47	13	2.0	1 25	77	1 2	ž	H 3	5 10	1	25	5 2	: :7	8	39 7	57	MdHp1	
	2 12	82 0	25 25	5 2	ti 1	17 0	87 1	5 k 0 •	15	35 2	10 1	40 2	40 10	8 d 8 d		19 1	10 3	5	¥ 4	3.8	49 21	37 1	: : : :	14 1	1 32	56 3	71 7	59 2	2 2 9	36 3	8 : t	43 3	23 3	50.00	14 1	55 3	12 10	11 1	5 5	11 17	15 1	10 10	1 4	50 1	53 21	51 1	5	4	11 4	10	111 11	
104	000	150	163	10	228	195	139	296	252	237	212	173	154	1	116	1 10	10 10	141	159	541	376	122	5	0.00	472	432	10	234	700	tõa	285	287	114	308	356	H	295	320	23	271	376	102	12	106	199	407	133	17	220	333	2 Kint 265	
2	1 2	17 22	H H	22	94 74	1 23	8 4	67 12 12	32 59	36 19	85 12	11 55	16 10	1 10	30 35	5 0 1 N	17 17	71 22	84 ·	ः २	6	08 26	8 2 2		1.00	2	62 8	06 ev		95 27	2 :	32 27	19 11	8 1	53 11	10 37	5.4	19 19	22 38	07 26	42 12	71 21	11 28	04 24	10 10	10 10	14 25	11 65	70 12	22 80	67 31	
		13	3			1 13	23				9 23	2 78	*		28			-	2 12	1	=	-			12	10	1	9.0		1	3	9 2 7	-	2		5	e y		2	1 21	8	is a		2	1 24	2 4		1	23	1.10	2 41	
		ŝ	26	8	2	20	2	0.5	2 0	S	3	2	2	2		2	8	2	2 2	0.0	2	8	2 2		3	3	2	6 5	2.5	29	26	0.0	8	21	0.0	8	2 5		2 1	2.2	0.9	0.8	2	0.8	0.8	2 2	0.0	1.0	3	2 0	6.0	
1		-		1			'n				Č.	30	•					~	•		EP-	1					-		• •	•	m 1						••			, m				°	1	6.4		•	e .		Mdisp2	
40 1	1 1 4	77 0	63 2	22	5 0	90 0	79 2	19 0		35 3	1 02	55 2	1 15		40 1	1 10	11 0	65 A	8 2	56 4	68 A	19 1	81	2 81	56 7	66 4	73 1	59 4	2 20	36 8	61 2	17 a	70 4	55 3	20 22	4 19	16 10	63 2	61 2	67 2	24 8	1	1 11	51 1	47 1	51 1	-	6 N	22 3	1 00 3	571 6	
+0		145	14	16	2 2	18	138	3 5		20	21	171	E a	5	110		8	141	15 1		715 2			100	5	430	101	233	5 6	10	12	2 2		21		135	190	325	22	18	370	102	12	10	190		12	15	21	1	5 255	
4		23 32	62 33	8	29 2	6 16	75 24	43 1	48 18	55 M	09 30	53 24	92 10		005 20		8	23 44	8 1		14	28	22		2 23	0 27	59 24	3 2		20 34	21 20	67 18	141 14	55 21	104 JU	12	14 4 12 4	109 34	2 2 2	12	8 22	28 31	109 1	15	572 51	10 10	12 4	35 20	192 30	10.20	in 80	
1	. e	्छ -	0				2		5.4			4	66. G	un a		5 W				5.77 6 16	4	-		а л а	- 64 - 14	6	ж. 		- u	N	т. м 1					- 08 - 1/1	а ж. н	с. 14	а. 		-01		837. 2 16	- 00 - 14	-	- FR		3	* *		17 4	
1		9 0	0				1 0			0 0	24 0	0	ч : о :					8			6 0					9 0		a +		0	7	1 9		0.0					9 4	. 0			. 0		9	5 8		0			v Inim	
100	12	96	56	67	100	.51	90	10	8 3	9	16	85	95	8 2	8.7	1 2	8	70	61 81	73	1	8	8.3	92	98	58	98	23	1.01	23	93	9 5	5	185	97	19	54 9	67	8	10	98	1 10	101	(95	3	8 8	(9)	8	98	34	96	
	1 5	24 0	14	8	8 3	0 68	×	8 8	48	11 2	26 1	43 8	2		1 2 2			3	5	59	20 2	17	8	20 1	12 1	79 1		49 0		10 5	10	8 3	63 2	0 1	18 1	88	25 7	66 2	37 2	8	15 8	39 1	1 2	23 1	45	10 1	18 1	1	22 6	1 8	22 1	
			1.	2			3 1.0			10	1	5	-				=				1	1	= =		1 10	5 10	1	1.0		=	5			2 10		-			= =			5 1		0	3				= 1		0 L(	
10.10	108 10	10 1.	18 10	05 1.		14 1.	107-1.4		116 1.	1 52	12 1.	14 1.	15 1		11 61	10 10	184 1.1	09 L	16 1	127 1.0	121 1.0	04 1		202 1.	16 1.	109 11	19 1		107 1.0	123 1.	11	10 10	12 10	127 1.	126 11	11 81	135 1.1	13 14		15 14	122 1.0	09 1	24 1	126 1	11 1EC	136 1	17 1.	139 1	014 1	200 1	HI L	
10.40	100 10	11 600	1 110	02 1/	212 1	212 1/	11 100	10 10	112 11	13 1.	100	11 800	207 1.	1 100	203 1/	006 1.	11 020	11 500	205 1	216 L	217 13	11 1.0	217 1.	5 00 L	11 100	104 1.0	1000	11 E00	206 1	11 906	202 11	007 14	11 500	06 1/	017 1/	104 11	10 10	11 1/	96	11 100	106 1.0	205 1.	010 L	1 010	11 516	11 106	206 1	226 1.	206 1	105	520 L	
20 t		005 0.	11 500	000 0.	003 1	002 L	007 0.	018 L	003 L	012 1.	0 800	00 200	0.00	25 0	154 D	004 0	063 21	001 0.	010 0		004 E	324 L.	007 1	10 976	012 0.	005 0.	019 0.	0.00	0 100	017 0.	000	003 Ø.	007 0	020 0	1 600	0 E10	018 1	202 1	9 t	015 0.	0.910	004 0	DIA L	015 1.	016 1	012 0	0 110	012 2.	008 0	014 0	022 2	
		0.6	0.5	20	2 1	. 0	1 0.3			E		8 0.5	21				Ē	2			7 0.4	2	21	: :		.0.5	5	21	: 2	5	0.	2 0	2	21				2			5	2 1		5	5			Ē	21		E FN	
		0.5	2.6	0.0	4 5	6.0	10		4.0	10	20	13	2	2	85	. 5	2	1.6	0.0	1	12	2	14		2	0.8	8	0.0		0.3	2	213	8	21	1.0	2	24	12	2 2	20	0.3		12	2	0.9	0.0		2	21		File	
1.10		1.0	to	5	5 5	1.0	1.0	5 5	10	1.0	10	10	5	5	10	. 5	10	5	5 10	5	10	5	5 1	1.0	5	10	10	5.5		5	5	10	5	1.0	10	10	10	10	51	10	1.0	5 10	1 10	10	10	1 1	1.0	10	51	1.0	10	
AC 01	00 22	10 87	19 19	05 205	16 210	15 31	08 14	16 24	17 31	25 100	13 37	14 35	15 224	32 13	20 90	10 16	87 263	TE 60	16 330	27 160	22 16	35 170	24 12	10 10	17 14	09 15	22 15	10 11	08 19	24 140	12 25	10 238	12 28	28 JU	26 20	19 200	35 100	14 290	21 300	15 15	23 31	09 12	24 1第	26 74	31 27	41 30	17 14	00 6	14 21	20 M	42 LD	
		54	2	2	5 5	: 2	53	8 4		20		5	28 1			. 59			32 72						13	10	10	5 2		28		4 18	-	26	3 5	22					2			s	*	4 2	35				A4 U	
-	: 2	59	8	1	5 8	1 2	17	5 8	8 2	x	=	12	5 ;	5 1	1 1		17	5		. 12	¢1	2		; ;	5	en	ç,	50	: 5	12		10 13	10			85	1 3	1	# 8	. =			10	-	14	14				5 1	12 12	
		- 64	-	×	<b>"</b>	ĘZ	m	П и 2	. 2	-		m			5 °		×	5	ε,	- 17 194		~	.,			-	Г. Н	5 1	E \$					2 1					z •		z	Ξ,			W	* *					Y N	
																																												2			12				NOir 1	
1		1	0	•		n si		0 4		-	*	6	-	uri è		6		*	un é	.9		*		÷	4	H	-	* *		G	9	¢ #	e.	0		64		9	-	. 0	¢i	ω ų	0	a l		6 B	ŭ	õ	4	. #	olPend 6	
	1	59	8	149	8	251	352	128	152	X	a	355	\$ 3	343	180	8	173	136	154	128		2	144	1	5	ø	334	176	15	126	10	108	106	303	122	28	324	129	29.5	E	312	121	104	8	142	140	136	319	36	10	FolD	
-		H	8	76	5 2	1 3	5	8 1	5 5	2	28	8	2 3	# 1	2	8	\$	\$	5 8	. 5	14	5		5 5	3	2	=	1	5 X	8	8	49 H	8	3	5 2	8			2 4	8	5	5 3	5	π	5	5 2	75	8	3		Foll B6	

### Annexe n°9 : Données U-Pb sur zircons

	ISOTOPIC RATIOS							AGES	(Ma)					CONC	ENTRA	TIONS	ppm)	
Analysis	<sup>247</sup> Pb/ <sup>366</sup> Pb ± 1o	<sup>266</sup> Pb / <sup>256</sup> U ± 10	<sup>267</sup> Pb / <sup>218</sup> U ± 10	<sup>368</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th ±10	"Pb/36Pb	± 10	<sup>366</sup> Pb / <sup>256</sup> U	$\pm 10$	<sup>507</sup> Pb / <sup>218</sup> U	$\pm 1\sigma$	586Pb/252Th	+10	I COLE	Th	= 20	U	# 20	2 Cnats
13TK31 31 L1 202	0.04611 0.0035	0.001505 0.00003	0.00947 0.000	7 0.00047 0.00002	3.5	173	9.69	0.19	9.6	0.7	0.6	0.41	-0.06	121	17	211		0.12
31_L1_Z04	0.04656 0.00394	0.001553 0.00004	0.0099 0.0008	1 0.00044 0.00002	26.6	191	10	0.23	10	0.81		0.33	-0.04	283	40	286	11	0.22
31-1.1-205	0.04618 0.00333 0.04634 0.00253	0.001504 0.00003 0.001424 0.00002	0.0095 0.0004	5 0.00045 0.00001 8 0.00045 0.00001	15.3	105	9.09	0.17	9.0	0.67	8.5	0.27	-0.89	217	32	349	10	0.19
31_L1_Z08-B	0.04678 0.0021	0.001555 0.00002	0.00993 0.0004	3 0.00049 0.00001	38	104	10.02	0.15	10	0.43	0.0	0.27	-0.16	358	50	673	- 33	0.12
31_L2_201	0.04609 0.00315	0.001554 0.00003	0.00977 0.0006	5 0.00051 0.00001	2.3	157	10.46	0.18	9.9	0.65	10.3	9.27	-1.09	187	26	217	10	0.19
31_L2_Z02	0.04617 0.00173	0.001524 0.00002	0.00963 0.0003	5 0.00048 0.00001	6.5	87	9.82	0.12	9.7	0.35	0.7	0.18	-1.21	292	61	800	18	0.16
31_L2_Z12	0.04638 0.00238	0.001585 0.00002	0.01003 0.000	5 0.00052 0.00001	17.2	119	10.21	0.16	10.1	0.5	10.5	0.26	-1.06	223	21	373	17	0.13
31_L2_Z13	0.04668 0.00209	0.001563 0.00002	0.00997 0.0004	3 0.0005 0.00001	32.5	104	10.07	0.14	10.1	0.43	10.4	82	0.29	373	52	405	18	0.2
131K36	0.0401 0.00209	0.001002 0.00000	0.01040 0.0003	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	2.9	135	10.71	0.19	10.0	0.79	10.5		-1.01			341	10	
36_L1_Z03 36_L1_Z09	0.04626 0.00254 0.04641 0.00651	0.001675 0.00003 0.001664 0.00004	0.01059 0.0005	6 0.00054 0.00002 6 0.00047 0.00003	11 18.9	127	10.79	0.17	10.7	0.56	11.4	0.32	-0.81	249	47	421	20	0.12
36_L1_Z12	0.04741 0.00446	0.001654 0.00004	0.0107 0.0009	8 0.00054 0.00003	69.4	210	10.66	0.26	10.8	0.98	10.9	0.53	1.33	133	25	203	28	0.15
36_L1_Z14 36_L2_Z03	0.04644 0.00536 0.04643 0.00618	0.001694 0.00004 0.00005	0.01077 0.0012	2 0.00055 0.00002 1 0.00057 0.00003	20.7	256	10.91	0.24	10.9	1.23	11.5	0.47	-0.09	57	18	119	17	0.18
36_L2_Z06	0.04673 0.00388	0.001603 0.00003	0.01024 0.0008	3 0.00046 0.00001	35.5	188	10.32	0.2	10.3	0.83	9.3	0.28	-0.22	218	41	191	27	0.25
36_L2_Z12 36_L3_Z06	0.04659 0.00282 0.04992 0.00533	0.001674 0.00003 0.001594 0.00004	0.01067 0.0006	3 0.00051 0.00001 3 0.00042 0.00002	28.4	231	10.78	0.19	10.8	0.63	10.4	0.47	0.19	347	23	196	11	0.2
36_L3_Z11	0.04674 0.0025	0.0017 0.00003	0.01091 0.0005	6 0.00057 0.00001	35.7	123	10.95	0.18	11	0.56	11.0	0.2	0.44	1057	157	800	13	0.39
42 L1 201	0.04678 0.00508	0.001592 0.00004	0.01017 0.0010	8 0.00049 0.00002	37.9	242	10.26	0.25	10.3	1.08	0.0	0.38	0.42	300	37	245	11	0.27
42_L1_Z02	0.04643 0.00732	0.001584 0.00004	0.01005 0.0015	6 0.00051 0.00003	19.9	340	10.2	0.27	10.2	1.57	10.3	0.56	-0.02	121	1.5	150	7	0.18
42_L1_203 42_L1_204	0.04672 0.00675 0.04667 0.00518	0.001584 0.00004	0.01051 0.001	5 0.00053 0.00003 1 0.0005 0.00002	35	247	10.59	0.25	10.6	1.51	10.6	0.45	0.11	235	1.9	268	12	0.2
42_L1_Z06	0.0462 0.00167	0.001642 0.00002	0.01037 0.0003	6 0.00055 0.00001	8.2	84	10.58	0.12	10.5	0.36	11.1	0.22	-0.72	1219	150	950	#2	0.3
42_L1_207 42_L1_209	0.05021 0.00426 0.04647 0.00944	0.001633 0.00006	0.01148 0.0009	4 0.00058 0.00002 7 0.00052 0.00003	204.9	426	10.57	0.24	11.6	2.08	10.0	0.02	-0.19	110	17	134	- 13	0.21
42_L1_Z10	0.04739 0.00379	0.001683 0.00004	0.01089 0.0008	4 0.00049 0.00002	68.4	181	10.84	0.23	11	0.85	3.0	0.33	1.45	413	58	398	15	0.23
42_L1_Z12 42_L1_Z13	0.04653 0.00162	0.001684 0.00002	0.01068 0.0003	8 0.00055 0.00001	25	81	10.85	0.13	10.5	0.35	.11	0.25	-0.44	500	76	751	- 26	0.17
42_L1_Z15	0.04639 0.00482	0.001744 0.00004	0.01107 0.0011	3 0.00059 0.00002	17.7	232	11.23	0.24	11.2	1.13	11.0	0.48	-0.3	150	22	226	8	0.16
42_L1_Z10 42_L1_Z17	0.04657 0.00207	0.001654 0.00002	0.01053 0.0004	5 0.00054 0.00001	27.4	104	10.59	0.14	10.4	0.46	10.0	0.24	-0.5	578	81	714	26	0.18
42_L2_201	0.04713 0.00744	0.001583 0.00005	0.01019 0.0015	8 0.00055 0.00003	55.2	339	10.2	0.33	10.3	1.58	13.4	0.55	1	177	25	175	. *	0.23
43_L1_Z01	0.04579 0.00128	0.001669 0.00002	0.01047 0.0002	8 0.00051 0.00001	0.1	52	10.75	0.12	10.6	0.28	10.3	0.12	-1.39	3902	570	1756	94	0.49
43_L1_Z02	0.04704 0.00085	0.001702 0.00002	0.011 0.0001	9 0.00051 0	50.9	42	10.96	0.11	11.1	0.19	10.4	0.1	1.23	10019	1470	2561	137	0.87
43_L1_208	0.04536 0.00084	0.001758 0.00002	0.0109 0.0001	9 0.00053 0.00001	16.1	43	11.06	0.12	11.5	0.19	10.7	0.12	-0.50	7799	3152	3129	170	0.54
43_L2_Z04	0.04642 0.00444	0.001733 0.00004	0.011 0.0010	3 0.00059 0.00002	19.2	215	11.16	0.25	11.1	1.03	12.0	0.4	-0.55	222	33	206	11	0.24
43_L4_201	0.04679 0.00127	0.001699 0.00002	0.01089 0.0002	8 0.00053 0.00001	47.8 38.5	64	10.88	0.12	11	0.28	10.6	0.13	0.48	4405	025	2219	101	0.44
13TK45	0.04646 0.00116	0.001541 0.00002	0.00070 0.0003		21.6		0.01			0.23	36	10.00		6466	4.80	2100		1.00
45_L1_204	0.04619 0.0008	0.001591 0.00001	0.01007 0.0001	7 0.00049 0.00001	7.4	41	10.25	0.09	10.2	0.17	0.0	0.11	-0.49	5317	747	3527	145	0.53
45_L1_Z09	0.04811 0.00113	0.00159 0.00002	0.01045 0.0002	3 0.0005 0.00001 6 0.00056 0.00001	104.9	55	10.24	0.1	10.6	0.23	10	0.13	3.38	4270	800	2335	195	0.41
45_L1_Z22	0.04612 0.0007	0.001579 0.00001	0.00997 0.0001	4 0.00049 0.00001	4.1	36	10.17	0.09	10.1	0.14	30	0.12	-0.69	10106	1452	8745	192	0.48
45_L1_Z23 45_L2_Z20_A	0.04737 0.00198	0.00161 0.00002	0.01044 0.0004	2 0.0005 0.00001	67.1	97	10.37	0.14	10.5	0.42	19.2	0.17	1.21	1422	200	828	34	9.38
45_L2_Z20_B	0.0463 0.00118	0.00156 0.00002	0.00989 0.0002	4 0.00049 0.00001	13.1	59	10.05	0.1	10	0.24	9.8	0.15	-0.49	2737	385	1510	01	0.4
45_L3_Z03 45_L3_Z08	0.04642 0.00135	0.001582 0.00002	0.01005 0.0002	8 0.0005 0.00001 7 0.00058 0.00002	19.5	68	10.19	0.11	10.2	0.28	10.2	0.17	0.07	1712	213	1266		0.27
13TK47	0.04090 0.00072	0.001000 0.00000	0.01002 0.0012		0.1	2/1	10.79	0.44	10.4	1.47				100	<i>v</i> .			
47_L1_203 47_L2_202	0.04618 0.00066 0.04643 0.00062	0.001712 0.00002	0.01083 0.0001	5 0.00052 0.00001 4 0.00053 0	6.9	34	11.03	0.1	10.9	0.15	10.4	0.14	-1.18	4437	587	3405	159	0.29
47,1.2,204	0.04624 0.00081	0.001761 0.00002	0.01115 0.0001	8 0.00054 0.00001	10.2	-41	11.34	0.11	11.2	0.19	14.6	9.12	-1.29	2289	309	1547	80	0,33
47_13_203	0.04633 0.00075	0.00168 0.00002	0.01060 0.0001	6 0.00092 0.00001 3 0.00097 0.00001	14.7	-38	10.82	0.11	10.8	0.18	19.4	0.11	-0.19	5093	687	2732	141	0.41
47_1.3_209	0.04662 0.00073	0.001756 0.00002	0.01128 0.0001	7 0.00056 0.00001	29.7	37	11.33	0.11	11.4	0.17	11.8	0.12	0.81	7536	1017	2511	230	0.67
47_13_210	0.04634 0.00106	0.001717 0.00002	0.01105 0.0002	8 0.00053 0.00001 3 0.00054 0.00001	15.4	53	11.19	0.12	11.2	0.24	10.0	0.13	80.0	3630	490	1451	75	0.56
47_1.4_202	0.046 0.00101	0.00176 0.00002	0.01119 0.0002	3 0.00055 0.00001	0.1	40	11.34	0.12	11.3	6.28	81.8	9.14	-0.34	6767	91.8	1540	80	0.98
13TK63 63 11 211	0.04592 8.00135	0.001543 0.00002	100989 0.0002	7 0.00049 0.00001	45.5	55	0.94	0.11	10	0.28	10	0.14	0.44	1001		1090	- 14	
63_L1_Z12	0.04661 0.00151	0.00156 0.00002	0.00994 0.0003	0.00049 0.00001	29.2	76	10.05	0.11	10	0.31	10	0.14	-0.48	1989	303	1065	75	4,41
63_12_202 63_12_204	0.04629 0.00131 0.04642 0.00216	0.001551 0.00002 0.001521 0.00002	0.00965 0.0003	1 0.0004 0.00001 3 0.00048 0.00001	12.6	26	10.06	0.12	10	0.31 0.44	10	0.15	-0.58	1905	291	1325	- 50 12	0.32
63,12,205	0.04813 0.00201	0.001523 0.00002	0.01005 0.000	4 0.00048 0.00003	105.5	96	9.81	0.13	30.7	0.4	9.6	0.2	3.82	935	143	906	64	0.23
63 1.2 200	0.04648 0.00244	0.001544 0.00002 0.001534 0.00002	0.00977 0.000	9 0.00049 0.00001 2 0.00014 0.00001	20.4	122	9.95	0.14	0.0	0.52	9.0	0.27	-0.47	359	55	673	35	0.16
63_1.2_209	0.0464 0.00112	0.001553 0.00002	0.00986 0.0002	10000.0 10000.0 €	18.3	57	10.01	0.1	10	0.23	10.2	0.18	-0.01	1628	248	\$795	326	0.2
43_12_211 63_13_202	0.04642 0.00189 0.04655 0.00124	0.001583 0.00002 0.001134 0.00002	0.01007 0.000	4 0.0005 0.00001 5 0.00047 0.00001	26.7	95	9.88	0.13	9.9	0.4	9.0	0.21	0.08	932 1078	142	820		0.25
63_1.3_205	0.04631 0.00199	0.001553 0.00002	0.00985 0.0003	0.00047 0.00001	13.7	95	10	0.12	10	0,39	9.6	0.18	-0.02	81.5	100	739	34	0.34
13 L3 200	0.04679.3.00117	0.001492 0.00002	0.00991_0.0002	A 0.00048 0.00001	.26.5	- 58	9,61	0.1	9.0	0,21		0.15	-113	108.4	245	1093	78	0.26
69_L1_201_A	0.04609 0.00269	0.001332 0.00002	0.00854 0.0004	8 0.00042 0.00001	2.4	135	8.71	0.14	8.4	0.49	8.4	0.17	-1.27	512	8.8	388	43	0.28
69 L1 204	0.04558 0.01585	0.001404 0.00006	0.00876 0.0030	a 0.0004a 0.00003 a 0.00043 0.00004	0.1	665	0.04	0.36	8.9	3.03	10.3	0.89	-1.62	38		40		0.17
69_11_255_A	0.04607 0.0045	0.001384 0.00003	0.00872 0.0008	3 0.00044 0.00002	0.1	221	8.91	0.21	3.8	0.84		0.54	-1.28	226	37	257	28	0.2
40_L1_200	0.04668 0.00301	0.001384 0.00002	0.00879 0.0005	5 0.00034 0.00004 5 0.00039 0.00001	33	148	8.91	1.14	8.9	0.56	7.8	0.75	-0.04	254	41	288	12	0.12
40_L1_Z11	0.04597 0.0147	0.001334 0.00006	0.00835 0.0026	5 0.00039 0.00004	0.1	628	8.59	0.38	8.4	2.00		0.83	-2.29	42	7	. 11	. 6	0.18
49 L1 Z14	0.04603 0.01585	0.001222 0.00006	0.00767 0.0030	a 0.00017 ±.00001	0.1	117	7.67	3.13	7.8	0.45	7.4	0.16	-0.58	705	102	576	27	0.17
69 12 203	0.04635 0.0045	0.001414 0.00003	0.00992 0.0009	3 0.00046 0.00002	15.8	506	9.11	0.39	9	2.18	9.3	0.76	-1.21	75	3.8	97	. 5	0.17
60 L2 Z04 A	0.04662 0.00788	0.001288 0.00004	0.00770 0.0014	5 0.00035 0.00004 5 0.0004 0.00004	29.8	547	7.80	0.11	7.9	2.19	7.8	0.95	0.15	49	635	1785	4	0.55
69_L2_205_A	0.04619 0.00301	0.001312 0.00002	0.00829 0.0005	5 0.00038 0.00001	7.5	159	8.45	0.16	8.4	0.56	7.7	0.21	-0.66	522	75	844	21	0.36
69 L7 Z10 A	0.04508 0.00364	0.001394 0.00003	0.00879 0.0004	7 0.00045 0.00004	9.1	180	8.95	0.19	8.0	0.68	5.4 8.6	0.29	-0.87	367	93	414	19	0.14
49 12 Z13 B	0.04556 0.01093	0.001445 0.00005	0.00908 0.0021	4 0.00649 0.00004	0.1	487	9.31	0.32	9,2	2.13	10	0.84	-1.15	49	7	41	. 4	0.13
60_12_Z14	0.0459 0.00947	0.001234 0.00002	0.00772 0.0015	7 0.00045 0.00003	20.7	427	7.95	0.25	7.8	1.59	9	0.13	-1.94	100	17	143	15	0.16
69,13,211	0.0454 0.01256	0.001375 0.00005	0.00852 0.0023	4 0.00036 0.00003	0.1	528	8.86	0.33	8.6	2.38	31.4	1.02	-2.98	44	.2	-80		0.12
10_L1_202	0.04909 0.0022	0.001231 0.00002	0.00824 0.0003	5 0.00042 0.00001	152.1	102	7.93	0.12	1.2	0.36	8.5	0.18	4.42	1876	318	1279	134	0.53
70_L1_204	0.04587 0.00155	0.00129 0.00002	0.00500 0.0002	e 0.00038 6.00001	0.1	20	8.51	0.3	8.2	0.26	7.7	0.15	-1.37	9621	81.4	2078	210	0.39
10_L1_200	0.04617 0.00198	0.001321 0.00003	0.00833 0.0003	4 0.00045 0.00001	6.5	155	8.29	0.16	14	0.54	82	0.15	+1.13	1008	181	718	75	0.37
70_11_211	0.04544 0.00178	0.001309 0.00002	0.00834 0.0003	1 0.00042 0.00001	20.5	80	8.43	0.12	8.4	0.31	8.5	0.19	-0.4	3720	632	1811	181	0.46
70 1.2 204	0.0462 0.00126	0.001351 0.00001	0.00515 0.0000	4 0.00044 0.00001	27.5	177	8.71	0.18	3.4	0.45	1.1	0.29	-1.23	872	149	908	6.0	0.43
70_1.2_205	0.04633 0.00297	0.001252 0.00002	0.00776 0.0004	8 0.00038 0.00001	14.7	147	7.94	0.13	7.9	0.49	7.6	0.17	-0.48	599	108	454	59	0.29
70 12 Z10	0.04811 0.00347	0.001293 0.00001	0.0685 0.0003	3 0.00041 0.00001	15.6	171	8.12	0.11	8.1	0.43	1.5	0.23	-0.28	624	402	546	180	0.36
70_1.2_Z11	0.04585 0.00188	0.001317 0.00002	0.00525 0.0003	0.00039 0.00001	.0.1	85	8.49	0.11	8.4	0.3.8	7.8	0.11	-1.04	2519	456	Des	130	0.56
70 13 207	0.04616 0.00179	0.001282 0.00002	0.00906 0.000	0.00037 0.00001	5.0	90	8.26	0.11	12	0.38	1.8	0.16	-0.44	1477	267	1148	149	0.29
70 LJ 209	0.04751 0.00245	0.001242 0.00002	0.00908 0.000	4 0.00037 0.00001	74.2	119		10.12	8.2	0.41	7.5	0.16	2:41	861	154	681	35	0.28

## Annexe n°9 : Données U-Pb sur zircons (suite)

Anabois	397Pb/398Pb	+ 10	18 296 pb /296 U	OTOPIO	C RATIOS	+ 10	388 Pb/232 Th	<i>t</i> 1 <i>a</i>	307pb/586pb	+ 10	<sup>366</sup> Pb / <sup>256</sup> U	AGES	(Ma) <sup>307</sup> Pb / <sup>218</sup> U	t la	588pb/252Th	dite:	here."	CONC	ENTRA	nons	ppun)	20
13TK80	10 10	± 10	10. 0	± 10	107 0	± 10	10 11	110	10 10	# 10	107 0	× 10	107 0	# 10	10 14	110	V/1R-		1.20		0.20	Amoy
80_L1_Z04	0.04597	0.00156	0.001262	0.00002	0.00795	0.00026	0.00043	0.00001	0.1	75	8.13	0.1	8	0.26	8.7	0.15	-1.40	2052	480	3071	200	0.29
80_L1_208	0.04628	0.00124	0.001258	0.00001	0.00798	0.00017	0.00036	0.00001	13.3	62	8.1	0.08	8.1	0.17	7.3	0.11	-0.05	5858	783	2866	96	9.52
80_L1_Z12	0.04753	0.00151	0.001243	0.00001	0.00504	0.00024	0.00038	0.00001	75.4	74	8.01	0.09	8.1	0.25	7.7	0.12	1.13	1252	169	1213	48	0.23
80_L2_Z03	0.04664	0.00115	0.001238	0.00001	0.00792	0.00019	0.00038	ŏ	30.8	57	7.98	0.09	8	0.19	1.7	0.09	0.5	6832	#24	2936	114	0.52
80_1.2_204	0.04641	0.00102	0.001251	0.00001	0.00793	0.00017	0.00038	0	19.1	51	8.06	0.05	8	0.17	2.2	0.09	-0.76	3132	418	2055	80	0.34
80_L3_207	0.04615	0.0009	0.001234	0.00001	0.00787	0.00014	0.00045	0.00002	4.5	45	7.93	0.08	7.9	0.03	7.5	0.52	-0.30	2994	400	1918	74	0.15
13TK81A	0.04684	0.00188	0.001403	0.00000	0.00804	0.00014	0.00041	0.00001			0.03			0.15	1.1							
81A_L1_206	0.04634	0.00184	0.001474	0.00002	0.00933	0.00036	0.00045	0.00001	15.6	93	9.49	0.12	9.4	0.35	9.1	0.19	-0.98	609	88	681	32	0.2
81A_L1_Z09	0.04622	0.00143	0.001433	0.00002	0.00907	0.00027	0.00046	0.00001	9.2	72	9.23	0.11	9.2	0.27	9.2	0.18	-0.37	837	111	923	40	0.2
81A_L2_208-B	0.04613	0.00163	0.001454	0.00002	0.00897	0.00032	0.00043	0.00001	27.6	82	9.1	0.12	9.1	0.32	8.8	0.19	0.02	1051	139	881	41	0.26
81A_L3_209	0.04618	0.00159	0.001483	0.00002	0.00933	0.00031	0.00046	0.00001	7.3	80	9.56	0.12	9.4	0.31	9.3	0.18	-1.65	810	107	564	40	0.21
101A_L1_206	0.04684	0.00963	0.001345	0.00006	0.00858	0.00172	0.00049	0.00006	40.7	430	8.67	0.38	8.7	1.74	9.9	1.14	0.4	42	.0	40		0.1
101A_L1_209	0.04628	0.00871	0.001294	0.00004	0.00817	0.00152	0.0005	0.00003	12	400	8.33	0.25	8.3	1.53	30	0.55	-0.41	57		-65	1	0.19
101A_L1_Z10	0.04688	0.00591	0.001264	0.00003	0.0081	0.00093	0.00042	0.00002	42.7	235	8.14 8.46	0.22	8.2	0.94	1.1	0.41	3.90	127	10	192	- 6	0.18
101A_L2_201	0.04638	0.00777	0.001324	0.00004	0.00836	0.00138	0.00047	0.00003	17.1	360	8.53	0.27	8.4	1.39	9.5	0.56	-1.92		10	82		0.18
101A_12_205 101A_12_208	0.04615	0.00518	0.001355	0.00003	0.00855	0.000399	0.00046	0.00003	30.8	290	8.53	0.45	8.5	3.42	9.2	0.57	-0.4	55			- 1	0.13
101A_L2_Z11	0.04609	0.00659	0.001333	0.00003	0.00837	0.00118	0.00047	0.00002	2.2	313	8.59	0.21	8.5	1.19	9.6	0.39	-1.04	76	11	76	3	0.22
101A_L3_204 101A_L3_205	0.04707	0.000669	0.001335	0.00005	0.00848	0.0012	0.00052	0.00003	52.3	346	8.73	0.29	8.8	1.35	9.7	0.5	0.1	72	10	83	- 3	0.19
101A_L3_207	0.04578	0.00957	0.0011443	0.00005	0.00713	0.00146	0.00044	0.00003	0.1	426	7.37	0.31	7.2	1.47	8.8	0.7	-2.34	92	13	134	5	0.15
101A_L3_208 101A_L4_202	0.04673 0.04617	0.01067	0.001355	0.00006	0.00866	0.00194 0.00195	0.00033	0.00005	35.4	471 483	8.73	0.39	8.8 8.6	1.95	6.7	0.81	-0.7	40	о. Т	71	- 4	0.15
101A_L4_208	0.04658	0.00766	0.001343	0.00004	0.00856	0.00138	0.00045	0.00002	27.8	353	8.65	0.28	8.7	1.39	9.1	0.49	0.54	94	3.3	- 98	- 4	0.21
101A_L4_209 101A_L5_203	0.04609	0.00359	0.001263	0.00003	0.00797	0.0006	0.00038	0.00001	2.2 16.7	178	8.14	0.18	8.1	2.75	7.8 10.3	0.29	-0.49	35	47	45	14	0.21
13TK104															133			100				
TK104_C1_Z1 TK104_C1_Z3	0.04755	0.00145	0.001212	0.00001	0.00734	0.00021	0.00037	0.00001	76.4	72	7.81	0.09	7.4	0.22	7.8	0.14	1.56	1788	283	11110	152	0.27
TK104_C3_Z1	0.04612	0.00924	0.001304	0.00005	0.00818	0.00161	0.00045	0.00003	3.8	423	8.4	0.34	8.3	1.62	9.2	0.65	-1.23	106	17	150	13	4,16
TK104_C3_Z3 TK104_C3_Z4	0.04629	0.00333	0.001286	0.00003	0.00809	0.00056	0.00038	0.00002	12.8	165	8.28	0.17	8.2	0.57	7.8	0.43	-1.01	130	19	374	33	0.07
TK104_C4_Z1	0.04633	0.00169	0.001214	0.00002	0.00768	0.00027	0.00038	0.00001	14.8	84	7.82	0.11	7.8	0.27	7.7	0.17	-0.29	610	90	879	77	0.15
13TK108	0.04769	0.00163	0.001221	0.00002	0.00708	0.00026	0.00036			80	7.84	0.1		0.26	1.1	2.1	2.67	1844	247	1100	24	1.16
108A_L1_205	0.04545	0.00294	0.001284	0.00002	0.00816	0.0005	0.00041	0.00001	21.7	146	8.27	0.14	8.3	0.51	8.4	0.25	0.31	229	3.2	352	15	0.14
108A_L1_207	0.04645	0.00132	0.001221	0.00001	0.00777	0.00021	0.00037	0	21.2	66	7.87	0.09	7.9	0.21	7.5	0.1	0.43	1580	218	1009	42	0.35
108A_L1_Z10	0.04624	0.00105	0.001249	0.00001	0.0079	0.00017	0.00039	0	10.4	53	8.05	0.05	8	0.17	7.9	0.09	-0.97	3157	43.5	1482	61	0.47
108A_L2_202	0.04712	0.00106	0.00124	0.00001	0.00799	0.00017	0.00039	0	55.1	53	7.99	0.08	8.1	0.17	2.8	0.09	1.4	2484	342	1303	- 22	0.42
108A_L2_Z13	0.0466	0.0014	0.001323	0.00001	0.00791	0.00023	0.00039	0.00001	28.6	70	7.98	0.13	8.5	0.23	7.8	0.09	0.19	2172	400	1283	122	0.41
108A_L3_202	0.04618	0.00108	0.001238	0.00001	0.00781	0.00017	0.00038	0	7.1	55	7.98	0.08	7.9	0.18	7.7	0.09	-0.09	\$290	522	1844	137	0.51
108A_L4_201	0.04626	0.00194	0.001242	0.00002	0.00982	0.00032	0.00037	0.00001	18.3	97	8.21	0.12	8.2	0.38	6.1	0.16	-0.07	458	7.8	548	- 52	0.19
13TK118A																						
TK118A_C2_Z1	0.04502	0.00249	0.001485	0.00003	0.00972	0.00049	0.00047	0.00001	80.3	121	9.6	0.17	9.8	0.49	9.8	0.19	2.03	1259	178	730	45	0.38
TK118A_C3_Z1	0.04713	0.00312	0.001476	0.00003	0.00949	0.0006	0.0005	0.00002	55.5	151	9.5	0.2	9.6	0.61	10.2	0.49	0.00	131	19	369	28	0.08
TK118A_C5_Z1	0.04617	0.00294	0.001464	0.00003	0.00921	0.00056	0.00048	0.00002	6.4	147	9.43	0.18	9.3	0.57	9.7	0.54	-1.43	264	37	349	26	0.15
TC09_06	0.04671	0.00373	0.001814		0.01161		0.0004.4				11.60			0.44				204	1			
96A_L1_203	0.04071	0.00179	0.001815	0.00002	0.01101	0.00065	0.00054	0.00001	21.9		11.69	0.14	11.8	0.66		0.21	2.66	298	59	436	24	0.2
06A_L1_204	0.04647	0.00246	0.001765	0.00003	0.01119	0.00017	0.00056	0.00002	22.1	122	11.37	0.18	11.3	0,57	31.3	0.36	-0.8	252	37	500	- 28	0.11
06A L1 205	0.04823	0.00256	0.001803	0.00003	0.0115	0.0005	0.00057	0.00003	110.5	- 59	12.01	0.17	12.4	0.91	11.4	0.29	3.13	459	65	985	38	0.22
06A_L1_209	0.04619	0.00368	0.001784	0.00003	0.01126	0.00068	8.0006	0.00002	7,5	182	11.49	0,21	11.4	0.85	12.1	0.37	-0,79	177	25	229	. 9	0.17
06A L1 210 06A 12 203	0.04701	0.00399	0.001175	0.00003	0.01138	0.00055	0.00058	0.00002	11.7	146	11.49	0.2	11.6	0.86	111.8	0.39	-0.13	239	54	399	12	0.13
06A_L2_200	0.04636	0.00239	0.001823	0.00003	0.01156	0.00058	0.00059	0.00001	16.6	1.19	11.74	0.18	31.7	0.58	12	0.27	-0.26	450	64	444	17	9.23
06A_L2_209	0.04649	0.00365	0.001794	0.00003	0.01135	0.00088	0.00099	0.00002	22.9	200	11.40	0.21	11.4	0.88	12	0.4	0.07	197	25	250	10	0.16
TC09_41	0.048000					******					43.00					0.46	P.4.0	1				
TC41_C1_Z1 TC41_C1_Z2	0.0464	0.00033	0.001715	0.00003	0.01064	0.00075	0.0005	0.00002	18.4	254	11.04	0.22	10.0	0.75	80.2	0.39	-1.32	185	26	302	15	0.14
TC41_C2_Z1	0.04648	0.00752	0.001805	0.00004	0.01145	0.00084	0.00067	6.00003	22.9	173	11.63	6.24	11-0	0.84	13.5	0.52	-0.22	122	17	245	12	0.11
TC41_C2_Z2	0.04618	0.00486	0.001343	0.00004	0.01165	0.0012	0.00062	0.00002	6.8	238	11.87	0.28	11.8	13	12.8	0.47	-0.62	101	15	156		0.2
TC41_C5_Z1	0.04628	0.0046	0.001564	0.00004	0.01179	0.00115	0.00042	0.00002	12.4	223	10.11	1.24	11.9	1.15	12.5	0.42	-0.86	92	13	106	6	0.19
TC41_C1_Z2	0.04635	0.00319	0.001844	0.00003	0.01167	0.00078	0.000%6	0.00002	15.0	1.98	11.88	0.21	11.8	0.79	11.3	0.58	-0.07	110	16	165		0.15
TC09.75	0.04847	0.00399	0.001794	0.00004	0.01119	0.00004	0.00004	0.00004	** 1	1.04	11,09		11.3	0.04	14.0		-41.55	154		- 234	-	
75_11_200	0.0474	0.003999	0.001682	9.00004	0.01094	0.00089	0.00058	0.00002	68.6	190	10.84	0.24	11	-6.9	81.7	9.35	1.48	-848	63	341	19	9.26
75 11 200	0.04626	0.01344	0.001735	0.00001	0.01069	0.00324	0.00055	0.00007	11	599	11.11	0.53	11	3.26	11.2	1.91	-0.05	28	- 2	45	2	0.14
75_11_205	0.04611	0.00627	0.001794	0.00001	0.01152	0.0015	0.00064	6,00003	3.1	299	11.55	0.35	31.4	1.53	12.9	0.64	-1.34	11.5	10	134	7	0.19
75_L1_205 75_L1_207	0.04704	0.00554	0.001792	0.00004	0.01157	0.00057	0.00055	0.00002	51.3	175	11.54	0.24	11.7	1.65	11.6	0.33	1.33	296	42	246	12	0.27
*77.1.1.211	0.04705	0.0014	0.002073	0.00003	0.01337	0.00038	0.00065	0.00001	51.2	70	13.35	0.16	13.5	0.38	13.2	0.21	1.13	856	122	781	310	0.25
75_11_Z14	0.04732	0.01003	0.001814	0.00007	0.01171	0.00244	0.00054	0.00004	05.1	440	11.68	0.44	11.8	2.45	32.8	0.85	1.01	54		92		0,19
75 12 206	0.04957	0.00421	0.001744	0.00004	0.0118	0.00097	0.00063	0.00002	174.5	187	11.23	8.25	11.9	0.98	12.7	0.44	5.62	182	26	216	11	0.19
15_13_206	0.04762	0.0045	0.001752	6.00004	0.01142	0.00104	0.00065	0.00002	79.5	211	11.28	0.27	11.9	1.08	13.1	0.39	1.89	273	20	198	-10	0.31
\$2A_L1_201	0.0466	0.00219	0.002121	0.00003	0.01356	0.00062	0.00067	0.00001	25.0	1.09	13.66	0.18	13.7	0.62	13.5	0.21	0.31	732	104	461	21	0.35
#2A_L1_203	0.04659	0.00147	0.002184	0.00003	0.01392	0.00042	0.00071	0.00001	28.3	74	14.06	0.16	11	0.42	14.8	0.25	-0.45	561	80	892	32	0.18
82A L1 Z19	0.04687	0.00165	0.002203	0.00003	0.01413	0.00048	0.00067	0.00001	42.6	84	14.18	0.19	163	0.48	13.5	0.26	0.81	1135	101	10.96	47	0.24
82A_L2_204	0.04635	0.00156	0.002142	0.00003	0.01361	0.00044	0.00064	0.00001	15.4	78	18.79	0.17	13.7	0.44	12.0	0.23	-0.09	140.8	199	1096	50	0.28
\$2A_1.3_206	0.04641	0.0012	0.002131	0.00002	0.01398	0.00033	0.00064	0.00001	20.5	40	13.59	0.14	13.6	0.33	10.3	0.18	0.05	1812	244	1112	46	0.31
82A_L3_Z09	0.04687	0.00224	0.002032	0.00003	6.01392	0.0008	0.00065	0.00001	42.3	111	13.09	0.2	13.1	0.0	12.1	0.26	0.11	837	113	649	27	0.29
52A_L3_211 52A_L4_208	0.04704	0.00389	0.002013	0.00004	0.01294	0.00104	0.00071	0.00002	213.5	187	12.97	0.28	13.1	0.72	13.2	0.48	8.13	254	58	554	13	0.21
TC99_110	10000	and the second			10000					10.000		1000					100	0010	500	10000	1.1	0.10055
110A_L1_Z06	0.04628	0.0022	0.001675	0.00003	0.01062	0.00049	0.00055	0.00001	12	110	10.79	0.12	10.7	0.48	10.0	0.27	-0.8	295	414	490	20	0.14
110A_L1_Z14	0.04628	0.00262	0.001664	0.00003	0.01053	0.00058	0.00056	0.00002	12.4	131	10.72	0.18	10.6	0.58	11.3	0.3	-4.11	305	43	403	17	0.17
110A_L1_Z18	0.04675	0.00189	0.001665	0.00002	0.01045	0.00042	0.00047	0.00001	36.5	94	10.78	0.13	10.7	0.42	11.4	0.26	-0.23	191	27	409	17	0.1
110A_L3_204	0.04622	0.00284	0.001615	0.00003	0.01021	9.00001	0.00049	0.00002	9.1	142	10.4	0.18	10.3	0.61	9.0	0.31	-0.97	238	33	583	14	0.14
110A_L3_208	0.0458	0.00394	8.001634	0.00004	0.01026	0.00088	0.00059	0.00002	0.1	183	10.53	6.24	10.4	0.88	81.6	0.45	-1.23	177	24	270	10	0.15
110A_L4_207	0.04636	0.0032	0.001833	0.00003	0.01035	0.00049	0.00051	0.00002	18.5	158	10.55	0.25	10.6	0.09	10.5	0.31	-0.23	289	40	363	14	0.13

## Annexe n°9 : Données U-Pb sur zircons (suite)

			ISOTOPI	C RATIOS							AGES	(Ma)					CONC	ENTRA	noss a	(mp	1,1
Analysis	<sup>387</sup> Pb/ <sup>366</sup> Pb	± 10	296Pb/29U ± 10	<sup>207</sup> Pb / <sup>209</sup> U	$\pm 1\sigma$	<sup>366</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th	±10	387Pb/586Pb	$\pm 1\sigma$	<sup>266</sup> Pb / <sup>256</sup> U	$\pm 10$	<sup>307</sup> Pb / <sup>238</sup> U	$\pm 10$	<sup>308</sup> Pb/ <sup>233</sup> Th	+10	leone.	Th	* 20	U	+ 20	2 Cmar
TC09_113																					and the second
113_L1_202	0.04705 0.	00551	0.001814 0.00005	0.01165	0.00133	0.00058	0.00003	51.4	259	11.68	0.32	11.8	1.34	11.7	0.59	0.99	97.	23	5.90	23	0.17
113_L1_205	0.04621 0.	00737	0.001774 0.00006	0.01121	0.00175	0.00056	0.00004	8.8	345	11.43	0.36	11.3	1.76	11.3	0.75	-1.12	10	11	68	12	0.17
113_L1_Z08	0.04702 0/	00595	0.001755 0.00004	0.01125	0.0014	0.00058	0.00003	50.1	278	11.3	0.27	11.4	1.41	11.8	0.7	0.86	41		71	12	0.13
113_11_210	0.04624 0.	00270	0.001695 0.00003	0.01009	0.000110	0.00055	0.000003	10.3	136	10.91	0.19	10.8	0.63	12.2	0.50	0.95	141	3.7	314	6.5	0.17
113 L1 Z13	0.04635 0/	00255	0.001743 0.00003	0.01104	0.00059	0.00055	0.00001	15.7	127	11.23	0.18	11.1	0.59	11.2	0.26	-1.13	303	64	283	50	0.24
113_L3_Z02	0.04626 0.	00787	0.001664 0.00008	0.01054	0.00176	0.0006	0.00004	10.9	365	10.72	0.37	10.7	1.77	12.2	0.76	-0.16	64	13	79	14	0.18
113_L3_205	0.04649 0.	00522	0.001774 0.00004	0.0113	0.00124	0.00054	0.00002	23	250	11.42	0.28	11.4	1.25	30.9	11.5	-0.21	96	20	116	20	0.19
113_L3_Z09	0.04633 0.	00793	0.001724 0.00005	0.0109	0.00184	0.00055	0.00004	14.6	367	11.1	0.34	11	1.85	13.4	0.73	-0.95	67	50	00	1.5	0.17
113_13_211	0.04721 0.	00896	0.001785 0.00006	0.01152	0.00215	0.00071	0.00003	59.4	399	11.5	0.4	11.6	2.16	24.3		1.45	43	.2	111	1.1	0.12
113_L4_204	0.04611 0/	00756	0.001544 0.00005	0.00097	0.00151	0.00044	0.00004	3.6	354	9.94	0.33	10.7	1.71	8.9	0.55	4.41	44	- 52	121	4	0.4
TC09 120															1.000	1.120		- 53			
120_L1_Z07	0.04625 0.	00147	0.001304 0.00002	0.00825	0.00025	0.00042	0.00001	10.8	74	8.4	0.11	8.3	0.25	8,5	0.16	-1.21	856	134	1336	62	0.16
120_L2_Z04	0.04607 0.	00366	0.00126 0.00004	0.00797	0.00059	0.00042	0.00001	1	175	8.1	0.2	8.1	0.6	8.5	0.2		1078	277	523	24	0.54
120_L2_Z07	0.0465 0.	00156	0.001305 0.00002	0.0083	0.00027	0.00044	0.00001	23.4	79	8.41	0.11	8.4	0.27	8.9	0.2		459		1067	- 28	0.1
120_L3_208	0.04773 0.	00287	0.001385 0.00003	0.0089	0.00051	0.00044	0.00002	84.9	138	8.8	0.17		0.52		0.38	2.27	404	20	1012	20	0.09
120_13_111	0.04504 0.	00824	0.001395 0.00003	0.00816	0.00144	0.00042	0.00002	0.1	377	8.41	0.10	8.2	1.45	0.1	1.13	-2.58	- 40	12	143		0.07
120 L3 Z118	0.04926 0.	00155	0.0013 0.00002	0.00883	0.00024	0.00041	0.00001	160	75	8.4	0.1	8.9	0.2	8.3	.0.3	5.62	031	120	1912	44	0.11
120 L4 Z07	0.046 0.	00706	0.001336 0.00004	0.00835	0.00126	0.00042	0.00005	0.1	331	8.61	0.26	8.4	1.27	6.4	1.04	-2.45	-45		150		0.06
TC09_129																					
129_L1_Z04	0.04725 0	0.0016	0.001441 0.00002	0.0093	0.0003	0.00041	0.00001	61.4	79	9.28	0.12	9.4	0.3	8.2	0.13	1.21	1240	185	636	110	0.38
129_L1_205	0.04674 0.	00067	0.001386 0.00001	0.00887	0.00012	0.0004	0	35.9	34	8.93	0.08	9	0.12	10	0.09	0.79	108.99	1014	3787	500	0.04
129_L1_200	0.04685 0	00104	0.001402 0.00002	0.00897	0.00028	0.00041	0.00001	41.5	57	9.03	0.11	9.1	0.20	6.5	0.11	0.11	1441	114	1130	140	0.18
129 12 208	0.04638 0	0.0018	0.001603 0.00002	0.01019	0.00038	0.00054	0.00001	17.2	91	10.33	0.14	10.3	0.38	10.9	0.23	-0.26	8.61	82	560	74	0.22
129 L3 205	0.04642 0.	00123	0.001411 0.00002	0.00899	0.00023	0.00044	0.00001	19.7	62	9.09	0.11	9.1	0.23	8.9	0.17	0.1	1761	262	1170	154	0.33
129_L3_Z13	0.04618 0.	00078	0.0014 0.00001	0.00887	0.00014	0.00043	0	7.3	40	9.02	0.08	9	0.14	8.6	0.09	-0.21	4428	586	2442	114	0.4
129_L4_Z04	0.04929 0	0.0014	0.001383 0.00002	0.00931	0.00025	0.00043	0.00001	161.6	65	8.91	0.1	9.4	0.25	8.6	0.13	5.24	1247	145	3110	82	0.25
129_L4_205	0.04619 0.	00063	0.001427 0.00001	0.00902	0.00012	0.00044	0	7.7	33	9.19	0.08	9.1	0.12	8.8	iD, QH	-1.02	11478	1120	4394	204	0.58
135 L1 201-A	0.04624_0	00293	0.001212_0.00002	0.00768	0.00047	0.00038	0.00001	10.4	145	7.81	0.15	7.8	0.47	7.7	0.18		949	1.41	730	18	0.29
135 L1 201-B	0.04654 0.	00227	0.001134 0.00002	0.00719	0.00034	0.00035	0.00001	25.7	113	7.3	0.11	7.3	0.34	7.1	0.17	-0.05	601	88	700	36	0.19
135 L1 207	0.04611 0.	00311	0.001094 0.00002	0.00687	0.00045	0.00035	0.00001	3.4	155	7.05	0.13	6.9	0.45	7.1	0.23	-2.14	383	56	479	25	0.18
135_L1_209	0.04627 0.	00225	0.001172 0.00002	0.00737	0.00034	0.00037	0.00001	11.8	113	7.55	0.12	7.5	0.35	7.5	0.15	-0.08	1044	172	770	-40	0.3
135_L1_Z11	0.04616 0.	00325	0.001153 0.00002	0.00727	0.0005	0.00036	0.00001	5.8	161	7.43	0.13	7.4	0.5	7.4	0.2	-0.42	174	40	293	15	0.23
135_L2_Z06	0.04839 0.	00158	0.001112 0.00001	0.00734	0.00023	0.00036	0.00001	118.6	75	7.16	0.09	7.4	0.23	7.2	0.12	3.2	2287	334	3710	- 89	-0.3
135_12_207	0.04612 0.	00769	0.001158 0.00004	0.00736	0.00121	0.00038	0.00001	3.7	359	7.40	0.25	7.4	0.20	2.0	0.16	-0.83	1.583	1.40	1714		0.11
TC09 37	0.04014 0.		0.001097 0.00004		0.00040	0.000000	0.00001	200	102	1.000	0.11		0.45	1.1			P P C L				
37A-L1-203	0.04612 0.	00094	0.00143243 0.00001	0.00902	0.00018	0.00048	0.00001	3.8	48	9.23	0.1	9.1	0.18	9.7	0.13	-1.40	2923	345	2132	131	9.26
37A_L1_Z06	0.04649 0.	00449	0.001615 0.00003	0.01026	0.00097	0.00057	0.00003	23.1	217	10.40	0.22	10.4	0.97	11.0	0.56	-0.03	94	14	197	12	0.33
37A_L2_Z10	0.04646 0.	00140	0.001662 0.00002	0.01054	0.0003	0.00053	0.00001	21.6	70	10.71	0.13	10.6	0.31	10:8	91.0	-1.01	1035	149	866	53	0.27
37A_L3_205	0.04589 0.	00138	0.001682 0.00002	0.01120	0.0003	0.00054	0.00001	133	65	10.83	0.13	11.3	0.30	20.0	0.17	0.12	17.0	223	262	14	0.28
37A L3 207	0.04651 0.	00185	0.001693 0.00003	0.01076	0.00041	0.00054	0.00001	24.2	93	10.90	0.15	10.9	0.42	20.0	0.21	-0.01	709	102	622	18	0.25
TC09 26																					
TC26_C3_Z1	0.04657 0.	00580	0.001564 0.00005	0.00992	0.0012	0.00048	0.00003	27	274	10.07	0.32	10.0	1.20	9.8	0.54	-0.74	105	22	209		0.18
137878																					
78_L1_Z10	0.04694 0.	00340	0.001244 0.00000	0.00799	0.00036	0.00046	0.00002	45.8	105	8.01	0.10	8.1	0.50		0.32	1.08	47116		2,240		0.17
78_1.2_209	0.04637 0.	00144	0.001242 0.00001	0.00789	0.00028	0.00037	0.00001	16.8	78	8.00	0.10	8.0	0.26	7.6	0.12	-0.03	2500	171	2031	121	0.28
78 L3 Z10	0.04640 0.	00151	0.001252 0.00002	0.00796	0.00025	0.00040	0.00001	18.2	75	8.07	0.10	8.0	0.25		0.14	-0.85	2629	377	2169	129	0.27
13TK106																					
TC106_C1_Z1	0.04696 0.	00225	0.001274 0.00002	0.00817	0.00038	0.00041	0.00001	46.8	111	8.21	0.13	8.3	0.38	8.3	0.21	1.10		85	822	31	0.16
TC106_C2_Z1	0.04632 0.	00275	0.001284 0.00002	0.00810	0.00047	0.00042	0.00001	14.4	137	8.27	0.13	8.2	0.47	8.0	0.21	-0.87	214	31	274	10	0.17
TC108_C4_Z1	0.04715 0.	00162	0.001192 0.00002	0.00769	0.00025	0.00038	0.00001	56.4	80	7.68	0.10	7.8	0.26	7.0	0,12	1.52	1109	101	903	- 22	0.27
117814	0.04645 0.	00135	0.001229 0.00001	0.00781	0.00022	0.00038	0.00001	20.9	07	1.94	0.00	1.9	0.22	1		41.25	4103		1794		0.49
TKIA CI ZI	0.01222 0/	00446	0.001843 0.00001	0.01332	90100.0	0.00067	0.00002	294.0	104	12.00	0.30	13.4	1.10	0.9	0.40	10.64	153	28	100	24	0.21
TKIA_C4_ZI	0.01212 0.	00102	0.001840 0.00002	0.01315	0.00024	0.00079	0.00001	290.6	44	11.85	0.13	13.3	0.24	12	0.12	10.91	5428	1010	2856	42.2	0.42
TK1A_C6_21	0.04614 0/	00172	0.001839 0.00002	0.01162	0.00042	0.00056	0.00001	4.9	86	11.84	0.56	11.7	0.42	11.3	0.16	4.23	870	162	414	61	0.47
TKIA_C6_Z2	0.04628 0	00228	0.001842 0.00003	6.01170	0.00055	0.00059	0.00001	12.3	112	11.86	0.20	11.4	0.55	11.8	0.24	-0.53	664	124	405	2.5	0.30
THE CL PI	0.04804 0	00880	0.000128.000000	0.00713	0.00112	0.00014	0.00005		100						64			1.0	1.04		111
TKS C2 Z1	0.04616 0.	00234	0.001773 0.00003	6.00502	0.000192	0.00043	8.00000	0.1	118	8.20	0.13	1.1	6.39	3.0	0.19	1.26	4.71	70	101	29	0.17
TK8 C3 Z1	0.04652 0	00621	0.000273 0.00004	0.00805	0.00104	0.00036	0.00002	14.5	294	8.20	0.28	8.1	1.05	1.2	6.37	-1.23	326	45	303	12	9.34
TK8_C5_Z1	0.04614 0	09266	0.000172 0.00002	0.00737	0.00041	0.00035	0.00001	5.1	133	7.55	0.14	7.8	0.41	7.1	0.17	-0.67	805	124	675	3.8	0.30
13TK25																					
TK23_C5_Z1	0.04689 0.	00090	0.001480 0.00003	0.00949	0.00017	0.00047	0.00001	33.2	47	9.53	0.10	9.0	0.18	9.5	0.12	0.71	3127	495	1642	130	0.43
TK25_C5_72	0.04639 0.	00114	0.001430 0.00003	0.00909	0.00026	0.00048	0.00001	18.1	66	9.21	0.11	9.2	0.26	9,7	0.15	-0.18	2805	444	1649	130	0.38
TC1170 C7 71	0.04607 0	11100	10013E 0.0000	0.00244	0.00072	0.00044	1				0.7	(6.10	0.20	6.4	1.00	0.04	3001	412	1267	116	6.12
1C117B C7 71	0.04628_0	00175	0.001322 0.00003	0.00814	0.0003	0.00041	0.00001	12.1	80	8.51	0.17	1.7	0.30	1.0	0.12	-1.11	1,203	105	844	80	0.31
· I indentified the					-		-														

concentration and a concentration of the second seco

Type roche sample sample	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-0010	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-0012	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-0016	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-003	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-004	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-006	Mz-gabbro TK002 TK002A-C1-009	Mz-gabbro TK002 TK002A-C2-0018	Mz-gabbro TK002 TK002A-C2-0023	Mz-gabbro TK002 TK002A-C2-0024	Mz-gabbro TK002 TK002A-C2-0025	Mz-gabbro TK002 TK002A-C2-0026
SiO2	53.07	53.19	54.62	52.63	51.41	52.61	54.61	51.75	54.67	54.92	49.44	53.21
TiO2	0.38	0.42	0.19	0.73	1.19	0.81	0.27	1.17	0.12	0.11	1.87	0.49
AI2O3	1.27	1.36	0.74	2.06	3.05	2.10	0.72	3.19	0.48	0.56	4.35	1.31
FeO	8.58	8.23	19.09	7.78	7.92	8.07	19.51	6.81	18.91	18.82	7.66	8.21
MnO	0.15	0.24	0.48	0.17	0.21	0.18	0.42	0.13	0.46	0.46	0.14	0.26
MgO	14.06	14.51	23.90	14.56	13.80	14.32	23.57	13.88	24.51	24.53	13.23	15.02
CaO	22.42	21.60	1.24	21.94	22.07	22.06	1.22	23.60	0.70	0.71	22.79	21.36
K2O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
Na2O	0.36	0.46	0.04	0.42	0.55	0.45	0.06	0.30	0.00	0.02	0.50	0.40
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.02	0.07	0.00	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.04	0.02
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.33	100.05	100.32	100.32	100.21	100.60	100.40	100.88	99.85	100.15	100.01	100.27
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.97	1.97	2.00	1.94	1.90	1.94	2.01	1.90	2.01	2.01	1.84	1.97
Ti	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.05	0.01
AL (T)	0.03	0.03	0.00	0.06	0.10	0.06	0.00	0.10	0.00	0.00	0.16	0.03
AL (M1)	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fo3+ (M1)	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01
Fe3+ (T+M1)	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.01
Fo2+	0.25	0.00	0.50	0.23	0.03	0.23	0.60	0.20	0.58	0.58	0.17	0.24
Mn	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Ma	0.70	0.01	1 21	0.01	0.76	0.70	1.20	0.00	1.24	1.24	0.72	0.01
Co	0.70	0.80	0.05	0.80	0.70	0.77	0.05	0.70	0.02	0.02	0.73	0.03
v v	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.93	0.03	0.03	0.91	0.00
No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.03	0.03	0.00	0.03	0.04	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.03
LI 70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
211	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INI Or	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ur C-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Quart	0	0	0	Quart	Quard	Quart	Quard	Quart	0	Quard	0
group	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
aujective	dia matrix		(-II)	dia analaha	aiuininian	dia analaha	(-11)+-+1+-	aiuininian	(-11	(-11	aiuininian	
pyroxene	aiopsiae	augite	(clino)enstatite	aiopsiae	aiopsiae	aiopsiae	(ciino)enstatite	aiopsiae	(clino)enstatite	(clino)enstatite	aiopsiae	augite
enstatite	40.1	41.7	00.8	41.9	40.3	41.1	00.2	40.0	08.3	08.4	38.9	42.8
rerrosillite	14.0	13.7	30.7	12.8	13.3	13.3	31.4	11.2	30.3	30.2	12.9	13.5
wollastonite	40.U	44.0	2.5	45.3	40.4	45.0	2.5	48.8	1.4	1.4	48.2	43.7
jadeite												
aegirine												

Type roche	Mz-gabbro	Mz-gabbro	Monzonite	Monzonite	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS
sample	TK0024 C2 0027	TK002	TC00 116 TonoD 12	TC00 116 7emoD 25	TC09-10	TC00-10-C10-m2	TC00-10-C11-p1	TC00-10-C11-m2	TC00-10-C12-p1	TC09-10 TC00-10-C4-p1	TC09-10 TC00-10-C4-p1	TC00-10-C0-p1
sample	TK002A=C2=0027	TK002A+02+0029	1009-110-2011eb-12	1004-110-2016B-30	1004-10-010-b1	1009-10-010-pz	1009-10-011-p1	1009-10-011-bz	1009-10-012-p1	1009-10-04-p1	1004-10-00-b1	1009-10-00-b1
SIO2	51 10	54 54	53.00	53 11	51.82	50.97	51.41	51 30	10 02	51.01	51.00	51 10
TiO2	1 29	0.23	0.13	0.00	0.11	0.12	0.33	0.36	0.00	0.00	0.26	0.41
AI2O3	3.12	0.58	1.40	1 76	0.25	0.16	0.53	0.85	0.00	0.00	0.50	0.61
FeO	7.40	10.01	14.27	15.45	17 10	18.23	15.24	1/ 95	21.63	10.00	16.01	16.32
MnO	0.21	0.47	0.30	0.34	1.02	0.85	0.73	0.80	1.08	0.96	0.92	0.70
MaQ	14.22	0.47	15.00	14.52	0.54	0.03	10.73	10.77	1.00	7.26	0.92	10.02
CaO	22.42	1.24	11.20	14.52	21.00	21.40	21.55	21.24	4.71	22.42	20.01	21.20
Kao	22.42	0.00	0.40	0.04	21.00	21.40	21.00	21.24	22.39	22.42	20.91	21.29
N20	0.02	0.00	0.40	0.24	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02
Nazu	0.45	0.04	1.10	0.86	0.26	0.41	0.37	0.39	0.44	0.34	0.26	0.48
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.04	0.02	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.46	99.80	98.13	98.12	102.01	100.71	100.65	100.77	100.17	101.19	100.30	101.04
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.89	2.01	2.05	2.03	1.96	1.97	1.96	1.95	1.98	1.97	1.97	1.94
Ti	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
AI (T)	0.11	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03
AI (M1)	0.02	0.03	0.06	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03
Fe3+ (M1)	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.05	0.03	0.07
Fe3+ (T+M1)	0.05	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.04	0.10
Fe2+	0.18	0.59	0.45	0.49	0.47	0.50	0.41	0.40	0.65	0.54	0.50	0.42
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
Mg	0.78	1.30	0.85	0.83	0.54	0.49	0.59	0.61	0.28	0.42	0.54	0.57
Ca	0.89	0.05	0.46	0.48	0.89	0.88	0.88	0.86	0.95	0.93	0.86	0.87
К	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.03	0.00	0.09	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
adjective	aluminian	Quuu	4444	2000	2000	0000	0.000	0000	4444	4000	6000	6000
nyrovene	dionside	(clino)enstatite	aurito	aurite	aunite	aurite	aurito	aunite	bodonhoraito	bodonborgito	aurite	aurita
opstatito	41.1	66.7	17 0	45.6	27.0	24.7	20.0	20.0	14.0	20.0	27.4	20 7
forrocillito	12.5	20.0	26.2	27.0	20.0	20.0	26.7	25.4	20.0	20.7	20.0	20.7
wolloctopito	12.5 46 E	2.5	26.2	21.0	44.4	44.4	44.2	42.0	10.0	32.0 A6 A	12.6	12.0
indoito	40.0	2.0	20.0	20.0	44.4	44.4	44.3	43.0	40.0	40.4	43.0	43.0
Jauene									*******			
acyline		*******			*****				*******		*******	*****

Type roche	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS
sample	TC09-10-C9-p1	TC09-10-C9-p2	TC09-10-C9-p3	TC09-10-C9-p4	TC09-26-C10-p1	TC09-26-C1-p1	TC09-26-C2-p1	TC09-26-C2-p2	TC09-26-C2-p3	TC09-26-C5-p1	TC09-26-C6-p1	TC09-38-zE-057
SiO2	52.00	52.69	50.39	50.04	51.75	51.34	51.91	52.42	51.16	51.49	51.95	51.89
TiO2	0.72	0.03	0.21	0.05	0.38	0.43	0.43	0.29	0.47	0.43	0.38	0.46
AI2O3	0.72	0.22	0.23	0.13	0.46	0.65	0.48	0.66	0.57	0.79	0.65	1.05
FeO	14.67	13.70	19.07	20.74	13.80	12.76	13.12	12.61	13.36	13.00	12.55	12.86
MnO	0.95	0.78	0.95	0.89	0.80	0.85	0.74	0.77	0.84	0.85	0.88	0.61
MaQ	11.67	11.21	7 10	6.24	11.16	11.15	11 30	11.40	11.21	11.25	11 34	12.10
CaO	20.95	22.34	21.48	21 31	21.87	22.06	21.88	21.97	22.12	21.88	22.18	21.32
K20	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04	0.04
Na2O	0.44	0.15	0.45	0.47	0.66	0.72	0.64	0.72	0.70	0.74	0.71	0.65
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
Sc203	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Total	102.14	101 12	00.00	0.00	100.87	0.00	100.54	100.82	100.45	100.46	100.68	100.08
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987				
ci	1.04	1.00	1 07	1.07	1.05	1.05	1.04	1 07	1.02	1.04	1.05	1.04
3i Ti	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
AL (T)	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
AI (1)	0.05	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
AL (IVII)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (1)	0.05	0.00	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.04	0.02	0.02	0.01
Fe3+ (IVII)	0.05	0.02	0.05	0.06	0.08	0.08	0.06	0.07	0.09	0.09	0.08	0.08
Fe3+ (1+IVI1)	0.08	0.02	0.06	0.08	0.11	0.11	0.08	0.07	0.13	0.11	0.10	0.09
Fe2+	0.38	0.41	0.56	0.61	0.33	0.30	0.33	0.33	0.29	0.30	0.30	0.31
Mn	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Mg	0.65	0.63	0.41	0.37	0.63	0.63	0.64	0.64	0.63	0.63	0.64	0.67
Ca	0.84	0.90	0.90	0.90	0.88	0.90	0.89	0.88	0.90	0.88	0.89	0.85
ĸ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.03	0.01	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
adjective					ferrian	ferrian			ferrian	ferrian		
pyroxene	augite	diopside	hedenbergite	hedenberaite	diopside	diopside	diopside	diopside	diopside	diopside	diopside	augite
enstatite	32.9	31.7	21.0	18.5	31.8	32.2	32.5	32.8	32.0	32.4	32.6	34.6
ferrosillite	24.7	23.0	33.3	36.0	23.4	22.1	22.4	21.6	22.7	22.4	21.7	21.6
wollastonite	42.4	45.4	45.7	45.5	44.8	45.8	45.2	45.5	45.3	45.2	45.8	43.8
iadeite												
agairing												
Quad												

Type roche	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS
sample	TC09-38	TC09-38	TC09-38	TC09-82	TC09-82	TC09-82	TC09-82	TC09-82	TC09-82	TK001A	TK001A	TK001A
sample	TC09-38-zE-058	TC09-38-zE-061	TC09-38-zE-062	TC09-82-C10-p1	TC09-82-C14-p1	TC09-82-C2-p1	TC09-82-C6-p1	TC09-82-C7-p1	TC09-82-C8-p1	TK-001A-C1-2	TK-001A-C1-5	TK-001A-C1-6
SIO2	51.66	52.20	52.05	51 32	50.61	50.72	50.45	51.36	50.55	52 70	51 50	51 10
TIO2	0.37	0.82	0.72	0.67	0.08	0.14	0.11	0.28	0.36	0.27	0.31	0.22
AI2O3	1.08	1.24	1.14	1.64	0.18	0.19	0.23	0.57	0.80	1 10	0.98	0.71
F00	10.00	12.14	12.04	10.75	10.07	10.06	10.16	12 54	12.22	10.12	12.24	16.04
MpO	0.51	0.67	0.60	0.42	0.97	0.04	0.69	0.52	0.42	0.64	0.54	0.74
MaO	12.27	12.51	12.07	12.02	0.07	0.70	0.00	11.67	10.42	11 42	11 /1	0.70 9.0E
lvigO CoO	12.27	12.31	13.07	12.03	0.20	0.99	0.01	11.57	10.77	11.03	11.41	0.00
CaO KaO	20.40	21.14	21.30	22.77	0.01	20.21	20.13	22.30	22.40	22.00	21.70	22.04
K2U	0.13	0.05	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.81	0.76	0.71	0.46	0.51	0.44	0.49	0.40	0.40	0.46	0.46	0.51
LI2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.04	101.45	102.56	100.90	99.33	100.71	100.08	100.60	99.14	101.03	99.39	100.43
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987				
Si	1.94	1.94	1.94	1.91	1.98	1.96	1.96	1.94	1.94	1.97	1.97	1.98
Ti	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
AI (T)	0.05	0.05	0.05	0.07	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02
AI (M1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01
Fe3+ (T)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.03	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.10	0.07	0.07	0.09	0.05	0.07	0.07	0.08	0.07	0.02	0.04	0.04
Fe3+ (T+M1)	0.11	0.08	0.08	0.11	0.06	0.10	0.11	0.11	0.09	0.02	0.04	0.04
Fe2+	0.30	0.30	0.29	0.23	0.56	0.51	0.52	0.32	0.34	0.36	0.35	0.51
Mn	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
Ma	0.69	0.69	0.71	0.71	0.48	0.52	0.51	0.65	0.62	0.65	0.65	0.46
Ca	0.83	0.84	0.84	0.91	0.83	0.84	0.84	0.90	0.92	0.89	0.89	0.91
K	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.06	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZII Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ci Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
JL Tatal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
adjective	ferrian			ferrian		ferrian	ferrian	ferrian				
pyroxene	augite	augite	augite	diopside	augite	augite	augite	diopside	diopside	diopside	diopside	hedenbergite
enstatite	35.6	35.9	36.8	36.2	24.6	25.9	25.6	32.6	31.1	33.6	33.3	23.8
ferrosillite	21.6	20.5	20.0	17.7	33.1	32.3	32.4	22.2	22.3	20.6	21.1	29.4
wollastonite	42.7	43.6	43.2	46.1	42.3	41.8	42.0	45.2	46.5	45.8	45.6	46.8
iadeite												
aegirine												
0												

Type roche	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS	CaS
sample	TK31-C1-001	TK31-C1-005	TK31-C1-006	TK31-C1-007	TK-63B-C1-01	TK-63B-C1-010	TK-63B-C1-02	TK-63B-C1-04	TK-63B-C1-07	TK-63B-C1-08	TK-63B-C1-09
SiO2	49.85	49.81	49.80	51.31	51.71	50.37	50.17	49.93	50.42	50.26	50.05
TiO2	0.10	0.10	0.13	0.27	0.21	0.37	0.26	0.42	0.48	0.48	0.04
AI2O3	0.17	0.16	0.18	0.54	0.51	0.49	0.48	0.64	0.94	0.92	0.11
FeO	24.66	25.01	25.60	18.05	15.30	19.06	19.12	17.04	14.44	14.99	20.98
MnO	1.31	1.20	1.25	0.93	0.75	0.83	0.83	0.82	0.74	0.70	1.16
MgO	3.71	3.44	3.20	7.42	9.29	6.91	6.76	8.30	10.03	9.87	5.08
CaO	19.22	19.02	18.86	20.36	21.65	21.16	21.32	21.36	21.26	21.02	21.52
K2O	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04
Na2O	1.02	0.92	0.94	0.79	0.47	0.42	0.42	0.36	0.40	0.44	0.62
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.06	99.65	99.98	99.69	99.89	99.62	99.39	98.89	98.74	98.70	99.59
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987				
Si	1.99	2.01	2.00	2.00	1.99	1.98	1.98	1.96	1.96	1.95	1.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
AL (T)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.01
AL (M1)	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Fe3+ (M1)	0.08	0.05	0.05	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
Fe3+ (T+M1)	0.08	0.05	0.05	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
Fe2+	0.75	0.80	0.81	0.58	0.48	0.60	0.59	0.51	0.42	0.43	0.64
Mn	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04
Ma	0.22	0.21	0.19	0.43	0.53	0.41	0.40	0.49	0.58	0.57	0.30
Ca	0.82	0.82	0.81	0.85	0.80	0.89	0.00	0.00	0.88	0.88	0.92
K	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.00	0.07	0.00	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZII Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ju	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
TOLAI	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Ouad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
adiective	Quad	Quau	2000	2000	Quau	2000	2000	2000	Quuu	Quuu	Gasa
aujective	augito	audito	aurito	augito	dionsido	bodophoraito	bodophoraito	bodonhoraito	dionsido	augito	hodophoraito
opstatito	11.4	10.9	10.0	22.7	27.4	20.0	20.2	24.4	20.7	20.2	15.4
forrecillito	45.4	10.0	47.4	22.7	21.4	20.0	20.3	24.0	27.7	27.2	27.7
wollastopito	42.0	42.0	12.4	14.7	46.0	4E 7	46.0	45.6	4E 0	44.7	46.0
indoito	43.0	43.0	42.0	44.7	40.0	40.7	40.0	40.0	4J.Z	44.7	40.7
Jauente											
acyline											
Qudu	1										

Type roche sample sample	CaNaS TC09-59 TC09-59-C2-p1	CaNaS TC09-59 TC09-59-C4-p1	CaNaS TC09-59 TC09-59-C5-p1	CaNaS TC09-59 TC09-59-C7-p1	CaNaS TC09-59 TC09-59-C7-p2	CaNaS TC09-102 TC09-102-7B-021	CaNaS TC09-102 TC09-102-7B-034	CaNaS TC09-102 TC09-102-7D-51	CaNaS TC09-102 TC09-102-7D-61	CaNaS TC09-109 TC09-109-C10-p1	CaNaS TC09-109 TC09-109-C10-p2	CaNaS TC09-109 TC09-109-C1-p1
sample	1007 07 02 p1	1007 07 01 01	1007 07 00 p1	1007070707	1007 07 07 02	1007 102 20 021	1007 102 20 001	1007 102 20 01	1007 102 20 01	1007 107 010 p1	1007 107 010 pz	1007 107 01 p1
SiO2	52.79	51.82	53.07	51.95	52.33	53.30	52.78	53.74	54.62	51.06	51.42	51.79
TIO2	3.78	1.20	3.66	1.55	0.96	0.09	0.89	0.53	0.73	0.61	0.39	0.39
AI2O3	0.23	0.44	0.10	0.39	0.41	0.55	0.65	0.51	0.53	0.50	0.51	0.49
FeO	24.69	25.42	25.00	25.64	25.05	28.34	26.94	27.48	26.12	15.89	13.99	13.30
MnO	1.39	0.93	1.37	0.86	0.69	0.58	0.47	0.58	0.52	0.72	0.61	0.89
MgO	0.83	2.56	0.54	2.17	2.55	0.71	0.34	0.68	0.81	10.06	10.67	11.10
CaO	1.96	6.17	2.11	5.64	6.26	2.67	2.29	2.27	1.75	20.91	21.41	21.80
K2O	0.06	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
Na2O	12.97	10.19	12.63	10.60	10.29	11.69	12.73	11.69	12.02	0.64	0.77	0.51
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.02	0.06	0.00	0.05	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.72	98.79	98.50	98.87	98.55	97.94	97.13	97.51	97.08	100.46	99.77	100.27
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987					
Si	1.99	1.96	2.01	1.97	1.98	2.03	2.01	2.06	2.09	1.95	1.96	1.96
Ti	0.11	0.03	0.10	0.04	0.03	0.00	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
AI (T)	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02
AI (M1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (T)	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01
Fe3+ (M1)	0.75	0.71	0.69	0.72	0.72	0.77	0.83	0.70	0.64	0.06	0.07	0.05
Fe3+ (T+M1)	0.75	0.73	0.69	0.74	0.72	0.77	0.83	0.70	0.64	0.09	0.09	0.06
Fe2+	0.03	0.08	0.10	0.07	0.08	0.14	0.03	0.19	0.19	0.42	0.36	0.36
Mn	0.04	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Mg	0.05	0.14	0.03	0.12	0.14	0.04	0.02	0.04	0.05	0.57	0.61	0.63
Са	0.08	0.25	0.09	0.23	0.25	0.11	0.09	0.09	0.07	0.86	0.87	0.89
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.95	0.75	0.93	0.78	0.76	0.86	0.94	0.87	0.89	0.05	0.06	0.04
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Na	Ca-Na	Na	Ca-Na	Ca-Na	Na	Na	Na	Na	Quad	Quad	Quad
adjective	titanian	ferrian sodian	titanian	ferrian sodian	ferrian sodian							
pyroxene	aegirine	aegirine-augite	aegirine	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine	augite	diopside	diopside
enstatite										29.2	31.2	32.0
ferrosillite										27.1	23.9	22.9
wollastonite										43.7	44.9	45.1
jadeite	0	0	0.6	0	0.2	2.7	3.1	2.7	3.1			
aegirine	92.6	76.1	89.1	78.5	75.9	83.1	89.9	81.8	82.1			
Quad	7.4	23.9	10.3	21.5	23.9	14.2	6.9	15.5	14.9			

Type roche sample	CaNaS TC09-109	CaNaS TC09-109	CaNaS TC09-109	CaNaS TC09-109	CaNaS TC09-109	CaNaS TC09-131	CaNaS TC09-131	CaNaS TC09-45	CaNaS TC09-45	CaNaS TC09-45	CaNaS TC09-45	CaNaS TC09-45
sample	1C09-109-C3-p1	1C04-104-C2-b1	1C09-109-C6-p1	1C09-109-C6-p2	1C04-104-C6-b3	1C09-131-2C-055	1C09-131-2G-084	1 C09-45-ZA-004	1C09-45-ZA-007	1C09-45-ZA-008a	1C09-45-ZA-008b	1C09-45-2A-011
SiO2	51.41	51.23	50.40	51.30	50.95	51.86	51.88	50.95	51.17	52.44	52.06	52.52
TiO2	0.44	0.41	0.21	0.39	0.42	0.31	0.58	0.20	0.23	0.21	0.19	0.29
AI2O3	0.44	0.64	0.00	0.42	0.52	0.56	0.52	0.28	0.38	0.08	0.26	0.30
FeO	15.38	15.01	25.86	16.17	15.34	15.33	14.51	19.77	18.06	15.11	15.71	16.62
MnO	0.97	0.84	1.82	0.96	0.96	0.94	0.82	1.30	1.29	1.20	0.96	0.92
MgO	10.41	10.70	2.00	9.56	10.18	10.28	10.48	7.00	8.05	10.12	9.55	9.97
CaO	21.22	21.15	14.15	20.83	20.99	21.31	20.73	20.11	20.13	22.17	21.75	20.39
K2O	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.08	0.02	0.00	0.05
Na2O	0.44	0.52	4.48	0.58	0.46	0.47	0.62	1.22	0.96	0.61	0.71	1.04
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.03
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.72	100.51	99.00	100.24	99.84	101.08	100.14	100.84	100.40	101.95	101.20	102.14
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987						
Si	1.96	1.95	2.00	1.97	1.96	1.97	1.98	1.97	1.98	1.97	1.98	1.97
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
AI (T)	0.02	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01
AI (M1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (T)	0.02	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Fe3+ (M1)	0.05	0.07	0.33	0.05	0.05	0.05	0.03	0.11	0.08	0.06	0.06	0.09
Fe3+ (T+M1)	0.07	0.09	0.33	0.06	0.07	0.06	0.03	0.13	0.09	0.09	0.08	0.11
Fe2+	0.42	0.39	0.53	0.46	0.42	0.43	0.43	0.51	0.49	0.39	0.42	0.42
Mn	0.03	0.03	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
Mg	0.59	0.61	0.12	0.55	0.58	0.58	0.60	0.40	0.46	0.57	0.54	0.56
Са	0.87	0.86	0.60	0.86	0.86	0.87	0.85	0.83	0.83	0.89	0.88	0.82
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.03	0.04	0.35	0.04	0.03	0.03	0.05	0.09	0.07	0.04	0.05	0.08
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Quad	Quad	Ca-Na	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
adjective								ferrian				ferrian
pyroxene	augite	augite	aegirine-augite	augite	augite	augite	augite	augite	augite	diopside	diopside	augite
enstatite	29.9	30.7		28.0	29.6	29.6	30.8	21.0	24.1	28.7	27.7	28.9
ferrosillite	26.3	25.6		28.2	26.6	26.3	25.3	35.5	32.5	26.0	27.1	28.6
wollastonite	43.8	43.7		43.8	43.8	44.1	43.8	43.4	43.3	45.3	45.2	42.5
jadeite			0									
aegirine			35.5									
Quad			64.5									

Type roche sample	CaNaS TC09-45	CaNaS TC09-45 TC09-45-2D-030	CaNaS TC09-57 TC09-57-C6-p1	CaNaS TC09-57 TC09-57-C8-p1	CaNaS TC09-63 TC09-63-C1-p1	CaNaS TC09-63 TC09-63-C2-p1	CaNaS TC09-63 TC09-63-C2-p2	CaNaS TC09-63 TC09-63-C3-p1	CaNaS TC09-63 TC09-63-C4-p1	CaNaS TC09-63 TC09-63-C4-p2	CaNaS TC09-63 TC09-63-C4-p3	CaNaS TC09-63 TC09-63-C5-p1
sample	1007-43-20-027	1007-43-20-030	1003-37-00-p1	1009-37-00-p1	1009-03-01-p1	1009-03-02-p1	1009-03-02-pz	1009-03-03-p1	1009-03-04-p1	1009-03-04-pz	1009-03-04-p3	1003-03-03-p1
SiO2	51.37	51.72	50.60	50.26	52.18	52.60	51.64	51.99	52.17	53.26	52.56	53.29
TiO2	0.27	0.34	0.40	0.37	2.30	2.69	0.34	1.02	0.11	0.19	0.07	0.29
AI2O3	0.30	0.30	0.48	0.42	0.00	0.00	0.13	0.33	0.50	0.63	0.74	0.09
FeO	16.60	15.87	15.29	17.16	26.81	27.31	30.96	27.82	28.18	27.04	28.27	30.06
MnO	1.07	1.10	0.78	0.97	1.10	0.66	0.74	0.41	1.07	0.99	0.72	0.15
MaO	10.22	10.09	10.22	8.98	0.95	0.55	0.03	1.11	1.03	1.98	1.11	0.03
CaO	20.23	20.50	21.75	21.25	1.22	1.55	4.04	1.98	4.68	5.50	3.87	0.46
K2O	0.00	0.03	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.67	0.65	0.61	0.63	13.29	13.46	11.50	12.76	11.59	10.94	12.07	13.82
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.02	0.04	0.01	0.05	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.73	100.62	100.17	100.07	97.90	98.82	99.40	97.47	99.34	100.54	99.42	98.19
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.96	1.97	1.93	1.94	1.97	1.97	1.96	1.97	1.96	1.98	1.97	2.01
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.08	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01
AI (T)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00
AI (M1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Fe3+ (T)	0.03	0.01	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.08	0.06	0.09	0.09	0.87	0.85	0.87	0.91	0.88	0.79	0.91	0.98
Fe3+ (T+M1)	0.10	0.07	0.13	0.13	0.90	0.88	0.90	0.92	0.89	0.79	0.91	0.98
Fe2+	0.43	0.44	0.36	0.43	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
Mn	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00
Mg	0.58	0.57	0.58	0.52	0.05	0.03	0.00	0.06	0.06	0.11	0.06	0.00
Са	0.83	0.84	0.89	0.88	0.05	0.06	0.16	0.08	0.19	0.22	0.16	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.05	0.05	0.05	0.05	0.97	0.98	0.85	0.94	0.85	0.79	0.88	1.01
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.05	4.02	4.00	4.03	4.01	4.00	4.02	4.03
group	Quad	Quad	Quad	Quad	Na							
adjective	ferrian		ferrian	ferrian						magnesian		
pyroxene	augite	augite	diopside	hedenbergite	aegirine							
enstatite	29.5	29.4	29.3	26.1								
terrosillite	28.6	27.7	25.9	29.6								
wollastonite	41.9	42.9	44.8	44.4								
jadeite					0	0	0	0	0	0.6	0	0.4
aegirine					95.0	95.5	87.0	92.9	87.3	80.1	89.0	98.6
Quad					5.0	4.5	13.0	7.1	12.7	19.3	11.0	1.0

Type roche sample sample	CaNaS <b>TC09-63</b> TC09-63-C5-p2	CaNaS <b>TC09-63</b> TC09-63-C5-p3	CaNaS <b>TC09-63</b> TC09-63-C5-p4	CaNaS <b>TC09-63</b> TC09-63-C6-p1	CaNaS <b>TC09-63</b> TC09-63-C6-p2	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zA-008	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zA-015	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zA-017	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zA-018	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zA-020	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zB-021	CaNaS <b>TC09-68</b> TC09-68-zB-022
SiO2	52.98	53.11	52.68	52.77	52.15	53.45	53.10	51.13	51.26	52.90	52.66	53.14
TIO2	0.53	0.71	0.33	0.42	0.39	0.61	0.21	0.09	0.34	1.00	0.33	0.45
AI203	0.06	0.00	0.06	0.08	0.03	0.07	0.18	0.05	0.07	0.14	0.52	0.46
FeO	29.31	29.62	31 44	29.23	28.40	30.13	28.17	25 54	21.96	27 33	13.62	13 51
MnO	0.46	0.46	0.09	0.74	0.79	0.25	0.17	0.67	1 13	0.35	0.64	0.76
MaQ	0.28	0.19	0.03	0.83	0.99	0.09	0.56	1.23	4.81	0.67	10.78	10.10
CaO	1.87	2.95	0.36	4.00	4 10	0.52	4 41	13.10	16.51	4 79	21.36	21.06
K20	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na2O	13.00	12 21	13.60	11 77	11.67	12.99	10.63	5.42	3.02	10.15	0.56	1.27
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7n0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.02	0.00	0.01	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.08	0.10	0.05
Sc203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.51	99.27	98.60	99.85	98 59	98.16	97.42	97.24	99.09	97.41	100 56	100.81
Fe3+ model	Droop 1987	Droon 1987	Droop 1987	Droon 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droon 1987	Droon 1987	Droon 1987
Si	2.00	2.01	1.98	1 98	1.98	2.03	2.06	2.05	2.02	2.06	2.00	2.00
Ti	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01
AL (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AL (M1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.92	0.84	0.99	0.85	0.86	0.86	0.67	0.31	0.17	0.58	0.01	0.04
Fe3+ (T+M1)	0.92	0.84	1.00	0.87	0.88	0.86	0.67	0.31	0.17	0.58	0.01	0.04
Fe2+	0.00	0.09	0.00	0.05	0.02	0.10	0.25	0.55	0.55	0.31	0.43	0.39
Mn	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.04	0.01	0.02	0.02
Ma	0.02	0.01	0.00	0.05	0.06	0.01	0.03	0.07	0.28	0.04	0.61	0.57
Ca	0.08	0.12	0.01	0.16	0.17	0.02	0.18	0.56	0.70	0.20	0.87	0.85
ĸ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.95	0.89	0.99	0.86	0.86	0.96	0.80	0.42	0.23	0.77	0.04	0.09
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.01	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Na	Na	Na	Na	Na	Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Quad
adjective							ferrian sodian			ferrian sodian		
pyroxene	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	augite	diopside
enstatite											31.6	30.4
ferrosillite											23.4	24.1
wollastonite											45.0	45.5
jadeite	0.2	0	0	0	0	0.3	1.0	0.3	0.4	0.8		
aegirine	95.0	88.9	99.2	87.0	87.5	93.5	76.6	41.2	22.8	72.9		
Quad	4.8	11.1	0.8	13.0	12.5	6.1	22.4	58.5	76.8	26.2		

Type roche sample	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS
sample	TC09-68-zB-023	TC09-68-zB-030	TC09-68-zB-032	TC09-68-zC-036	TC09-68-zC-039	TC09-68-zC-040	TC09-68-zC-041	TC09-68-zD-047	TC09-68-zD-050	TC09-69-C1-p1	TC09-69-C1-p2	TC09-69-C2-p1
SiO2	52.27	52.16	50.97	51.66	51.83	51.85	51.46	51.95	52.94	52.08	52.47	52.15
TiO2	0.54	0.01	0.38	0.55	0.27	0.23	0.41	0.35	0.62	0.28	0.21	0.34
AI2O3	0.37	0.05	0.12	0.16	0.17	0.43	0.27	0.53	0.76	0.52	0.29	0.44
FeO	15.21	24.66	21.28	22.07	21.48	17.64	22.26	14.05	14.60	15.19	15.28	15.46
MnO	0.66	0.51	1.12	1.12	1.00	0.87	0.99	0.77	1.01	0.91	0.90	0.79
MgO	9.99	2.44	5.34	4.84	5.01	7.37	4.03	9.90	9.50	9.44	9.81	10.01
CaO	20.86	12.92	16.82	16.55	16.37	19.32	15.66	20.53	19.89	21.41	21.20	21.38
K2O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00
Na2O	0.59	5.81	2.69	2.66	2.80	1.71	3.03	0.85	1.56	1.15	1.12	0.82
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.04	0.06	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.53	98.62	98.74	99.64	98.94	99.42	98.15	98.93	100.94	100.99	101.26	101.39
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	2.00	2.04	2.01	2.03	2.04	2.01	2.05	2.01	2.00	1.97	1.98	1.97
Ti	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
AI (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
AI (M1)	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Fe3+ (M1)	0.00	0.35	0.16	0.10	0.10	0.07	0.09	0.01	0.05	0.10	0.09	0.07
Fe3+ (I+M1)	0.00	0.35	0.16	0.10	0.10	0.07	0.09	0.01	0.05	0.10	0.10	0.08
Fe2+	0.48	0.46	0.55	0.62	0.60	0.50	0.65	0.44	0.41	0.38	0.39	0.41
Mn	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Mg	0.57	0.14	0.31	0.28	0.29	0.43	0.24	0.57	0.53	0.53	0.55	0.56
Ca	0.85	0.54	0.71	0.70	0.69	0.80	0.67	0.85	0.80	0.87	0.86	0.86
ĸ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.04	0.44	0.21	0.20	0.21	0.13	0.23	0.06	0.11	0.08	0.08	0.06
LI 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INI Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CI Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ju	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
TOLAI	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Ouad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Ca-Na	Ouad	Ouad	Ouad	Ouad	Quad
adjective						sodian			sodian	ferrian		
pyroxene	augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	augite	aegirine-augite	augite	augite	diopside	augite	augite
enstatite	29.5					23.3		30.0	29.2	27.9	28.7	29.0
ferrosillite	26.3					32.8		25.2	26.9	26.7	26.6	26.5
wollastonite	44.2					43.9		44.7	43.9	45.4	44.6	44.5
jadeite		0.3	0.7	1.4	1.5		2.8					
aegirine		43.3	20.0	18.8	19.7		20.3					
Quad		56.5	79.2	79.8	78.8		76.9					

Type roche sample sample	CaNaS <b>TC09-69</b> TC09-69-C2-p2	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C3-p1	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C4-p1	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C4-p2	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C4-p3	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C5-p1	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C5-p2	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C7-p1	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C7-p2	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C8-p1	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C8-p2	CaNaS <b>TC09-70</b> TC09-70-C9-p1
\$102	51.40	50.12	51.07	50.93	10 07	51.45	52.09	51 76	50.86	50.00	50.18	50.71
TiO2	0.25	0.32	0.32	0.42	0.42	0.29	0.38	0.27	0.54	0.37	0.36	0.30
AI2O3	0.30	0.27	0.22	0.12	0.16	0.41	0.35	0.42	0.61	0.24	0.23	0.16
FeO	18 16	22.16	21 77	21 51	22.59	19.53	17.50	18 17	17 31	23.63	22.50	22.70
MnO	1 04	1.26	1 14	1 40	1 36	1.00	0.90	1 17	0.88	1 25	1 18	1.42
MaQ	7.10	5.20	5.45	4.53	4.63	6.55	7.72	7.59	7.87	4.27	4.82	4.04
CaO	20.61	17.69	17.66	17.39	17.63	19.40	20.81	20.43	20.46	17.42	17.67	17.17
K20	0.01	0.00	0.02	0.06	0.03	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01
Na2O	1.12	2.81	2.97	2.95	2.75	2.50	1.43	1.59	1.63	2.98	2.97	2.94
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.02	99.82	100.63	99.36	99.53	101.23	101.18	101.39	100.20	100.16	99.93	99.45
Fe3+ model	Droop 1987											
Si	2.00	1.96	1.97	2.00	1.97	1.96	1.99	1.97	1.95	1.96	1.96	2.00
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
AI (T)	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.00
AI (M1)	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Fe3+ (T)	0.00	0.03	0.02	0.00	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00
Fe3+ (M1)	0.06	0.24	0.23	0.19	0.22	0.20	0.09	0.13	0.14	0.25	0.24	0.20
Fe3+ (T+M1)	0.06	0.27	0.25	0.19	0.25	0.22	0.09	0.14	0.15	0.28	0.27	0.20
Fe2+	0.53	0.46	0.45	0.51	0.49	0.40	0.47	0.44	0.40	0.49	0.46	0.55
Mn	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05
Mg	0.41	0.30	0.31	0.27	0.27	0.37	0.44	0.43	0.45	0.25	0.28	0.24
Ca	0.86	0.74	0.73	0.73	0.74	0.79	0.85	0.83	0.84	0.73	0.74	0.73
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.08	0.21	0.22	0.22	0.21	0.18	0.11	0.12	0.12	0.23	0.22	0.23
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Quad	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na
adjective						ferrian sodian	sodian	ferrian sodian	ferrian sodian			
pyroxene	hedenbergite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	augite	hedenbergite	augite	hedenbergite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite
enstatite	21.7					20.5	23.4	22.9	24.0			
ferrosillite	33.0					36.0	31.3	32.8	31.1			
wollastonite	45.3					43.5	45.3	44.3	44.8			
jadeite		0	0	0.9	0					0	0	0.7
aegirine		22.1	22.9	22.0	21.8					23.5	23.3	22.3
Quad		77.9	77.1	77.1	78.2					76.5	76.7	77.0

Type roche	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS
sample	TC09-70	TK101	TK101	TK101	TK101	TK109						
sample	TC09-70-C9-p2	TK101-C1-003	TK101-C1-004	TK101-C1-006	TK101-C1-008	TK-109-C1-1	TK-109-C1-2	TK-109-C1-3	TK-109-C1-4	TK-109-C1-5	TK-109-C1-6	TK-109-C1-8
SiO2	50.98	51.95	52.12	52.30	51.86	51.65	51.18	51.87	51.73	51.76	51.22	51.81
TiO2	0.43	0.98	0.11	0.33	0.38	0.31	0.29	0.11	0.15	0.30	0.32	0.08
AI2O3	0.14	0.20	0.24	0.71	0.80	1.27	1.13	0.98	0.96	0.81	0.61	0.98
FeO	23.09	27.54	28.49	14.75	14.19	19.13	19.10	19.45	19.85	18.57	18.20	19.09
MnO	1.49	0.40	0.55	0.90	0.92	0.96	1.02	1.12	1.39	0.96	0.93	0.93
MgO	4.44	0.93	0.58	9.78	10.03	5.64	5.62	5.23	4.92	5.84	6.07	5.22
CaO	16.79	7.14	6.95	20.39	20.73	13.85	13.81	13.06	13.11	15.59	15.52	13.26
K2O	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.03	0.02	0.04	0.03	0.01
Na2O	3.22	8.89	9.29	0.98	0.97	5.41	5.35	5.81	5.68	4.70	4.67	5.80
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.01	0.05	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.59	98.02	98.32	100.16	99.90	98.24	97.50	97.66	97.89	98.56	97.62	97.18
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.98	2.03	2.02	2.00	1.98	1.99	1.99	2.01	2.00	1.99	1.99	2.01
Ti	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
AI (T)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
AI (M1)	0.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04
Fe3+ (T)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.24	0.55	0.64	0.03	0.05	0.35	0.36	0.37	0.36	0.31	0.33	0.36
Fe3+ (T+M1)	0.25	0.55	0.64	0.03	0.05	0.35	0.36	0.37	0.36	0.31	0.33	0.36
Fe2+	0.50	0.35	0.29	0.44	0.40	0.26	0.26	0.26	0.28	0.29	0.26	0.26
Mn	0.05	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03
Mg	0.26	0.05	0.03	0.56	0.57	0.32	0.32	0.30	0.28	0.34	0.35	0.30
Са	0.70	0.30	0.29	0.83	0.85	0.57	0.57	0.54	0.54	0.64	0.65	0.55
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.24	0.67	0.70	0.07	0.07	0.40	0.40	0.44	0.43	0.35	0.35	0.44
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Quad	Ca-Na						
adjective		ferrian sodian	ferrian sodian									
pyroxene	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	augite	augite	aegirine-augite						
enstatite				29.4	30.0							
ferrosillite				26.5	25.4							
wollastonite				44.1	44.6							
jadeite	0	1.1	1.2			4.6	3.8	4.7	4.7	3.2	1.8	4.8
aegirine	25.0	64.7	68.4			36.5	37.2	39.5	38.9	32.5	34.0	39.2
Quad	75.0	34.2	30.4			58.9	59.0	55.7	56.5	64.3	64.2	56.0

Type roche sample sample	CaNaS <b>TK117A</b> TK117A-C1-001	CaNaS <b>TK117A</b> TK117A-C1-002	CaNaS <b>TK117A</b> TK117A-C1-006	CaNaS <b>TK117A</b> TK117A-C1-009	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-001	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-0010	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-0015	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-0017	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-0018	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-002	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-0022	CaNaS <b>TK119B</b> TK119B-C1-0023
SIO2	51 14	51 56	52 12	52 11	52.45	50.83	50.40	50.12	52.66	49.16	50.72	50.62
TIO2	0.30	0.44	0.55	0.60	3.06	0.34	0.41	0.80	4 18	0.37	0.47	0.24
AI2O3	0.50	0.82	0.25	0.25	0.16	0.17	0.48	0.93	0.20	0.28	0.52	0.18
FeO	17.96	14 72	28.33	27.32	26.69	26.27	21 37	20.10	24.38	25.21	20.41	28.37
MnO	1.17	1.01	0.80	0.84	0.51	1.12	1.04	1.03	0.75	1.20	1.13	0.99
MaQ	7.42	9.80	0.65	1.23	0.04	0.98	4.62	6.15	0.24	2.52	6.24	0.25
CaO	19.66	20.76	6.24	5.94	2.44	13.52	20.72	19.82	4.06	20.31	20.64	13.85
K20	0.09	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Na2O	2.24	0.75	9.24	9.47	11.67	5.14	0.64	0.63	10.73	0.88	0.48	4.72
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7nO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.49	99.88	98.18	97.79	97.02	98.37	99.71	99.59	97.23	99.92	100.60	99.21
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987					
Si	1.96	1.98	2.03	2.02	2.04	2.03	2.01	1.98	2.05	1.98	1.99	2.03
Ti	0.01	0.01	0.02	0.02	0.09	0.01	0.01	0.02	0.12	0.01	0.01	0.01
AI (T)	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00
AI (M1)	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01
Fe3+ (T)	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.20	0.04	0.60	0.62	0.62	0.31	0.00	0.00	0.45	0.06	0.01	0.29
Fe3+ (T+M1)	0.22	0.04	0.60	0.62	0.62	0.31	0.00	0.00	0.45	0.06	0.01	0.29
Fe2+	0.36	0.43	0.33	0.27	0.25	0.57	0.71	0.67	0.34	0.79	0.66	0.66
Mn	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03
Mg	0.42	0.56	0.04	0.07	0.00	0.06	0.27	0.36	0.01	0.15	0.36	0.01
Са	0.81	0.85	0.26	0.25	0.10	0.58	0.88	0.84	0.17	0.88	0.87	0.59
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.17	0.06	0.70	0.71	0.88	0.40	0.05	0.05	0.81	0.07	0.04	0.37
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Na	Ca-Na	Quad	Quad	Ca-Na	Quad	Quad	Ca-Na
adjective	ferrian sodian		ferrian sodian	ferrian sodian					ferrian sodian t			
pyroxene	augite	augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine	aegirine-augite	hedenbergite	augite	aegirine-augite	hedenbergite	augite	aegirine-augite
enstatite	23.0	29.2					14.4	19.1		7.9	18.8	
ferrosillite	33.3	26.3					39.2	36.8		46.4	36.5	
wollastonite	43.7	44.5					46.4	44.2		45.7	44.7	
jadeite			1.3	1.3	1.0	1.0			1.5			1.0
aegirine			67.8	69.6	82.3	38.8			74.0			35.6
Quad			30.9	29.1	16.7	60.3			24.5			63.4

Type roche	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS
sample	TK119B	TK119B	TK119B	TK119B	TK120B	TK120B	TK120B	TK120B	TK120B	TK120B	TK120B	TK120B
sample	TK119B-C1-0024	1K119B-C1-004	TK119B-C1-007	1K119B-C1-009	TK120B-C1-001	TK120B-C1-0011	TK120B-C1-0013	TK120B-C1-0015	TK120B-C1-0016	TK120B-C1-0017	TK120B-C1-004	TK120B-C1-005
SiO2	52.71	50.12	52.16	50.08	51.30	51.74	51.40	52.03	51.85	52.23	51.09	52.11
TiO2	4.06	0.45	3.38	0.43	0.71	0.71	0.62	0.80	0.70	0.66	1.10	0.72
AI203	0.20	0.51	0.13	0.45	1.08	1.08	0.94	1.09	0.93	1.05	1.49	1.37
FeO	25.87	20.56	26.44	21.43	14.42	12.84	14.40	12.66	13.59	12.88	13.61	11.18
MnO	0.53	1 12	0.58	1 18	0.63	0.70	0.73	0.74	0.70	0.65	0.62	0.51
MaQ	0.01	5.62	0.09	4 90	9.98	11 39	10.31	11.45	10.68	11 34	10.81	12 73
CaO	1.28	21.09	2.61	20.32	21.61	21.22	21.08	21.01	20.94	21.00	20.83	20.90
K20	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00
Na2O	12.48	0.55	11.63	0.55	0.48	0.43	0.45	0.01	0.45	0.00	0.56	0.46
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.45	0.45	0.00	0.40
7n0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
\$203	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jul 203	0.00	100.02	07.02	0.00	100.22	100 10	0.00	100.20	0.00	100.27	100.12	0.00
Eo2, model	77.10 Droop 1097	Droop 1097	77.03 Droop 1097	77.33 Droop 1097	Droop 1097	Droop 1097	77.7J	Droop 1097	77.04 Droop 1097	Droop 1097	Droop 1097	77.77 Droop 1097
ci	2.02	1 00	2.02	2.00	1.06	1.06	1 07	1.07	1 00	1 00	1.04	1.04
JI Ti	0.12	0.01	2.03	2.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02
AL (M1)	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.04
Fa2. (T)	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
Fe3+ (1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (IVII)	0.62	0.03	0.62	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
Fe3+ (1+IVII)	0.02	0.03	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
rez+	0.21	0.05	0.24	0.72	0.44	0.39	0.44	0.40	0.43	0.41	0.41	0.34
ivin M-	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
ivig	0.00	0.33	0.01	0.29	0.57	0.64	0.59	0.05	0.61	0.64	0.61	0.71
Ca	0.05	0.89	0.11	0.87	0.89	0.86	0.86	0.85	0.86	0.85	0.85	0.84
K.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.93	0.04	0.88	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Na	Ouad	Na	Quad	Quad	Quad	Quad	Ouad	Quad	Ouad	Quad	Ouad
adjective	titanian											
pyroxene	aegirine	hedenbergite	aegirine	hedenbergite	diopside	augite	augite	augite	augite	augite	augite	augite
enstatite		17.1		15.2	29.4	33.3	30.4	33.6	31.7	33.3	32.0	37.1
ferrosillite		36.9		39.4	24.9	22.2	25.0	22.1	23.8	22.3	23.7	19.1
wollastonite		46.0		45.4	45.7	44.5	44.6	44.3	44.6	44.4	44.3	43.8
iadeite	13		0.8									
aegirine	86.3		82.4									
Quad	12.4		16.8									

Type roche sample sample	CaNaS <b>TK120B</b> TK120B-C1-006	CaNaS <b>TK120B</b> TK120B-C1-009	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-001	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-0010	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-0011	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-0012	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-002	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-003	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-004	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-005	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-006	CaNaS <b>TK126B</b> TK126B-C1-007
SiO2	51.66	52.25	52.08	51.79	52.38	52.49	52.42	52.45	51.83	52.21	52.27	51.89
TiO2	0.78	0.16	0.55	0.13	0.57	0.44	0.55	0.08	0.56	0.17	0.07	0.05
AI2O3	1.30	0.47	0.91	0.52	0.16	0.24	0.82	0.26	0.90	0.58	0.48	0.24
FeO	11.97	14.22	11.94	17.48	26.78	27.03	12.44	20.64	12.56	21.20	21.25	20.98
MnO	0.52	0.68	0.81	0.73	0.65	0.60	0.77	0.77	0.85	0.56	0.97	1.00
MaQ	12.06	9.91	11.46	7.04	1.62	1.52	11.97	5.16	11.67	4.97	4.74	4.87
CaO	20.98	22.43	21.32	17.84	4.78	4.89	21.11	14.37	20.89	12.88	14.97	14.85
K2O	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.04
Na2O	0.41	0.27	0.70	3.55	10.39	10.15	0.51	5.43	0.52	6.22	5.07	4.95
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.69	100.42	99.78	99.10	97.35	97.36	100.58	99.18	99.79	98.80	99.85	98.87
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.96	2.00	1.97	1.99	2.02	2.03	1.97	2.01	1.97	2.00	2.00	2.01
Ti	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
AI (T)	0.04	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
AI (M1)	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.01	0.00	0.03	0.26	0.69	0.66	0.03	0.37	0.03	0.43	0.35	0.34
Fe3+ (T+M1)	0.01	0.00	0.03	0.26	0.69	0.66	0.03	0.37	0.03	0.43	0.35	0.34
Fe2+	0.37	0.45	0.34	0.30	0.17	0.21	0.37	0.29	0.37	0.25	0.33	0.33
Mn	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03
Mg	0.68	0.56	0.65	0.40	0.09	0.09	0.67	0.29	0.66	0.28	0.27	0.28
Са	0.85	0.92	0.87	0.73	0.20	0.20	0.85	0.59	0.85	0.53	0.61	0.62
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.03	0.02	0.05	0.26	0.78	0.76	0.04	0.40	0.04	0.46	0.38	0.37
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Quad	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Ca-Na	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na
adjective					ferrian sodian	ferrian sodian						
pyroxene	augite	aiopside	aiopside	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	augite	aegirine-augite	augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite
enstatite	35.3	28.8	33.8				34.6		34.1			
rerrosilite	20.0	24.3	21.1				21.0		22.0			
wollastonite	44.1	40.9	40.2	1.0		1.0	43.7	1.0	43.7	2.5		1.0
Jauente				1.0	U.0 74.0	1.2		1.3		2.0	2.2	1.2
aegirine				20.0	10.3	74.0		39.4 E0.4		43.7	30.0	30.0
Qudu				73.1	22.7	24.0		J7.4		JJ.J	01.0	02.4

Type roche	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS	CaNaS
sample	TK126B	TK126B	TK23	TK23 C1 0010	TK23 C1 0011	TK23	TK23	TK23	TK23	TK23 C1 005	TK23 C1 004	TK23 C1 000
sample	TK120D-C1-006	TK120D-01-009	TK23-01-001	TK23-01-0010	TK23-CT-0011	TK23-01-0015	1K23-01-0010	TK23-01-0017	TK23-01-003	TK23-C1-005	IN23-01-000	TK23-CT-000
SiO2	51.94	52.13	50.42	52.26	51.95	51.51	51.76	51.66	51.60	50.39	52.27	51.19
TiO2	0.55	0.29	0.01	0.76	0.53	0.00	0.49	0.41	0.57	0.16	0.48	0.42
AI2O3	0.75	0.54	0.56	1.61	1.07	0.16	1.14	1.00	1.28	1.69	1.04	0.95
FeO	13.16	14.64	21.51	9.58	11.56	16.27	13.40	13.13	11.13	17.79	11.86	12.97
MnO	0.83	0.74	0.76	0.39	0.55	0.99	0.79	0.63	0.48	0.69	0.62	0.60
MaO	11.24	9.89	3.95	13.33	11.92	7.04	10.74	10.74	12.21	5.58	11.68	10.97
CaO	21.04	20.38	23.09	21.51	21.98	23.73	21.43	21.48	21.93	23.24	21.88	21.71
K2O	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.03
Na2O	0.49	1.45	0.41	0.42	0.41	0.19	0.48	0.47	0.40	0.42	0.41	0.41
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.00	100.07	100.74	99.89	99.96	99.88	100.25	99.56	99.59	99.96	100.24	99.24
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.97	1.98	1.99	1.96	1.96	2.01	1.97	1.97	1.95	1.98	1.97	1.96
Ti	0.02	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01
AI (T)	0.03	0.02	0.01	0.04	0.04	0.00	0.03	0.03	0.05	0.02	0.03	0.04
AI (M1)	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.05	0.02	0.00
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.02	0.10	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.04	0.00	0.01	0.04
Fe3+ (T+M1)	0.02	0.10	0.02	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.04	0.00	0.01	0.04
Fe2+	0.40	0.36	0.69	0.29	0.34	0.53	0.40	0.40	0.32	0.58	0.36	0.37
Mn	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	0.64	0.56	0.23	0.74	0.67	0.41	0.61	0.61	0.69	0.33	0.66	0.63
Са	0.86	0.83	0.98	0.86	0.89	0.99	0.87	0.88	0.89	0.98	0.89	0.89
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.04	0.11	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroun	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad	Quad
adjective	audu	ferrian sodian	0000	4466	4444	0.000	4444	0000	0.000	4444	0.000	0000
nyroxene	aunite	aunite	wollastonite	aunite	dionside	wollastonite	dionside	dionside	dionside	wollastonite	dionside	dionside
enstatite	32.9	29.8	12.0	38.8	34.5	20.8	31.5	31.7	35.4	17.1	33.9	32.1
ferrosillite	23.0	26.0	37.8	16.3	19.7	28.7	23.4	22.8	18.9	31.8	20.3	22.3
wollastonite	44.2	44.2	50.2	45.0	45.8	50.5	45.2	45.5	45.7	51.2	45.7	45.6
iadeite												
aegirine												
Quad												
	1											

Type roche sample sample	CaNaS <b>TK61</b> TK-61-C1-01	CaNaS TK61 TK-61-C1-02	CaNaS TK61 TK-61-C1-03	CaNaS <b>TK61</b> TK-61-C1-06	CaNaS TK61 TK-61-C1-09	CaNaS <b>TK61</b> TK-61-C1-10	CaNaS <b>TK67</b> TK-67-C1-002	CaNaS <b>TK67</b> TK-67-C1-007	CaNaS <b>TK69</b> TK69-C1-001	CaNaS <b>TK69</b> TK69-C1-0010	CaNaS TK69 TK69-C1-002	CaNaS TK69 TK69-C1-003
SiO2	51.02	51.71	51.01	50.81	51.07	51.02	51.64	52.36	52.16	50.67	51.48	51.98
TiO2	0.43	0.41	0.27	0.16	0.12	0.09	0.41	0.59	0.09	0.02	0.06	0.11
AI2O3	0.72	0.57	0.45	0.27	0.29	0.25	0.81	1.19	0.30	0.35	0.13	0.16
FeO	15.92	15.59	17.27	21.12	26.58	25.65	13.71	10.85	16.64	19.62	16.74	15.38
MnO	0.83	0.91	1.06	1.18	0.92	0.95	0.84	0.77	1.16	1.19	1.04	1.00
MgO	8.76	8.84	7.24	4.39	1.55	2.02	10.79	13.25	8.08	5.40	7.38	9.04
CaO	20.37	21.25	20.26	18.17	13.12	14.52	20.81	20.94	21.78	20.85	22.38	21.97
K2O	0.07	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Na2O	1.25	1.00	1.53	2.95	5.43	4.74	0.49	0.47	0.53	1.65	0.50	0.45
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.37	100.29	99.10	99.08	99.10	99.26	99.49	100.44	100.74	99.75	99.71	100.12
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.97	1.98	1.99	2.00	2.01	2.01	1.98	1.96	2.01	1.99	2.01	2.00
Ti	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
AL(T)	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00
AI (M1)	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.10	0.06	0.10	0.21	0.37	0.32	0.02	0.04	0.00	0.14	0.01	0.02
Fe3+ (T+M1)	0.10	0.06	0.10	0.21	0.37	0.32	0.02	0.04	0.00	0.14	0.01	0.02
Fe2+	0.41	0.44	0.46	0.49	0.51	0.52	0.42	0.30	0.53	0.51	0.54	0.48
Mn	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03
Ma	0.50	0.50	0.42	0.26	0.09	0.12	0.62	0.74	0.46	0.32	0.43	0.52
Ca	0.84	0.87	0.85	0.77	0.55	0.61	0.85	0.84	0.90	0.88	0.94	0.91
ĸ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.09	0.07	0.12	0.23	0.41	0.36	0.04	0.03	0.04	0.13	0.04	0.03
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
rotai	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
aroup	Quad	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Quad	Ouad	Quad	Quad	Ouad
adjective	ferrian	0000	sodian	00 100	00.110	00110	0000	0000	4444	ferrian sodian	4444	6666
nyroxene	aunite	hedenheraite	hedenheraite	aegirine-augite	aenirine-aunite	aegirine-augite	aunite	aunite	hedenbergite	hedenhergite	hedenheraite	hedenheraite
onstatito	26.7	26.5	22.6	acgirine-augree	acgirine-adgire	acgirine-augree	31.8	38.0	24.0	16.8	22.1	26.6
forrosillito	28.7	20.5	32.0				24.1	18.7	29.6	36.4	20.0	27.0
wollastonito	11.6	45.8	45 A				44.1	13.2	16.1	16 T	48.1	16 A
iadoito				1.2	15	1.2		73.2	TU.T	TU.7	TU. 1	T.UT
adente				21.0	1.0 2	25.4						
Quad				77.0	F0.0	40 A						
Quadu				11.0	30.2	03.4						

Type roche sample	CaNaS TK69	CaNaS TK69	CaNaS TK69	CaNaS TK69	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C	CaNaS TK7C
sample	TK69-C1-005	TK69-C1-007	TK69-C1-008	TK69-C1-009	TK-7C-C1-01	TK-7C-C1-010	TK-7C-C1-012	TK-7C-C1-013	TK-7C-C1-014	TK-7C-C1-015	TK-7C-C1-02	TK-7C-C1-03
SiO2	51.84	50.93	51.77	51.51	50.75	50.71	50.69	50.68	50.97	51.06	50.72	50.88
TiO2	0.06	0.00	0.22	0.06	0.25	0.27	0.33	0.35	0.22	0.29	0.24	0.26
AI2O3	0.14	0.25	0.40	0.29	0.26	0.22	0.44	0.47	0.40	0.24	0.29	0.25
FeO	16.93	20.40	15.64	21.43	25.88	24.23	18.51	18.19	18.54	23.80	24.67	24.90
MnO	1.08	1.25	1.02	0.86	1.51	1.51	1.10	1.11	1.29	1.46	1.66	1.52
MgO	8.20	4.74	9.25	4.42	1.61	2.78	7.01	7.04	6.14	3.18	2.36	2.04
CaO	20.98	19.76	21.09	16.34	11.69	13.97	20.78	20.78	20.13	14.80	13.18	12.58
K2O	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00
Na2O	0.71	2.16	0.75	3.90	5.98	4.70	0.78	1.08	1.75	4.28	4.95	5.59
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	99.98	99.49	100.14	98.84	97.92	98.40	99.63	99.70	99.43	99.14	98.10	98.01
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	2.01	2.00	1.99	2.02	2.02	2.01	1.99	1.98	1.99	2.01	2.02	2.02
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
AL(T)	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
AI (M1)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.03	0.15	0.05	0.25	0.40	0.32	0.05	0.08	0.12	0.28	0.32	0.37
Fe3+ (T+M1)	0.03	0.15	0.05	0.25	0.40	0.32	0.05	0.08	0.12	0.28	0.32	0.37
Fe2+	0.52	0.52	0.45	0.45	0.46	0.49	0.56	0.51	0.49	0.50	0.50	0.46
Mn	0.04	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05
Ma	0.47	0.28	0.53	0.26	0.10	0.16	0.41	0.41	0.36	0.19	0.14	0.12
Ca	0.87	0.83	0.87	0.69	0.50	0.59	0.87	0.87	0.84	0.62	0.56	0.53
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.05	0.16	0.06	0.30	0.46	0.36	0.06	0.08	0.13	0.33	0.38	0.43
li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7n	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Quad	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na
adjective		ferrian sodian							ferrian sodian			
pyroxene	hedenbergite	hedenbergite	augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	hedenbergite	hedenbergite	hedenbergite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite
enstatite	24.6	15.2	27.4				21.3	21.5	19.3			
ferrosillite	30.3	39.1	27.7				33.4	33.0	35.1			
wollastonite	45.2	45.7	44.9				45.3	45.5	45.6			
iadeite				1.5	1.4	1.2				1.3	1.6	1.3
aegirine				28.3	45.3	35.6				32.0	37.2	42.2
Quad				70.2	53.3	63.3				66.8	61.2	56.5
	1											

Type roche sample sample	CaNaS <b>TK7C</b> TK-7C-C1-04	CaNaS <b>TK7C</b> TK-7C-C1-05	CaNaS <b>TK7C</b> TK-7C-C1-06	CaNaS <b>TK7C</b> TK-7C-C1-07	CaNaS <b>TK7C</b> TK-7C-C1-09	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-010	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-012	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-014	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-015	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-018	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-019	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-020
000	50.07	50.0/	51.00	50.7/	50.05	50.00	50.50	52.02	50.14	F0.75	51.40	10.00
5102	50.97	50.86	51.03	50.76	50.95	50.92	50.52	52.02	50.14	50.75	51.40	49.69
1102	0.15	0.16	0.27	0.23	0.22	0.12	0.08	0.46	0.16	0.34	0.40	0.10
AI2U3	0.36	0.28	0.45	0.21	0.23	0.29	0.16	0.74	0.22	0.31	0.62	0.21
FeU	19.82	19.19	18.62	24.85	24.95	25.17	26.81	13.32	25.79	19.33	14.25	26.20
MINU NATO	1.35	1.31	1.30	1.47	1.52	1.10	1.32	0.76	0.82	0.87	0.89	0.81
MgO	5.32	5.86	6.26	2.19	2.28	2.55	1.80	10.46	2.07	6.85	10.12	1.99
CaO	18.29	19.72	19.66	13.05	13.40	14.23	13.72	21.05	12.84	19.34	20.92	12.81
K20	0.01	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.01
Na2O	2.59	2.04	2.02	5.18	5.03	4.70	4.60	1.04	5.11	1.23	0.68	5.18
LI20 7=0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZhU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr203	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Sc203	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.86	99.42	99.71	97.95	98.58	99.08	99.01	99.85	97.15	99.01	99.31	97.00
Fe3+ model	DLOOD 1481	DLOOD 1481	Droop 1987	Dtoob 1881	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	DLOOD 1481	DLOOD 1481	Droop 1987	DLOOD 1481	DLOOD 1481
51	2.00	1.99	1.98	2.02	2.02	2.01	2.01	1.98	2.02	2.00	1.98	2.00
	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
AI (1)	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00
AI (IVII)	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe3+ (1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (IVII)	0.17	0.16	0.15	0.34	0.33	0.32	0.33	0.06	0.35	0.06	0.05	0.39
Fe3+ (1+IVI1)	0.17	0.16	0.15	0.34	0.33	0.32	0.33	0.06	0.35	0.06	0.05	0.39
FeZ+	0.49	0.47	0.46	0.49	0.50	0.51	0.57	0.36	0.52	0.57	0.41	0.49
Min	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
ivig	0.31	0.34	0.36	0.13	0.13	0.15	0.11	0.59	0.12	0.40	0.58	0.12
Ca	0.77	0.83	0.82	0.56	0.57	0.60	0.58	0.86	0.55	0.82	0.86	0.55
K.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.20	0.15	0.15	0.40	0.39	0.36	0.35	0.08	0.40	0.09	0.05	0.40
LI 7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NI Or	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ur Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	0- N-	Quart	0	0- N-	0. 11.	0- N-	0- N-	Quard	0- 11-	0	Quard	0- 11-
group	ca-ina	Quad	Quad	ca-na	Ca-Na	ca-na	Ca-INA	Quad	Ca-Na	Quad	Quad	Ca-INa
adjective	e e el el en el en el tra	rerrian sodian	rerrian sodian	a sector a secold a			a state a surely a	dia and die	a contrator a constata			a a state a surelt a
pyroxene	aegirine-augite	augite	augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	alopside	aegirine-augite	augite	augite	aegirine-augite
enstatite		18.6	19.8					31.2		21.3	30.1	
rerrosilite		30.5	35.5					23.0		35.3	25.2	
wollastonite	1.0	44.7	44.7	1.0	1.0	1.4	0.0	40.Z	1.0	43.3	44.7	1.0
Jauente	1.0			1.2	1.2	1.4	0.0		1.2			1.0
aegirine	10.3			37.3	31.7	34.7	30.3		30.0			37.7
Qudu	17.7			J7.U	00.0	03.0	03.7		00.0			37.1

Type roche sample sample	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-022	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-023	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-024	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-026	CaNaS <b>TK82</b> TK-82-C1-08	CaNaS <b>TK86</b> TK86-C1-001	CaNaS <b>TK86</b> TK86-C1-0011	CaNaS <b>TK86</b> TK86-C1-002	CaNaS <b>TK86</b> TK86-C1-006	CaNaS <b>TK86</b> TK86-C1-009
SiO2	50.10	50.90	50.03	49.17	51.56	50.49	50.93	50.76	51.08	51.20
TiO2	0.38	0.33	0.13	0.14	0.41	0.58	0.69	0.74	0.61	0.46
AI2O3	0.53	0.36	0.23	0.24	0.53	0.28	0.26	0.23	0.35	0.31
FeO	14.89	18.88	25.45	23.90	15.65	24.14	25.54	26.47	23.48	22.21
MnO	0.79	0.90	0.87	1.01	0.86	1.30	1.19	0.97	1.21	1.33
MgO	9.92	7.32	2.26	3.16	9.56	2.98	1.73	1.25	3.04	4.28
CaO	20.93	20.04	14.88	15.80	21.05	14.72	12.85	10.90	14.74	16.52
K2O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00
Na2O	0.50	1.06	4.13	3.73	0.64	4.22	5.54	6.75	4.75	3.26
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01
Sc2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.05	99.79	98.00	97.14	100.26	98.73	98.73	98.12	99.26	99.56
Fe3+ model	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
Si	1.96	1.99	2.01	1.98	1.98	2.00	2.01	2.01	2.00	2.01
Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
AI (T)	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AI (M1)	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Fe3+ (T)	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (M1)	0.06	0.07	0.29	0.30	0.05	0.28	0.35	0.45	0.31	0.19
Fe3+ (T+M1)	0.08	0.07	0.29	0.31	0.05	0.28	0.35	0.45	0.31	0.19
Fe2+	0.41	0.54	0.56	0.50	0.45	0.52	0.50	0.42	0.46	0.54
Mn	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
Mg	0.58	0.43	0.14	0.19	0.55	0.18	0.10	0.07	0.18	0.25
Ca	0.88	0.84	0.64	0.68	0.86	0.62	0.54	0.46	0.62	0.69
К	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.04	0.08	0.32	0.29	0.05	0.32	0.42	0.52	0.36	0.25
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Quad	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Quad	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na
group	Qual	Qudu	Garina	odina	Quau	Ganna	Garina	odina	odina	Garina
aujective	augito	augito	pogiripo pugito	pogirino pugito	augito	acairino augito	acairino augito	pogiripo pugito	angirino augito	
opstatito	20 A	augite	aegirme-augite	aeyii ine-auyite	20 1	aegii me-augite	aeyn me-auynte	aegii me-augite	acymmerauyite	acyn me-augne
forrosillito	27.4	22.3			20.1					
wolloctopito	20.1 44 E	42.0			21.3 AA 6					
indoito	44.0	43.7	1.2	0.0	44.0	1.6	1.6	1.2	1.0	1 7
Jauente			1.4	20.0		21.4	41.0	1.Z 50.7	24.6	1.7
Quad			51.5 47.4	27.7		51.4 47 1	41.Z	JU.7 40 1	34.0 42 E	23.3
Ubus			u/.0	70.1		07.1	J7.4	40.1	03.3	10.0

Type roche sample sample	NaS TC09-126A TC09-126A-ZoneA-83	NaS TC09-126A TC09-126A-ZoneA-93	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-122	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-123	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-126	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-129	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-132	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-136	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-139	NaS <b>TC09-126A</b> TC09-126A-zA-141	NaS TC09-126A TC09-126A-ZoneB-13	NaS TC09-126A TC09-126A-ZoneB-16
SiO2	51.71	51.62	51.85	52.27	52.12	51.84	52.33	52.53	51.63	51.73	52.55	52.92
TiO2	1.01	0.89	0.74	0.67	0.84	0.79	1.50	0.33	0.36	0.58	0.09	0.53
AI203	0.13	0.18	0.05	0.14	0.08	0.09	0.07	0.10	0.22	0.18	0.18	0.23
FeO	28.34	29.39	29.22	28.37	29.19	28.60	28.85	30.23	28.30	27.19	30.56	30.04
MnO	0.46	0.65	0.43	0.59	0.41	0.69	0.52	0.33	0.96	0.95	0.11	0.11
MaQ	0.28	0.23	0.02	0.20	0.00	0.21	0.07	0.01	0.90	0.70	0.01	0.05
CaO	4.81	5.43	4.39	4.98	3.55	4.86	4.32	3.84	8.92	7.13	0.23	0.49
K20	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Na2O	10.52	9.71	10.34	10.25	11.26	10.10	10.82	11.25	8.47	8.66	13.24	13 38
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7n0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr2O3	0.00	0.02	0.00	0.07	0.07	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.04	0.04
Sc2O3	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	97.26	98.14	97.04	97 54	97.53	97 17	98.51	98.62	99.77	97.13	97.02	97 79
Fe3+ model	Droop 1987	Droon 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987	Droop 1987
si	2.01	2.01	2.03	2 04	2.02	2.03	2.02	2 01	1.99	2.04	2 01	2 01
Ti	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02
AL (T)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
AL (M1)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Fo3+ (T)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fo3+ (M1)	0.70	0.65	0.68	0.66	0.75	0.66	0.60	0.70	0.62	0.54	0.00	0.03
Fo3+ (T+M1)	0.70	0.65	0.68	0.66	0.75	0.66	0.69	0.79	0.63	0.54	0.94	0.03
Fo2+	0.22	0.31	0.28	0.00	0.19	0.00	0.24	0.18	0.28	0.34	0.03	0.03
Mn	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00
Ma	0.02	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00
Ca	0.02	0.23	0.18	0.21	0.15	0.20	0.18	0.16	0.37	0.30	0.00	0.02
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
No	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
TOTAL	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
aroup	Co No	Co No	Co No	Co No	No	Co No	Co No	No	Co No	Co No	No	No
group	forrian codian	forrian codian	forrian codian	forrian codian	INd	forrian codian	forrian codian	INd	forrian codian	forrian codian	INd	ING
aujective	acairino quaito		aogirino augito	acairino augito	aogirino		aogirino augito	aogirino		acairino quaito	aogirino	aggiring
opstatito	aeyiiiie-auyite	aeyii ille-auyite	acyline-aughe	acyline-augite	aeyii ii e	acylinic-augite	acylille-augite	aeyii iile	acylime-aughe	aeyirine-auyite	aeyiine	acyline
forrocillito												
wolloctopito												
iadoito	0.7	0.9	0.3	0.7	0.4	0.5	0.4	0.5	0.0	10	0.8	11
addite	77.6	72.0	76.8	75.3	82.0	75.1	78.8	82.6	6/13	64.4	0.0	96.5
Quad	21.7	27.1	22.0	24.0	16.7	24.5	20.0	16.0	35.7	34.6	2.2	2.5
Quuu	L	21.1	22.1	27.0	10.7	24.5	20.7	10.7	33.7	54.0	2.2	2.5

Type roche	NaS											
sample	TC09-126A	TK103	TK103	TK103	TK103							
sample	1C09-126A-ZoneB-17	1C09-126A-ZoneB-18	1C09-126A-ZoneB-24	1C09-126A-ZoneB-25	1C09-126A-ZoneB-43	1C09-126A-ZoneB-59	1C09-126A-ZoneB-62	1C09-126A-ZoneB-68	TK-103B-01	TK-103B-C1-03	TK-103B-C1-05	TK-103B-C1-06
SiO2	53.27	53.13	54.22	51.73	52.35	51.68	51.85	52.59	52.44	49.80	51.21	50.91
TiO2	0.48	0.56	0.70	1.06	0.39	1.01	0.92	1.09	0.71	0.43	0.64	0.55
AI2O3	0.24	0.11	0.51	0.03	0.54	0.04	0.10	0.59	0.24	0.24	0.32	0.21
FeO	30.28	30.51	28.30	29.67	30.46	28.83	28.62	28.98	27.84	27.57	27.24	28.05
MnO	0.08	0.09	0.22	0.50	0.00	0.54	0.64	0.34	0.80	1.18	1.14	1.01
MaQ	0.10	0.05	0.11	0.26	0.05	0.27	0.30	0.09	0.42	0.86	0.58	0.46
CaO	0.95	0.48	1.04	4.49	0.14	5.22	4.80	0.86	6.94	10.83	7.92	8.24
K20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00
Na2O	12.90	13.13	11.99	10.91	13.15	10.30	10.55	12.67	8.66	6.43	8.19	7.79
1120	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NIO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr203	0.02	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02
Sc203	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	07.80	97.80	97.20	40.80	07 35	07.00	07.24
Eo2, model	70.33 Droop 1097	70.07 Droop 1097	77.20 Droop 1097	70.00 Droop 1097	77.07 Droop 1097	77.07 Droop 1007	77.00 Droop 1097	77.20 Droop 1097	70.00 Droon 1097	77.33 Droop 1097	77.27 Droon 1097	77.24 Droop 1097
ci	2.02	2.02	2.00	1 00	2.00	2 01	2 01	2.02	2.05	2.00	2.02	2.02
3i Ti	0.01	2.02	2.07	0.02	2.00	2.01	2.01	2.02	2.03	2.00	2.03	2.03
AL (T)	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02
AI (1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AL (IVII)	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.02	0.01
Fe3+ (I)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+ (IVII)	0.07	0.09	0.05	0.70	0.92	0.70	0.71	0.02	0.49	0.47	0.52	0.51
Fe3+ (1+IVII)	0.07	0.09	0.00	0.76	0.92	0.70	0.71	0.02	0.49	0.47	0.52	0.42
Fe2+	0.09	0.08	0.26	0.18	0.06	0.24	0.21	0.11	0.42	0.45	0.38	0.43
IVIN	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.03	0.04	0.04	0.03
ivig	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.05	0.03	0.03
Ca	0.04	0.02	0.04	0.18	0.01	0.22	0.20	0.04	0.29	0.46	0.34	0.35
ĸ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.95	0.97	0.90	0.81	0.98	0.78	0.79	0.94	0.66	0.50	0.63	0.60
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sc	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
group	Na	Na	Na	Na	Na	Ca-Na	Ca-Na	Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na	Ca-Na
adjective						ferrian sodian	ferrian sodian					
pyroxene	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite	aegirine-augite
enstatite												
ferrosillite												
wollastonite												
jadeite	1.1	0.5	2.9	0.0	2.5	0.2	0.5	2.9	1.4	0.7	1.8	1.1
aegirine	92.2	94.7	82.4	81.2	94.3	76.6	78.1	89.6	62.8	50.0	60.9	58.8
Quad	6.6	4.8	14.7	18.8	3.2	23.2	21.4	7.5	35.8	49.2	37.3	40.1

		FORMULE	STRUCTURAL	LE							AI	NALYSE				
O (NOT PY) P CI W subtotal Sum T,C,B,A	Ca Na K A subtotal O (non-W)	Fe2+ Ca Na B subtotal	Mnz+ Fe2+ Mg C subtotal Mn2+	Fe3+ Ni Zn	SP AI	Fe3+ T subtotal	A I	Initial Total	CI O=F CI (ralc)	Nazo K2O F	MgO CaO	A1203 Cr203 Fe0 Ni0 Zn0 Be0	SiO2 TiO2 ZrO2	Species	Sample Analysis (wt%)	GROUP Petro
2.00 2.00 15.68	0.00 0.51 0.68 22.00	0.01 1.75 0.22 2.00	1.49 2.84 5.00 0.02	0.05	0.44 0.19 0.00	0.00 8.00	6.42 1.58	97.51	0 00	2.54 0.91	12.86 11.06	10.13 0.01 0.14 12.52	43.39 3.97	Ti-rich pargasite	<b>13TK002A</b> TK002A_C1_00 T 13	Monzo-gabbro 1
2.00 2.00 15.69	0.00 0.53 0.69 22.00	0.02 1.74 0.21 2.00	1.45 2.88 5.00 0.02	0.08	0.43 0.16 0.00	0.00 8.00	6.42 1.58	97.74	0.00	2.59 0.86	13.09 11.02	10.01 0.01 0.20 12.58	43.49 3.89	Ti-rich pargasite	<b>13TK002A</b> K002A_C1_00 Tk 15	Monzo-gabbro M
2.00 2.00 2.00 15.74	0.00 0.57 0.18 0.74 22.00	0.01 1.79 0.19 2.00	1.46 2.94 5.00	0.05	0.09 0.00	0.00 8.00	6.39 1.61	97.61	0 00	2.61 0.95	13.34 11.28	9.73 0.03 0.10 12.32	43.17 4.09	Ti-rich pargasite	13TK002A .002A_C1_00 Tk 7	lonzo-gabbro N
2.00 2.00 15.71	0.00 0.53 0.71 22.00	0.00 1.77 0.21 2.00	0.01 1.47 5.00 0.02	0.03	0.45 0.01	0.00 8.00	6.41 1.59	97.35	0 00	2.60 0.92	13.04 11.14	9.95 0.05 0.20 12.13	43.25 4.07	Ti-rich pargasite	<b>13TK002A</b> (002A_C2_00 30	lonzo-gabbro
1.81 0.19 2.00 15.11	0.00 0.07 0.11 22.00	0.00 2.00 2.00	0.09 2.60 5.00	0.13	0.08	0.00 8.00	7.68 0.32	97.58	-0.01	0.25 0.21 0.39	9.26 12.32	2.25 0.02 0.68 21.54 0.13 0.00	50.70 0.00	rro-actinolite	TC09-116 TC-09-116- ZoneA-18	Monzonite
1.28 0.65 2.00 15.61	0.00 0.44 0.17 22.00	0.07 1.70 0.16 2.00	2.39 2.11 5.00	0.24 0.00 0.03	0.05	0.00 8.00	6.89 1.11	100.32	0.29 -0.64	2.06 0.90 1.36	9.43 10.57	6.53 0.00 21.49 0.23 0.24	45.90 1.62	hastingsite	TC09-116 TC-09-116- ZoneA-19	Monzonite
1.48 0.46 2.00 15.50	0.00 0.36 0.50 22.00	0.09 1.71 0.13 2.00	2.42 2.12 5.00 0.07	0.28	0.00	0.00 8.00	6.99 0.99 0.02	99.98	-0.24	0.74 0.96	9.49 10.61	5.59 0.08 0.58 22.18 0.01 0.00	46.57 1.71	ferro-ferri- hornblende	TC09-116 TC-09-116- ZoneA-2	Monzonite
1.30 0.64 2.00 15.47	0.00 0.34 0.47 22.00	0.10 1.75 0.10 2.00	2.33 2.18 5.00 0.06	0.28 0.03	0.02 0.00	0.00 8.00	7.01 0.99	98.84	-0.24	1.49 0.64 1.34	9.63 10.74	5.63 0.01 21.34 0.00 0.28	46.21 1.43	ferro-ferri- hornblende	TC-09-116 TC-09-116- ZoneA-25	Monzonite
1.52 0.41 2.00 15.59	0.00 0.45 0.59 22.00	0.07 1.72 0.14 2.00	2.36 2.16 5.00 0.07	0.25 0.01 0.00	0.07	0.00 8.00	6.93 1.07	99.03	_0.31	2.00 0.72 0.85	9.59 10.60	6.37 0.00 21.15 0.08 0.02	45.84 1.37	hastingsite f	TC09-116 TC-09-116- ZoneB-22	Monzonite
1.72 0.26 2.00 15.21	0.00 0.13 0.21 22.00	0.00 1.97 0.01 2.00	0.06 2.39 5.00 0.01	0.21	0.04 0.12 0.01	0.00 8.00	7.40 0.60	95.56	-0.08	0.49 0.36 0.54	9.51 11.93	3.94 0.04 0.52 20.12 0.00 0.00	47.95 0.32	erro-actinolite	TC-09-116 TC-09-116- ZoneB-23	Monzonite
1.56 0.40 2.00 15.69	0.00 0.50 0.69 22.00	0.03 1.80 0.10 2.00	2.61 1.98 5.00 0.08	0.18 0.01 0.01	0.01	0.00 8.00	6.81 1.19	98.85		2.01 0.97 0.82	8.66 10.95	6.66 0.00 0.58 22.02 0.05 0.10	44.47 1.77	hastingsite	TC-09-116 TC-09-116- ZoneB-34	Monzonite
1.53 0.39 2.00 15.66	0.00 0.49 0.66 22.00	0.05 1.75 0.13 2.00	2.55 2.02 5.00 0.08	0.21	0.01	0.00 8.00	6.84 1.16	99.86	-0.30	2.11 0.89 0.82	8.96 10.79	6.61 0.03 0.22 22.22 0.00 0.00	45.20 1.75	hastingsite	TC-09-116 TC-09-116- ZoneB-5	Monzonite
1.08 0.85 2.00 15.52	0.00 0.36 0.52 22.00	0.08 1.70 0.16 2.00	2.40 2.10 5.00 0.06	0.24	0.08	0.00 8.00	6.96 1.04	98.30	-0.25	1.76 0.81 1.76	9.18 10.37	6.25 0.00 0.48 21.24 0.00 0.00	45.44 1.55	hastingsite	TC09-116 TC-09-116- ZoneC-2	Monzonite
2.00 2.00 15.44	0.00 0.32 0.12 0.44	0.06 1.76 0.14 2.00	1.67 3.01 5.00 0.04	0.18	0.04	0.00 8.00	7.27 0.73	96.40	0 00	1.58 0.62	13.53 11.03	4.38 0.04 15.28	48.75 0.91	actinolite	<b>13TK47B</b> TK-47B-C1-03	Monzonite
2.00 2.00 15.47	0.00 0.35 0.12 0.47 22.00	0.05 1.81 0.09 2.00	1.72 2.96 5.00 0.04	0.16	0.04 0.01	0.00 8.00	7.20 0.80	96.34	0 00	0.61	13.28 11.29	4.73 0.05 0.34 15.47	48.09 0.95	actinolite	<b>13TK47B</b> TK-47B-C1-04	Monzonite
2.00 2.00 15.08	0.00 0.03 0.08 22.00	0.00 1.98 0.01 2.00	0.02 1.80 5.00 0.01	0.05	0.18	0.00 8.00	7.70 0.30	97.20	0.00	0.23	13.54 12.63	2.75 0.00 0.22 15.11	52.59 0.00	actinolite	<b>13TK47B</b> TK-47B-C1-05	Monzonite
1.43 0.57 2.00 15.71	0.00 0.49 0.71 22.00	0.09 1.45 0.32 2.00	3.80 1.04 5.00 0.14	0.00	0.01	0.00 8.00	7.29 0.71	99.90	-0.01	2.07 1.12 1.14	4.43 8.63	3.90 0.00 1.01 29.67 0.00	46.45 1.34	ferro-edenite	TC09-006 TC-09-06-C2- a1	CaS
22.00 1.18 0.02 2.00 15.88	0.00 0.69 0.19 0.89	0.00 1.56 0.37 2.00	0.05 3.49 5.00 0.07	0.13	0.00	0.00 8.00	7.14 0.79 0.07	99.78	-1 0.09	3.48 0.96 2.38	5.32 9.24	4.26 0.00 0.94 27.50 0.04	45.37 1.23	ferro-fluoro- edenite	<b>TC09-006</b> TC-09-06-C2- a2	CaS
1.49 0.51 2.00 15.63	0.00 0.40 0.22 0.63 22.00	0.00 1.41 0.48 2.00	0.03 3.46 1.13 5.00 0.12	0.20	0.05	0.00 8.00	7.33 0.67	99.43	-0.02	2.91 1.12 1.03	4.87	3.91 0.00 1.08 28.16 0.00	47.14 1.18	hastingsite	<b>TC09-006</b> TC-09-06-C3- a1	CaS

Cl W subtotal Sum T,C,B,A	Na A subtotal O (non-W) OH F	Ca B subtotal Ca	Mn2+ Fe2+ Mg C subtotal Mn2+ Fe2+	Fe3+ Zn	A	II Fe3+ T subtotal	A	O=F,Cl (calc) Initial Total		K20	Mg0 CaO	AI2O3 Cr2O3 FeO NIO ZnO BeO	SiO2 TiO2 ZrO2	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro
0.01 2.00 15.59	0.39 0.21 22.00 1.27 1.27 0.72	1.45 0.43 0.00	0.01 3.50 5.00 0.12	0.21	0.15	8 00.00	7.31 0.69	-0.62 98.68	1.45 0.04	1.03	4.69 8.58	3.84 1.02 28.25 0.00	46.45 1.24	hastingsite	TC-09-06-C3-a2	TC09-006	CaS
0.01 2.00 15.67	0.47 0.20 0.67 22.00 0.87 1.12	0.00 1.41 2.00 0.00	0.00 3.48 5.00 0.11	0.20	0.12 0.00	8 0.00	0.63	-0.96 99.07	0.05	1.01	5.12 8.37	3.40 0.00 27.96 0.00	46.75 1.17	ferro-fluoro- edenite	TC-09-06-C5-a1	TC09-006	CaS
2.00 15.06	0.02 0.04 22.00 2.00	1.73 0.27 0.00	0.17 4.21 5.00	0.05	0.01 0.14	0.00	0.00	0.00 98.31	5	0.94 0.19	1.79 10.24	0.75 1.26 32.29	50.76 0.09	erro-actinolite	TC-09-06-C5-a2	TC09-006	CaS
0.00 2.00 15.57	0.37 0.20 22.00 1.28 0.71	1.44 0.43 0.00	0.02 3.56 5.00 0.13	0.23	0.13 0.04	0.00	7.34 0.66	-0.61 99.94	0.01	1.01	4.45	3.81 0.00 1.13 29.08 0.00	47.21 1.09	hastingsite	TC-09-06-C7-a1	TC09-006	CaS
2.00 15.66	0.46 0.20 22.00 1.32 0.68	0.44 0.44	3.48 1.15 0.13	0.26	0.11 0.00	8 00.00	7.25 0.70	-0.58 98.91	0.00	2.93	4.91 8.39	3.77 0.00 0.95 28.69 0.00	46.14 1.32	ferro-edenite fe	TC-09-06-C7-a2	TC09-006	CaS
0.02 2.00 15.15	0.07 0.15 22.00 1.86 0.12	1.64 0.26 0.00	0.10 4.25 5.00 0.10	0.22	0.01	0.00	7.86 0.15	-0.12 98.16	0.09	0.36	1.68 9.59	0.85 1.50 0.00	49.27 0.11	rro-actinolite	TC-09-06-C7-a3	TC09-006	CaS
0.05 2.00 15.71	0.53 0.18 22.00 1.28 0.67	0.00 0.21 0.00	2.89 1.72 5.00	0.02	0.00	0.00 8.00	6.92 1.04	-0.63 100.33	1.38 0.21	2.51 0.93	7.54	5.79 0.15 24.64 0.00	45.31 1.64	hastingsite f	TC09_10-C10	TC09-010	CaS
0.06 2.00 15.69	0.53 0.16 22.00 1.30 0.64	0.20 0.200	2.84 1.85 0.10	0.27 0.00	0.05	0.00 8.00	7.12 0.76	-0.61 100.22	0.25	2./3 0.82	8.12 9.58	4.24 0.00 0.77 24.82 0.01	46.69 1.47	erro-edenite	T009_10-C3	TC09-010	CaS
0.06 2.00 15.84	0.65 0.19 22.00 1.43 0.51	1.69 0.24 0.00	3.06 1.62 0.06	0.01	0.19	8 00 0.00	6.85 1.12	-0.49 99.47	0.24	2.96 0.98	7.03	6.15 0.05 0.45 24.69 0.00	44.31 1.87	hastingsite f	T009_10-C4	TC09-010	CaS
0.05 2.00 15.68	0.50 0.17 22.00 1.49 0.47	0.00 0.27 0.00	2.83 5.00 0.07	0.23 0.00	0.10 0.00	8 00.00	7.08 0.84	-0.44 98.76	0.17	0.88	7.99	4.65 0.00 24.23 0.01	45.99 1.50	erro-edenite fer	T009_10-C7	TC09-010	CaS
0.03 2.00 15.23	0.14 0.23 22.00 1.39 0.59	0.00 0.27 0.00	0.00 3.33 5.00 0.09	0.32	0.03 0.02	0.00	7.63 0.37	-0.53 99.48	0.10	0.48	5.66 9.95	2.17 0.00 0.71 28.38 0.00	49.68 0.29	ro-actinolite fe	rco9-10A-C1-a1	TC09-010	CaS
0.03 2.00 15.11	0.02 0.11 22.00 1.94 0.03	0.00 0.11 0.00	0.05 4.38 5.00 0.08	0.07	0.08	0.00	7.85 0.15	-0.05 99.30	0.11	0.44	1.79 10.70	1.27 0.00 0.97 33.78 0.00	49.81 0.00	rro-actinolite fe	TC09-10A-C1-a2	TC09-010	CaS
0.01 2.00 15.20	0.12 0.08 0.20 22.00 1.70 0.29	0.02 0.23 0.00	3.56 1.08 0.10	0.36	0.00	0.01 8.00	7.64 0.33	-0.26 99.52	0.04	0.40	4.70 9.97	1.79 0.00 0.76 30.62 0.00	49.52 0.22	rro-actinolite fe	TC09-10A-C1-a3	TC09-010	CaS
0.02 2.00 15.14	0.10 0.05 0.14 1.76 0.22	1.89 0.08 0.00	0.10 3.96 5.00 0.04	0.11	0.00	0.03	7.82 0.15	-0.21 99.54	0.45	0.24	3.56 11.29	0.83 0.03 1.02 31.47 0.00	50.20 0.00	rro-actinolite fe	T009-10A-C1-a4	TC09-010	CaS
0.01 2.00 15.27	0.13 0.14 0.27 22.00 1.99	1.85 0.09 0.00	0.03 3.79 5.00 0.06	0.20 0.01	0.02 0.08	8 00	7.50 0.50	-0.01 96.98	0.02	0.67	3.62 10.86	3.11 0.00 0.68 29.98 0.11	47.07 0.16	rro-actinolite fe	TC09-10A-C1-a5	TC09-010	CaS
0.01 2.00 15.18	0.10 0.08 22.00 2.00	1.80 0.15 0.00	0.09 3.78 5.00 0.05	0.17	0.07	0.00	7.71 0.29	0.00 98.77	0.02	0.41	3.81 10.79	1.92 0.01 1.05 30.34 0.00	49.54 0.07	rro-actinolite	TC09-10A-C1-a6	TC09-010	CaS
2.00 15.78	0.60 0.19 22.00 1.55 0.45	0.00 0.22 0.00	3.12 1.55 0.09	0.26 0.02	0.05	8 00 8 00	6.99 0.93	-0.38 98.50	0.91	2.68 0.94	6.65 9.74	5.02 0.00 26.28 0.13	44.67 1.16	ferro-edenite	TC-09-10A-C2-a1	TC09-010	CaS
2.00 15.60	0.43 0.17 02.00 1.26 0.74	0.00 1.56 2.00 0.00	2.90 1.66 0.12 0.05	0.30	0.15 0.00	8 0.00	0.92	-0.65 100.40	1.54	0.87	7.30 9.57	5.11 0.00 0.92 25.56 0.00	46.55 1.27	hastingsite fr	TC-09-10A-C2-a2	TC09-010	CaS
2.00 15.49	0.35 0.14 22.00 1.55 0.45	0.33 0.00	2.67 1.89 0.08 0.16	0.01	0.02	9 00	7.29	-0.40 99.93	0.94	0.74	8.39	3.48 0.06 25.66 0.04	48.24 1.00	erro-actinolite	TC09-10A-C6-a1	TC09-010	CaS

CI W subtotal Sum T,C,B,A	O (non-w) OH F	A subtotal	Na	B SUDIOTAL Ca	Na	Ca	IVIn2+ Fe2+	C subtotal	Mg	Mn2+	Zn	Fe3+	Cr 2	Ti	T subtotal	Fe3+	A	Si	O=F,CI (calc) Initial Total	CI .	F KZU	Na2O	CaO	MgO	ZnO	NiO	FeO	Cr203	AI2O3	TiO2	sing	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro	222
2.00 14.86	22.00 1.53 0.47	0.09	0.00	0.00	0.54	1.24	0.00	4.80	1.61	0.06 2.68		0.00	0.02	0.08	8.19	0.00	0.00	8.19	-0.42 98.02		1 00	1.86	7.79	7.25		0.00	0.47 21.58	0.00	2.14	0.70	AF 17	ferro-winchite	TC09-10A-C6-a2	TC09-010	Cas	2
2.00 15.65	22.00 1.62 0.38	0.65	0.44	0.00	0.52	1.30	0.03	5.00	0.77	2 22		0.31	0.00	0.10	8.00	0.00	0.65	7.32	-0.32 100.54		0 77	3.16	7.81	3.32		0.00	31.88	0.02	3.53	40.97 1.19	<i>16</i> 07	ferro-ferri- katophorite	TC09-13-C2	TC09-013	CaS	>
2.00 15.73	22.00 1.69 0.31	0.73	0.50	0.00	0.46	1.37	0.03	5.00	0.78	2 2/	0.01	0.29	0.00	0.08	8.00	0.00	0.71	7.20	-0.26 98.70	0	0.61	4	8.04	3.30		0.05	1.04 31.22	0.01	3.77	45.23 1.45	AF 22	erro-edenite	TC09-13-C5	TC09-013	Cas	>
2.00 15.86	22.00 1.33 0.67	0.86	0.64	0.00	0.31	1.58	0.00	5.00	0.81	0.03 2.63		0.52	0.01	0.00	8.00	0.00	1.08 0.18	6.74	-0.56 99.45		1.08	3.06	9.24	3.43		0.00	31.12	0.05	5.74	42.31 1.55	AD 21	hastingsite fern	T009-13-05	TC09-013	CaS	>
2.00 15.16	22.00 1.90 0.10	0.16	0.09	2.00	0.38	1.54	0.00	5.00	0.54	0.12	0.0	0.26	0.01	0.01	8.00	0.00	0.17	7.84	-0.08 97.20	o in o	0.34	1.49	9.04	2.27		0.04	31.67	0.04	1.37	49.10 0.12	10 19	o-actinolite	TC09-13-C6	TC09-013	Cas	2
2.00 15.83	1.41 0.59	0.83	0.55	2.00	0.50	1.35	0.02	5.00	0.67	2 00		0.26	0.0	0.16	8.00	0.00	0.92	7.08	-0.50 99.84		1.38	3.42	7.94	2.83		0.00	0.99 31.55	0.00	4.97	1.36	07 NA	ferro-ferri- atophorite	TC09-13-C7 T(	TC09-013	CaS	5
0.05 2.00 15.75	1.06 0.89	0.75	0.53	2.00	0.11	1.79	0.00	5.00	1.76	0.02 2.84	0.02	0.18	0.00	0.15	8.00	0.00	1.16	6.84	-0.80 98.08	0.18	1.12	2.10	10.67	7.54	0.15	0.00	0.89 23.02	0.02	6.48	43.00 1.26	43 6V	hastingsite	009.20-zA-038 1	TC09-020	CaS	5
0.05 2.00 15.63	1.11 0.84	0.63	0.42	0.00	0.16	1.73	0.00	5.00	1.86	0.03 2.60	0.05	0.19	0.00	0.17	8.00	0.00	1.01	6.99	-0.76 97.80	0.19	1.04	1.92	10.35	7.99	0.40	0.00	1.04 22.07	0.02	5.57	44.70 1.48	11 78	hastingsite fer	C09.20-zA-043	TC09-020	Cas	>
0.04 2.00 15.78	1.05 0.91	0.78	0.54	2.00	0.14	1.81	0.00	5.00	2.00 1.63	0.06 2.88	0.00	0.08	0.10	0.23	8.00	0.00	1.28	6.72	-0.82 100.08	0.16	1.19	2.30	10.99	7.10	0.04	0.20	0.78 23.00	0.00	7.57	43.71 2.00	A2 71	ro-pargasite	rc09.20-zC-058	TC09-020	Cas	5
0.06 2.00 15.70	22.00 1.12 0.83	0.70	0.49	0.00	0.14	1.76	0.00	5.00	1.77	0.03 2.8.2	0.01	0.18	0.01	0.17	8.00	0.00	1.10	6.90	-0.76 99.43	0.23	1 69	2.12	10.64	7.71	0.11	0.02	0.96 23.28	0.00	6.10	44.77 1.49	AA 77	hastingsite	TC09.20-zC-059	TC09-020	CaS	2
0.05 2.00 15.71	22.00 1.16 0.79	0.71	0.47	0.00	0.21	1.74	0.00	5.00	1.71	0.07	0.01	0.08	0.00	0.24	8.00	0.00	1.10	6.91	-0.73 99.08	0.20	1.24	2.26	10.52	7.41	0.11	0.17	0.92 22.54	0.00	6.14	44.02 2.07	C3 W	hastingsite	TC09.20-zC-067	TC09-020	CaS	2
0.07 2.00 15.66	1.39 0.55	0.66	0.45	0.00	0.08	1.78	0.02	5.00	2.00 1.79	08 6	0.00	0.24	0.07	0.10	8.00	0.00	1.09	6.91	-0.53 98.49	0.25	1.03	1.79	10.72	7.74	0.00	0.01	0.92 23.61	0.00	6.33	0.88	C9 W	hastingsite	TC09.20-zD-074	TC09-020	CaS	2
0.07 2.00 15.69	22.00 1.16 0.77	0.69	0.46	0.00	0.13	1.79	0.00	5.00	1.63	0.03	0.01	0.14	ç -	0.13	8.00	0.00	1.07	6.93	-0.72 99.57	0.27	1.17	1.99	10.82	7.08	0.12	0.00	0.81 23.88	0.00	6.53	44.09 1.14	08 M	hastingsite	TC09.20-zD-079	TC09-020	Cas	2
0.05 2.00 15.67	0.99	0.68	0.47	2.00	0.13	1.76	0.01	5.00	2.04 1.78	7 8 /	0.00	0.20	0.01	0.17	8.00	0.00	1.09	6.91	-0.87 99.91	0.20	1.05	2.00	10.68	7.79	0.01	0.00	0.81 23.76	0.00	6.04	43.01 1.46	45.01	hastingsite	TC09.20-zE-086	TC09-020	CaS	2
0.02 2.00 15.55	22.00 1.26 0.72	0.16	0.40	2.00	0.73	1.01	0.09	5.00	0.73	2 75		0.44	0.00	0.08	8.00	0.00	0.42	7.54	-0.63 99.10	0.07	0.78 1.45	3.69	5.99	3.11		0.00	1.21 32.41	0.00	2.24	47.72 1.07	67 TN	ferro-ferri- katophorite	TC09_37-C2-a1	TC09-037	CaS	2
0.01 2.00 15.64	22.00 1.23 0.77	0.64	0.47	2.00	0.68	1.08	0.06	5.00	0.82	2 7/		0.41	0.01	0.02	8.00	0.00	0.43	7.45	-0.65 98.89	0.03	1.85	3.74	6.36	3.46		0.00	1.31 31.72	0.09	2.29	40.91 1.26	16 01	rro-richterite	TC09_37-C2-a2	TC09-037	Cas	5
0.02 2.00 15.53	22.00 1.83 0.15	0.53	0.39	0.00	0.73	1.07	0.05	5.00	0.79	2 7/		0.35	0.00	0.12	8.00	0.00	0.39	7.61	-0.14 97.47	0.06	0.72	3.64	6.27	3.35		0.00	31.13	0.00	2.10	47.93 1.00	A7 02	ferro-ferri- katophorite	TC09_37-C4	TC09-037	Cas	5
0.01 2.00 15.60	22.00 1.61 0.38	0.60	0.42	0.00	0.68	1.11	0.06	5.00	0.86	2 65		0.36	0.00	0.12	8.00	0.00	0.53	7.47	-0.33 98.37	0.05	0.90	3.61	6.56	3.65		0.00	1.14 30.80	0.01	2.88	47.33 1.00	A7 22	ferro-ferri- katophorite	TC09_37-C9	TC09-037	Cas	5
0.07 2.00 15.84	1.54 0.39	0.84	0.62	0.00	0.18	1.67	0.03	5.00	1.66	08 0	0.0	0.26	0.00	0.18	8.00	0.00	1.28 0.08	6.64	-0.40 99.78	0.27	0.81	2.67	10.09	7.21	0.00	0.10	0.89 24.66	0.00	7.04	43.04 2.28	VU 5V	hastingsite	TC09-38-zA-102	TC09-038	Cas	2

W subtotal Sum T,C,B,A	⊆ <del>,</del>	O (non-W)	K A subtotal	Na	B subtotal	Na Na	Fe2+	Mn2+	Mg Mg	Fe2+	Zn Mn2+	Z	Cr Fe3+	AI	T subtotal	- Fe3+	= 2	Si	Initial Total	O=F,CI (calc)	2 -	K20	Na2O	CaO	BeO	NIO	FeO	MnO	AI203	TiO2 ZrO2	SiO2	Species	Analysis (wt%)	Sample	<b>GROUP</b> Petro
2.00 15.63	0.28	22.00 1.59	0.21 0.63	0.43	2.00	0 12	0.10	0.09	5.00	3.38	0.02	0.01	0.33	0.04	0.14	0.00		6.85 1 15	98.22	-0.35	0.56	1.02	1.77	4.63 9.91		0.04	28.67	0.70	6.32	1.13	43 15	hastingsite	 TC09-38-zA-103	TC09-038	CaS
2.00 15.82	0.07	1.34	0.22 0.82	0.60	2.00	0.18	0.03	0.09	1.72 5.00	2.83	0.00	2	0.21	0.00	8.00 0.25	0.00	0.01	6.65 1 3.4	99.46	-0.57	1.21	1.11	2.61	7.48 10.29		0.00	23.68	0.71	7.35	2.20	43 11	hastingsite	TC09-38-zA-99	TC09-038	CaS
2.00 15.68	0.07	22.00 1.20	0.20 0.68	0.48	2.00	0.24	0.07	0.10	7.40	3.15			0.00	0.00	8.00 0.17	0.00	0.01	6.92 1.06	99.33	-0.68	1.48 0.36	1.02	2.38	6.02 9.54		0.00	26.83	0.76	5.77	1.55	44 40	hastingsite	TC09-38-zB-104	TC09-038	CaS
2.00 15.75	0.10	1.13	0.24 0.75	0.51	2.00	0.20	0.05	0.09	1.44 5.00	3.12		0.01	0.24	0.00	0.20	0.00	0.02	6.79 1 1 9	99.73	-0.74	1.55 0.20	1.21	2.34	6.19 9.96		0.06	26.12	0.70	6.49	1.88	43 57	hastingsite	TC09-38-zB-105	TC09-038	CaS
2.00 15.71	0.09	22.00 1.26	0.20 0.71	0.51	2.00	0.23	0.03	0.12	1.36 5.00	3.24			0.27	0.00	0.13	0.00	0.06	6.93 1 02	100.56	-0.64	1.35	1.01	2.48	5.92 9.77		0.00	27.39	0.92	5.57	1.65	44 83	hastingsite	TC09-38-zB-106	TC09-038	CaS
2.00 15.63	0.03	22.00 1.62	0.21 0.63	0.00	2.00	0.13	0.02	0.06	1.66	2.93	0.02	0	0.00	0.10	0.14	0.00	1.01	6.96 1 n4	99.49	-0.33	0.72	1.05	1.88	/.28		0.00	24.22	0.46	6.32	1.25	45.46	hastingsite fe	TC09-38-zC-109	TC09-038	CaS
2.00 15.49	0.05	22.00 1.42	0.18 0.49	0.00	2.00	0.13	0.01	0.10	7.54	2.93	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	7.14	100.30	-0.51	1.10	0.90	1.50	6./5 10.79		0.15	26.72	0.80	4.81	0.04	46 77	rro-actinolite	TC09-38-zC-110	TC09-038	CaS
2.00 15.64	0.08	1.35	0.22 0.64	0.42	2.00	0.11	0.02	0.08	1.45	2.94	0.04	0.02	0.45	0.03	0.08	0.00		6.83 1 1 7	100.97	-0.57	1.18 0.30	1.13	1.79	6.35 10.92		0.14	26.71	0.59	6.71	0.70	44 70	hastingsite	TC09-38-zC-111	TC09-038	CaS
2.00 15.56	0.03	22.00 1.24	0.14 0.56	0.41	2.00	0.21	0.08	0.13	5.00	2.86	0.01	2	0.36	0.01	0.06	0.00	0.01	7.16 0.84	99.58	-0.66	1.49 0.13	0.74	2.11	7.43 9.59		0.00	25.76	0.98	4.69	0.55	46 68	ferro-edenite	TC09-38-zC-112	TC09-038	CaS
2.00 15.84	0.34	22.00 1.59	0.22 0.84	0.63	2.00	0.10	0.00	0.05	1.29 5.00	3.28	0.06	0.00	0.09	0.05	8.00 0.23	0.00	1.40	6.74 1.26	100.25	-0.35	0.69	1.09	2.71	5.58 10.62		0.02	26.03	0.85	7.19	1.97	43 F.7	hastingsite	TC09-38-zD-115	TC09-038	CaS
2.00 15.77	0.06	22.00 1.41	0.23 0.77	0.54	2.00	0.15	0.05	0.07	5.00	2.81	0.01	2	0.00	0.02	8.00 0.26	0.00	1.30	6.64 1 36	99.71	-0.51	1.10	1.19	2.30	7.45 10.56		0.00	23.74	0.51	7.57	2.27	43 93	hastingsite f	TC09-38-zD-116	TC09-038	CaS
2.00 15.86	0.05	22.00 1.31	0.25 0.86	0.61	2.00	0.06	0.00	0.03	1.75 5.00	2.88	0.03	0	0.06	0.08	8.00 0.19	0.00	1.30	6.70 1 30	99.61	-0.59	1.30	1.26	2.26	7.60 11.54		0.00	22.74	0.00	7.57	1.59	43 44	erro-pargasite f	TC09-38-zE-059	TC09-038	CaS
2.00 15.27	0.03	22.00 1.79	0.09 0.27	0.18	2.00	0.03	0.00	0.02	1.39	3.19	0.01	2	0.01	0.15	0.03	0.00	0.00	7.35	96.06	-0.18	0.37	0.43	0.68	5.89 11.54		0.00	25.53	0.09	4.30	0.28	46 5 2	erro-actinolite	TC09-38-zF-070	TC09-038	CaS
2.00 15.53	0.07	22.00 1.44	0.14 0.53	0.39	2.00	0.13	0.04	0.10	1.64 5.00	3.05			0.24	0.00	0.07	0.00	0.01	7.20 0.79	99.58	-0.48	1.02	0.74	1.72	/.14		0.00	25.97	0.73	4.37	0.70	46 80	ferro-edenite f	TC09-38-zF-071	TC09-038	CaS
2.00 15.42	0.06	22.00 1.64	0.14 0.42	0.00	2.00	1.88 0.07	0.00	0.05	1.47 5.00	3.23	5 N N	0.02	0.01	0.03	0.04	0.00	0.00	7.35	99.94	-0.32	0.63	0.70	1.17	6.43 11.49		0.16	26.58	0.00	3.79	0.39	48.00	erro-actinolite f	TC09-38-zF-117	TC09-038	CaS
2.00 15.30	0.03	22.00 1.66	0.10 0.30	0.20	2.00	1.66 0.22	0.02	0.10	1.76	2.78	0.03	0.00	0.41	0.00	0.02	0.00	0.03	7.45	100.23	-0.30	0.66	0.50	1.44	/.85		0.03	25.64	0.75	2.97	0.40	40 62	erro-actinolite	TC09-38-zF-118	TC09-038	CaS
2.00 15.79	0.37	22.00 1.63	0.30 0.79	0.49	2.00	0.08	0.02	0.06	5.00	4.21		0.01	0.00	0.11	0.09	0.00	1.20	6.74 1.26	97.83	-0.30	0.71	1.42	1.80	1.29 10.54		0.10	32.82	0.40	7.08	0.73	41 21	hastingsite	TC09-41-C2-a1	TC09-041	CaS
2.00 15.50	0.64	22.00 1.36	0.17 0.50	0.00	2.00	0.08	0.03	0.05	1.12 5.00	3.60			0.13	0.11	0.04	0.00	0.74	7.26 0.74	99.48	-0.54	1.29	0.85	1.38	4.81 11.02		0.00	28.81	0.00	4.63	0.33	46 лл	ferro-edenite	TC09-41-C2-a2	TC09-041	CaS
2.00 15.57	0.89	22.00 1.12	0.17 0.57	0.40	2.00	0.23	0.04	0.12	1.32 5.00	3.33		0.00	0.28	0.00	0.07	0.00	0.02	7.21	99.34	-0.75	1.79	0.83	2.06	5.66 9.65	1	0.02	27.97	0.91	4.16	0.83	46 21	ferro-edenite	TC09-41-C4-a1	TC09-041	CaS

W subtotal Sum T,C,B,A	Na A subtotal O (non-W) F F	Ca Na B subtotal Ca	Mn2+ Fe2+ C subtotal Mn2+ Fe2+	Fe3+ Ni		Fe3+ T subtotal		Initial Total	D=F CI (calc) F	K20	CaO	AI203 Cr203 Fe0 Ni0 Zn0 Be0	SiO2 TiO2 ZrO2	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro
2.00 15.67	0.46 0.21 22.00 1.47 0.53	1.66 0.17 2.00 0.00	3.73 0.80 5.00 0.12 0.06	0.30	0.15 0.02	0.00	0.89 1.12	99.16	-0 44	2.04 1.02	3.36 9.74	6.07 0.00 0.89 30.83 0.01	43.37 1.22	hastingsite	TC09-41-C4-a2	TC09-041	Cas
2.00 15.76	0.55 0.21 0.76 22.00 1.33 0.67	1.64 0.19 2.00 0.00	3.80 0.83 5.00 0.14 0.02	0.01	0.08	0.00 8.00	0.93 1.01 0.06	98.64	-0 56	1.02	3.49 9.57	5.33 1.04 30.63 0.00	43.24 1.11	ferro-edenite	TC09-41-C4-a3	TC09-041	CaS
2.00 15.65	0.46 0.19 0.65 22.00 1.22 0.78	1.56 0.28 2.00 0.00	3.80 0.73 5.00 0.13 0.03	0.28 0.02	0.13 0.05	0.00 8.00	0.94	98.91	-0.65	2.41 0.91	3.06 9.10	5.27 0.00 0.98 30.83 0.15	44.26 1.05	hastingsite	TC09-41-C4-a4	TC09-041	Cas
2.00 15.45	0.27 0.18 0.45 22.00 1.17 0.84	1.42 0.34 2.00 0.00	3.49 1.06 5.00 0.15 0.09	0.40	0.05 0.00	0.00 8.00	0.62 0.08	99.27	.0 71	0.91	4.51 8.45	3.33 0.00 1.13 30.30 0.00	46.51 1.16	ferro-ferri- hornblende	TC09-41-C6-a1	TC09-041	CaS
2.00 15.49	0.33 0.17 0.49 22.00 1.37 0.63	1.42 0.30 2.00 0.00	3.49 1.03 5.00 0.15 0.13	0.45 0.02	0.00	0.02 8.00	0.62 0.15	99.51	-0 F3	0.83	4.42 8.46	3.35 0.00 1.10 31.14 0.18	46.00 1.23	rro-actinolite 1	TC09-41-C6-a2	TC09-041	CaS
2.00 15.65	0.48 0.17 22.00 1.21 0.79	1.56 0.24 2.00 0.00	3.80 0.80 0.16 0.04	0.01 0.00	0.05	0.00 8.00	0.86 0.08	-0.00 99.37	-0 66	2.34 0.82	3.36 9.15	4.58 0.04 1.21 31.46 0.01	44.44 1.05	ferro-edenite	TC09-41-C7-a1	TC09-041	CaS
2.00 15.74	0.51 0.23 0.74 22.00 1.89 0.11	1.75 0.11 2.00 0.00	3.86 0.81 5.00 0.13 0.02	0.26	0.08 0.00	0.00 8.00	0.95 1.04 0.02	98.29	-0.02 22:0	1.12	3.38 10.18	5.51 0.00 30.89 0.00	43.40 0.77	ferro-edenite	TC09-41-C7-a2	TC09-041	CaS
2.00 15.72	0.51 0.21 0.71 22.00 1.14 0.87	1.54 0.24 2.00 0.00	3.30 1.31 5.00 0.11	0.38 0.00	0.01 0.00	0.00 8.00	0.93 0.88 0.18	99.89	-0.74	2.45 1.04	5.63 9.19	4.74 0.00 0.85 28.98 0.01	44.40 1.59	ferro-edenite	TC09-41-C8-a1	TC09-041	CaS
2.00 15.78	0.58 0.20 0.78 22.00 0.98 1.02	1.55 0.27 2.00 0.00	3.38 1.23 5.00 0.14	0.31	0.07 0.00	0.00 8.00	0.94 0.97 0.09	100.99	88.U <sup>-</sup> 80'Z	2.83	9.34 9.34	5.32 0.00 1.03 28.84 0.00	44.74 1.36	ferro-fluoro- edenite	TC09-41-C8-a2	TC09-041	CaS
2.00 15.66	0.46 0.21 0.66 1.40 0.56	1.75 0.14 2.00 0.00	0.02 3.58 1.11 5.00 0.11 0.00	0.20	0.08	0.00 8.00	90.0 90.0	98.64	-0.18	1.94	4.71 10.27	4.76 0.05 0.97 28.51 0.00	44.47 1.17	ferro-edenite	TC09_73-C10	TC09-073	CaS
2.00 15.67	0.46 0.21 0.67 22.00 1.24 0.71	1.68 0.20 2.00 0.00	0.02 3.51 1.12 5.00 0.12 0.00	0.21 0.00	0.14 0.00	0.00 8.00	0.95 0.04	100.17	1.44 0.19	1.06	4.83 10.02	5.16 0.00 1.05 28.47 0.01	44.90 1.49	ferro-edenite	TC09_73-C1-a1	TC09-073	CaS
2.00 15.71	0.50 0.21 0.71 22.00 1.18 0.76	1.67 0.21 2.00 0.00	0.00 3.46 1.23 5.00 0.12 0.00	0.20 0.01	0.10	0.00 8.00	0.91 0.08	100.04	-0.21	2.34 1.07	5.29 9.99	4.93 0.02 0.90 27.97 0.04	44.87 1.57	ferro-edenite	TC09_73-C1-a2	TC09-073	CaS
2.00 15.74	0.57 0.17 22.00 1.29 0.65	1.76 0.10 2.00 0.00	0.00 3.65 1.08 5.00 0.15 0.00	0.25 0.01	0.01 0.00	0.00 8.00	0.97 0.90 0.13	-0:00 99.70	-0.23	2.17 0.86	4.60 10.37	4.85 0.00 1.12 29.52 0.05	44.12 1.12	ferro-edenite	TC09_73-C2	TC09-073	CaS
2.00 15.70	0.48 0.22 0.70 22.00 1.15 0.06	1.67 0.22 2.00 0.00	3.41 1.25 5.00 0.11 0.00	0.20	0.13	0.00 8.00	0.96 0.02	99.50	-0.73	2.28 1.11	5.37 9.96	5.18 0.06 0.84 27.51 0.00	44.82 1.29	ferro-edenite	TC09_73-C3	TC09-073	CaS
2.00 15.62	0.42 0.19 22.00 1.22 0.72 0.06	1.69 0.14 2.00 0.00	3.38 1.26 5.00 0.12 0.05	0.29	0.07 0.00	0.00 8.00	0.90 0.03	99.40	-0.66	0.97	5.40 10.05	4.86 0.91 28.39 0.00	45.13 0.81	ferro-edenite	TC09_73-C7-a1	TC09-073	CaS
2.00 15.61	0.40 0.20 22.00 1.26 0.68	1.68 0.16 2.00 0.00	3.40 1.18 5.00 0.13 0.03	0.01 0.28 0.01	0.13	0.00 8.00	0.99 0.03	98.34	-0.23	1.83	4.97 9.87	5.27 0.04 0.95 28.01 0.10	44.06 1.27	hastingsite	TC09_73-C7-a2	TC09-073	CaS
2.00 15.69	0.50 0.19 22.00 1.06 0.90	1.66 0.17 2.00 0.00	3.30 1.37 5.00 0.12 0.05	0.29	0.04 0.00	0.00 8.00	0.03 0.089	100.27	-0.80	0.94	5.92 9.99	4.88 0.00 0.93 27.96	45.21 1.04	ferro-edenite	TC09_73-C8	TC09-073	CaS
2.00 15.61	0.42 0.19 22.00 1.46 0.53	1.72 0.12 2.00 0.00	2.61 2.10 5.00 0.10 0.07	0.00	0.01	0.00 8.00	0.80 0.04	99.22	-0.07	1.82	9.24 10.54	4.47 0.02 0.76 23.21 0.00 0.00	47.04 0.43	ferro-edenite	TC09-75-zA-95	TC09-075	CaS
2.00 15.52	0.36 0.16 22.00 1.33 0.65	1.78 0.13 2.00 0.00	2.59 2.24 5.00 0.09	0.01 0.16 0.00	0.00	0.01 8.00	7.4z 0.56 0.02	99.72	-0.07	0.82	10.00 11.04	3.13 0.06 0.73 21.90 0.02 0.02	49.29 0.21	ferro-edenite	TC09-75-zA-96	T C09-075	CaS

CI W subtotal Sum T,C,B,A	K A subtotal O (non-W) OH	B subtotal Ca	Ca	Mn2+	Mg C subtotal	Mn2+ Fe2+	Ni Zn	Fe3+	₽ A	T subtotal Ti	Fe3+	AI	Initial Total Si	O=F,CI (calc)	۹ ۲	K20	Na2O	CaO CaO	ZnO BeO	NiO	FeO	Cr203	ZrO2 Al2O3	SIO2	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro
0.02 2.00 15.63	0.19 0.63 22.00 1.02	0.00	0.14	0.09	5.00	2.53	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.78	100.38 7.14	-0.87	2.02 0.08	0.99	1.97	9.78 10.72	0.03	0.00	0.72 22.16	0.08	4.41	47.38	ferro-edenite	TC09-75-zA-97	TC09-075	CaS
0.08 2.00 15.79	0.23 0.79 1.08 0.84	0.00	1.66 0.18	0.12	1.33 5.00	3.26	0.00	0.29	0.00	8.00 0.12	0.00	1.14 0.02	99.37 6.85	-0.78	0.31	1.12	2.44	5.66 9.84	0.04	0.00	0.92 27.34	0.00	6.13	43.54	hastingsite fe	TC09-75-zC-81	TC09-075	CaS
0.03 2.00 15.81	0.27 0.21 22.00 1.20	0.00	0.00 1.73 0.14	0.14	1.66 5.00	3.08	0.00	0.24	0.00	8.00 0.02	0.00	0.95	100.99 6.97	-0.69	0.12	1.09	2.46	7.27	0.00	0.03	1.05 25.87	0.00	5.23	45.49	erro-edenite	TC09-75-zC-82	TC09-075	CaS
0.08 2.00 15.78	0.22 0.78 1.32 0.60	0.00 0.00	0.00 1.71 0.16	0.13	1.28 5.00	0.01 3.34		0.23	0.02	8.00 0.13	0.00	1.12	6.88	-0.58	0.31	1.11	2.38	5.45 10.14	0.00	0.00	1.U3 27.18	0.06	6.14	43.82	hastingsite f	TC09-75-zC-84	TC09-075	CaS
0.08 2.00 15.75	0.35 0.72 1.56 0.36	0.00	1.72 0.15	0.13	1.35 5.00	0.01	0.00	0.22	0.03	8.00 0.12	0.00	1.09	99.51 6.91	-0.38	0./4 0.29	1.10	2.24	5.80 10.33	0.03	0.00	1.00 26.78	0.05	6.12	44.39	erro-edenite	TC09-75-zD-86	TC09-075	CaS
0.08 2.00 15.80	0.22 0.80 1.22 1.22	2.00 0.00	0.16	0.12	1.27 5.00	3.34	0.00	0.24	0.00	8.00 0.14	0.02	1.18	100.45 6.81	-0.67	0.28	1.09	2.45	5.45	0.00	0.01	0.94 27.62	0.10	6.41	43.75	hastingsite	TC09-75-zD-91	TC09-075	CaS
0.06 2.00 15.72	0.21 0.72 22.00 1.54	0.00 0.71	1.66 0.18	0.12	1.24 5.00	3.34	0.01	0.27	0.02	8.00 0.12	0.00	1.08	100.10 6.92	-0.39	0.23	1.05	2.30	5.36 9.99	0.00	0.04	0.88 28.14	0.00	6.02	44.62	hastingsite	TC09-75-zD-92	TC09-075	CaS
0.06 2.00 15.75	0.72 0.75 22.00 1.36	0.00	1.68 0.19	0.13	1.31 5.00	3.26	0.02	0.24	0.00	8.00 0.17	0.00	1.13	98.54 6.84	-0.54	0.22	1.13	2.31	5.57 9.91	0.18	0.00	0.94 26.54	0.06	6.10	43.37	hastingsite fe	TC09-75-zD-94	TC09-075	CaS
0.03 2.00 15.14	0.07 0.14 22.00 1.97	2.00 0.00	1.96 0.02	0.02	1.46 5.00	0.09 3.29	0.01	0.15	0.00	8.00	0.08	0.19	97.56 7.71	-0.03	0.12	0.33	0.31	6.31 11.76		0.04	0.82 27.09	0.03	1.03	49.59	rro-actinolite fe	TC09-82-C1-a1	TC09-082	CaS
0.02 2.00 15.08	0.04 0.08 1.76 0.22	0.00	0.05 0.05	0.06	1.49 5.00	0.05 3.31		0.12	0.01	0.01	0.00	0.18	98.07 7.82	-0.21	0.45	0.21	0.31	6.49 11.43		0.00	0.86 26.60	0.01	1.02	50.69	erro-actinolite fe	TC09-82-C1-a2	TC09-082	CaS
0.01 2.00 15.12	0.05 0.12 22.00 1.88	2.00 0.00	0.02 0.02	0.01	1.83 5.00	0.06 3.03	0.01	0.02	0.01	8.00 0.03	0.00	0.20	98.56 7.80	-0.11	0.05	0.28	0.31	8.11 12.14		0.05	0.55 24.05	0.06	1.17	51.43	erro-actinolite	TC09-82-C1-a3	TC09-082	CaS
2.00 15.47	0.14 0.47 22.00 2.00	2.00 0.00	1.64 0.20	0.12	1.73 5.00	2.80		0.28	0.06	8.00 0.14	0.00	0.88	97.52 7.12	0.00		0.69	1.78	7.52 9.90			0.91 24.15	0.01	5.14	46.18	ferro-ferri- hornblende	TK-001A-C1-4	13TK001A	CaS
2.00 15.60	0.19 0.60 22.00 2.00	2.00 0.00	1.20 0.61	0.13	1.53 5.00	3.03		0.33	0.02	8.00 0.08	0.00	0.52	97.36 7.48	0.00		0.95	3.36	6.60 7.23			26.35	0.01	0.7z	48.18	ferro-ferri- katophorite	TK31_C1_0010	13TK31	CaS
2.00 15.58	0.19 0.19 22.00 2.00	2.00 0.00	1.37 0.51	0.12	1.26 5.00	3.40		0.21	0.00	8.00 0.13	0.00	0.54	97.16 7.44	0.00		0.94	2.95	5.35 8.13			0.89 27.50	0.00	2.93	47.24	erro-richterite	TK31_C1_002	13TK31	CaS
2.00 15.62	0.22 0.62 22.00 2.00	2.00 0.00	1.69 0.21	0.09	1.58 5.00	3.00		0.18	0.08	8.00 0.16	0.00	0.98	97.19 7.02	0.00		1.12	1.99	6.80 10.08			0.71 24.46	0.01	5.74	44.96	hastingsite	TK42_C1_001	13TK42	CaS
2.00 15.62	0.15 0.62 22.00 2.00	2.00	1.74 0.19	0.07	2.43 5.00	0.00 2.34		0.11	0.02	8.00 0.10	0.00	0.75	97.93 7.25	0.00		0.78	2.25	10.82 10.80			0.53 19.45	0.01	4.32	48.12	edenite	TK42_C1_002	13TK42	CaS
2.00 15.53	0.20 0.53 22.00 2.00	2.00 0.00	1.58 0.29	0.11	1.50 5.00	3.04		0.23	0.09	8.00 0.15	0.00	0.86	97.52 7.14	0.00		0.99	2.09	6.45 9.49			0.83 25.27	0.00	5.20	45.93	hastingsite	TK42_C1_003	13TK42	CaS
2.00 15.56	0.20 0.56 22.00 2.00	2.00 0.00	1.59 0.27	0.10	1.46 5.00	3.07		0.24	0.06	8.00 0.17	0.00	0.93	97.09 7.07	0.00		0.99	2.11	6.25 9.48			0.77 25.52	0.00	5.36	45.18	hastingsite	TK42_C1_004	13TK42	CaS
2.00 15.59	0.21 0.59 22.00 2.00	0.00 0.28	0.00 1.67 0.26	0.07	1.68 5.00	0.01 2.96		0.13	0.06	8.00 0.17	0.00	0.85	97.28 7.15	0.00		1.07	2.11	7.25			0.59 23.79	0.00	4.99	46.03	hastingsite	TK42_C2_006	13TK42	CaS

r Cl W subtotal Sum T,C,B,A	Na A subtotal O (non-W)	Ca Ca	C subtotal Mn2+ Fe-2+	Zn Mn2+ Fe2+ Ma	Fe3+ Ni	AI	rı Fe3+ T subtotal	T. AI	CI O=F,CI (calc) Initial Total	MgO CaO Na2O K2O F	Al2O3 Cr2O3 FeO NiO ZnO BeO	SiO2 TiO2 ZrO2	Species	Sample Analysis (wt%)	GROUP Petro	
2.00 15.57	0.38 0.19 0.57 22.00 2.00	1.66 2.00	0.10 0.00	2.97	0.00 0.17	0.12	0.00 8.00	7.21 0.79	0.00 97.33	7.30 9.97 2.08 0.94	4.59 0.01 24.23 25	46.47 1.02	ferro-edenite	<b>13TK42</b> TK42_C2_007	CaS	
2.00 15.65	0.42 0.65 22.00 2.00	1.69 2.00	0.09	0.01 3.12 1.47	0.15	0.17 0.07	0.00 8.00	7.00 1.00	0.00 96.44	6.25 9.99 2.10 1.13	5.74 0.00 0.72 24.77	44.30 1.44	hastingsite fer	<b>13TK42</b> TK42_C2_009	CaS	
2.00 15.12	0.07 0.12 22.00 2.00	0.30 0.00	5.00 0.17 0.12	3.50	0.21	0.01 0.09	0.00 8.00	7.88 0.12	0.00 97.04	5.17 8.47 1.21 0.24	1.13 0.00 1.26 29.17	50.34 0.05	ro-actinolite	<b>13TK63</b> TK-63B-C1-011	CaS	
2.00 15.55	0.35 0.19 0.55 22.00	0.31 0.00	5.00 0.07	0.01 2.90 1.73	0.00	0.17	0.00 8.00	7.25 0.76	0.00 96.95	7.48 9.72 2.21 0.98	4.47 0.01 23.30	46.69 1.45	hastingsite ferr	<b>13TK63</b> TK-63B-C1-03	CaS	
2.00 15.12	0.08 0.04 22.00 2.00	0.05 0.05	0.01 0.01	0.12 3.75 1.09	0.00	0.02	0.00 8.00	7.86 0.13	0.00 96.14	4.61 11.40 0.42 0.20	0.69 0.02 28.28	49.39 0.22	o-actinolite	<b>13TK63</b> TK-63B-C1-05	CaS	
													ал			
1.28 0.01 2.00 16.00	0.88 0.28 1.16 22.00 0.72	0.15 2.00	4.70	0.29 2.25 1.63	0.01 0.22 0.00	0.18	0.00 8.15	8.15 0.00	0.02 -1.12 97.67	7.17 0.94 9.22 1.42 2.65	0.71 0.08 2.26 19.30 0.01	53.46 1.54	fluoro- vedsonite á	TC09-59 TC09_59-C7 TC	CaNaS	
0.42 0.00 2.00 15.54	0.22 0.54 1.58	0.47 1.53 2.00	5.00	0.01 0.13 0.37	0.51	0.13 0.28	0.00 8.00	7.95 0.05	0.01 -0.36 97.93	1.58 2.79 1.64 0.84	1.82 0.00 0.96 31.13 0.00 0.07	50.64 1.06	potassic- arfvedsonite	TC09-102	CaNaS	
1.34 0.02 2.00 16.06	0.87 0.25 1.12 22.00 0.64	0.87 1.14 2.00	4.94	0.02 0.15 4.13 0.39	0.00	0.15 0.10	0.00	7.74 0.26	0.08 -1.09 96.36	1.58 4.88 1.17 2.56	1.87 0.00 1.06 29.84 0.00 0.13	46.80 1.21	ferro-fluoro- richterite	TC09-102 TC09-102-zE-106	CaNaS	
0.49 0.02 2.00 15.78	0.54 0.24 0.78 1.49	0.54 1.40 2.00	0.06	0.03 4.13 0.23	0.11	0.16 0.25	0.00 8.00	7.95 0.05	0.06 -0.42 97.77	0.98 3.16 1.17 0.97	1.59 0.00 1.13 31.68 0.00 0.21	49.69 1.30	ferro- katophorite	TC09-102 TC09-102-zE-114	CaNaS	
0.80 0.02 2.00 15.81	0.55 0.26 0.81 22.00 1.17	0.65 1.22 2.00	5.00 0.14	0.02 4.10 0.34	0.00	0.16	0.00 8.00	7.72 0.28	0.08 -0.68 97.20	1.39 3.74 1.26 1.57	2.16 0.03 1.16 31.89 0.00 0.13	47.55 1.30	ferro-ferri- katophorite	TC09-102 TC09-102-zF-119	CaNaS	
0.68 2.00 15.72	0.47 0.25 0.72 1.32	0.56 1.30 2.00	5.00 0.14	0.05 4.10 0.29	0.00	0.16	0.00 8.00	7.86 0.14	0.00 -0.56 97.38	1.21 3.24 1.19 1.33	1.59 0.03 1.04 32.23 0.01 0.38	48.74 1.29	ferro-ferri- <sub>fe</sub> katophorite	TC09-102 TC09-102-zF-123	CaNaS	
0.36 0.03 2.00 15.70	0.50 0.20 0.70 1.61	0.96 0.89 2.00	0.15	0.04 3.99 0.59	0.01 0.26 0.01	0.10	0.00 8.00	7.71 0.28	0.12 -0.33 97.43	2.48 5.58 0.96 0.71	1.49 0.07 1.36 31.60 0.06	47.96 0.91	rro-richterite fe	TC09-109 TC09-109-C11	CaNaS	
0.00 2.00 15.78	0.54 0.24 1.37	0.88 2.00	0.07	0.08 3.95 0.68	0.12	0.17 0.00	0.00 8.00	0.19	0.12 -0.53 98.40	2.85 5.18 1.18 1.20	1.01 0.00 1.14 30.60 0.00	48.81 1.71	rro-richterite fe	TC09-109 TC09-109-C2	CaNaS	
0.90 2.00 15.89	0.67 0.89 1.08	0.77 1.09 2.00	0.14	0.04 3.84 0.78	0.00 0.25	0.09	0.00 8.00	7.70 0.24	0.07 -0.77 99.36	3.30 4.55 1.08 1.80	1.27 0.02 1.40 30.90 0.00	48.68 1.32	rro-richterite fe	TC09-109 FC09-109-C4-a1	CaNaS	
0.47 0.02 2.00 15.87	0.64 0.23 22.00 1.50	0.83 2.00	0.11	0.06 3.85 0.77	0.19 0.01	0.14 0.00	0.00 8.00	7.70 0.26	0.09 -0.42 98.55	3.24 4.88 1.14 0.95	1.39 0.00 1.21 30.43 0.07	48.57 1.48	rro-richterite	TC09-109 TC09-109-C4-a2	CaNaS	
0.75 2.00 15.73	0.55 0.19 22.00	0.47 1.28 2.00	5.00 0.12 0.14	2.54	0.01	0.11	0.00 8.00	7.88 0.12	-0.66 98.88	8.45 2.92 0.97 1.56	0.69 0.10 0.91 24.61 0.00	52.18 0.93	ferro-ferri- katophorite	TC09-129 TC09-129-C1-a1	CaNaS	
2.00 15.48	0.38 0.48 22.00 2.00	1.08 0.73 2.00	5.00 0.17	4.15	0.33	0.00	0.00 8.00	7.89 0.08	0.00 97.03	2.15 6.27 0.46	0.42 0.00 1.24 33.56 0.00	49.14 0.23	ferro-ferri- winchite	TC09-129 TC09-129-C1-a2	CaNaS	
2.00 15.83	0.66 0.17 0.83 22.00 2.00	0.29 1.48 2.00	5.00 0.13 0.10	3.97	0.39	0.18 0.00	0.00 8.00	7.85 0.11	0.00 96.60	1.91 1.70 6.86 0.83	0.59 0.94 33.14 0.00	48.77 1.85	ferro-ferri- katophorite	TC09-129 TC09-129-C1-a3	CaNaS	

W subtotal Sum T,C,B,A	A subtotal O (non-W) F	Ca Na	Ca Na	Mn2+ Fe2+	C subtotal	Mn2+ Fe2+	Ni Zn	Cr Fe3+	A	T subtotal	Fe3+	AI	Si	CI O=F,CI (calc) Initial Total	F	Na2O	MgO CaO	ZnO BeO	Nio	Mno	Al2O3 Cr2O3	TiO2 ZrO2	SiO2	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro	
2.00 15.52	0.23 0.52 22.00 2.00	0.00	0.94	0.11	5.00	0.01 3.99	0.01	0.20	0.03	0 21	0.00	0.23	7.77	0.00 98.09	0.00	4.02	2.35 5.57		0.04	0.94	1.38 0.00	1.78	49.17	ferro-ferri- katophorite	TC09-129-C2-a1	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.66	0.24 0.66 22.00 1.67 0.33	0.00	1.05	0.09	5.00	0.07 4.16	0	0.15	0.00	0.00	0.00	0.25	7.71	-0.27 99.51	0.65	4.80	1.57 5.08		0.00	1.17	1.32 0.00	2.41	48.88	ferro-ferri- katophorite	TC09-129-C2-a2	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.24	0.07 0.24 22.00 1.75 0.25	0.00	1.67 0.24	0.09	5.00	4.09	0	0.00	0.00	8.00	0.05	0.20	7.74	-0.21 98.91	0.50	1.36 0.34	2.48 9.87		0.00	1.22	1.07 0.02	0.14	48.94	ro-actinolite ferr	TC09-129-C3	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.94	0.24 0.94 22.00 2.00	0.00 0.70	0.60	0.07	5.00	0.04 3.11		0.00 0.12	0.00	0.00	0.00	0.65	7.21	0.00 98.26	1.20	4.30	7.05 8.01		0.00	0.83	3.53 0.03	2.04	46.40	o-richterite ferr	TC09-129-C4	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.78	0.23 0.78 1.56 0.44	0.00	0.74	0.13	5.00	4.10		0.23	0.00	8.00	0.00	0.26	7.50	-0.35 95.55	0.84	4.02	2.71 6.36		0.00	0.91	1.35 0.00	1.86	45.36	o-richterite	TC09-129-C5 TC	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.10	0.10 22.00 1.92 0.09	0.00	0.58 0.58	0.00	5.00	0.16 3.77	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	7.94	-0.07 95.66	0.17	1.92 0.35	2.29 8.27		0.00	1.21	0.33 0.01	0.17	49.35	ferro-ferri- winchite	09-129-C6-a1 TC	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.12	0.12 22.00 1.82 0.18	0.00	0.70	0.00	5.00	0.18 3.62	0	0.60	0.00	0.00	0.00	0.10	7.90	-0.15 98.79	0.36	2.49	2.43 7.80		0.00	1.36	0.52 0.00	0.34	50.80	ferro-ferri- winchite	09-129-C6-a2 TC	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.24	0.08 0.24 1.71 0.29	0.00 0.17	1.50 0.46	0.04	5.00	4.19	0.01	0.00	0.06	0.04 0.04	0.00	0.04	7.96	-0.25 99.55	0.58	2.07	1.86 8.94		0.06	1.37	0.57 0.01	0.31	50.75	o-actinolite ferr	09-129-C6-a3 TC	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.35	0.06 0.35 1.73 0.28	0.00	0.45	0.08	5.00	3.45 3.75	9	0.01	0.00	8.00	0.06	0.07	7.86	-0.24 99.06	0.56	2.46	5.52 8.90		0.00	0.99 28 00	0.39 0.05	0.06	51.05	o-actinolite	09-129-C6-a4 TC	TC09-129	CaNaS	
2.00 15.73	0.26 0.73 1.69 0.31	0.00	0.86 1.03	0.12	5.00	0.03 3.98	0.01	0.21	0.00	0.15	0.00	0.21	7.75	-0.26 99.02	0.63	4.91 1.27	2.70 5.06		0.04	1.10	1.13 0.00	1.63	49.10	ferro-ferri- katophorite	09-129-C6-a5 TC	TC09-129	CaNaS	:
2.00 15.85	0.21 0.85 0.80 1.19	0.00	0.68	0.06	5.00	2.00	0.01 0.00	0.22	0.00	0.01	0.00	0.40	7.55	0.04 -1.09 100.44	2.56	4.57	12.56 7.57	0.02	0.10	10.51	2.32 0.00	0.46	51.18	fluoro- richterite	09-131-zB-050 TCC	TC09-131	CaNaS	
2.00 15.88	0.22 0.87 0.66 1.34	0.00 0.66	1.28 0.60	0.06	5.00	2.25	0.00 0.00	0.21	0.00	0 0 0	0.00	0.51	7.48	0.02 -1.20 100.48	2.83	4.35	11.36 8.03	0.02	0.02	0.49	2.91 0.00	0.21	50.18	fluoro- ferru richterite	99-131-zC-060 TC0	TC09-131	CaNaS	
0.00 2.00 15.11	0.106 22.00 1.92 0.08	0.00	1.74 0.18	0.08	0.94 5.00	3.87	0.01	0.00	0.00	8.00	0.01	0.06	7.91	0.01 -0.07 99.65	0.17	0.77	4.09 10.50	0.10	0.00	0.90	0.33 0.01	0.17	51.23	o-actinolite	9-131-zD-065 TC0	TC09-131	CaNaS	
2.00 15.10	0.10 22.00 1.92 0.07	0.00	0.65	0.04	5.00	0.09 3.76	0.01	0.01	0.00	8.00	0.00	0.06	7.90	0.07 -0.07 99.59	0.14	2.18 0.49	2.26 7.88	0.12	0.00	0.95	0.31 0.04	0.31	51.08	ferro-ferri- winchite	9-131-zD-066 TC0	TC09-131	CaNaS	
0.02 2.00 15.82	0.23 0.82 1.25 0.73	0.00	0.75 1.13	0.09	5.00	4.02	0.01	0.00	0.00	0 1 4	0.00	0.19	7.70	0.06 -0.63 100.10	1.47	5.62	2.63 4.46	0.00	0.04	0.71	1.01 0.02	2.09	49.00	o-richterite	9-131-zD-067 TC0	TC09-131	CaNaS	
0.03 2.00 15.98	0.29 0.98 22.00 1.06	0.00	1.82 0.16	0.02	5.00	2.80	0.01	0.00	0.08	n 93	0.00	1.57	6.43	0.12 -0.93 99.59	2.14	2.81	6.94 10.91	0.00	0.06	0.61	9.00 0.03	2.00	41.34	fluoro- hastingsite k	9-131-zG-087 TC0	TC09-131	CaNaS	
2.00 15.70	0.24 0.70 1.38 0.62	0.00	0.62 1.21	0.16	5.00	4.15	0.02	0.01	0.00	0.18	0.00	0.16	7.84	0.03 -0.52 99.37	1.23	5.42	1.49 3.66	0.15	0.00	1.20	0.85 0.04	1.53	49.47	ferro-ferri- katophorite	9-131-zH-080 TC	TC09-131	CaNaS	
2.00 15.75	0.22 0.75 22.00 1.32 0.67	0.00	0.49 1.25	0.12	5.00	3.62	0.03	0.45	0.00	8.00 0.07	0.00	0.09	7.90	0.02 -0.57 98.81	1.35	5.84	3.52 2.91	0.29	0.00	0.87	0.47	0.71	50.24	ferro-ferri- <atophorite< td=""><td>009-131-zI-089 T(</td><td>TC09-131</td><td>CaNaS</td><td></td></atophorite<>	009-131-zI-089 T(	TC09-131	CaNaS	
0.02 2.00 15.65	0.19 22.00 1.05 0.92	0.00	0.99 0.99	0.15	5.00	3.71	0.02	0.01	0.04	0.00	0.00	0.06	7.94	0.09 -0.81 99.79	0.74 1.87	4.82	3.89 5.03	0.14	0.00	20 20	0.57 0.05	0.27	50.94	ro-richterite	209-131-zl-091	TC09-131	CaNaS	

F CI W subtotal Sum T,C,B,A	O (non-W)	A subtotal	Ca	Na B subtotal	Ca	Mn2+ Fe2+	C subtotal	Fe2+	Zn Mn2+	Fe3+ Ni	- Cr	AI	T subtotal	Ti Fe3+	<u>A</u>	Si	O=F,CI (calc)	ci -	K2O	Na2O	CaO	BeO	NiO ZnO	FeO	Cr2O3	AI2O3	SiO2 TiO2	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro
0.68 0.01 2.00 15.78	22.00	0.24	0.00	2.00	0.55	0.13	5.00	3.39		0.39 0.00	0.01	0.05	8.00	0.00	0.06	7.94	-0.60	0.05	1.24	5.88	4.99		0.02	30.02	0.05	0.43	51.41 0.42	ferro-ferri- katophorite	TC09-131-zI-095	TC09-131	CaNaS
2.00 15.59	22.00 2.00	0.19	0.00	0.23 2.00	1.62	0.13	5.00	3.01		0.26 0.00		0.08	8.00	0.06	0.78	7.16	0.00		0.94	2.14	7.20 9.81	1	0.02	25.52	1.02	4.30	46.50 1.20	ferro-edenite t	TC09-45-zA-003	TC09-45	CaNaS
0.87 0.03 2.00 15.68	1.10	0.47	0.00	0.42 2.00	1.45	0.00	5.00	2.49	0.02	0.23 0.01		0.09	8.00	0.04	0.68	7.28	-0.79	0.12	1.00	3.06	9.52 8.88		0.06	21.32	0.00	3.79	47.68 1.16	ferro-edenite t	TC09-45-zA-006	TC09-45	CaNaS
0.53 2.00 15.65	1.44	0.16	0.00	0.38 2.00	1.48	0.00	5.00	2.45	0.02	0.22	0.01	0.00	8.00	0.10	0.48	7.41	-0.50	0.11	0.84	2.99	10.26 9.21		0.00	21.28	0.10	2.73	49.24 0.87	ferro-edenite	TC09-45-zA-009	TC09-45	CaNaS
0.84 0.02 2.00 15.81	1.14	0.20	0.00	2.00	1.54	0.08	5.00	2.39	0.00	0.20 0.03	0.01	0.10	8.00	0.02	0.88	7.00	-0.76	0.08	1.05	3.27	10.08 9.52	2	0.20	20.75	0.11	4.96	46.36 1.93	ferro-edenite	TC09-45-zA-010	TC09-45	CaNaS
0.81 0.03 2.00 15.54	22.00 1.16	0.16	0.00	0.43 2.00	1.42	0.12	5.00	2.40		0.26 0.01		0.07	8.00	0.00	0.51	7.42	-0.75	0.13	1 72	2.78	10.21 8.93	2	0.11	21.74	0.00	2.89	50.03 1.30	ferro-edenite	TC09-45-zA-012	TC09-45	CaNaS
0.61 0.02 2.00 15.19	22.00 1.38	0.10	0.00	2.00	1.07	0.21	5.00	2.21 2.49	0.00	0.29 0.00	0.00	0.00	8.00	0.04	0.20	77.74	-0.56	0.06	1 20	1.34	11.23 6.72	2	0.02	23.58	0.02	1.14	52.14 0.38	actinolite	TC09-45-zB-017	TC09-45	CaNaS
1.08 0.02 2.00 15.43	0.90	0.43	0.00	0.46 2.00	1.11	0.18	5.00	2.13	0.02	0.41 0.01	0.00	0.00	8.00	0.10	0.36	7.53	-0.98	0.09	0.74	2.59	10.92 6.91		0.05	22.47	0.02	2.04	50.40 0.87	fluoro- actinolite	TC09-45-zB-019	TC09-45	CaNaS
0.98 0.04 2.00 15.69	0.99	0.22	0.00	0.38 2.00	1.50	0.00	5.00	2.51 2.18	0.03	0.21	0.00	0.07	8.00	0.12	0.67	70.01	-0.88	0.14	1.12 2.01	2.89	9.57 9.12		0.00	21.22	0.01	3.69	47.14 1.65	ferro-edenite f	TC09-45-zC-020	TC09-45	CaNaS
0.84 0.02 2.00 15.58	1.14	0.18	0.00	2.00	1.30	0.08	5.00	2.58	0.00	0.31 0.01		0.05	8.00	0.06	0.47	7.40	-0.75	0.08	1 74	3.15	9.02 7.98		0.10	23.44	0.00	2.64	49.22 1.03	erro-richterite	TC09-45-zC-022	TC09-45	CaNaS
0.73 0.00 2.00 15.98	22.00 1.26	0.27	0.00	2.00	0.89	0.02	5.00	0.93	0.13	0.29 0.00	0.00	0.13	8.00	0.21	0.43	7.36	-0.62	0.01	1.33	5.86	3.93 5.25	2	0.02	28.87	0.02 1.09	2.32	46.54 2.84	Ti-rich ferro- ferri- katophorite	TC09-57-C1	TC09-57	CaNaS
0.97 0.00 2.00 15.89	1.03	0.27	0.00	0.99 2.00	0.93	0.09	5.00	2.75	0.23	0.61 0.02		0.00	8.00	0.03	0.52	7.46	-0.84	0.01	1.3/	5.42	6.12 5.63		0.13	26.15	0.00	2.86	48.58 0.26	ferro-ferri- katophorite	TC09-57-C4-a1	TC09-57	CaNaS
0.93 0.01 2.00 15.93	22.00 1.06	0.27	0.00	2.00	0.94	0.00	5.00	2.57	0.26	0.66	0.00	0.00	8.00	0.02	0.47	7.39	-0.81	0.05	1.3/	5.50	6.50 5.68	1	0.00	25.89	0.02	2.57	47.67 0.18	ferro-ferri- katophorite	TC09-57-C4-a2	TC09-57	CaNaS
0.88 0.02 2.00 15.88	22.00 1.10	0.26	0.00	2.00	0.90	0.00	5.00	2.84	0.18	0.56	0.01	0.00	8.00	0.01	0.44	7.54	-0.77	0.08	1.30	5.39	6.09 5.40		0.00	26.32	0.09	2.42	48.73 0.06	ferro-ferri- katophorite	TC09-57-C4-a3	TC09-57	CaNaS
0.77 0.01 2.00 15.97	22.00 1.22	0.72	0.00	2.00	1.28	0.02	5.00	3.07	0.09	0.09 0.01		0.16	8.00	0.16	0.68	7.16	-0.66	0.02	1.29	4.70	6.83 7.69		0.08	24.26	0.00	3.71	46.03 2.68	Ti-rich ferro- richterite	TC09-57-C7	TC09-57	CaNaS
7.09 2.00 16.00	0.91	0.24	0.00	2.00	0.85	0.00	4.98	2.98 1.54	0.16	0.23	0.00	0.07	8.00	0.00	0.21	7.68	-0.95	2.21	7.23	6.53	6.76 5.23		0.00	25.17	0.02	1.17	50.40 1.64	ferro-fluoro- richterite	TC09-63-C8	TC09-63	CaNaS
0.50 0.00 2.00 15.73	1.50	0.25	0.00	2.00	0.91	0.00	5.00	3.30	0.08	0.00	0.00	0.19	8.00	0.00	0.14	70.77	-0.42	0.01	1.22	5.09	5.70	1	0.00	25.11	0.03	1.26	49.98 1.59	∍rro-richterite	TC09-68-zA-01&	TC09-68	CaNaS
0.17 0.01 2.00 15.44	22.00 1.81	0.26	0.00	2.00	0.62	0.00	5.00	0.65	0.02	0.64 0.00		0.17	8.00	0.00	0.10	7.90	-0.16	0.05	0.35	5.12	2.78 3.66	1	0.03	30.47	0.00	0.87	50.40 1.48	ferro-ferri- winchite	TC09-68-zA-010	TC09-68	CaNaS
0.43 0.02 2.00 15.73	22.00 1.55	0.40	0.00	2.00	0.84	0.00	5.00	3.50	0.02	0.04	0.01	0.27	8.00	0.00	0.21	7.79	-0.38	0.09	1.24 0.95	5.26	4.32 4.96		0.19	26.76	0.05	1.28	49.25 2.30	ferro-ferri- katophorite	TC09-68-zA-012	TC09-68	CaNaS

W subtotal Sum T,C,B,A	C F	O (non-W)	K an at the state of the state	Ca	B subtotal	Na Na	Fe2+	Mn2+	C subtotal	Fe2+	 Mn2+	7n Zn	Fe3+	A	i subtotai Ti	Fe3+	T	SI Al	Initial Total	O=F_CI (calc)	2 न	K20	Cau	MgO	ZnO	NiO	Mno	AIZU3 Cr2O3	ZrO2	SiO2	Species		Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro
2.00 15.73	0.78	22.00	0.24	0.00	2.00	1 09	0.00	0.02	5.00	3.38	0.09	0 02	0.03	0.03	0.25	0.00		0.21	97.42	-0.66	1.57	1.20	5.2/ 5.19	5.13	0.13	0.00	0.79 25 93	0.00	4	49.48	katophorite	form form	TC09-68-zA-013	TC09-68	CaNaS
2.00 15.79	0.49	1 50	0.24	0.00	2.00	1 15	0.00	0	4.99	0.94	0.00	0.01	0.00	0.01	0.30	0.00		0.23	98.58	-0.43	0.99	1.19	5.06	4.03	0.03	0.10	1.17 27 26	1.34 0.01	4 0 4	49.63 2 52	katophorite	form T-	TC09-68-zA-019	TC09-68	CaNaS
2.00 15.56	0.72	22.00	0.29	0.00	2.00	1 14	0.00	2	4.99	3.12	0.11		0.00	0.12	8.00 0.32	0.00		7.82 0.18	97.65	-0.62	1.47	1.48	5.19	5.69	0.00	0.00	0.86 24.01	0.04	4 14	50.44	ferro- katophorite	rich potassic-	FC09-68-zB-025	TC09-68	CaNaS
2.00 15.51	0.39	22.00	0.26	0.00	2.00	1 36	0.00	5	5.00	0 57	0.15	0.06	0.01	0.07	8.00 0.17	0.00		7.95	97.12	-0.35	0.78	1.26	5.78	2.41	0.54	0.00	70 93	0.05		50.15	katophorite	forma form	TC09-68-zC-033	TC09-68	CaNaS
2.00 15.72	0.31	0.72 22.00 1.66	0.26	0.00	2.00	1 23	0.00	0.03	5.00	3.93 Л 5.8	0.11		0.04	0.03	0.30	0.00		7.82 0.18	97.83	-0.20	0.63	1.26	4.39 5.40	2.43	0.00	0.00	1.01 29 89	0.09	 	49.24	katophorite	60000 6000	TC09-68-zC-034	TC09-68	CaNaS
2.00 15.70	0.53	22.00	0.25	0.00	2.00	U./9	0.00	0.02	5.00	3.76 0.73	0.08	0.02	0.04	0.02	8.00 0.33	0.00		0.23	98.16	-0.47	1.06	1.24	4.65 5.24	3.12	0.10	0.16	0.78 28.77	0.00	4 1 1 1	49.18 2.75	ferri- katophorite	Ti-rich ferro-	TC09-68-zC-035	TC09-68	CaNaS
2.00 15.77	0.45	22.00	0.25	0.00	2.00	1 03	0.00	0.02	5.00	3.03	0.10	0.01	0.04	0.00	8.00 0.28	0.00	0.00	7.67	99.06	-0.40	0.93	1.27	5.76	6.76	0.12	0.00	0.93 24.02	0.00	4 CO	50.13	katophorite f	form form	TC09-68-zC-043	TC09-68	CaNaS
2.00 15.84	0.73	22.00 1 25	0.26	0.00	2.00	0.67	1 3 2	0.02	5.00	2.76	0.11	0.02	0.03	0.10	0.11	0.00		7.48	97.57	-0.64	1.48	1.31	/.92	8.09	0.18	0.00	0.98 21 53	3.35 0.00	2 C	48.23	erro-richterite f		TC09-68-zD-045	TC09-68	CaNaS
2.00 15.79	0.47	22.00	0.24	0.00	2.00	0.61	1 37	0.03	5.00	2.71	0.02	0.01	0.05	0.08	8.00 0.17	0.00		7.36	98.94	-0.42	0.98	1.25	2 00	8.18	0.19	0.10	1.01 21.61	4.03 0.00		48.26	erro-richterite f		TC09-68-zD-049	TC09-68	CaNaS
2.00 15.82	0.84	0.82 22.00 1.16	0.27	0.00	2.00	0.52	1.00	0.04	5.00	2.72	0.06	0.01	0.07	0.04	0.14	0.00		7.33	98.24	-0.73	1.72	1.36	8./2 3.F.6	8.54	0.08	0.04	0.75	3.92 0.02		47.47	erro-richterite		TC09-68-zD-053	TC09-68	CaNaS
2.00 16.10	1.61	1.40 22.00	0.21	0.00	2.00	0.02	1.00		4.70	2.56	0.10	0.00	0.00	0.00	1.92	0.00	0.17	7.21	99.41	-1 38	3.29	1.08	06 LL	8.83		0.01	0.76	2.96 0.00	2	46.50	edenite	form fluoro	TC09-69-C2	TC09-69	CaNaS
2.00 15.95	1.07	22.00	0.24	0.00	2.00	0.66	1 20	0.04	5.00	2.46	0.07		0.01	0.00	8.00	0.04	0.20	7.16	98.47	C6 U-	2.19	1.22	л.83 Л.59	9.22		0.00	0.83 22 NN	3.28 0.08		46.41	richterite	form flippo	TC09-69-C3-a1	TC09-69	CaNaS
2.00 16.00	1.03	22.00	0.24	0.00	2.00	1.34 0.66	0.00		4.97	2.41	0.13		0.01	0.00	8.00	0.00	0.21	7.18	97.40	88 U-	2.10	1.23	8.03	9.25		0.00	0.96 20.68	3.29 0.06		46.11	richterite	formo filiono	TC09-69-C3-a2	TC09-69	CaNaS
2.00 15.91	1.00	22.00	0.24	0.00	2.00	0.66	0.00	0.03	5.00	2.80	0.12	0.01	0.06	0.00	8.00 0.18	0.00	0.05	7.27	98.27	0.00		1.25	1.96	7.99		0.09	1.16 22.25	3.75 0.02		47.32	ferro-richterite		TC09-69-C4-a1	TC09-69	CaNaS
2.00 15.94	2.00	22.00	0.25	0.00	2.00	0.74	0.00		4.98	2.91	0.13	0.01	0.00	0.00	8.00 0.20	0.00	0.04	7.37	97.86	0 00		1.28	/.60	7.52		0.05	72 F3	3.23 0.00	2 C	47.73	ferro-richterite		TC09-69-C4-a2	TC09-69	CaNaS
2.00 15.96	0.86	22.00 1 14	0.23	0.00	2.00	0.68	0.00	0.04	5.00	3.04	0.11		0.01	0.00	8.00 0.15	0.00	0.06	7.29	99.08	-0 74	1.76	1.15	1.67	7.02		0.00	1.13 24.02	3.57 0.04		46.99	ferro-richterite		TC09-69-C5-a1	TC09-69	CaNaS
2.00 15.96	0.95	22.00 1 05	0.25	0.00	2.00	0.64	0.00	0.06	5.00	2.86	0.07		0.10	0.00	0.11	0.00	0.11	7.24	100.30	-0.83	1.96	1.28	7.98	8.14		0.00	0.98	3.59 0.04		47.46	ferro-richterite		TC09-69-C5-a2	TC09-69	CaNaS
2.00 15.98	1.08	1 22.00	0.24	0.0C	2.00	0 60 U	1 20	0.02	5.00	3.0C	0.10		0.08	0.00	0.15	0.00	0.06	1 7.2¢ 0.68	100.70	-0 94	2.23	1.21	/.82	7.30		0.00	3 0.92 24.10	, 3. /4 0.06		47.51	richterite	forma fluora	) TC09-69-C5-a5	TC09-69	CaNaS
2.00 15.96	1.15	0.70 22.00	0.23	0.00	2.00	0.69	0.00	0.03	5.00	2.77	0.11		0.06	0.00	8.00 0.17	0.00	0.07	7.26	100.60	-1 01	2.40	1.21	1.85	8.32		0.00	1.14 22.25	3. /5 0.04	100	47.80	richterite	forma fluora	TC09-69-C6-a1	TC09-69	CaNaS

W subtotal	Na K O (non-W) F	ca Na B subtotal Ca	Mn2+ Fe2+	Fe2+ Mg C subtotal	Fe3+ Ni Zn Mn2+	A TI	Fe3+ T subtotal	T AI	O=F,Cl (calc) Initial Total	CaO Na2O F Cl	FeO NIO ZnO BeO MgO	AI203 Cr203 Mn0	SiO2 TiO2 7r02	Species	Analysis (wt%)	Sample	GROUP Petro	Annexe n°11 (su
2.00	0.73 0.23 0.96 22.00 0.81 1.19	1.31 0.65 2.00 0.00	0.04	2.66 5.00	0.07 0.01	0.14 0.00	0.00 8.00	7.26 0.66 0.09	-1.03 98.97	7.93 4.63 1.18 2.44	21.19 0.04 8.87	3.62 0.00 1.04	47.15 1.92	ferro-fluoro- richterite	TC09-69-C8	TC09-69	CaNaS	ite) : Analyses r
2.00 15.97	0.74 0.23 0.97 22.00 0.87 1.14	0.81 2.00 0.00	0.02	2.28 2.13 5.00	0.00 0.01 0.10	0.00	0.07 8.00	7.28 0.58 0.08	-0.98 98.28	7.08 5.18 1.19 2.33	22.01 0.04 9.27	3.19 0.01 0.96	47.30 0.67	ferro-fluoro- richterite	T009-70-C2-a1	TC09-70	CaNaS	nicrosondes et f
2.00 15.91	0.66 0.24 0.91 22.00 0.82 1.18	1.17 0.76 2.00 0.00	0.08	2.85 1.65 5.00	0.00 0.41 0.00	0.00	0.00 8.00	7.37 0.56 0.07	-0.99 97.30	6.90 4.63 1.21 2.35	24.72 0.03 7.02	3.00 0.01 1.18	46.65 0.58	ferro-fluoro- richterite	TC09-70-C2-a2	TC09-70	CaNaS	ormules structu
2.00 15.98	0.72 0.27 0.98 22.00 0.65 1.35	0.70 2.00 0.00	0.03	2.72 1.98 5.00	0.06	0.17 0.00	0.00 8.00	7.31 0.69	-1.17 99.57	7.72 4.77 1.37 2.78	21.65 0.00 8.68	3.80 0.00 0.75	47.71 1.50	ferro-fluoro- richterite	TC09-70-C6-a1	TC09-70	CaNaS	Irales des amph
2.00 15.97	0.71 0.26 0.97 22.00 0.71 1.30	1.26 0.72 2.00 0.00	0.02	2.72 1.92 5.00	0.12 0.00	0.14 0.00	0.00 8.00	7.30 0.66 0.04	-1.14 100.70	7.74 4.85 1.36 2.70	22.38 0.02 8.48	3.67 0.00 0.94	48.12 1.58	ferro-fluoro- richterite	TC09-70-C6-a2	TC09-70	CaNaS	niboles (d'après
2.00 15.96	0.71 0.25 0.96 22.00 1.05 0.95	0.88 0.00 0.00	0.06	3.26 1.47 5.00	0.11	0.10 0.00	0.00 8.00	7.46 0.39 0.15	-0.81 99.20	6.37 5.24 1.28 1.93	25.81 0.00 6.30	2.115 0.00 0.96	47.84 2.15	rro-richterite	TC09-70-C8-a1	TC09-70	CaNaS	la feuille de ca
2.00 15.98	0.73 0.26 22.00 0.69 1.32	1.05 0.94 2.00 0.00	0.01	3.16 1.50 5.00	0.00	0.07	0.00 8.00	7.52 0.34 0.15	-1.13 100.13	6.31 5.55 2.69	25.48 0.03 6.48	1.84 0.06 1.05	48.57 1.89	ferro-fluoro- fe richterite	TC09-70-C8-a2	TC09-70	CaNaS	cul de Locock, 2
2.00 15.72	0.49 0.23 0.72 22.00 2.00	0.99 0.74 2.00 0.00	0.12	4.07 0.63 5.00	0.00	0.07 0.22	0.00 8.00	7.66 0.35	0.00 96.62	5.74 3.95 1.11	31.24 2.64	3.00 0.00	47.46 0.59	rro-richterite fer	TK101_C1_001	13TK101	CaNaS	2014) majeurs e
2.00 15.75	0.55 0.21 22.00 2.00	1.40 0.57 0.00	0.02	3.23 1.44 5.00	0.04	0.16 0.05	0.00 8.00	7.42 0.58	0.00 97.23	8.37 3.70 1.03	24.96 6.16	3.40 0.00 0.85	47.44 1.32	ro-richterite f	TK101_C1_002	13TK101	CaNaS	en % et Traces e
2.00 15.87	0.64 0.24 0.87 22.00 2.00	1.61 0.39 2.00 0.00	0.00	2.99 1.77 5.00	0.01	0.13 0.03	0.00 8.00	7.22 0.78	0.00 97.56	9.64 3.41 1.20	23.06 7.62	4.38 0.00 0.65	46.48 1.12	erro-edenite	TK101_C1_005	13TK101	CaNaS	in ppm
2.00 15.77	0.54 0.24 22.00 2.00	1.65 0.34 2.00 0.00	0.02	2.28 2.48 5.00	0.03	0.05 0.11	0.00 8.00	7.34 0.66	0.00 97.32	10.17 2.96 1.22	18.22 10.97	4.29 0.00 0.61	48.47 0.42	edenite fer	TK101_C1_007	13TK101	CaNaS	
2.00 15.85	0.66 0.21 0.87 22.00 2.00	1.43 0.57 2.00 0.00	0.00	3.31 1.40 4.98	0.00	0.16 0.03	0.00 8.00	7.39 0.61	0.00 97.50	8.54 4.03 1.06	25.27 5.97	3.46 0.00 0.69	47.16 1.32	ro-richterite fer	TK101_C1_009 T	13TK101	CaNaS	
2.00 15.91	0.66 0.24 22.00 2.00	1.31 0.68 2.00 0.00	0.02	3.34 1.32 5.00	0.04	0.19 0.00	0.00 8.00	7.34 0.64 0.02	0.00 97.42	7.74 4.39 1.20	25.62 5.61	3.46 0.00 1.05	46.61 1.75	ro-richterite fer	K117A_C1_007 TK	13TK117A	CaNaS	
2.00 15.97	0.70 0.31 1.01 22.00 2.00	0.79 1.21 2.00 0.00	0.00	4.39 0.18 4.96	0.00	0.17 0.07	0.00 8.00	7.87 0.14	0.00 97.81	4.56 6.10 1.52	32.52 0.74	1.06 0.00 1.15	48.74 1.43	rro-richterite	(119B_C1_0011 TI	13TK119B	CaNaS	
2.00 15.97	0.66 0.31 22.00 2.00	0.47 1.53 2.00 0.00	0.00	4.40 0.03 4.98	0.16	0.15 0.07	0.00 8.02	8.02 0.00	0.00 97.88	2.73 7.02 1.49	33.89 0.13	0.37 0.00 1.26	49.80 1.20	arfvedsonite	<119B_C1_0013 TI	13TK119B	CaNaS	
2.00 15.83	0.56 0.27 22.00 2.00	0.81 1.14 2.00 0.00	0.05	4.37 5.00	0.09	0.23 0.00	0.00 8.00	7.75 0.24 0.01	0.00 98.05	4.68 5.46 1.31	33.13 0.84	1.26 0.00 1.18	48.17 2.03	ferro-ferri- katophorite e	<119B_C1_0016 T	13TK119B	CaNaS	
2.00 15.99	0.62 0.41 1.03 22.00 2.00	0.07 1.93 2.00 0.00	0.00	4.17 4.78	0.00	0.02	0.00 8.18	8.18 0.00	0.00 97.04	0.40 8.19 1.99	31.00 0.13	0.11 0.01 1.84	50.85 2.52	Ti-rich ferro- ckermannite	K119B_C1_0019 T.	13TK119B	CaNaS	
2.00 15.91	0.61 0.33 22.00 2.00	0.71 1.29 2.00 0.00	0.00	4.42 0.12 4.98	0.00	0.16	0.00 8.00	7.97 0.03	0.00 97.48	4.09 6.05 1.58	32.69 0.51	0.73 0.01 1.21	49.28 1.32	rro-richterite	K119B_C1_0021	13TK119B	CaNaS	
2.00 15.84	0.63 0.29 22.00 2.00	0.98 1.02 2.00 0.00	0.00	4.25 4.91	0.00	0.31 0.00	0.00 8.00	7.54 0.35 0.11	0.00 97.73	5.67 5.27 1.43	31.50 0.90	1.83 0.00 0.93	46.70 3.50	Ti-rich ferro- katophorite	TK119B_C1_005	13TK119B	CaNaS	

Cl W subtotal Sum T,C,B,A	Na K A subtotal O (non-W) OH	Ca Na B subtotal Ca	C subtotal Mn2+ Fe2+	Zn Mn2+ Fe2+ Mg	Fe3+		Fe3+ T subtot al	I A I	CI O=F,CI (calc) Initial Total	BeO CaO Na2O K2O F	AI203 Cr203 Fe0 Ni0	SiO2 TiO2	Species	Sample Analysis (wt%)	GROUP Petro
2.00 15.93	0.69 0.29 0.98 22.00 2.00	0.95 2.00 0.00	0.00	0.15 4.18 0.40	0.00	0.23 0.00	8.00	1.62 0.29	0.00 97.81	1.65 5.50 1.42	1.51 0.00 1.10 31.07	47.35 2.63	Ti-rich ferro- richterite	<b>13TK119B</b> TK119B_C1_006 1	CaNaS
2.00 15.87	0.60 0.28 0.87 22.00 2.00	1. <i>17</i> 0.18 2.00	0.05	0.04 3.53	0.09	0.26 0.00	0.00 8.00	6.6/ 1.32	0.00 97.16	4.49 10.31 1.36	6.98 0.00 0.65 27.03	41.57 2.29	hastingsite	<b>13TK120B</b> [K120B_C1_0010 TK	CaNaS
2.00 15.89	0.59 0.89 22.00 2.00	1.83 0.14 2.00	0.04	0.04 3.67	0.06	0.24 0.06	0.00 8.00	6.64 1.36	0.00 97.37	3.87 10.61 2.33 1.46	7.47 0.00 0.59 27.73	41.33 1.98	hastingsite	<b>13TK120B</b> (120B_C1_0012 1	CaNaS
2.00 15.85	0.57 0.28 0.85 22.00 2.00	1./7 0.18 2.00	0.05	0.03 3.59	0.10	0.23	0.00 8.00	6.69 1.31	0.00 97.69	4.04 10.35 2.41 1.37	7.48 0.01 0.63 27.61	41.91 1.89	hastingsite	<b>13TK120B</b> IK120B_C1_002 T	CaNaS
2.00 15.87	0.62 0.25 0.87 22.00 2.00	1.78 0.16 2.00	0.06	0.02 3.66	0.10	0.26 0.04	0.00 8.00	6.63 1.37	0.00 97.58	3.88 10.39 2.49 1.24	7.46 0.00 0.57 28.03	41.35 2.18	hastingsite	13TK120B 1K120B_C1_008 TH	CaNaS
2.00 15.91	0.64 0.27 0.91 22.00 2.00	0.50 1.42 2.00	0.08	0.03 2.32 2.13	0.31	0.11 0.11	0.00 8.00	7.89 0.11	0.00 96.90	9.44 3.08 7.04 1.38	1.23 0.00 0.83 20.80	52.19 0.92	ferro-ferri- katophorite	13TK126B (126B_C1_0013	CaNaS
2.00 15.86	0.59 0.27 0.86 22.00 2.00	1.56 0.44 2.00	0.01	0.08 2.81 1.91	0.01	0.17 0.03	0.00 8.00	0.80	0.00 96.78	8.23 9.32 1.38	4.51 0.00 0.61 21.64	46.28 1.42	ferro-edenite fe	13TK23 TK23_C1_0014	CaNaS
2.00 15.82	0.55 0.27 0.82 22.00 2.00	0.86 1.10 2.00	0.04 0.00	0.09 3.77 0.86	0.07	0.19	0.00 8.00	7.82 0.18	0.00 96.81	3.63 5.03 1.32	1.03 0.01 0.98 28.82	49.08 1.56	rro-richterite fe	13TK23 TK23_C1_002	CaNaS
2.00 15.77	0.53 0.24 0.77 22.00 2.00	1.22 0.71 2.00	0.07 0.00	0.06 3.12 1.59	0.13	0.11	0.00 8.00	0.39	0.00 97.24	6.84 7.28 4.11 1.18	2.13 0.01 0.96 24.89	48.29 1.54	rro-richterite	<b>13TK23</b> TK23_C1_007	CaNaS
0.00 15.64	0.39 0.24 22.00 1.51	1.23 0.69 2.00	0.09	0.06 3.10	0.15	0.16	0.00 8.00	7.51 0.49	0.02 -0.42 96.82	6.18 7.29 1.21 0.98	3.06 0.03 1.13 24.74	47.74 1.33	ferro-ferri- katophorite	<b>13TK61</b> TK-61-C1-04	CaNaS
2.00 15.90	0.62 0.27 0.90 22.00 2.00	1.22 0.72 2.00	0.05	0.10 3.00	0.09	0.19	0.00 8.00	7.35 0.65	0.00 97.02	6.94 7.31 4.45 1.36	3.55 0.02 1.13 23.62	47.02 1.61	rro-richterite	<b>13TK61</b> TK-61-C1-05	CaNaS
2.00 15.81	0.50 0.31 22.00 2.00	0.81 1.08 2.00 0.00	0.11 0.00	0.05	0.20	0.15 0.08	0.00 8.00	0.30	0.00 96.22	3.56 4.70 1.53	2.04 0.00 1.19 28.91	48.01 1.20	ferro-ferri- katophorite	<b>13TK61</b> TK-61-C1-07	CaNaS
2.00 15.90	0.58 0.32 22.00 2.00	0.86 1.04 2.00	0.10 0.00	0.05 3.71 0.87	0.00	0.18	0.00 8.00	7.59 0.41	0.00 97.53	3.66 5.07 1.58	2.34 0.01 1.09 29.21	47.83 1.47	ferro-ferri- katophorite	<b>13TK61</b> TK-61-C1-08	CaNaS
2.00 15.72	0.53 0.20 0.72 22.00 2.00	1.43 0.48 2.00	0.00	0.01 3.02	0.15	0.14	0.00 8.00	0.66	0.00 96.28	7.21 8.51 3.30 0.99	3.58 0.01 0.70 24.06	46.42 1.49	ferro-edenite	<b>13TK67</b> TK-67-C1-003	CaNaS
2.00 15.36	0.19 0.17 0.36 22.00 2.00	1.03 0.81 2.00	0.13 0.03	3.17	0.56	0.07 0.00	0.00 8.00	0.25	0.00 97.59	5.20 6.20 0.88	1.36 0.00 1.00 28.98	49.61 1.05	ferro-ferri- winchite	<b>13TK67</b> TK-67-C1-004	CaNaS
2.00 15.75	0.52 0.22 0.75 22.00 2.00	1.41 0.48 2.00	0.11 0.01	3.00	0.20	0.10	0.00 8.00	0.67	0.00 96.31	7.24 8.34 3.29	3.60 0.01 0.79 24.36	46.17 1.42	ferro-edenite fe	<b>13TK67</b> TK-67-C1-005	CaNaS
2.00 15.15	0.10 0.06 0.15 22.00 2.00	1.53 0.32 2.00	0.15 0.00	0.05 4.35 0.26	0.29	0.01 0.05	0.00 8.00	7.81 0.19	0.00 96.91	1.07 8.85 1.33 0.27	1.24 0.00 1.42 34.33	48.34 0.07	rro-actinolite fe	<b>13TK67</b> TK-67-C1-006	CaNaS
2.00 15.54	0.35 0.18 0.54 22.00 2.00	1.42 0.52 2.00	0.06 0.00	0.07 2.75 1.88	0.10	0.14 0.06	0.00 8.00	7.55 0.45	0.00 96.39	8.15 8.56 0.93	2.80 0.00 1.00 22.03	48.82 1.18	rro-richterite f	<b>13TK69</b> TK69_C1_0011	CaNaS
2.00 15.53	0.35 0.18 0.53 22.00 2.00	1.48 0.46 0.00	0.06 0.06	0.07 2.93 1.73	0.10	0.12 0.06	0.00 8.00	7.54 0.46	0.00 97.33	7.52 8.96 2.71 0.92	2.85 0.00 23.48	48.93 1.01	<sup>;</sup> erro-edenite	<b>13TK69</b> TK69_C1_004	CaNaS

F CI W subtotal Sum T,C,B,A	Ca Na K A subtotal O (non-W) OH	Mn2+ Fe2+ Ca Na B subtota	Ni Zn Mn2+ Fe2+ Mg C subtotal	AI Cr Fe3+	Ti Fe3+ T subtotal	Si Al	F Cl O=F,Cl (calc) Initial Total	MgO CaO Na2O K2O	AI203 Gr203 Fe0 Zn0 Zn0	SiO2 TiO2	Species	Sample Analysis (wt%)	GROUP Petro
2.00 15.49	0.01 0.66 0.14 0.81 22.00 2.00	0.00 2.00 2.00	0.13 2.58 1.89 4.68	0.00	0.01 8.00	7.68 0.31	0.00 97.97	8.35 12.34 2.24 0.71	1.75 0.00 1.04 20.34	50.53 0.67	ferro-edenite	<b>13TK69</b> TK69_C1_006	CaNaS
2.00 15.53	1.23 0.64 1.87 22.00 2.00	0.00 2.00 2.00	0.16 2.60 1.08 3.84	0.00	0.00 7.82	7.77 0.05	0.00 99.49	4.74 19.76 2.16 0.00	0.25 0.00 1.25 20.40	50.93 0.00	ferro-edenite	<b>13TK69</b> TK69_C1_007	CaNaS
2.00 15.66	0.68 1.16 1.85 22.00 2.00	0.00 2.00 2.00	0.11 2.75 1.01 3.87	0.00	0.01 0.00 7.95	7.89 0.05	0.00 98.84	4.42 16.34 3.90 0.02	0.29 0.00 0.86 21.43	51.51 0.06	ferro-edenite fe	<b>13TK69</b> TK69_C1_009	CaNaS
2.00 15.82	0.00 0.25 0.83 22.00 2.00	0.12 0.00 1.07 2.00	0.13 3.20 1.33 5.00	0.03 0.21	0.00 8.00	7.78 0.22	0.00 97.17	5.70 4.82 5.43 1.26	1.33 0.01 1.84 26.03	49.76 0.99	srro-richterite fe	13TK007C TK-7C-C1-011	CaNaS
2.00 15.76	0.00 0.51 0.76 22.00 2.00	0.10 0.00 1.03 2.00	0.15 2.86 1.66 5.00	0.05	0.00 8.00	7.82 0.18	0.00 96.85	7.18 5.30 5.12 1.23	1.23 0.00 1.86 23.41	50.51 1.01	rro-richterite fe	<b>13TK007C</b> TK-7C-C1-08	CaNaS
2.00 15.81	0.00 0.57 0.24 0.81 22.00 2.00	0.11 0.00 1.02 2.00	0.03 3.33 1.27 5.00	0.04 0.19	0.00 8.00	7.71 0.29	0.00 97.50	5.46 5.22 1.22	1.80 0.01 1.06 27.01	49.40 1.08	rro-richterite	<b>13TK82</b> TK-82-C1-013	CaNaS
2.00 15.68	0.00 0.41 0.26 0.68 22.00 2.00	0.07 0.84 1.09 2.00	0.04 3.17 1.43 5.00	0.04 0.12	0.00 8.00	7.87 0.13	0.00 95.84	6.11 4.99 1.31	0.91 0.01 25.05	50.08 1.62	ferro-ferri- katophorite	<b>13TK82</b> TK-82-C1-016	CaNaS
2.00 15.86	0.00 0.62 0.85 22.00 2.00	0.09 1.03 0.83 2.00	2.25 2.43 5.00	0.06	0.00 8.00	7.63 0.38	0.00 96.76	10.72 6.30 4.93 1.20	2.40 0.00 0.67 20.14	50.22 0.17	richterite fer	<b>13TK82</b> TK-82-C1-02	CaNaS
2.00 15.87	0.00 0.61 0.27 22.00 2.00	0.05 0.00 1.12 0.83 2.00	0.05 3.37 1.33 5.00	0.00	0.09 8.00	7.47 0.44	0.00 96.81	5.65 6.63 4.68 1.33	2.38 0.01 0.72 26.12	47.20 2.09	rro-richterite	<b>13TK82</b> TK-82-C1-021	CaNaS
2.00 15.30	0.00 0.20 0.30 22.00 2.00	0.00 0.18 1.83 2.00	0.15 1.10 2.02 5.00	0.00 1.73	0.04 0.12 8.00	7.75 0.08	0.00 95.75	9.12 1.10 7.02 0.55	0.47 0.00 1.23 23.72	52.17 0.38	magnesio- riebeckite	<b>13TK82</b> TK-82-C1-027	CaNaS
2.00 15.30	0.00 0.14 0.30 22.00 2.00	0.00 0.28 1.72 2.00	0.16 1.25 2.01 5.00	0.00 1.58	0.04 0.04 8.00	7.80 0.12	0.00 96.17	9.08 1.75 6.46 0.86	0.67 0.00 1.29 23.09	52.59 0.39	magnesio- riebeckite	13TK82 TK-82-C1-028	CaNaS
2.00 15.88	0.00 0.64 0.24 22.00 2.00	0.09 0.93 2.00	2.26 2.40 5.00	0.05 0.00 0.27	0.00 8.00	7.67 0.33	0.00 97.22	10.63 5.75 5.32 1.25	2.14 0.02 0.67 20.53	50.70 0.23	richterite	13TK82 TK-82-C1-05	CaNaS
2.00 15.81	0.00 0.55 0.81 22.00 2.00	0.03 0.00 1.16 2.00	0.15 3.20 1.33 5.00	0.00	0.00 8.00	7.78 0.22	0.00 98.02	5.78 4.85 5.71 1.32	1.21 0.00 1.38 25.23	50.33 2.21	ferro-ferri- katophorite	<b>13TK86</b> TK86_C1_0010	CaNaS
2.00 15.92	0.00 0.68 0.26 0.94 22.00 2.00	0.00 0.79 1.22 2.00	0.18 3.36 1.17 4.98	0.00	0.02 8.00	7.75 0.23	0.00 98.24	5.07 4.72 6.28 1.32	1.26 0.00 1.38 25.83	49.86 2.52	ferro- katophorite	<b>13TK86</b> TK86_C1_007	CaNaS
2.00 15.49	0.00 0.15 0.64 22.00 2.00	0.00 0.06 1.94 2.00	0.31 2.05 1.02 4.76	0.03 1.32	0.00 8.09	8.09 0.00	0.00 95.61	4.42 0.36 2.50	0.18 0.00 2.37 26.11	52.42 0.27	potassic- arfvedsonite	<b>13TK86</b> TK86_C1_008	CaNaS
1.47 0.01 2.00 16.18	0.00 0.90 1.29 22.00 0.53	0.00 1.98 2.00	0.00 0.01 0.20 4.21 0.00 4.67	0.03 0.01 0.00	0.00	8.23 0.00	2.88 0.02 -1.22 98.71	0.00 0.14 9.21 1.87	0.15 0.06 1.49 3124 0.01 0.12	51.08 1.64	ferro-fluoro- eckermannite	TC09-108 TC09-108-zB-016	NaS
1.30 0.01 2.00 16.00	0.00 0.88 1.12 22.00 0.69	0.00 0.10 1.90 2.00	0.00 0.02 0.14 3.93 0.00 4.79	0.11 0.46	0.00 8.09	8.09 0.00	2.59 0.04 -1.10 99.34	0.00 0.57 9.06	0.61 0.01 1.03 33.05 0.01 0.14	51.03 1.13	fluoro- arfvedsonite	TC09-108 TC09-108-zB-017	NaS
0.01 2.00 16.44	0.00 2.12 2.12 2.12 22.00 1.99	0.00 2.00 2.00	0.00 0.00 3.66 0.00 3.93	0.00	0.00 8.39	8.39 0.00	0.00 0.02 0.00 96.73	0.00 0.03 13.50 0.00	0.35 0.00 0.03 27.81 0.01 0.00	53.30 1.68	ferro- eckermannite	TC09-108 TC09-108-zB-018	NaS

CII W subtotal Sum T,C,B,A	va Na A subtotal O (non-W) OH	Mn2+ Fe2+ Ca Na B subtotal	nn Zn Mn2+ Fe2+ Mg C subtotal	Al Cr Fe3+	Ti Fe3+ T subtotal Ti	Si	F Cl O=F,Cl (calc) Initial Total	MgO CaO Na2O K2O	Al203 Gr203 Fe0 NiO Zn0	SiO2 TiO2	Species	Sample Analysis (wt%)	GROUP Petro																																		
2.00 16.59	2.15 2.15 2.15 2.20 1.84	0.00 1.99 2.00	0.02 3.91 4.11	0.04 0.00 0.00	0.00 8.33 0.14	8.33 0.00	0.33 -0.14 97.80	0.00 13.54 0.02	0.19 0.01 0.18 29.62 0.00 0.00	52.81 1.20	ferro- eckermannite	TC09-108 TC09-108-zB-019	Nas																																		
0.00 2.00 16.47	2.22 2.22 2.22 2.22 2.00 2.00	0.00 2.00 2.00	0.00 3.58 3.99	0.05	0.00 8.26 0.36	8.26 0.00	0.00 98.63	0.00 0.02 0.00	0.27 0.05 0.02 27.68 0.01 0.00	53.44 3.09	Ti-rich ferro- eckermannite	TC09-108 TC09-108-zC-021	NaS																																		
2.00 16.59	2.19 2.19 2.19 22.00 2.00	0.00 2.00 2.00	0.02 0.02 0.02 3.79 0.02 4.11	0.00	0.00 8.29 0.20	8.29 0.00	0.00 98.93	0.09 0.03 13.90 0.00	0.23 0.00 0.17 29.17 0.12 0.18	53.33 1.71	ferro- eckermannite	TC09-108 TC09-108-zC-024 1	NaS																																		
0.01 2.00 16.00	0.76 0.76 1.00 22.00 0.79	0.00 0.10 1.90 2.00	0.03 0.16 4.04 0.00 4.97	0.10 0.01 0.55	0.00 8.03 0.09	8.03 0.00	2.37 0.02 98.78	0.00 0.57 1.14	0.50 0.04 1.15 34.24 0.00 0.27	50.13 0.77	fluoro- arfvedsonite	TC09-108	Nas																																		
1.42 0.01 2.00 16.00	0.82 0.82 1.13 22.00 0.57	0.00 0.02 1.98 2.00	0.04 0.15 3.84 4.77	0.05 0.51	0.00 8.10 0.17	8.10 0.00	2.81 0.04 -1.19 98.96	0.00 9.04 1.54	0.25 0.02 1.11 32.56 0.11 0.31	50.80 1.44	fluoro- arfvedsonite ec	TC09-108 209-108-zD-037 TC	NaS																																		
2.00 16.66	2.16 2.16 2.16 22.00 1.98	0.00 2.00 2.00	0.00 4.02 0.00 4.17	0.11	0.00 8.33 0.04	8.33 0.00	0.05 -0.02 97.83	0.00 0.03 13.57 0.01	0.61 0.00 0.00 30.47 0.00 0.01	52.78 0.31	ferro- kermannite	TC09-108 09-108-zD-038 TC0	NaS																																		
0.00 2.00 15.85	0.43 0.42 0.85 1.37	0.00 2.00 2.00	0.01 3.66 4.96	0.96	0.00 8.04 0.02	8.04 0.00	1.27 0.01 -0.54 99.13	0.45 0.00 7.98 2.07	0.42 0.00 0.96 35.14 0.09 0.00	51.11 0.17	rfvedsonite a	TC09-108 39-108-zD-040 TCC	NaS																																		
0.01 2.00 16.00	0.90 0.90 1.07 1.03 1.03	0.00 0.43 1.57 2.00	0.02 0.19 4.05 4.93	0.45	0.00 8.00 0.13	7.86 0.14	1.88 0.04 -0.80 98.42	0.09 2.52 7.90 0.84	1.08 0.00 1.38 33.42 0.01 0.17	48.83 1.07	rfvedsonite a	TC09-108 99-108-zD-042 TCC	NaS																																		
0.01 2.00 16.00	0.00 0.77 1.07 22.00 0.84	0.00 0.02 1.98 2.00	0.02 0.14 3.95 0.02 4.83	0.44	0.00 8.10 0.18	8.10 0.00	2.30 -0.98 99.51	0.07 0.14 1.50	0.27 0.00 1.04 33.14 0.13 0.27	51.11 1.54	fluoro- rfvedsonite eck	TC09-108 19-108-zD-043 TC0	NaS																																		
0.01 2.00 16.59	2.23 2.23 2.23 2.23 1.99	0.00 2.00 2.00	0.00 0.04 3.78 0.01 4.10	0.02	0.00 8.26 0.25	8.26 0.00	0.00 -0.01 98.22	0.03 0.00 13.94 0.00	0.13 0.00 0.30 28.86 0.00 0.03	52.78 2.14	ferro- «ermannite au	TC09-108 99-108-zD-044 TC09	NaS																																		
0.00 2.00 16.00	0.70 0.30 1.00 22.00 1.30	0.00 0.32 1.68 2.00	0.01 0.04 0.20 3.92 0.39 4.97	0.16	0.00 8.04 0.21	8.04 0.00	2:59 0.01 99:33	1.64 1.86 7.74 1.48	0.26 0.00 1.49 30.66 0.10 0.30	50.58 1.71	fluoro- fvedsonite ar	<b>TC09-126A</b> 0.126A.zA.101 TC09	NaS																																		
0.87 0.01 2.00 15.94	0.65 0.29 0.94 1.09	0.05 0.34 1.61	0.04 0.25 5.00	0.54	0.00 8.00 0.15	7.79 0.21	1.79 0.05 99.78	1.04 2.01 7.39 1.42	1.30 0.00 1.06 33.57 0.01 0.30	49.31 1.29	fvedsonite ar	<b>TC09-126A</b> .126A.zA.138 TC09	NaS																																		
0.91 0.01 2.00 16.00	0.00 0.80 1.07 1.09	0.00 0.33 1.67 2.00	0.01 0.19 3.62 0.42 4.93	0.00 0.53	0.06 0.00 0.16	7.83 0.11	1.82 0.02 -0.77 99.24	1.78 1.98 1.33	0.60 0.00 1.44 31.44 0.00 0.08	49.61 1.85	fvedsonite ar	<b>TC09-126A</b> 2.126AzA.149 TCC	NaS																																		
0.01 2.00 16.01	0.00 0.71 1.01 22.00 1.13	0.00 0.29 1.72 2.00	0.04 0.21 3.81 0.45 4.94	0.06 0.21	0.00 8.06 0.17	8.06 0.00	1.72 0.02 -0.73 98.11	1.89 1.67 7.84 1.46	0.30 0.00 1.57 30.15 0.00 0.29	50.51 1.41	fvedsonite eck	TC09-126A 19.126AzA.94 TC-05	NaS																																		
2.00 15.66	0.46 0.28 0.73 22.00 1.43	0.00 0.31 1.69 2.00	0.00 0.02 0.21 3.73 0.36 4.68	0.10	0.00 8.25 0.26	8.25 0.00	1.16 0.00 -0.49 98.78	1.54 1.84 7.12 1.39	0.52 0.00 1.62 28.64 0.01 0.20	53.02 2.21	ferro- ermannite ar	TC09-126A 3-126A-ZoneB TC-09 2	NaS																																		
0.01 2.00 16.00	0.00 0.71 1.00 22.00 0.92	0.00 0.31 1.69 2.00	0.00 0.20 3.76 0.42 5.00	0.43	0.03 0.00 0.17	7.89 0.08	2.16 0.04 -0.92 100.06	1.78 1.85 7.85	0.45 0.00 1.49 31.84 0.01 0.18	50.13 1.72	fluoro- fvedsonite ar	TC09-126A 3-126A-ZoneB TC-09 23	NaS																																		
0.00 2.00 16.00	0.00 0.73 1.02 22.00 0.97	0.00 0.33 1.67 2.00	0.00 0.03 3.61 0.48 4.98	0.00	0.07 0.00 0.16	7.85 0.08	2.07 0.00 99.77	2.03 1.93 7.89	0.44 0.00 1.72 31.02 0.02 0.29	49.87 1.91	fluoro- fvedsonite ar	TC09-126A )-126A-ZoneB TC-09 32	NaS																																		
0.01 2.00 15.97	0.90 0.66 0.97 22.00 0.95	0.03 0.30 1.67 2.00	0.00 0.22 0.40 5.00	0.01	0.00 8.00 0.24	7.95 0.05	2.06 0.03 98.59	1.66 1.75 7.54 1.49	0.31 0.00 1.82 30.80 0.01 0.22	49.77 2.00	fluoro- fvedsonite <sup>ar</sup>	TC09-126A }-126A-ZoneB TC-05 56	NaS																																		
0.04 2.00 15.94	0.00 0.30 0.94 1.36	0.05 0.30 1.66 2.00	0.15 3.79 5.00	0.00	0.05 8.00 0.17	7.89 0.07	1.27 -0.54 99.05	1.83 1.74 7.48	0.36 0.03 1.45 32.10 0.11 0.00	49.90 1.79	fvedsonite	TC09-126A }-126A-ZoneB 64	NaS																																		
W subtotal Sum T,C,B,A	CI.	F HU	O (non-W)	A subtotal	K	Ca	B subtotal	Na	Ca	Fe2+	C subtotal		Fe2+	Mn2+	Zn	Ni Ni	Cr Cr	AI	ī	T subtot al	Fe3+	1 2		Initial Total	O=F,CI (calc)	CI	F	K20	Na20	CaO	MaO	Znu	Nio	FeO	MnO	Cr2O3	AI2O3	ZrO2	SIO2			Species	Analysis (WT%)	aldilipe	Sample	<b>GROUP</b> Petro	Annexe n°11 (si
---------------------------	------	--------------	-----------	------------	------	------	------------	------	------	------	------------	------	------	------	------	----------	-------	------	------	-------------	------	------	------	---------------	---------------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	------	-------	-------	-------	---------------	---	-----------------	-----------------	----------------	---------------------	-----------	--------------------	-----------------
2.00 16.01		0.91 1.10	22.00	1.02	0.72	0.00	2.00	1.73	0.27	0.00	4.77	4 00	3.77	0.22	0.01	0.47	0 A7	0.00	0.15	8.00	0.00	0.03	0.05	98.46	-0.91	0.00	2.16	1.42	7.90	1.57	1.56	0.10	0.00	31.67	1.60	0.00	0.25	2.07	49.04 2.00		arfvedsonite	fluoro-	65	TC-09-126A-ZoneB- 1	TC00-1264	NaS	uite)
2.00 16.00	0.00	0.91	22.00	1.00	0.28	0.00	2.00	1.68	0.32	0.00	0.00	C.40	3.84	0.24	0.00	0.01	0.00	0.08	0.18	8.00	0.00	0.00	0.00	98.45	-0.76	0.01	1.80	1.37	7.75	1.89	1.69	0.01	0.06	30.76	1.78	0.01	0.44	1.40	50.19		0.110.000011100	arfvedsonite	72	ГС-09-126А-ZoneB-T	TC00-1940	NaS	
2.00 15.79	0.00	0.83	22.00	0.79	0.27	0.00	2.00	1.69	0.31	0.00	4.07	0.38	3.82	0.19	0.03	0.01	0.00	0.07	0.23	8.11	0.00	0.00	0.00	98.67	-0.99	0.01	2.34	1.35	7.20	1.81	1.63	0.27	0.07	30.07	1.38	0.02	0.38	1.72	51.20	1	arfvedsonite	fluoro-	73	C-09-126A-ZoneB	TCN0_1260	NaS	
2.00 15.86		2.00	22.00	0.86	0.27	0.00	2.00	1.13	0.79	0.00	0.09		3.66	0.13		0.10	7 D	0.03	0.21	8.00	0.00	0.34	1.66	95.88	0.00			1.32	5.49	4.55	3.37			28.30	1.61	0.00	1.95	1.7.4	47.56	1	katophorite	ferro-ferri-	IK-1038-C1-02	1317103	13TK103	NaS	
2.00 15.62		1.46 0.54	22.00	0.62	0.40	0.00	2.00	1.60	0.40	0.00	0.00	E 00	3.72	0.21		0.00	0.00	0.09	0.19	8.00	0.00	0.07	0.07	95.39	-0.44	0.00	1.05	1.93	5.75	2.29	88.0			31.49	1.49	0.01	0.86	1.00	48.55	1	arfvedsonite	potassic-	IK-108-C1-01		1314108	NaS	
2.00 15.80	0.01	0.63	22.00	0.80	0.31	0.00	2.00	1.18	0.76	0.00	0.06	E 00	4.26	0.10			0 11	0.11	0.15	8.00	0.00	0.15	0.12	95.90	-0.51	0.02	1.21	1.46	5.23	4.33	1.10			31.67	1.18	0.00	1.33	27.1	47.68	1	katophorite	ferro- fe	TK-108-C1-04		1311/108	NaS	
2.00 15.87	0.00	0.90	22.00	0.87	0.32	0.00	2.00	1.28	0.58	0.00	0.14	U./9	3.74	0.06		0.24	10.04	0.11	0.06	8.00	0.00	0.00	0.06	96.50	-0.75	0.02	1.77	1.55	5.83	3.37	3.29			29.45	1.41	0.00	0.85	0.32	49.18			erro-richterite	TK-108-C1-05		1318108	NaS	

### Annexe n°12: Analyses géochimiques sur roche totale

Les analyses sur roches totales ont été réalisées au SARM (CRPG, Nancy) et par le perstataire ALS à Seville Ceci explique certaines variantes de notations ou l'absence de mesures en fonction des échantillons

Zn	Sc	B	Z a	5	5	8	C Ag	Total	<u>Б</u>	Ч ę	SP SP	Нg	₿ 3	P P	Чb	≺ :	ξ <	C	3 =	1 7	9	2 v	Sn	Sm	공 무	Nd	ŝ	. b	유	∓ g	Ga	Ē	ц 2	2 8	ç	Ce Ce	s	C BaO	SrO	MnO P2O5	TiO2	Cr203	Na2O	MgO	CaO	Fe2O3	SiO2		
ppm	ppm	ppm	mad	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	nndd	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	maa	ppm	ppm	n ppm	ppm	ppm	maa	ppm	ppm	ppm	ppm	ndd bbw	ppm	ppm	maa	ppm	ppm	ppm	%	% %	%	% %	%	% 3	% %	%	%	% >	% %	Nature SAMPLI	Petro
89	σı	18	<u>v</u> -	10	26	22	<0.5	98.01	0.73	0.01	0.35	0.127	0.19	223	1.37	16.9	4 5	0.8	<u.5 0.21</u.5 	3.9	0.64	34.5	2	5.95	8.88 78	34.5	37.5	40.5	0.62	4.8	23.6	1.08	1.72	0.79	10	118 78.7	0.02	0.01	0.01	0.15	0.76	<0.01	5.72 6.48	0.49	1.64	4.47	16.9	Syenite TC09-10B	CaS
85	6	11	<u> </u>	7 1	25	15	<0.5	100.51	0.82	0.01	0.24	0.133	0.16	273	1.66	19 19	eo 20	0.8	<u.5 0.23</u.5 	3.39	0.75	103.5 2	ω	7.33	11.05 76.7	43.2	0.∠ 39.8	49.7	0.73	5.3	22.5	2.44	1.99	0.36	10	496 95.5	0.02	0.06	0.01	0.11 0.25	0.94	<0.01	5.88 6 37	0.7	1.82	4.65	61.9 17	Syenite TC09-26	CaS
00	5.87	7.446	< L.D.	2 081	7.791	0.862		100.59	0.94		< L.D.		0.383	131.9 ~ I D	1.356	16.44	< L.D.	0.808	0.208	4.38	0.637	9.323	2.136	5.982	9.037 82.53	33.43	29.27	40.4	0.655	4.537	24.43	1.503	1.561	0.606	12.53	23.71 78.91				0.12	0.64		5.92 6 7 6	0.49	1.40	4.56	62.27	Syenite 13TK063	CaS
88	8	14	5 2	13	16	-	<0.5	101.62	1.13	0.0	0.08	0.014	0.05	233	1.22	14.4	° 6	0.88	<u.5 0.18</u.5 	3.36	0.54	19	4	5.47	7.17 76.9	30.6	25.4	32.3	0.56	5.22	20.5	1.46	1.31	0.93	20	27.9 62.6	0.02	<0.01	<0.01	0.12 0.24	0.96	<0.01	5.42	0.71	1.68	4.54	62.3 17 65	Syenite TC09-99	CaS
74.7	3.69	9.8285	< L.D.	2 857	6.268	2.093		99.32	1.03		< L.D.		Ê	524.8	2.982	≥.911 31.51	5.693	2.173	0.45	10.34	1.005	122.6	5.197	8.143	12.75 131.5	44.64	0.443 51	58.98	1.193	6.374 10.84	28.85	1.948	3.131	0.509	20.48	513.6 117.8				0.08	0.56		5.80	0.45	1.30	3.54	62.73 17 39	Syenite 13TK042	CaS
124.1	8.07	11.0367	< L.D.	л 3 <u>6</u> 1	11.41	1.296		100.20	1.07		< L.D.		Ê	478.4	2.785	30.49	0.863	3.07	0.424	12.33	1.046	4.292	4.363	8.97	12.99 103.8	48.02	0.4 <i>2</i> 62.24	51.42	1.164	6.91 9.935	27.74	0.309	3.006	0.947	18.32	5.709 111.6				0.17	0.65	0	б.45 5 70	0.45	1.23	5.12	62.95 16.31	Syenite 13TK031	CaS
68.27	2.79	14.4604	< L.D.	4 93	< L.D.	4.877		99.51	0.64		< L.D.		Ê	671.4 < I D	3.096	31.51	16.81	7.281	0.453	56.08	1.074	160.8 9.342	6.372	10.72	24.16 164.1	73.56	0.400 93.78	156.8	1.171	19.29	29.16	1.326	3.091	1.094 6 11	54.73	150.1 258.7				0.08	0.62	-	5.63 6 1 4	0.66	1.37	4.19	62.96	Syenite 13TK001A	CaS
106	4	13		1 <10	16	22	<0.5	100.04	0.83	0.01	0.1	0.123	0.04	4 656	2.28	23.6	105	2.1	0.34	10.4	0.83	3 1	2	7.04	10.9 99.8	39.8	50.3	55.2	0.88	5.43 12.5	25.9	1.32	2.51	0.67	10	238 103	0.01	0.03	0.01	0.14	0.65	<0.01	5.58 6.46	0.51	1.32	3.81	63.4 17 2	Syenite TC09-113	CaS
80	2	21	ω -	10	9	20	<0.5	101.24	0.89	<0.0	0.17	0.098	0.05	<sup>4</sup> 3	2.71	79 26.9	70 70	7.26	<u.5< td=""><td>49.3</td><td>0.85</td><td>237</td><td>8</td><td>9.17</td><td>18.3</td><td>58.2</td><td>159</td><td>115</td><td>0.94</td><td>5.92 21.6</td><td>27.6</td><td>1.46</td><td>2.71</td><td>2.01 5 05</td><td>10</td><td>201 193.5</td><td>0.01</td><td>0.02</td><td>0.03</td><td>0.16</td><td>0.67</td><td>&lt;0.01</td><td>б.25 л оо</td><td>0.78</td><td>1.49</td><td>4.11</td><td>63.7 17.05</td><td>Syenite TC09-82</td><td>CaS</td></u.5<>	49.3	0.85	237	8	9.17	18.3	58.2	159	115	0.94	5.92 21.6	27.6	1.46	2.71	2.01 5 05	10	201 193.5	0.01	0.02	0.03	0.16	0.67	<0.01	б.25 л оо	0.78	1.49	4.11	63.7 17.05	Syenite TC09-82	CaS
89.95	5.6	6.5613	< L.D.	2 804	5.826	0.51		100.25	0.68		< L.D.			526 < 1 D	2.561	29.58	< L.D.	2.494	0.398	10.67	1.041	2.57	3.573	9.229	15.76 119.1	54.6	92.33	71.41	1.146	11.24	29.04	0.662	2.888	0.416 5 076	13.61	5.638 152.3				0.08	0.78	0	6.30 6.16	0.25	0.65	3.73	64.44 17 06	Syenite 13TK118A	CaS
80	ω	14		1 ^10	24	7	<0.5	101.25	0.72	0.01	0.17 0. <i>6</i>	0.014	0.05	935	2.47	ء 24	° ∿	1.91	0.34	9.3	0.78	91.7 3	4	6.87	10.85 125	39.2	0.3 <del>4</del> 61.1	51.9	0.86	5.34 17.9	26.9	1.3	2.47	0.6	10	350 99.9	0.01	0.04	0.01	0.07	0.54	<0.01	6.12 6.6	0.4	1.2	3.35	64.6 17 5	Syenite TC09-38	CaS
129	5	17	<u>^</u> -	4 10	78	4	<0.5	101.08	0.84	0.11	0.17	0.019	0.26	1270	3.83	× 34.5	ა <u>ა</u>	3.03	<u.5< td=""><td>16.05</td><td>1.11</td><td>27</td><td>6</td><td>9.56</td><td>16 108.5</td><td>57.2</td><td>0.00 82.4</td><td>74</td><td>1.32</td><td>7.78 23.6</td><td>28.1</td><td>0.54</td><td>3.93</td><td>0.43 6 77</td><td>20</td><td>54.9 146.5</td><td>0.01</td><td>0.01</td><td>&lt;0.01</td><td>0.1</td><td>0.6</td><td>&lt;0.01</td><td>6 33 6</td><td>0.34</td><td>1.05</td><td>4.87</td><td>65 16 35</td><td>Syenite TC09-41</td><td>CaS</td></u.5<>	16.05	1.11	27	6	9.56	16 108.5	57.2	0.00 82.4	74	1.32	7.78 23.6	28.1	0.54	3.93	0.43 6 77	20	54.9 146.5	0.01	0.01	<0.01	0.1	0.6	<0.01	6 33 6	0.34	1.05	4.87	65 16 35	Syenite TC09-41	CaS
96	4	17	→ 1	° 10	18	23	<0.5	101.22	0.54	0.7	0.15	0.138	0.07	1180	2.94	29.1	105	1.75	<u.5 0.43</u.5 	11.4	1.03	18.5 4 1	7	10.05	17.65 132.5	64.5	0.5 75.1	88.9	1.12	20.5	29.7	0.55	3.14	⊑ 00	10	59 171	<0.01	0.01	<0.01	0.12	0.5	<0.01	6.24	0.31	0.88	4.63	65.2 16.7	Syenite TC09-76B	CaS
116	2	43	N 1	2 <10	160	7	<0.5	99.39	0.77	0.9	1.08	0.076	9.9 0.81	576 9 5	3.53	≤ 33.2	° ∿	2.6	<u.5< td=""><td>16.5</td><td>1.19</td><td>4 9 4 9</td><td>6</td><td>10.7</td><td>19.65 146.5</td><td>67.5</td><td>85.2</td><td>100</td><td>1.29</td><td>13.2</td><td>33.8</td><td>0.37</td><td>3.48</td><td>0.66</td><td>20</td><td>39.2 196.5</td><td>0.06</td><td>&lt;0.01</td><td>&lt;0.01</td><td>0.08</td><td>0.38</td><td>&lt;0.01</td><td>5.74 6 14</td><td>0.2</td><td>0.55</td><td>3.54</td><td>15 85</td><td>Syenite TC09-06</td><td>CaS</td></u.5<>	16.5	1.19	4 9 4 9	6	10.7	19.65 146.5	67.5	85.2	100	1.29	13.2	33.8	0.37	3.48	0.66	20	39.2 196.5	0.06	<0.01	<0.01	0.08	0.38	<0.01	5.74 6 14	0.2	0.55	3.54	15 85	Syenite TC09-06	CaS
61	ω	1	2	A 10	, o	22	<0.5	100.34	0.78	0.41	0.08	0.124	0. <del>4</del> 1.76	957	5.02	47.4	400	5.09	<u.5< td=""><td>26.1</td><td>1.66</td><td>33.5 7.9</td><td>9</td><td>14.65</td><td>26.5 186.5</td><td>90.1</td><td>0.7 138</td><td>134.5</td><td>1.8</td><td>21.9</td><td>32.2</td><td>0.64</td><td>5.26</td><td>0.63</td><td>&lt;10</td><td>102 239</td><td>0.02</td><td>0.01</td><td>&lt;0.01</td><td>0.06</td><td>0.39</td><td>&lt;0.01</td><td>6.19 6.19</td><td>0.27</td><td>0.54</td><td>3.02</td><td>16 16 4</td><td>Syenite TC09-110</td><td>CaS</td></u.5<>	26.1	1.66	33.5 7.9	9	14.65	26.5 186.5	90.1	0.7 138	134.5	1.8	21.9	32.2	0.64	5.26	0.63	<10	102 239	0.02	0.01	<0.01	0.06	0.39	<0.01	6.19 6.19	0.27	0.54	3.02	16 16 4	Syenite TC09-110	CaS
115.9	2.55	9.8477	< L.D.	4 631	21.7	0.78		100.50	0.95		< L.D.		Ê	818.7 21 D	6.174	4.013 64.16	2.185	9.175	0.909	44.77	1.979	10.92	13.19	16.31	30.62 239.7	98.14	0.099 172.6	164.7	2.35	12.39	36.23	0.306	6.236	1.725	70.16	17.07 297.4				0.09	0.31	0.00	5.09 5.60	0.19	0.71	3.49	67.08 15 90	Syenite 13TK045	CaS
113	2	13	N 0	3 10	34	<u>^</u>	<0.5	99.62	0.81	<0.01	0.29	0.018	0.16	930 930	5.7	53	× ∿	9.12	0.83	41.5	1.68	11.3 10.6	11	14.4	27.4 208	90.1	172	144.5	2.03	11.05 23.2	34.1	0.3	5.54	10.05	40	30.2 284	0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.31	0.01	л б л	0.15	0.38	3.51	67.3 15.45	Syenite TC09-18	CaS
104	-	30	<u>^</u> -	1 10	76	30	<0.5	98.53	0.71	0.01	0.73	0.217	0.52	642 6 A	6.48	62.2	1 A 50	9.65	1.04	37.5	1.94	10.4	7	14.9	27.4 183.5	94	150	144.5	2.36	11.95 19.4	36.9	0.32	6.67	0.78	10	49.8 263	0.04	<0.01	<0.01	0.08	0.24	<0.01	5.92 л.4	0.11	0.46	3.19	67.4 15	Qz-monzon TC09-13	CaS
81	ω	10	<u>^</u> -	1 <10	1	45	<0.5	101.52	0.27	0.0	0.12	0.3	0.08	756 0 8	4.63	45.7	>>c <5	5.23	<0.67	28.8	1.45	73.9 6 2	7	12.85	20.7	72.7	101	109.5	1.7	9.89	29.3	1.64	4.77	0.31	10	548 202	0.01	0.06	0.01	0.08	0.35	<0.01	5.85 5.87	0.26	0.95	3.93	67.8 16.05	ite Qz-monzoni TC09-73	CaS
88	ω	19	ω.	1 <10	15	33	<0.5	101.96	0.61	0 01	0.12	0.188	0.07	1070	6.01	53 10	1 J	6.11	<0.88	32.7	1.76	16.7 7 7	7	18.55	38.4 157.5	131	0.or 119.5	207	2.01	13 24.4	35	0.39	5.74	10.65	10	39.3 402	0.01	<0.01	<0.01	0.09	0.36	<0.01	л 06 Л	0.22	0.5	4.18	68.2 15 95	ite Qz-monzon. TC09-76A	CaS
90	2	12	2 0	3 °10	24	<u> </u>	<0.5	101.66	0.8	<0.01	4 0.11	0.017	0.05	102	3.75	<del>4</del> 36.3	2 ~1	3.85	<u.5 0.57</u.5 	24.6	1.07	6 g	7	10	18.45 174	63.6	0.9 <del>4</del> 109.5	100.5	1.29	7.16 17.1	30.6	0.74	3.78	0.62	40	261 185	0.01	0.03	0.01	0.06	0.38	<0.01	5.63	0.24	0.7	3.43	68.7 15.65	ite Qz-monzonite TC09-75	CaS

# Annexe n°12: Analyses géochimiques sur roche totale (suite)

Zn Sc Ni	⊑ 5 8 8 §	Te LOI Total	S S H	A <sub>s</sub>	Z 76 -	< < ·	< c	∄⊐	73	Ta ⊈	ត់ ស	Sm	Į Į	Ng Ng	Ε	집 유	₹	ନୁନ୍ଦୁ	Ē	μÂ	Cs	ត ខ្ល	Ba	s	n Bao	SrO	MINU P2O5	TiO2	Cr203	Na2O	CaO MgO	Fe2O3	Si02 Al203	
2 1 97	<ol> <li>&lt;0.5</li> <li>37</li> <li>43</li> <li>20</li> </ol>	0.01 0.71 101.3	0.239 0.21 1.3	2 0.2	+o.+ 5.84 733	176	8.27 18	<0.5 0.87	1.33 48.5	12	18	252 9.43	16.65	207 56.2	0.75	1.8 83.9	20.8	33.4 8 14	0.34	5.33	1.2	194.5 10	90.2	0.01	0.01	<0.01	0.07	0.46	<0.01	5.6	0.54 0.4	3.56	69.5 14.95	CaS Qz-monzc TC09-31
8 2 1 2 1 5 9 5 5 1 5	10 4 1 0 0 0	0.01 0.54 101.91	0.278 0.09 1.6	0.9 0.03	7.5 828	211	14.65 <5	<0.5	2.22 57.4	18.3	14 15 7	288 15.55	27	256 87.1	0.98	2.52 144	25	124	0.27	13 7.27	-	282 10	30.5	0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.23	<0.01	5.41	0.54 0.14	3.2	71.6 14.75	CaS pnite Granite TC09-3
1 2 5 50	<10 < 10 < 10 < 10 < 10 < 10 < 10 < 10	0.01 0.53 100.88	0.039 0.57 1.4	4.1 0.34	4.88 299	3 00 j	11.25 <5	<0.5 0.74	1.32 52.4	14.6	7 0 7	149 8.52	14.6	169.5 47.2	0.7	1.64 80.8	11.5	30.8 7 58	0.29	5 8.28	0.43	149.5 120	110	0.03	0.01	0.01	0.02	0.14	4.00	4.55	0.3 0.07	2.05	75.9 12.6	CaS Granite 7 TC09-20
705511	10 5 13 5 70 5	0.01 0.82 98.76	0.089 0.05	0.4 0.02	19:4 1.59 269	4 55 - 5 6 -	1.44	<0.5	0.67 6.82	2.6	110	98.2 6.74	10.6	45.2 41.3	0.22	0.72 49.6	6.2	л 16 л	2.75	4.13	0.75	92.7 <10	535	0.01	0.06	0.01	0.1	0.95	<0.01	5.17	1.44 0.8	4.43	60.2 17.1	CaNaS Syenite TC09-8
2.752 < L.D. 9.1558 6.95 106.5	5.353 10.88	0.95 100.66	< L.D.	< L.D.	33.73 2.956 528.1	1.815	2.833	0.447	1.227 13.44	5.384	4.32	124.9 10.99	17.44	71.73 62.14	0.424	1.313 84.52	11.72	27.47 8 401	2.485	6.948 3.361	0.672	160.9 18.87	906				0.12	1.13	0.33	5.70	2.19 1.12	5.49	60.25 17.07	CaNaS Syenite 5 13TK02
2.38 < L.D. 5.7576 6.24 80.31	2.199 5.364	0.86 99.76	< L.D.	^ L.D.	13.30 1.55 232.6	2.629	1.168 9.254	0.24	0.773 5.307	2.825	1.884	7.209	10.8	38.87 40.45	0.228	0.769 47.53	5.091	25 5 544	2.978	4.185	0.724	94.67 28.17	524.5				0.09	0.96	7.U9	5.35	1.73 0.85	4.49	60.55 17.53	CaNaS Syenite 23 13TK0
1.358 < L.D. 5.3596 7.17 113.3	0.781 < L.D.	1.27 99.89	< L.D.	< L.D.	24.31 1.979 281.5	1.183	1.346	0.31	0.941 5.686	3.344	1.862	81.96 8.888	13.28	45.66 49.76	0.286	0.972 55.5	6.338	27.06	1.891	5.152 2.381	0.286	115.1 6.534	39.61				0.15	0.94	0.00	5.74	1.04 0.63	5.31	61.28 16.77	e Syenit 14 13TK
5 9 117	<0.5 5 40	0.01 1.08 100.8	0.09 <sup>,</sup> 0.09 1.1	0.9 0.03	3# 2.69 419	2 22 6	2.56	<0.5 0.4	1.24 12.3	4.7	0 4 2	89 11.58	19	85.7 70.8	0.34	1.27 91.1	10.4	27.7	0.71	6.44 3.08	0.44	160.5	10.3	<0.0	<0.0	<0.0	0.14	0.87	<0.0	6.29	0.86	5.27	62.4 16.9	e Syen 120A TC09
1001-1	10 9 19 6	\$2 99.6	+ 0.1 0.9	1.1	2.7 489	2 88 6	2.3	0.4	11.1	4.8	4 4	5 12	21	83. 78.	0.4	1.2	11	28.	0.6	3 1 3 1	0.4	5 19. 10	; =	0.0	0.0	6	0.1	0.8	<0.	6.5	1.2	. 51	62. 16.	ite Sy -69 TC
4		n 17 51 51	ω 1	5	w <sub>60</sub> w	5		Ň б	25			-→ k:	o No	4 0	-	N 23	ω	ω -	ŭ	₩ ₩	12	4.5	iση I	<u> </u>	<u>- 0</u>	.01	7 5		01 @		8 8	ច	1,4	NaS enite
125	4 <sup>66</sup> 4 6 7 6 7 6 7 6 7 6 7 6 7 6 7 6 7 6 7 6	0.01 0.57 99.89	0.011 0.08 1	0.8 0.03	2.8 472		2.96	<0.5 0.44	1.28 13.55	4.9	» or	97.2 11.75	18.4	39.2 29.2	0.38	1.35 32.8	1	27.8 2.79	0.73	7.46 3.41	0.55	163.5 10	13.1	<0.01	<0.01	<0.01	0.15	0.76	<0.01	5.39	1.04 0.48	5.35	32.5 16 45	CaNaS Syenite FC09-68
<pre>&lt;1 2 6 7 107</pre>	5 13 5 10	<0.01 0.71 99.28	0.084 <0.05 0.5	0.3 0.01	20 2.42 406	, 6 (	1.86 <5	<0.5 0.42	1.04 8.79	4.5	4 ω	113.5 10.45	17.45	79 64.9	0.33	1.03 81.7	9.4	30.8	0.52	5.64 2.53	0.43	164 10	15	0.01	<0.01	<0.01	0.16	0.69	<0.01	6.21	1.16 0.46	5.01	62.6 16.3	CaNaS Syenite TC09-109
5.258 < L.D. 5.8737 11.2 88.52	< LD.	0.57 100.70	< L.D.	< L.D. 0.335	20.4 2.343 336.3	1.952	1.67 0.82	0.363	1.132 7.941	4.264	3.121	95.08 11.09	17.13	53.47 64.32	0.352	1.156 74.04	7.777	29.55 8 083	0.507	6.22 2.815	0.447	146.9 21.55	2.786				0.18	0.90	0.01	6.65	1.45 0.58	5.39	62.75 16.21	CaNaS Syenite 13TK081A
2.3 < L.D. 7.4431 5.8 112.7	1.147 29.65	0.66 100.56	< L.D.	^	27.70 2.492 232	1.583	1.609	0.373	1.048 9.073	4.51	3.003	106.5 9.924	16.67	56.58 58.93	0.375	1.111 77.75	5.895	29.83	0.743	5.838 2.806	0.375	151.3 10.52	7.167				0.13	0.74	60.09	6.12	1.26 0.52	4.44	62.99 16.98	CaNaS Syenite 13TK069
3.043 < L.D. 10.956 5.04 104.7	1.394 7.427	1.26 100.19	<pre>^ LD.</pre>	< L.D. 0.105	37.90 3.691 1285	2.311	2.683	0.542	1.187 9.403	4.833	6.989	151.5 10.22	16.55	64.55 58.7	0.576	1.408 75.41	27.62	29.16 7 736	0.771	6.934 3.765	0.922	139.1 15.86	33.86				0.10	0.70	0.30	6.11	0.97 0.47	4.09	63.11 16.74	CaNaS Syenite 13TK101
1 6 3 <u>4 4</u> 3	10 <sup>1</sup> <sup>0</sup> <sup>0</sup> <sup>0</sup>	0.01 0.65 100.26	<0.005 0.7	0.2 0.02	2.62 457	2 <sup>-1</sup> (	2.23	<0.5	1.03 8.85	4.3	ω α	99.1 8.75	12.5	76 46.5	0.37	0.99 53.1	10.1	26.4 6 75	0.54	5.18 2.73	0.27	108	8.7	0.01	<0.01	<0.01	0.16	0.75	<0.01	6.12	0.95 0.43	5.02	63.3 16.65	CaNaS Syenite TC09-129
-1 6 8 -1 0 ; 34	10 <sup>3</sup> 5 6	<0.01 0.7 100.53	0.078 0.07 1.2	1 0.02	4.04 728	72	6.07	<0.5	1.75 25.5	8.6	9 9 7	117.5 13.85	18.85	120 71.2	0.49	1.87 84	18.7	29.1	1.04	9.96 5.25	0.33	166.5 <10	17.5	0.02	<0.01	<0.01	0.14	0.83	<0.01	6.34	0.96 0.46	5	63.6 16.3	CaNaS Syenite 3 TC09-12
1.798 <l.d. 8.4246 5.44 114.7</l.d. 	0.557 5.922	0.61 100.18	< L.D.	< L.D. 0.221	41.09 3.769 635.5	1.843	3.304 0 748	0.576	1.475 14.1	7.027	6.462	123.9 13.26	22.6	97.48 77.99	0.549	1.62 108.2	16.66	33.59 9 818	0.479	8.44 4.162	0.432	213.6 16.31	5.176				0.14	0.53	0.90	6.76	0.92 0.33	4.38	63.74 16.75	CaNaS Syenite 0 13TK09
-1 3 9 2 <u>4</u> 5	10 × 0.5	0.01 0.85 100.81	0.111 0.09 0.8	0.7 0.05	4.09 701	79	3.66	<0.5	1.57 16.55	6.3	30	159.5 14.85	25.3	108 91.8	0.62	1.6 116.5	15.7	40.7	0.12	8.42 4.23	0.6	234 10	3.9	0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.3	<0.01	6.77	0.46 0.2	6.75	64.1 15.9	CaNaS Syenite 2 TC09-1
10 10 103	20 18 4 0.5 20	0.01 0.8 101.19	0.012 0.15 0.6	1.7 0.13	23.5 2.27 366	у 4 о	1.87	<0.5	0.87 8.7	3.4	а 4 л	115 8.92	13.2	57.7 49.3	0.3	0.89 56.4	8.6	6 4 2	0.17	5.09 2.43	0.92	20	7.9	0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.31	<0.01	7.44	0.78 0.37	5.86	64.1 15.8	CaNaS Syenite 25 TC09-5
8 5 4 7 8 2 2 3	<10	0.01 1.11 100.1	<0.00( 0.3	0.3 <0.01	13.0 1.3 228	, _, (	1.31	<0.5 0.21	0.55 5.69	2.1	0 12	/3.4 5.47	8.3	34.6 31.2	0.18	0.6 40.4	5.6	25.2	0.92	3.26 1.56	0.4	76.6 10	15.4	0.02	<0.01	<0.01	0.08	0.62	<0.01	5.71	0.68 0.27	3.32	64.3 17.45	CaNa Syenit
95 <sup>5</sup> <sup>1</sup> <sup>1</sup>	<0.5 <	<0.0 0.56 101.1	5 0.01 <u>′</u> 0.14 0.8	1.1 0.11	20.2 2.43 313	220	л.7	<0.5 0.4	0.96 8.73	4.2	4 4	95.6 9.64	15.8	74 58.4	0.33	1.01 73	7.3	27.6 7 14	0.79	5.39 2.75	0.65	142.t	11.4	0.01	<0.0	< 0.01	0.12	0.8	<0.01	6.17	0.98 0.51	4.43	64.4 16.6	S CaNa 9 Syen 131 TC09
-1 6 8 2 - 1 	10 10 10 0	5 0.0 5 101	- <u>0.</u> 6	1.1	3.3 566	g → (	3.1	<0.5	1.4	o (	ით	13.	21.	10t	0.4	1.4 99.	13	10	0.5	3.8	0.5	10	13	0.0			0.1	0.7	<0.	6.9	0.6	5.3	64. 16.	145 TQ
0	ίσι έ	n 1.34	.005	Ō	o° Ñ -	2	7	ώ'n	7			3	0	ω <sup>σ</sup>	ö	ω öö	ώ	л <sup>.</sup> со	1	4 ä	12		· <u>`</u>		- <u>0</u>	01	2 0	, -	01	0 6	5	ō	0,4	NaS enite 209-63

# Annexe n°12: Analyses géochimiques sur roche totale (suite)

			SiO2	AI2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K20	Tin?	Mno	P205	Sro	BaO	C IC	ŝ	Ba	Ce	ç	Cs	Ş	יתי	υ <sup>3</sup> Ε	6 6	Ŧ	R	La	5	N	Ŗ	Rb	Sm	έđ	Ta 9	ТЪ	Τh	1		< 0	< ۲	≺ :	Чb	Zr	R: Ri	占	Sb	1 %		Total	Ag	6	2 8	⊑ g	Mo	<u>Z</u> .	;	2 3	
	<mark>CaNaS</mark> Syenite	13TK086	64.41	15.73	5.09	0.75	0.31	7.36	5.41	0 50	0.16	0.08						257.8	24.37	0.479	10.11	4.891	38.46	11.86	18.17	1.946	131.6	0.659	96.36	27.48	150.8	16.2	-ло ло ло ло	8.775	1.76	18.41		0.667	4.344 0 704	2.318	48.73	4.389	688.3	< L.D.		< L.D.		0.62	100.41		-		ŗ	2.787	< L.D.		10.8244	
	CaNaS Syenite	13TK077	64.44	17.09	3.65	0.89	0.38	6.14	6.58	0 63	0.11	0.11					27.44	215.5	10.01	0.825	7.038	3.472	317	8.894	21.18	1.329	115.1	0.522	80.87	23.63	137.2	12.6	12 18	5.274	1.26	10.99		0.482	1.948	3 614	33.99	3.304	1011	^	ŗ	< L.D.		0.72	100.72		8	0.90	0.010	4.238	< L.D.		13.2966	
	CaNaS Syenite	TC09-57	64.5	16.15	5.36	0.91	0.42	6.72	5.73	0.72	0.16	0.09	<0.01	<0.01	0.02	0.01	8.6	171.5	10	0.44	6.5	3.23	32 7	9.23	11.8	1.19	87	0.45	74.5	19.7	116.5	12.7	4 4 2	σι,	1.21	10.75	<0.5	0.45	2.29	63	32.1	3.16	499	0.9	0.06	0.1	0.8	0.76	101.52	<0.5	6 A	7 13	10	→ ;	0	1	1 1 1	
	CaNaS Syenite	TC09-59	64.8	15.9	4.91	0.73	0.34	8.92	3.78	0.53	0.16	0.05	<0.01	<0.01	0.02	0.01	7.7	202	10	0.37	8.6	4.45	36 36	10.3	15.7	1.59	96.5	121 5	80.7	21.2	84.9	13.05	30	6.8	1.42	17.25	<0.5	0.54	3.21	104	41.7	3.55	710	0.7	0.099	0.08	0.8	0.42	100.54	<0.5	<0.5	η Γ	20	4	7	-	° 10 <u>/</u>	
	CaNaS Syenite	TC09-102	65.2	15.1	5.22	0.82	0.17	6.54	4.94	0.01	0.18	0.01	<0.01	<0.01	0.12	0.02	13.1	687	60	0.67	16.95	9.22	0.38 47 4	20.2	33.8	3.31	389	333	196	61.7	210	30.5	л — о	18.5	3.1	57.1	<0.5	1.43	~л Ч	4	- 87.1	9.6	1500	0.7	0.013	0.07	1.9	1.07	99.5	<0.5	<0.5	0 /	20	17	<del>در</del>	¢	× (0 (	
	CaNaS Syenite	TC09-101	65.3	15.95	4.43	0.1	0.07	6.09 = 00	5.22	0.23	0.1		<0.01	<0.01	0.17	0.01	36.8	486	10	0.25	15.45	8.14	0.15 50 6	17.55	49.4	2.86	254	1.05	147	45.2	183	24.3	7 3	25.4	2.74	53.6	<0.5	1.14	~7 7	ن ن	94.5	7.85	1460	0.5	0.016	<0.05	1.7	1.29	98.78	<0.5	<0.5	D /	<10	<u> </u>	2		23	
	CaNaS Syenite	13TK117B	65.75	15.72	4.17	0.44	0.14	6.70	5.33	CE 0	0.14	-						270.1	42.5	0.516	11.94	6.173	0.177 40 51	12.78	28.65	2.337	132.3	0.896	98.96	29.17	173.1	17.47	1U.04	11.41	2.016	25		0.895	0.001	3 276	58.42	6.041	1108		ŗ	< L.D.		0.53	99.25			0.404	0.00	3.395	< L.D.		17.4992	
Spenie         Spenie<	CaNaS Syenite	13TK117A	66.44	15.75	4.25	0.51	0.17	7.22	5.36	85.0	0.14	0.04						353.6	29.01	0.491	13.85	8.021	40 94	14.37	35.83	2.862	183	1.241	119.9	36.16	179.6	19.53	10.05	11.54	2.272	29.49		1.191	0.8	3.392	72	8.18	1603	A L.D.	0.100	< L.D.		0.62	100.88			(.434	ŗ	3.89	< L.D.		12.7822	
Symme         Symme         Symme         Symme         Conversant & Convers	NaS Syenite	13TK103B	65.52	16.77	3.35	0.44	0.11	7.54	4.98	0.32	0.10						5.115	281.8	26.18	0.487	9.377	4.878	45.32	10.62	19.64	1.862	152.4	0.704	96.14	29.42	147.5	14.99	3 071	7.671	1.626	18.99		0.694	3.841	3 4 1 1	46.27	4.638	793	^ _ D		< L.D.		0.67	99.80		-			3.644	< L.D.	11.8689	2	
	NaS Syenite	13TK070	66.01	15.84	4.05	0.75	0.20	6.53	5.63	0.41	0.13	0.05					8.184	195.9	42.51	1.072	8.974	4.364	35 74	10.01	21.77	1.696	97.34	140.23	75.62	21.68	228	13.38	1 708	9.414	1.536	19.27		0.617	4.601	5618	44.29	4.176	818.5	^		< L.D.		0.76	100.34			70 90	10.00	7.607	< L.D.		9.385	
Syerite         Syerite         C2-marcanite C2-marcanic2-marcanicc2-marcanite C2-marcanicc2-marcanite C2-marcanicc2-mar	NaS Syenite	13TK079	66.25	15.70	4.63	0.61	0.20	6.51	5.68	0.51	0.18	0.05						936.6	19.59	0.746	13.87	7.853	42.26	18.39	56.81	2.747	527.8	1.383	264.8	92.94	171.3	30.95	о.282 1 л	9.658	2.545	28.08		1.169	5.449	2 146	65.52	8.46	3238	< L.D.		< L.D.		0.56	100.88		-	7 100	0.700	8.873	< L.D.		11.4541	
Syenia         Coc-montanite Communation Communatina Communation Communatina Communation Communatin Commu	NaS Syenite	13TK104	66.71	15.42	5.13	0.04		5.80	5.54	0.30	0.14						4.019	508.7	24.61	0.547	12.38	6.937	0.103 48 58	12.27	38.06	2.558	181.9	1.095	108.1	34.76	269	17.25	10.27	13.44	1.979	34.88		1.038	6.93	3 017	64.14	7.085	1318	AD2	0.101	< L.D.		1.28	100.35		,		ŗ	2.53	< L.D.	13 3001	0.0001	
CZ-monozontie CZ-monozontie CZ-monozontie CZ-monozontie CX-morzontie Granite         Granite         Granite         Granite           667         68.04         68.92         71.20         74.94           667         68.04         68.92         71.20         74.94           677         68.04         68.92         71.20         74.94           6.72         0.50         0.52         0.68         0.03           0.01         0.31         0.16         0.03         0.01           0.02         0.15         0.10         0.09         0.01           0.02         0.15         0.10         0.09         0.01           0.03         14.57         15.12         12.17         14.1           1.22         0.41         1         1.17         4.45           0.01         0.412         0.49         0.09         0.01           0.41         0.412         0.43         3.05         7.12         6.01           1.5         1.5         14.68         1.05         3.05         3.05           1.73         1.64         2.33         32.19         3.05         3.05           1.24         1.337         1.68         2.04	NaS Syenite	13TK080	66.78	15.39	3.78	0.73	0.15	6.05	5.45	0.35	0.13	0.04					9.184	496.3	29.13	0.769	12.4	6.427	0.26 39.47	14.99	23.17	2.393	267.5	1.011	156.8	52.48	176.4	22.7	7.997	9.027	2.198	25.44		0.923	4.9 1 102	2 982	60.56	6.451	875.2	^	ŗ	< L.D.		0.75	99.60		0	22 42	00.70	7.338	<l.d.< td=""><td>8 10/0</td><td>0.1040</td></l.d.<>	8 10/0	0.1040	
the Czmonzontie Granite         Granit         Granite <th colspa="&lt;/td"><td>NaS Qz-monzol</td><td>TC09-126/</td><td>66.7</td><td>12.95</td><td>6.75</td><td>0.52</td><td>0.19</td><td>5.46</td><td>4.8</td><td>0.46</td><td>0.22</td><td>0.03</td><td>&lt;0.01</td><td>&lt;0.01</td><td>0.62</td><td>0.02</td><td>14.2</td><td>772</td><td>90</td><td>0.41</td><td>17.3</td><td>8.77</td><td>1.05 43.8</td><td>22.1</td><td>48.5</td><td>3.12</td><td>435</td><td>1.29 วรว</td><td>234</td><td>71.2</td><td>186.5</td><td>34.3</td><td>13 3</td><td>16.5</td><td>3.26</td><td>57.5</td><td>&lt;0.5</td><td>1.28</td><td>&lt; 12 27</td><td>o j</td><td>82 <sup>°</sup></td><td>8.7</td><td>1900</td><td>0.6</td><td>0.012</td><td>0.09</td><td>1.5</td><td>2.48</td><td>100.57</td><td>&lt;0.5</td><td>&lt;0.5</td><td><u>5 7</u></td><td>20 1</td><td>17</td><td>7</td><td>20</td><td>c</td></th>	<td>NaS Qz-monzol</td> <td>TC09-126/</td> <td>66.7</td> <td>12.95</td> <td>6.75</td> <td>0.52</td> <td>0.19</td> <td>5.46</td> <td>4.8</td> <td>0.46</td> <td>0.22</td> <td>0.03</td> <td>&lt;0.01</td> <td>&lt;0.01</td> <td>0.62</td> <td>0.02</td> <td>14.2</td> <td>772</td> <td>90</td> <td>0.41</td> <td>17.3</td> <td>8.77</td> <td>1.05 43.8</td> <td>22.1</td> <td>48.5</td> <td>3.12</td> <td>435</td> <td>1.29 วรว</td> <td>234</td> <td>71.2</td> <td>186.5</td> <td>34.3</td> <td>13 3</td> <td>16.5</td> <td>3.26</td> <td>57.5</td> <td>&lt;0.5</td> <td>1.28</td> <td>&lt; 12 27</td> <td>o j</td> <td>82 <sup>°</sup></td> <td>8.7</td> <td>1900</td> <td>0.6</td> <td>0.012</td> <td>0.09</td> <td>1.5</td> <td>2.48</td> <td>100.57</td> <td>&lt;0.5</td> <td>&lt;0.5</td> <td><u>5 7</u></td> <td>20 1</td> <td>17</td> <td>7</td> <td>20</td> <td>c</td>	NaS Qz-monzol	TC09-126/	66.7	12.95	6.75	0.52	0.19	5.46	4.8	0.46	0.22	0.03	<0.01	<0.01	0.62	0.02	14.2	772	90	0.41	17.3	8.77	1.05 43.8	22.1	48.5	3.12	435	1.29 วรว	234	71.2	186.5	34.3	13 3	16.5	3.26	57.5	<0.5	1.28	< 12 27	o j	82 <sup>°</sup>	8.7	1900	0.6	0.012	0.09	1.5	2.48	100.57	<0.5	<0.5	<u>5 7</u>	20 1	17	7	20	c
Itel Czmonzontile Granite         Granite         Granite           13TK106         13TK078         TC09-108           68.92         71.20         74.9           3.63         3.61         3.8           0.52         0.06         5.17           5.36         4.73         4.01           0.16         0.09         0.09           0.22         17.31         5.04           0.30         0.18         0.019           0.10         0.09         0.09           365.8         275.4         2.40           32.02         17.31         2.00           0.46         7.766         7.46           0.52         0.114         0.09           11.57         14.69         13.05           13.91         14.47         13.05           15.26         0.179         13.95           2.033         2.171         13.95           2.034         2.42         2.26           15.88         11.05         2.66           15.89         1.139         12.2           2.137         2.93         1.13           2.148         2.96         2.66	NaS nite Qz-monzoi	A 13TK108	68.04	14.57	4.47	0.50	0.13	6.07	5.18	0.34	0.15	0					7.544	641.3	46.65	0.412	15.68	8.174	0.195	18.74	40.44	3.019	356.3	1.337	199.3	68.86	251.4	28.35	1 0.13	13.18	2.766	32.19		1.211	1 186	3 787	79.22	8.341	1682	< L.D.	0.0	< L.D.		0.68	100.12		,		ŗ	3.593	< L.D.	15.2258	200	
ntile Granite 13TK078 TC09-108 71.20 74.9 12.79 11.8 0.06 0.03 4.473 4.47 4.73 4.45 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.14 0.02 17.34 5.0 7.746 7.46 0.178 10.5 1.105 13.05 14.457 14.7 2.258.4 2.40 0.776 13.95 3.2.944 7.46 0.119 0.09 0.786 2.84 14.69 13.05 14.69 13.05 14.69 12.44 2.42 2.55 2.7.16 9.461 14 9.461 14 17.81 17.05 16.51 14 9.463 2.27 36.13 2.00 38.13 2.05 1.139 12.4 2.42 2.65 2.7.16 9.855 3 8.0.7 7.16 9.855 3 8.0.7 7.16 9.855 3 9.855 3 7.062 2.27 0.138 0.00 0.138 0.00 0.13 2.00 0.138 0.00 0.13 2.00 0.01 2.00 0.13 2.00 0.13 2.00 0.13 2.00 0.13 2.00 0.13 2.00 0.13 2.00 0.01 2.00 0.02 0.01 2.00 0.02 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03	NaS nite Qz-monzor	13TK106	68.92	15.12	3.63	0.52	0.16	5.94	5.36	0.30	0.10						-	365.8	32.02	0.649	11.57	5.356	0.152	13.91	20.33	2.137	196.6	151 8	122.5	33.07	205.4	19.17	4 J	11.53	2.039	26.84		0.737	0.018	3 168	54.77	4.804	595.5	^ L.D.	0.1	< L.D.		0.58	100.63			7 120	1.100	3.471	< L.D.		8.2513	
Granite T cos-108 74.9 11.8 3.8 0.28 0.28 0.28 0.28 0.28 0.28 0.29 1.05 1.09 0.09 1.2.6 2.6 0.09 1.2.6 2.4 1.1.7 2.4 0.02 1.3.95 1.05 2.4 3.9.6 3.0.0 3.9.6 3.0.0 3.9.6 3.0.0 3.9.6 3.0.0 3.9.6 3.0.0 3.9.6 3.0.0 3.9.6 3.0.0 3.0.6 3.0.0 3.0.6 3.0.0 3.0.6 3.0.0 3.0.6 3.0.6 3.0.0 3.0.0 3.0.6 3.0.0 5.0.0 3.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.0 5.0.00 5.0.00 5.0.00 5.0.00 5.0.00 5.0.00 5.0.000 5.0000 5.00000 5.00000000	NaS nite Granite	13TK078	71.20	12.79	3.61	0.68	0.06	4.48	4.73	0.18	0.09	0.00					18.17	258.4	173.1	0.796	14.69	7.746	0.119 40 55	14.47	32.19	2.934	129.2	1.105 223 6	91.3	27.58	271.2	17.81	8 470	16.89	2.42	36.13		1.139	9.461	9 855	80.7	7.667	983.3	A L.D.	0.00	0.312		2.06	99.87		-	0 170	0.10	13.3	< L.D.		19.7237	
	NaS Granite	TC09-108	74.9	11.8	3.8	0.28	0.03	5.17	4.45	0 19	0.09	0.00	<0.01	<0.01	0.14	0.02	4.7	240	50	0.99	13.05	7.46	39.6	13.95	34.3	2.44	117.5	206	86.4	25.5	251	17.05	2 0 4	12.4	2.27	26	<0.5	1.11	۲.68 م	ω.	73	7.16	1250	0.9	<0.005	0.08	2 2	0.62	101.33	<0.5	<0.5	<u>1</u>	50 50	7	ъ	\$	1 - <u>1</u> 9	

# Annexe n°12: Analyses géochimiques sur roche totale (suite)

FIN		
Lavage 3 mL HCI 0,2 N		
Lavage 4 mL HCI 6 N		
BECHER POUBELLE		FIN
□ 1,5 mL HCI 0,25 N		1,25 mL HCI 6 N
Bécher récup Nd		□ □ 2 x 0,25 mL HCl 6 N
2,75 mL HCl 0,25 N		Placer bécher récup Pb
□ □ □ □ 4 x 0,25 mL HCl 0,25 N	FIN	🗆 5 x 0,1 mL HCI 3 N
ge des colonnes	□ Découpla	
20 MQ	□ 0,2 mL H <sub>2</sub>	🗆 0,5 mL HNO3 0,05 N
20 MQ	□ 0,2 mL H <sub>2</sub>	□ □ 2 x 0,25 mL HNO3 0,05 N
20 MQ	0,2 mL H <sub>2</sub>	Placer bécher récup Sr
RU sur LN	Empiler T	□ □ □ 3 x 0,1 mL HNO <sub>3</sub> 2 N
	□ Rincer 0,5 mL HNO <sub>3</sub> 1 N	$\Box$ 1 mL HNO <sub>3</sub> 7N
	□ Rincer 0,5 mL HNO <sub>3</sub> 1 N	□ □ 2 x 0,25 mL HNO <sub>3</sub> 7 N
	ye des colonnes	🗆 Découplaç
	10 <sub>3</sub> 2 N	0,2 mL HN
	10 <sub>3</sub> 2 N	0,2 mL HN
	mL d'échantillon	🗆 dépôt 0,5 i
	sur TRU	🗆 Empiler Sr
□ Conditionnement 2 mL H <sub>2</sub> O MQ	$2 \times 0,5 \text{ mL HNO}_3 1 \text{ N}$	$\square$ $\square$ Conditionnement 2 x 0,5 mL HNO <sub>3</sub> 2 N
		$\Box$ $\Box$ Lavage 2 x 2 mL HNO <sub>3</sub> 0,05N
	$\Box$ $\Box$ Lavage 2 x 2 mL H <sub>2</sub> O MQ	Lavage 1 mL HCI 6N
	150 μL de résine	150 μL de résine
Colonne LN-SPEC	Colonne TRU-SPEC	Colonne Sr-SPEC
ON Sr et Nd	OLE DE SÉPARATIO	PROTOC

Annexe n°14 : Données de l'étude isotopique
A. Résultats des mesures effectuées sur les échantillons du SRBIC (Lab. GET)

						N	lesuré			_				Corrigé	
Structure	Nature	Petro	Echantillon	87Rb/86Sr	( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr)	err. 2σ	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd)	(143Nd/144Nd)	err. 2σ	Age U-Pb	err. 2σ	87Rb/86Sr	( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr)i	147Sm/144Nd	( <sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd)i
Unit 2	syenite	CaNaS	TC09-120	56.6404	0.714172	0.000012	0.111234977	0.512572	0.000004	8.51	0.15	56.6472	0.70733	0.1112	0.512566
Unit 2	syenite	CaNaS	TC09-129	65.9634	0.717378	0.000013	0.101738427	0.512546	0.000016	9.08	0.10	65.9719	0.70887	0.1017	0.512540
Unit 2	syenite	CaNaS	TC09-59	94.5517	0.720650	0.000016	0.101291459	0.512567	0.000006	9.35	0.50	94.5643	0.70810	0.1013	0.512561
Satellite -S	syenite	CaNaS	TC09-131	24.7153	0.709564	0.000011	0.10305041	0.512418	0.000017	9.5	0.50	24.7186	0.70623	0.1031	0.512412
Unit 3 - enclave Unit2	syenite	CaNaS	13TK101	24.6440	0.708387	0.000013	0.098251985	0.512602	0.000012	8.47	0.15	24.6470	0.70542	0.0983	0.512597
Unit 2	syenite	CaNaS	13TK69	44.7911	0.711450	0.000027	0.094095769	0.512542	0.000007	8.72	0.10	44.7966	0.70590	0.0941	0.512537
Unit 2	syenite	CaNaS	13TK81A	70.1252	0.722467	0.000036	0.100744336	0.512552	0.000014	9.31	0.15	70.1345	0.71320	0.1008	0.512546
Unit 2	syenite	CaNaS	13TK77	33.2732	0.711991	0.000047	0.088547307	0.512577	0.000011	8.1	0.50	33.2770	0.70816	0.0886	0.512572
Unit 2	syenite	CaNaS	13TK117B	299.3271			0.099640123	0.512613	0.000009	8.75	0.20			0.0996	0.512607
Unit 1	syenite	CAS	TC09-06	53.9195	0.714947	0.000015	0.092384766	0.512525	0.000009	11.57	0.11	53.9283	0.70609	0.0924	0.512518
Unit 1	granite	CAS	TC09-37	58.1841	0.713863	0.000011	0.10580033	0.512600	0.000007	10.77	0.15	58.1930	0.70496	0.1058	0.512593
Unit 1	syenite	CAS	TC09-113	3.2681	0.706130	0.000009	0.098720319	0.512568	0.000005	11.13	0.20	3.2686	0.70561	0.0987	0.512561
Unit 1	syenite	CAS	TC09-110	18.1964	0.708092	0.000011	0.108369615	0.512575	0.000006	10.59	0.15	18.1991	0.70536	0.1084	0.512567
Satellite -GV	syenite	CAS	TC09-82	1.8097	0.707459	0.000010	0.089218779	0.512276	0.000010	13.74	0.20	1.8100	0.70711	0.0892	0.512268
Unit 1	Qz-monzonite	CAS	TC09-75	10.0704	0.706173	0.000013	0.09711088	0.512560	0.000006	11.3	0.20	10.0720	0.70456	0.0971	0.512553
Unit 1	syenite	CAS	13TK42	3.1945	0.708173	0.000014	0.105225795	0.512526	0.000012	10.65	0.10	3.1950	0.70769	0.1052	0.512519
Unit 1	syenite	CAS	13TK31	55.2246	0.714803	0.000017	0.109493741	0.512503	0.000014	10.09	0.10	55.2325	0.70689	0.1095	0.512496
Unit 1	syenite	CAS	13TK63	21.3571	0.709538	0.000015	0.110760139	0.512522	0.000008	9.94	0.10	21.3601	0.70652	0.1108	0.512515
Unit 1	syenite	CAS	13TK45	56.7820	0.714997	0.000016	0.096502082	0.512553	0.000009	10.22	0.10	56.7902	0.70676	0.0965	0.512547
Unit 1	syenite	CAS	TC09-41	14.4328	0.708206	0.000022	0.103570204	0.512552	0.000009	11.53	0.20	14.4352	0.70584	0.1036	0.512544
Satellite -GV	syenite	CAS	13TK01A	3.3253	0.707657	0.000014	0.084520833	0.512298	0.000008	11.87	0.20	3.3259	0.70710	0.0845	0.512291
Unit 1	syenite	CAS	13TK118A	101.9513			0.100845934	0.512628	0.000009	9.45	0.15			0.1009	0.512622
CRBIC	syenite	Complexe No	or TC09-135	123.0985	0.719442	0.000009	0.10376842	0.512606	0.000012	7.31	0.15	123.1113	0.70666	0.1038	0.512601
PJ	monzonite	intermediair	e 13TK47	1.0752	0.705833	0.000012	0.113532194	0.512544	0.000007	11.19	0.10	1.0754	0.70566	0.1135	0.512536
Unit 1	monzo-diorite	mafique	13TK43	0.7269	0.705720	0.000012	0.111206965	0.512544	0.000009	11	0.10	0.7270	0.70561	0.1112	0.512536
Satellite -GV	monzo-gabbro	mafique	TK002	0.1558	0.706947	0.000013	0.114621936	0.512342	0.000009	13.7	0.50	0.1559	0.70692	0.1146	0.512332
Unit3	granite	NaS	13TK78	91.8020	0.716503	0.000011	0.115484664	0.512581	0.000011	7.9	0.10	91.8123	0.70620	0.1155	0.512575
Unit3	syenite	NaS	13TK80	92.5790	0.719495	0.000014	0.0910006	0.512580	0.000010	8.04	0.05	92.5896	0.70892	0.0910	0.512575
Unit3	Qz-monzonite	NaS	13TK108	210.2544	0.757258	0.000020	0.084821372	0.512563	0.000011	8.03	0.10	210.2784	0.73328	0.0848	0.512559
Unit3	syenite	NaS	13TK070	145.4577	0.724331	0.000020	0.109951208	0.512569	0.000007	8.27	0.10	145.4748	0.70725	0.1100	0.512563
Unit 3	syenite	NaS	TK104	160.4960	0.725521	0.000021	0.089241434	0.512573	0.000009	7.88	0.15	160.5140	0.70756	0.0892	0.512568
Unit 3	Qz-monzonite	NaS	TK106	230.8620	0.749252	0.000015	0.087277737	0.512627	0.000010	7.99	0.20	230.8882	0.72306	0.0873	0.512622
Unit 2	trachyte	trachyte tard	dir 13TK8	36.1295	0.710447	0.000018	0.083527037	0.512580	0.000008	7.93	0.30	36.1335	0.70638	0.0835	0.512576
U2- zone déformée	syenite		13TK23	1.5835	0.705790	0.000014	0.10061006	0.512562	0.000013	9.38	0.20	1.5837	0.70558	0.1006	0.512556

### Echantillon dont l'age a été estimé en fonction des relations de terrains

expliquant les grandes erreurs associées l'age du TC09-131 est toutefois contraint par l'age de environ 9.5 Ma issues de l'étude thermochronologique sur Apatite (F.Ahadi, en préparation)

### B. Résultats des modélisations isotopiques

liquide basaltique alcalin primaire liquide secondaire issus du manteau métasomatisé = composition du miccrogabbro de Scoates et al., (2007) auquelles sont appliquées les compositions isotopiques du panache de Kerguelen
 = gneiss d'Elan Bank dont les compositions isotopiques ont été recalculées à 14 Ma (l'age minimum d'interaction possible avec les liquides alcalins)
 = compositions de liquide à l'origine des lamproites du Gausseberg (Olierook et al., (2017)

		Nd	Sm	Rb	Sr		87Sr/86Sr	143Nd/144Nd
liquide basaltique alcalin primaire	=	27	.5	6.4	25	485	0.705300	0.512598
croute continentale	=		64	12	174	108	0.511820	0.783112
liquide secondaire issus du manteau métasomatisé	=	1:	24			1718	0.709712	0.511890

a) Modélisation d'un melange entre les deux sources mantelliques liquide basaltique alcalin primaire liquide secondaire issus du manteau métasomatisé

Voir figure 6.11

F						
	0.512598	0.705300	485	25	6.4	27.5
	0.511890	0.709712	1718			124

			0.705300	0.512598
	Nd M	Sr M	87Sr/86Sr M	143Nd/144Nd r
0.01	28.465	497.33	0.705452	0.512567
0.02	29.43	509.66	0.705597	0.512538
0.03	30.395	521.99	0.705736	0.512511
0.04	31.36	534.32	0.705867	0.512486
0.05	32.325	546.65	0.705993	0.512462
0.06	33.29	558.98	0.706114	0.512440
0.07	34.255	571.31	0.706229	0.512419
0.08	35.22	583.64	0.706339	0.512399
0.09	36.185	595.97	0.706445	0.512380
0.1	37.15	608.3	0.706546	0.512362
0.11	38.115	620.63	0.706643	0.512345
0.12	39.08	632.96	0.706737	0.512328
0.13	40.045	645.29	0.706827	0.512313
0.14	41.01	657.62	0.706914	0.512298
0.15	41.975	669.95	0.706997	0.512284
0.16	42.94	682.28	0.707078	0.512271
0.17	43.905	694.61	0.707155	0.512258
0.18	44.87	706.94	0.707230	0.512246
0.19	45.835	719.27	0.707302	0.512234
0.2	46.8	731.6	0.707372	0.512223
0.21	47.765	743.93	0.707440	0.512212
0.22	48.73	756.26	0.707505	0.512202
0.23	49.695	768.59	0.707568	0.512192
0.24	50.66	780.92	0.707630	0.512182
0.25	51.625	793.25	0.707689	0.512173
0.26	52.59	805.58	0.707746	0.512164
0.27	53.555	817.91	0.707802	0.512155
0.28	54.52	830.24	0.707856	0.512147
0.29	55.485	842.57	0.707909	0.512139
0.3	56.45	854.9	0.707960	0.512131
0.4	66.1	978.2	0.708399	0.512067
0.5	75.75	1101.5	0.708741	0.512019
0.6	85.4	1224.8	0.709013	0.511981
0.7	95.05	1348.1	0.709236	0.511951
0.8	104.7	1471.4	0.709421	0.511927
0.9	114.35	1594.7	0.709578	0.511907
			0.709712	0.511890

Annexe n°14 : Données de l'ét	ude isotopique (suite)
b) AFC / Assimilation du gneiss recalc	ulé à 14 Ma par les liquides alcalins
Voir figure 6.11	

				10	quide basaitiqu	le aicaiin	primaire	27.5	6.4	25	485	0.705300	0.512596	KP			
Masse				CI	route continen	tale		64	12	174	108	0.783112	0.511820	GNEISS			
assimilée/m																	
asse									CONCENTRA	TIONS					Résultats	d'AFC	
cristallisée	Proportions m	ineralogiques						Nd	Sm	Rb	Sr	87Sr/86Sr	143Nd/144N	147Sm/144Nd	143/144Nd	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
r	CPX	PLG	OL	OPX	AMPH	QTZ	F	27.5	6.4	25	485	0.705300	0.512598				
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.01	28,170711	6.5334419	26.3618	458,114			0.14026073	0.512586	0.166455	0.705419
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.02	28 854176	6 6693543	27 7479	432 507			0 13978668	0.512575	0 185583	0 705547
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.02	20.55077	6 807800	20 1502	/08 131			0 13032460	0.512563	0.206672	0.705683
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.03	20.00000	6 0499904	20.1002	204 020			0.13932403	0.512505	0.200072	0.705000
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.04	30.200880	0.9400004	30.5903	304.930			0.13007421	0.512552	0.229927	0.705029
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.05	30.984929	7.0926461	32.06	362.883			0.13843474	0.512542	0.255573	0.705985
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.06	31.723326	7.2391866	33.551	341.92			0.13800579	0.512531	0.283862	0.706151
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.07	32.476517	7.3885859	35.0702	322.007			0.1375869	0.512521	0.315070	0.706330
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.08	33.244962	7.5409315	36.6184	303.101			0.13717764	0.512512	0.349505	0.706521
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.09	34.029143	7.6963144	38.1965	285.162			0.1367776	0.512502	0.387510	0.706725
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.1	34.829558	7.8548295	39.8054	268,149			0.13638639	0.512493	0.429463	0.706945
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.11	35 646731	8 0165759	41 4461	252 025			0 13600363	0.512484	0 475785	0 707180
0.4	0.05	0.8	Ő	0	0.1	0.05	0.12	36 481206	8 1816568	43 1195	236 752			0 13562897	0.512475	0.526940	0 707433
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.12	37,333553	0.1010300	44.0007	200.702			0.13502037	0.512475	0.520340	0.707403
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.13	37.333553	0.3501601	44.0207	222.294			0.13526207	0.512400	0.565447	0.707704
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.14	38.204366	8.5222584	40.5088	208.616			0.13490261	0.512458	0.645879	0.707995
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.15	39.094268	8.6980094	48.3468	195.685			0.13455027	0.512450	0.714870	0.708307
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.16	40.003909	8.8775559	50.1621	183.468			0.13420477	0.512442	0.791127	0.708643
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.17	40.933969	9.0610268	52.0157	171.934			0.13386582	0.512434	0.875430	0.709004
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.18	41.885162	9.2485565	53.9091	161.051			0.13353316	0.512426	0.968643	0.709392
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.19	42.858233	9.440286	55.8436	150.79			0.13320652	0.512419	1.071723	0.709808
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.2	43.853967	9.6363631	57.8205	141.123			0.13288566	0.512412	1.185729	0.710257
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.21	44 873184	9 8369424	59 8413	132 022			0 13257034	0 512404	1 311830	0 710738
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.22	45 916745	10 042186	61 9077	123.46			0 13226032	0 512398	1 451316	0 711257
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.22	46 085556	10.252266	64 0212	115 / 12			0 1310554	0.512301	1.605600	0 711814
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.23	40.303330	10.232200	66 1025	107.952			0.1318553	0.512391	1.776272	0.711014
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.24	40.000307	10.407359	00.1035	107.000			0.13105555	0.512364	1.770272	0.712413
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.25	49.202779	10.687654	68.3965	100.759			0.13135998	0.512378	1.965023	0.713057
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.26	50.353244	10.913349	70.662	94.108			0.13106908	0.512371	2.173745	0.713749
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.27	51.533068	11.144651	72.982	87.8765			0.13078246	0.512365	2.404493	0.714492
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.28	52.74342	11.381781	75.3586	82.0438			0.13049995	0.512359	2.659509	0.715290
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.29	53.985529	11.624968	77.794	76.5893			0.13022135	0.512353	2.941227	0.716147
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.3	55.260694	11.874457	80.2904	71.4933			0.12994649	0.512347	3.252281	0.717065
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.31	56,570287	12,130503	82,8504	66,7369			0.12967522	0.512341	3,595507	0.718048
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.32	57 915756	12 393378	85 4766	62 3019			0 12940735	0.512336	3 973946	0 719101
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.33	50 208633	12.663360	88 1715	58 1708			0 1201/27/	0.512330	4 300837	0 720225
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.33	60 720641	12.000000	00.1713	50.1700			0.12014274	0.512330	4.0300007	0.720225
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.34	60.720541	12.940779	90.9361	54.3200			0.12000122	0.512325	4.649607	0.721425
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.35	62.183197	13.225929	93.7795	50.754			0.12862265	0.512319	5.353860	0.722704
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.36	63.688425	13.519159	96.6988	47.4368			0.12836686	0.512314	5.907343	0.724063
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.37	65.238157	13.82083	99.6995	44.3607			0.12811373	0.512309	6.513923	0.725505
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.38	66.834449	14.131324	102.785	41.5114			0.12786309	0.512304	7.177535	0.727031
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.39	68.479483	14.451048	105.96	38.8756			0.12761481	0.512299	7.902133	0.728643
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.4	70.175585	14.780435	109.227	36.4403			0.12736875	0.512294	8.691624	0.730339
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.41	71.925231	15.119946	112.591	34.1932			0.12712477	0.512289	9.549789	0.732118
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.42	73 731062	15 47007	116 058	32 1227			0 12688273	0 512285	10 480205	0 733978
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.00	0.42	75 5050	15 831332	110.000	30 2175			0.1266425	0.512280	11 486148	0.735014
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.43	77 50076	16 204201	102.001	20 467			0.1200423	0.512200	12 570404	0.733314
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.44	70 514067	10.204291	123.310	20.407			0.12040393	0.512275	12.370494	0.737922
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.45	79.514667	10.569544	127.119	20.0011			0.1201009	0.512271	13.735031	0.739993
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.46	81.575678	16.987732	131.045	25.3901			0.12593127	0.512267	14.983359	0.742121
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.47	83.708904	17.399541	135.102	24.0449			0.1256969	0.512262	16.314813	0.744295
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.48	85.918527	17.825707	139.295	22.8168			0.12546365	0.512258	17.730406	0.746504
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.49	88.208833	18.267022	143.633	21.6975			0.1252314	0.512254	19.229781	0.748734
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.5	90.584439	18.724336	148.122	20.6794			0.12499999	0.512250	20.811816	0.750973
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.51	93.050326	19.198569	152.773	19.7549			0.12476929	0.512246	22.474642	0.753205
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.52	95.611873	19.690711	157.594	18.9172			0.12453915	0.512242	24.215718	0.755417
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.53	98.274903	20.201832	162.594	18.1596			0.12430942	0.512238	26.031930	0.757592
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.54	101.04573	20,733093	167.786	17.4759			0.12407996	0.512234	27,919737	0.759718
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.55	103 9312	21 285751	173 179	16 8604			0 12385062	0.512230	29 875340	0 761778
0.4	0.05	0.8	Ő	0	0.1	0.05	0.56	106 93876	21 861172	178 788	16 3074			0.12362122	0.512227	31 894885	0.763763
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.00	0.57	110 07655	22.460845	184 626	15 8110			0.12330161	0.512227	33 07/670	0.765658
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.57	110.07035	22.400645	104.020	10.0119			0.12339101	0.512223	33.974070	0.705058
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.58	113.35343	23.086392	190.707	15.369			0.12316162	0.512219	36.111368	0.767456
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.59	116.77909	23.739586	197.049	14.9742			0.12293107	0.512216	38.302236	0.769149
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.6	120.36419	24.422369	203.668	14.6233			0.12269977	0.512212	40.545321	0.770730
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.61	124.1204	25.136873	210.586	14.3122			0.12246754	0.512209	42.839638	0.772196
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.62	128.06062	25.885444	217.822	14.0373			0.12223416	0.512206	45.185328	0.773546
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.63	132.19905	26.670666	225.401	13.7953			0.12199942	0.512202	47.583790	0.774779
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.64	136.55144	27.495402	233.35	13.5828			0.12176309	0.512199	50.037792	0.775898
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.65	141.13527	28.36282	241.697	13.397			0.12152493	0.512196	52.551555	0.776905
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.66	145.97	29.276448	250.474	13.2351			0.12128469	0.512192	55.130827	0.777806
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.67	151.07737	30,240218	259 717	13.0947			0.12104208	0.512189	57,782953	0.778605
0.4	0.05	0.8	ñ	ň	0.1	0.05	0.69	156 48174	31 25853	269 467	12 9733			0 1207969	0.512186	60 516030	0 770310
0.4	0.05	0.0	ñ	0	0.1	0.05	0.00	162 210/0	32 336325	270 767	12 960			0.1205/854	0.512100	63 343233	0.770026
0.4	0.00	0.0	0	0	0.1	0.05	0.09	168 20452	33 470160	200 660	12.009			0.12004004	0.012100	66 275224	0.119920
0.4	0.05	0.8	0	U	0.1	0.05	0.7	100.29453	33.479169	290.009	12.7797			0.12029694	0.512180	00.2/5324	0.780462
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.71	1/4.76888	34.693359	302.23	12.7036			0.12004162	0.512177	69.326879	0.780924
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.72	181.67337	35.986049	314.514	12.6393			0.11978217	0.512174	72.514921	0.781320
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.73	189.05353	37.365398	327.595	12.5851			0.11951813	0.512171	75.858564	0.781656
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.74	196.96163	38.840761	341.557	12.5397			0.119249	0.512168	79.379629	0.781939
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.75	205.45803	40.422913	356.497	12.5021			0.11897422	0.512165	83.103051	0.782176
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.76	214.61273	42.12434	372.526	12.4711			0.11869316	0.512162	87.057408	0.782372
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.77	224.5075	43.959587	389.775	12.4457			0.11840513	0.512159	91.275605	0.782534
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.78	235.23843	45.945715	408.396	12.4251			0.11810934	0.512157	95.795753	0.782665
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.79	246,91921	48,102872	428 567	12,4086			0.1178049	0.512154	100.662312	0.782771
0.4	0.05	0.8	ñ	ň	0.1	0.05	0.79	259 68545	50 455032	450 503	12 3955			0 11749079	0.512154	105 927571	0 782855
	0.00	0.0	0	0	0.1	0.00	0.0	_00.00040	555000Z		.2.0000		0.000440	5	3.312101		002000

-00 //

### Résultats d'un vieillissement de 6Ma des premieres syénites modélisées au travers de l'AFC précédente ; considérant un rapport moyen 87Rb/86Sr de 40 et un rapport 147Sm/144Nd moyen de 0,1

0.512590	0.708828
0.512578	0.708955
0.512567	0.70909
0.512556	0.709237
0.512546	0.709393
0.512535	0.70955
0.512525	0.70973
0.512516	0.70992
0.512506	0.71013
0.512497	0.71035
0.512488	0.71058

\* \* \* \* \* \* \* \* \* \* \*

Voir figure 6.12

Annexe n°14 : Données de l'étude isotopique (suite) c) AFC / Assimilation des premieres syénites vieillies

Une seconde AFC est réalisée afin de modéliser les compositions isotopiques des liquides syénitiques récents ayant assimilées une partie les roches vieillies de 6 Ma. Les concentrations correspondent aux moyennes des syénites et leur compositions isotopiques est calqué sur la premiere modélisation AFC (voir page precedente - entre les liquides basaltiques alcalins et le gneiss) Les résultats forment les différentes courbes en pointillée de la figure 6 r.2. Cette modélisation permet donc d'expliquer les compositions du SRBIC les plus radiogéniques en Sr par dees processus d'AFC.

									Concent	rations				Résulta	ts d'AFC	
r	CPX	PLG	OL	OPX	AMPH	QTZ	f	Nd	Sm	Rb	Sr	87Sr/86Sr 143Nd/144Nc	147Sm/144Nc	43/144Nd	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
								80	10	220	2	0.705419 0.512586				
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0001	80.008796	10.001252	220.01846	2.0293684		0.0755977	0.512586	313.614135	0.705471
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0101	81 80169	10.12/08/	221.8809	4.8900108		0.0759261	0.512586	94 011612	0.707515
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0301	82.723965	10.387345	225.70691	10.22377		0.075939	0.512586	63.877826	0.708270
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0401	83.664144	10.520904	227.67242	12.696125		0.0760511	0.512586	51.887327	0.708405
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0501	84.622765	10.657015	229.67428	15.047222		0.0761623	0.512586	44.165361	0.708492
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0601	85.600392	10.795753	231.71355	17.281826		0.0762727	0.512586	38.796286	0.708553
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0701	86.597608	10.937198	233.79135	19.40456		0.0763822	0.512586	34.862209	0.708598
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0801	87.615023	11.081433	235.90884	21.419911		0.0764908	0.512586	31.868253	0.708632
0.4	0.05	0.8	Ő	0	0.1	0.05	0.1001	89.713021	11.37862	240.26771	25.145746		0.0767054	0.512586	27.648060	0.708681
												0.708828 0.512590				
										-						
r	CPX	PLG	OL	OPX	AMPH	QTZ	f	Nd	Sm 10	Rb	Sr	87Sr/86Sr 143Nd/144N	147Sm/1441	143/144Nd	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0001	00	10 00127	220 01865	2 026037	0.705683 0.512563	0.0755073	0 512563	314 139000	0 705720
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0101	80.906181	10.129452	221.89991	4.5670654		0.0757171	0.512563	140 576054	0.707684
0.4	0.05	0.8	ō	0	0.1	0.05	0.0201	81.820536	10.260007	223.8149	6.9871535		0.0758359	0.512563	92,683646	0.708225
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0301	82.752459	10.393005	225.76458	9.2909108		0.0759538	0.512563	70.310900	0.708477
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0401	83.702472	10.528517	227.74994	11.482815		0.0760709	0.512563	57.390664	0.708624
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0501	84.671121	10.666616	229.77203	13.567217		0.076187	0.512563	49.005156	0.708719
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0601	85.658973	10.807382	231.83191	15.54834		0.0763022	0.512563	43.144697	0.708786
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0701	86.66662	10.950894	233.93071	17.430283		0.0764165	0.512563	38.834985	0.708835
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0801	87.694678	11.097237	236.06958	19.217024		0.0765299	0.512563	35.546419	0.708873
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0901	88.743789	11.246497	238.24976	20.912423		0.0766424	0.512563	32.966388	0.708903
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.1001	09.014022	11.390/07	240.4723	22.320221	0 709091 0 512567	0.0767539	0.512563	30.898474	0.708928
												0.705051 0.512507				
r	CPX	PLG	OL	OPX	AMPH	QTZ	f	Nd	Sm	Rb	Sr	87Sr/86Sr 143Nd/144N	147Sm/1441	143/144Nd	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
								80	10	220	2	0.705985 0.512542				
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0001	80.008984	10.001289	220.01884	2.0230212		0.075597	0.512542	314.615707	0.706025
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0101	80.915929	10.131388	221.91961	4.2697286		0.075722	0.512542	150.381885	0.707888
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0201	81.840121	10.263895	223.85447	6.4095038		0.0758461	0.512542	101.056731	0.708448
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0301	82.782009	10.398881	223.82437	0.4404220		0.0759692	0.512542	77.363007	0.708717
0.4	0.05	0.0	0	0	0.1	0.05	0.0401	84 721372	10.550419	220 87330	12 227415		0.0760914	0.512542	54 400202	0.708876
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0601	85 719851	10.819455	231 95464	13 979069		0.0763328	0.512542	48 014710	0.700373
0.4	0.05	0.8	ő	ő	0.1	0.05	0.0701	86.738338	10.965112	234.0752	15.643031		0.0764521	0.512542	43,299851	0.709107
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0801	87.777456	11.113643	236.23627	17.222819		0.0765704	0.512542	39.691365	0.709149
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.0901	88.837853	11.265135	238.43906	18.721844		0.0766877	0.512542	36.853937	0.709183
0.4	0.05	0.8	0	0	0.1	0.05	0.1001	89.920206	11.419682	240.68485	20.143414		0.076804	0.512542	34.575775	0.709210
												0 709393 0 512546				
												0.100000 0.012010				
												0.100000 0.012010				
r	CPX	PI G	OL	OPX	AMPH	017	f	Nd	Sm	Rb	Sr	87Sr/86Sr 143Nd/144N	147Sm/144	143/144Nd	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
r	CPX	PLG	OL	OPX	AMPH	QTZ	f	Nd 80	Sm 10	Rb 220	Sr 2	87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/1441	143/144Nd	87Rb/86Sr	87Sr/86Sr
r 0.4	CPX 0.05	PLG 0.8	OL 0	OPX 0	AMPH 0.1	QTZ 0.05	f 0.0001	Nd 80 80.009083	Sm 10 10.001309	Rb 220 220.01904	Sr 2 2.0202968	87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144N 0.0755967	143/144Nd 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756	87Sr/86Sr 0.706366
r 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05	PLG 0.8 0.8	OL 0 0	OPX 0 0	AMPH 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05	f 0.0001 0.0101	Nd 80 80.009083 80.926068	Sm 10 10.001309 10.133399	Rb 220 220.01904 221.94006	Sr 2 2.0202968 4.001122	87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144N 0.0755967 0.0757272	143/144Nd 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132
r 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05	PLG 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0	OPX 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05	f 0.0001 0.0101 0.0201	Nd 80 80.009083 80.926068 81.86049	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698	87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144№ 0.0755967 0.0757272 0.0758567	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709
r 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0	OPX 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301	Nd 80 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334	87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852	0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301 0.0401	Nd 80 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038	87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127	0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709166
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501	Nd 80 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 229.97857	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072	875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144h 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.0762391	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709166 0.709279
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501 0.0601	Nd 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.912928	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.631998	Rb 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143	875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/1441 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.0762391 0.0763645 0.0763645	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709166 0.709279 0.709360
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501 0.0601 0.0701 0.0801	Nd 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.883548	Sm 10 10.001309 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.831998 10.979885	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924	Sr 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304	875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/1441 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.0762391 0.0763645 0.0764889 0.0764889	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.261036	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709166 0.709279 0.709360 0.709426
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501 0.0601 0.0701 0.0801 0.0901	Nd 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 88.935683	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.831998 10.979885 11.130689 11.284501	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 238.6355	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16 74293	875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/1441 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.076182 0.0763645 0.0763645 0.0764889 0.0766123 0.0767346	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708995 0.709166 0.709279 0.709360 0.709460 0.709420 0.709460 0.7094503
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301 0.0501 0.0601 0.0601 0.0801 0.0901 0.1001	Nd 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.831998 10.879885 11.130689 11.284501 11.441413	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.7421304 16.74293 17.996268	875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521	147Sm/144 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0758852 0.0762391 0.0762391 0.07663645 0.0766489 0.0766123 0.07667346 0.0767346	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709166 0.709279 0.709360 0.709420 0.709420 0.709440 0.709503 0.709503
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0401 0.0501 0.0601 0.0701 0.0801 0.0901 0.1001	Nd 80 80.009083 80.026068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017	Sm 10 10.001309 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.831998 10.979885 11.130689 11.284501 11.441413	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 239.07857 232.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16.74293 17.996268	0.70630 0.512521 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525	147Sm/1441 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.0762391 0.07663645 0.0764889 0.0766123 0.076856	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522	87Rb/86Sr 315.050756 160.490064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709166 0.709279 0.709360 0.709420 0.709420 0.709450 0.709533
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0501 0.0601 0.0701 0.0801 0.0901 0.1001	Nd 80 80.92608 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017	Sm 10 10.001309 10.267935 10.404987 10.68694 10.68198 10.979885 11.130689 11.284501 11.441413	Rb 220 220.01904 223.89553 225.88642 227.91375 232.082 234.22515 236.4024 236.4024 236.40352	Sr 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.0835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16.74293 17.996268	0.706360 0.512521 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525	147Sm/1441 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.0762391 0.0763645 0.0764889 0.0766123 0.0766123 0.07667346 0.076856	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709360 0.709279 0.709360 0.709420 0.709460 0.709503 0.709533
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0701 0.0801 0.0901 0.1001	Nd 80.009083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 89.935683 90.030017 Nd 80.935683 90.030017	Sm 10 10.001309 10.287935 10.404987 10.58694 10.68694 10.68194 10.681998 11.130689 11.284501 11.441413 Sm 10	Rb 220 220.01904 223.89553 225.88642 227.91375 232.082 234.22215 234.22215 236.40924 238.6355 240.90522 Rb 220 200 200 200 200 200 200 200 200 20	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.8876698 7.8835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 16.74293 17.996268 Sr 2	0.706360 0.512515 875//86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875//86Sr 143Nd/144N 9.709756 0.515525	147Sm/1441 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.0762391 0.0764889 0.0764889 0.0766123 0.0767346 0.076856	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512522	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 38.737692 87Rb/86Sr	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708799 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709533 87Sr/86Sr
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0301 0.0501 0.0501 0.0701 0.0801 0.0901 0.1001 f	Nd 80 80.099083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 89.0330017 Nd 80.030017	Sm 10 10.001309 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.831998 11.284501 11.424501 11.441413 Sm 10 0.011329	Rb 220 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 239.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522 Rb 220 220.01095	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876688 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16.74233 17.996268 Sr 2.017841	0.709738 0.512525 875//865r 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875//865r 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.0759852 0.076139852 0.076139 0.0761239 0.07663645 0.0766423 0.07667346 0.0766566 147Sm/144 <sup>1</sup>	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709895 0.709166 0.709279 0.709360 0.709466 0.709503 0.709533 87Sr/86Sr
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0601 0.0701 0.0801 0.1001 f 0.0001	Nd 80 80,009083 80,926068 81,86049 82,812865 83,783727 84,773635 85,783167 86,812928 87,863548 90,030017 Nd 80,009187 80,936622	Sm 10 10.001309 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.31998 11.284501 11.441413 Sm 10.001329 10.1013549	Rb 220 221,94006 223,89553 225,88642 229,97857 232,082 234,22515 240,90522 240,90522 Rb 220,01925 221,96135	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 11.017072 14.028474 15.421304 16.74293 17.996268 Sr 2 2.017841 3.7589992	0.709738 0.512525 0.709738 0.512525 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144F 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761427 0.0763291 0.076346 0.076346 0.076346 0.0767346 0.076556 147Sm/144F	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512502	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.85500	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709279 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 87Sr/86Sr 0.709533
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0401 0.0501 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0201	Nd 80 80.099083 80.926068 81.86049 82.812865 83.783727 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017 Nd 80.009187 80.396622 81.818169	Sm 10 10.001309 10.287935 10.404987 10.54463 10.68694 10.31998 10.379885 11.130689 11.284501 11.284501 11.244113 Sm 10 10.001329 10.13549 10.272135	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 234.22515 234.0924 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522 Rb 220.01925 221.9613 223.93818	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.876698 7.6835334 13.07072 12.56143 14.028474 15.421304 16.74293 17.996268 Sr 2.2017841 3.7589992 5.417287	0.70630 0.51251 875//86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875//86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.07552967 0.07552867 0.07582607 0.0768122 0.0768123 0.0768489 0.07664123 0.0767846 0.0767856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.0755964	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512502 0.512502	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708995 0.709160 0.709279 0.709360 0.709420 0.709446 0.709533 87Sr/86Sr 0.706758 0.706758 0.706424 0.709612
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0501 0.0601 0.0601 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301	Nd 80 80.009083 81.86049 82.812866 83.783727 86.812928 87.853548 89.95683 90.030017 Nd 80.009187 80.936622 81.881693 82.844921	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.68594 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10 10.001329 10.272135 10.241336	Rb 220 (1904) 221,94006 223,88953 225,88642 227,91375 229,97857 232,082 234,22215 236,40224 236,4024 236,4024 236,4025 240,90522 Rb 220,01925 221,96108 223,93818 225,95006	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16.794298 17.966268 Sr 2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628	0.706360 0.51251 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.0759850 0.0768127 0.0762391 0.0766123 0.0766123 0.0766734 0.0766734 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.0755964 0.07559867 0.07563867	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 44.361306 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 315.446572 110.855091 119.617388	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709290 0.709290 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709533
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0501 0.0601 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0001 0.0201 0.0201 0.0301	Nd 80 80,009083 80,926068 81,86049 82,812865 83,783727 84,773635 85,783167 86,812928 87,785348 88,935683 90,030017 Nd 80,099187 80,936622 81,881693 82,844921 83,826844921	Sm 10 10.001309 10.27935 10.404987 10.54463 10.68694 10.431998 11.284501 11.441413 Sm 10.01329 10.01329 10.272135 10.41336	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 232.022 234.22515 236.40924 236.40924 236.40925 240.90522 Rb 220.01925 221.9613 223.93818 225.95086 228.00039	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.8376698 7.0835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 16.74293 17.996268 Sr 2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.99556228 8.4977952	0.709738 0.512525 0.709738 0.512525 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761427 0.076342391 0.0763464 0.076346 0.0767346 0.0767346 0.07655664 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502	87Rb/86Sr 315.050766 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 44.361936 87Rb/86Sr 315.446572 315.466572 315.44672 315.44672 315.44672 315.44672 315.44672 315.44672 315.44672 315.44672 315.44672 315.446772 315.446772 315.446772 315.4	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709379 0.709379 0.709420 0.709420 0.709450 0.709450 0.709503 0.709503 87Sr/86Sr 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.706918 0.709318 0.709318
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0701 0.0801 0.0801 0.1001 f 0.0001 0.0001 0.0201 0.0201 0.0201 0.0201 0.0201	Nd 80.009083 81.86049 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 80.030017 Nd 80.030017 Nd 80.009187 80.36622 81.881693 81.881693 81.881693 82.844921 83.826448	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.267935 10.26463 10.68894 10.38198 10.379885 11.284501 11.441413 Sm 10.001329 10.13549 10.272135 10.272135 10.272135	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 234.22515 234.0924 234.22515 234.0924 238.6355 240.90522 Rb 220.01925 221.9613 223.93818 225.95086 223.0039	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 Sr 2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9250648	0.70630 0.51252 875//86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875//86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.07587272 0.07588567 0.0758965 0.0762391 0.07683645 0.0766123 0.0766123 0.076656 147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758961 0.0768950 0.0768950 0.0768950 0.0758961 0.0768950 0.0758950 0.076895000000000000000000000000000000000000	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 53.46437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388 93.461682 77.642227 67.079500	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709950 0.709450 0.709450 0.709420 0.709503 0.709503 0.709503 87Sr/86Sr 0.706758 0.706424 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0601 0.0601 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501	Nd 80 80.009083 81.86049 82.812865 83.783727 86.812928 87.85348 88.935683 90.030017 Nd 80.039187 80.036622 81.881693 82.844921 83.826848 84.828036	Sm 10 10.001309 10.133399 10.667935 10.64634 10.68694 10.68694 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10 10.001329 10.2135 10.01349 10.22135 10.41336 10.54504	Rb 220 (2) 220 (2) 221,94006 223,8953 225,88642 227,91375 229,97857 232,082 234,2024 234,2024 236,4024 236,4024 236,4024 236,4024 220,01925 221,9613 223,93818 223,95066 228,00039 230,08782 230,00782	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876699 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 17.996268 Sr 2.2017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9260648 11.283565	0.70630 0.512521 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.0759850 0.0768127 0.076826 0.0766123 0.0766123 0.0766734 0.0766734 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755364 0.0758567 0.07563867 0.07601347 0.07601347 0.0762666 0.0763384	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.51	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 44.361306 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388 93.461642 77.642227 67.079500 59.555255	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7099166 0.709326 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709431 0.706758 0.706424 0.709016 0.709016 0.709016 0.709016 0.709016 0.709016 0.709016
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0401 0.0501 0.0601 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501 0.0501 0.0501	Nd 80 80 80,099033 80,926068 81,86049 82,812865 83,783727 84,773635 85,783167 86,812928 87,785348 89,935683 90,030017 Nd 80,09187 80,093672 81,881693 82,844921 83,826848 84,828036 85,849074	Sm 10 10.001309 10.27935 10.404987 10.54463 10.68694 10.381998 11.284501 11.424501 11.424501 11.013549 10.272135 10.41336 10.453168 10.553168 10.6553168 10.845246	Rb 220 220.01904 221.94006 223.8953 225.88642 227.91375 229.9757 232.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522 Rb 220.01925 221.9613 223.93818 225.95086 228.0039 230.08782 234.38008782	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.876698 7.0835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 16.74293 17.996268 Sr 2.017841 3.7589992 5.417287 6.99556228 8.4977952 9.9260648 11.283565	0.709738 0.512525 0.709738 0.512525 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144P 0.0755967 0.0757272 0.0758850 0.0759852 0.0761427 0.0763291 0.076346 0.076346 0.0766123 147Sm/144P 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.07563677 0.0760374 0.0766374	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512522 0.512502 0.512	87Rb/86Sr 315.050766 160.496064 110.03653 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 44.361936 87Rb/86Sr 315.446572 315.446572 315.446572 315.446572 717.0855061 119.617388 93.461682 77.642227 67.079590 59.555265 53.946096	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709379 0.709379 0.709420 0.709420 0.709420 0.709450 0.709503 0.709503 0.709503 0.709503 0.709675 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.709016 0.709318 0.7099318 0.709925 0.7099318 0.7099318 0.7099318
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0701 0.1001 f 0.0001 0.1001 f 0.0201 0.0201 0.0201 0.0201 0.0501 0.0501	Nd 80 80.09063 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783767 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017 Nd 80.009187 80.936622 81.881663 82.844921 83.826448 84.828036 85.849074 86.89075 86.9953164	Sm 10 10.001309 10.267935 10.267935 10.267935 10.26463 10.68694 10.38198 10.97985 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10 10.001329 10.13549 10.2272135 10.411336 10.55716 10.5697709 10.84504 10.995246	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 229.97857 234.22515 234.22515 236.40224 236.40254 236.40252 240.90522 240.90522 221.9613 223.98088 228.95086 228.90039 228.95086 228.00039 230.08782 232.9427 234.88089	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 15.42130 17.996268 Sr 2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9220648 11.283565 12.573106	0.70636 0.51252 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758567 0.0759852 0.0761127 0.07683645 0.0766128 0.0766128 0.076656 147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0758077 0.075001347 0.075206 0.07683974 0.0756271 0.07683974	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512502 0.512	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361935 87.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.61738 93.461682 77.642227 67.079590 59.555265 53.946096 49.622570	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7098709 0.709970 0.709420 0.709420 0.709420 0.709460 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709503 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709512 0.709513 0.709512 0.709512 0.709513 0.709512 0.709512 0.709512 0.709513 0.709513 0.709512 0.709512 0.709513 0.709713 0.709717 0.709715 0.709715 0.709715 0.709715 0.709715 0.709715 0.709715 0
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0301 0.0401 0.0501 0.0601 0.0501 0.0601 0.0601 0.0501 0.0601	Nd 80 80.009083 81.86049 82.812865 83.783727 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017 Nd 80.039187 80.039187 80.039187 80.038622 81.81693 82.844921 83.826848 84.828036 85.849074 85.849074 85.849075	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404987 10.54463 10.68694 10.331998 10.279885 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10 10.001329 10.272135 10.41134 10.44134 10.5453168 10.697709 10.2453168 10.84574 11.148415 11.304637	Rb 220 220.01904 221.94006 223.88642 227.91375 228.98642 234.222175 236.40224 236.40224 236.40224 236.40224 236.40224 220.01925 220.01925 221.9613 223.93818 225.95066 228.00039 230.08782 233.21427 234.38089 230.28782 236.58889 238.83952	Sr 2 2.022968 4 .001122 5.8876699 7.6835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 17.996268 Sr 2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9260648 11.283565 12.573106 13.3797414 14.9595131	0.70630 0.512521 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.0759850 0.0761127 0.0762391 0.0766132 0.0766132 0.0766734 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.07585867 0.07653867 0.07653867 0.076635867 0.07633 0.0765271 0.07663271 0.07663271	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.51	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 44.361306 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 710.855091 119.61738 93.46166S 73.464572 77.642227 67.079590 93.46166 53.946096 49.622570 49.622570	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709209 0.709360 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709424 0.709513 0.709510 0.709779 0.709851 0.709851 0.709851
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0501 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0201 0.0201 0.0201 0.0401 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0601 0.0701 0.0601	Nd 80 80,009083 80,926068 81,86049 82,812865 83,783727 86,812928 87,763548 88,935683 90,030017 Nd 80,0396622 81,881693 82,844921 83,826488 84,828036 85,849074 85,849057 87,953164 89,037517 90,144322	Sm 10 10.001309 10.27935 10.6463 10.68694 10.68694 10.68694 10.68694 11.130689 11.284501 11.441413 10.01329 10.272135 10.41336 10.553168 10.6553168 10.6553168 10.6553168 10.6553168 10.6553168 10.6553168 10.84504 11.304637 11.304637 11.304637	Rb 220 220.01904 221.94006 223.8953 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 236.40924 236.40924 221.9613 223.93818 225.95086 225.000872 228.00039 230.08782 232.21427 234.38089 236.88899 236.88889 236.88889 236.88899 236.88899 236.88899 236.88899 236.88899 236.88899 236.83892 241.13408	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.8376698 7.8835334 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 16.74293 17.996268 Sr 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.49777952 9.9260648 11.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823	0.700708 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0755722 0.07588567 0.0759852 0.0761127 0.0763845 0.0764889 0.0766123 0.0767346 0.0765364 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0756126 0.0761323 0.0761323 0.076133 0.0763974	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.51	87Rb/86Sr 315.050766 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 33.464437 48.315701 44.361306 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 315.446572 315.446572 33.46182 77.642227 67.079590 59.552526 53.946096 49.622470 46.204486 43.448675	87Sr/86Sr 0.706366 0.708709 0.708709 0.709925 0.709166 0.709279 0.709420 0.709420 0.709420 0.709430 0.709503 0.709533 87Sr/86Sr 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.709016 0.709318 0.709925 0.709913 0.709925 0.709779 0.709930 0.709930
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0601 0.0701 0.1001 f 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0201 0.0301 0.0201 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0201 0.0201 0.0201 0.0201 0.000100000000	Nd 80.009083 81.86049 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 80.030017 Nd 80.030017 Nd 80.009187 80.36622 81.881693 82.844921 83.826848 84.828036 85.849074 86.89075 87.953164 89.037517 90.144322	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.404985 10.68694 10.68694 10.31998 10.979855 11.130689 11.284501 11.441413 Sm 10.001329 10.13549 10.272135 10.411336 10.553168 10.553168 10.553168 10.595709 10.84504 10.995246 11.148404 11.304637 11.464009	Rb 220 220.01904 221.94006 223.8953 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 234.090522 234.6255 240.90522 280.0039 221.9613 223.93818 225.95086 228.00039 230.08782 232.21427 234.38089 236.8889 238.83952 241.13408	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.0835334 9.3922038 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 Sr 2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9250648 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823	0.70030 0.512521 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0758967 0.0758965 0.0758965 0.0762391 0.0762391 0.0766123 0.0766123 0.076656 147Sm/144 <sup>k</sup> 0.07655964 0.076856 0.076856 0.0768596 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0758964 0.0768301 0.0768394 0.0766588 0.07663894 0.0766588 0.07663894	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502 0.512502	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036555 53.46437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 19.617388 53.946096 53.946096 43.94682570 46.204486 43.448675	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709360 0.709360 0.709360 0.709420 0.709503 0.709503 0.709503 0.709503 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709503 0.709502 0.709
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0601 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301 0.0401 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0011 0.0011 0.0501 0.0011 0.05010000000000	Nd 80 80.009083 81.86049 81.86049 82.81286 83.783727 86.812928 87.783346 88.935683 90.030017 Nd 80 80.009187 80.936622 81.881693 82.844921 83.826848 84.828036 85.849074 86.89057 87.953164 89.037517 90.144322	Sm 10 10.267935 10.267935 10.267935 10.26935 10.26935 10.26935 10.26935 10.27985 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10.001329 10.272135 10.411336 10.553168 10.5453168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5553168 10.5555568 10.5555568 10.5555688 10.55556	Rb 220 (1904) 221,94006 223,89653 225,88642 227,91375 229,97857 232,082 234,22515 234,40294 238,6355 240,90522 241,9052 221,9508 228,95086 228,0039 228,95086 228,0039 230,08782 232,21427 234,38009 238,63895 234,113408	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 14.028474 15.42130 17.996268 17.996268 Sr 2.2017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9260648 11.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.660823 Sr	0.70030 0.51252 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 875r/86Sr 143Nd/144N	147Sm/144 <sup>h</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.07598567 0.0762321 0.076345 0.0764889 0.0766123 0.07667346 0.07667346 0.0768568 147Sm/144 <sup>h</sup> 0.0755964 0.0758687 0.0758687 0.0758687 0.0758687 0.0760394 0.0761347 0.0762268 0.0768374 0.07662271 0.07662271 0.0766997 147Sm/144 <sup>h</sup>	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 10.512522 143/144Nd 0.512502 0.5	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388 93.461685 53.946096 43.448675 87Rb/86Sr	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7098709 0.709980 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709503 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709513 0.709512 0.709513 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0301 0.0401 0.0401 0.0401 0.0401 0.0501 0.0401 0.0501 0.0501 0.0401 0.0401 0.0401 0.0401 0.0501 0.1001 0.1001 0.0501 0.1001 0.05010000000000	Nd 80 80.009083 81.86049 82.812865 83.783727 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017 Nd 80.009187 80.036822 81.81893 82.844921 83.26848 84.428036 85.849074 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 80.0528 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 86.89057 87.953164 87.953164 88.93568 87.953164 88.95568 87.953164 87.953167 87.953164 87.953164 87.953167 87.953164 87.953167 87.953164 87.953167 87.953167 87.953164 87.953167 87.95757 87.953167 87.95757 87.953167 87.95757 87.953167 87.95757 87.953167 87.95757 87.95757 87.95757 87.95757 87.95757 87.95757 87.957577 87.957577 87.9575777 87.9575777777777777777777	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.64634 10.68694 10.68694 10.68594 11.304699 11.284501 11.411413 Sm 10.001329 10.272135 10.41136 10.4553168 10.697709 10.2553168 10.695746 11.148415 11.304637 11.148409	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89653 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.40224 236.40224 236.40224 236.40244 238.6355 240.90522 221.9613 223.93818 225.95066 228.00039 230.08782 233.21427 234.38089 236.68889 236.68889 236.588952 241.13408	Sr 2 2,0202968 4,001122 5,8876699 7,0835334 10,01702 12,56143 11,017072 12,56143 11,017072 12,56143 17,996268 Sr 2,2017841 3,7589992 5,417287 6,9956622 8,4977952 9,9200648 11,283565 12,573106 13,797414 13,797414 11,283565 12,573106 13,797414 14,959131 16,060823 Sr 2,273106 14,959131 16,060823	0.70030 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.70180 0.512248	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.07588567 0.0759852 0.0761127 0.0763845 0.0764889 0.0766123 0.07667346 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.0758677 0.07653647 0.0765371 0.0760347 0.0765271 0.0766358 0.076833 0.0767333 0.076733 0.076997	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.51	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.03653 85.069973 70.219449 60.406045 31.5476 44.361305 44.361305 44.361305 44.361305 87Rb/86Sr 77.642227 67.079500 53.946096 49.622570 49.622570 87Rb/86Sr 87Rb/86Sr	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709366 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709421 0.709502 0.709421 0.709502 0.709421 0.709525 0.709421 0.709525 0.709421 0.709525 0.709421 0.709525 0.709421 0.709525 0.709421 0.709525 0.709424 0.709525 0.709424 0.709525 0.709425 0.709425 0.709425 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709426 0.709420 0.709450 0.70940000000000000000000000000000000000
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0601 0.0701 0.0801 0.0001 0.1001 f 0.0201 0.0401 0.0201 0.0401 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.001 0.001 0.1001 0.00000000	Nd 80 80,009083 80,926068 81,86049 82,812865 83,783727 84,773635 85,783167 86,812928 87,763548 83,935683 90,030017 Nd 80,09187 80,036622 81,861693 82,844921 83,826848 84,828036 85,82907 87,953164 86,9057 87,953164 86,9057 87,953164 80,007295 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,00755 81,007555 81,007555 81,0075555 81,0075555 81,007555555 81,00755555555555555555555555555555555555	Sm 10 10.001309 10.27935 10.64634 10.68694 10.68694 10.68694 10.68694 11.130689 11.284501 11.441413 10.01329 10.272135 10.41534 10.553168 10.653168 10.65376 10.45544 11.304637	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522 220.01925 221.9613 223.93818 225.95086 228.00039 230.08782 234.38089 236.2889 236.2889 236.2889 236.2889 236.2889 236.2889 236.2889 236.2889 236.2889 236.2897 236.2997 236.2997 246.2997 246.2997 246.2997 246.2977 24777 24777 247777 2477777777777777	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.8376698 7.0835334 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16.74293 17.996268 Sr 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 4.9977952 9.9260648 11.283565 4.977951 12.573106 13.797414 11.283565 3.757414 11.28356 3.757414 11.283565 3.757414 11.283565 3.757414 11.283565 3.757414 11.283565 3.757414 11.283565 3.757414 11.283565 3.757414 1.2575716 1.257574 1.257574 1.257576 1.257574 1.257576 1.25757774 1.25757777777777777777777777777777777777	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758850 0.0759850 0.0763945 0.0763945 0.076346 0.076346 0.076346 0.076346 0.076346 0.076346 0.076346 0.0755964 0.0755964 0.076018 0.0763267 0.0760018 0.0763267 0.0760018 0.076333 0.0766558 0.0766558 0.0767833 0.07655961	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512522 0.512522 0.512522 0.512502 0.512	87Rb/86Sr 315.050766 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388 93.461682 77.6422277 67.079590 59.55265 59.55265 87Rb/86Sr 315.84696 43.448675 87Rb/86Sr 315.806469	87Sr/86Sr 0.706366 0.708709 0.7098709 0.7098709 0.709925 0.709166 0.709279 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709533 87Sr/86Sr 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.7090310 0.709318 0.709713 0.709713 0.709713 0.709714 0.709625 0.709714 0.709924 0.709924 0.709924 0.709925 0.709713 0.709713 0.709713 0.709713 0.709713 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.709924 0.70929 0.70924 0.707209
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0601 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001	Nd 80 80.009083 81.86049 81.86049 82.81286 83.783727 86.812928 87.783348 88.935683 90.030017 Nd 80.039187 80.936622 81.881693 82.844921 83.826848 84.828036 85.849074 83.826848 84.828057 87.953164 89.037517 90.144322 Nd 80.009285 80.947617	Sm 10 10.267935 10.267935 10.267935 10.267935 10.26935 10.26935 10.26935 10.27985 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10.01329 10.13549 10.272135 10.411336 10.553168 10.5453168 10.5453168 10.5453168 10.5453168 10.5453168 10.5453168 11.148415 11.1484109 10.84544 10.94546 11.148415 11.1484109 10.84544 10.94546 10.645746 10.0457566 10.045756 10.045756 10.0457566 10.0457566 10.0457566 10.045	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89653 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.40224 238.6355 240.90522 240.90522 220.01925 221.9613 229.95066 228.0039 230.08782 232.21427 233.68009 238.63952 241.13408 Rb 220.012946 225.5508 238.83952 241.13408	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 14.028474 15.42130 17.996268 17.996268 7.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9260648 11.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 Sr 2.20156324 Sr 2.20156324 3.5412463 3.5412463	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 875r/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>h</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.0759850 0.0761127 0.0763345 0.0766128 0.0766128 0.07667346 0.07667346 0.076675964 0.0755964 0.0755964 0.0758677 0.0762271 0.0762271 0.07663974 0.07663974 0.07663974 0.07663974 0.0766997 147Sm/144 <sup>h</sup> 0.0755961 0.0755961 0.0755961	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 10.512522 143/144Nd 0.512502 0.5	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361935 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.61738 93.46168Sr 77.642227 76.642227 76.795500 59.555265 53.946096 49.622570 49.62570 4	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7098709 0.709360 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709503 0.709502 0.709616 0.709502 0.709616 0.709502 0.709620 0.709770 0.709620 0.707209 0.707209 0.707740 0.707720 0.707740 0.707720 0.707740 0.707740 0.707740 0.707720 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707740 0.707209 0.707740 0.7077740 0.7077740 0.707740000000000
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0401 0.0201 0.0401 0.0401 0.0401 0.0501 0.0401 0.0501 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.0601 0.00000000	Nd 80 80.009043 81.86049 82.812865 83.783727 86.812928 87.85384 88.935683 90.030017 80.936622 81.81693 82.844921 83.826448 84.428036 82.844921 83.826448 84.828037 87.953164 82.844921 90.037517 90.144322 Nd 80.092927 90.144322	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.64634 10.68694 10.68694 10.68594 11.304699 11.284501 11.411413 Sm 10.001329 10.272135 10.641304 10.95246 10.95246 10.95246 10.441304 11.1484109 Sm 10.001351 11.0137666 10.276566 10.417365	Rb 220 220.01904 221.94006 223.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22215 236.40924 236.40924 236.40924 220.01925 221.9613 223.93818 223.9218 230.03782 230.21427 234.38089 230.08782 230.21427 234.38089 236.48852 241.13408 Rb 220 220.01946 221.98338 221.98238 221.98338 221.98238 221.98338 221.98238 221.98338 223.98251 220.01946 220.01946 220.01946 220.2198438 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 221.98338 223.98251 222.98538 223.98251 223.98252 223.98252 223.98252 223.98252 224.982538 223.98252 224.982538 224.98252 225.98562 225.98562 226.98252 227.98252 227.98252 227.98252 227.98252 227.98252 228.98252 227.98252 227.98252 228.98252 227.98252 228.98252 227.98252 228.98252 228.98252 228.98252 228.98252 229.98252 220.98252 229.98252 29	Sr 2 2.022968 4 .001122 5.8876699 7.8835334 10.107072 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 7.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9956622 8.4977952 9.9200648 11.283565 12.573106 13.797414 13.797414 13.7894112 6.9956023 8.4977952 9.9200648 11.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 Sr 2.201565324 3.5412463 4.9942466 6.9374072	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.07588567 0.0759852 0.0761127 0.0763845 0.0766489 0.0766123 0.0766734 0.0766734 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.0768567 0.0768567 0.076635867 0.076635867 0.0766326 0.076733 0.076733 0.076733 0.076793 0.076793 0.0765961 0.07578961 0.07578792 0.07578792	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.51	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.03653 85.069973 70.219449 60.406045 33.464437 44.361305 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 77.642227 67.079500 53.946096 49.622570 87Rb/86Sr 87Rb/86Sr 315.806469 811.385286 812.8779850 10.255091 87Rb/86Sr 315.806469 813.85286 813.85286 813.85286 87Rb/86Sr 315.806469 813.85286 81	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708929 0.709166 0.709279 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709421 0.709502 0.709719 0.709825 0.709825 0.709825 0.709825 0.709826 0.709826 0.709826 0.709826 0.709826 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709827 0.709826 0.709290 0.709874 0.709290 0.709874 0.709376 0.709376 0.709376
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0601 0.0701 0.0801 0.0001 0.1001 0.0201 0.0001 0.0001 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0601 0.0001 0.1001 0.0001 0.1001 0.0001 0.0001	Nd 80.009083 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 87.863548 88.935683 90.030017 Nd 80.009187 80.936622 81.881693 82.844921 83.826848 84.828036 85.849074 88.49207 89.037517 90.144322 Nd 80.009295 80.947617 81.937617 90.144322 Nd 80.80.009295 80.947617 81.93783 82.878319 83.87177	Sm 10 10.001309 10.27935 10.6463 10.68694 10.68694 10.68694 10.68694 10.68694 11.130689 11.284501 11.441413 10.01329 10.272135 10.41534 10.553168 10.653168 10.653168 10.65375 11.304537 11.3045537 11.304557 11.30457 11.304	Rb 220 220.01904 221.94006 223.8953 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522 220.01925 221.9613 223.93818 225.95086 226.001925 224.901925 224.9413 223.93818 225.95086 226.90039 230.08782 234.38089 236.58889 236.58889 236.58889 236.58889 236.58889 236.28829 241.13408 Rb 220.01946 221.9838 223.98251 226.01785	Sr 2 2.0202966 4.001122 5.8376698 7.0835334 11.017072 12.56143 14.028474 15.421304 16.74293 17.996268 Sr 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 4.9977925 9.9260648 11.283565 4.997245 12.573106 13.797414 11.283565 3.757416 13.797414 11.283565 2.0156324 3.5412463 4.9942466 6.3774067 7.893406 4.9942466 6.3774067 7.893406	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0757272 0.07588507 0.07598507 0.0763945 0.0763452 0.0764889 0.0763346 0.076346 0.076346 0.076346 0.076346 0.0755964 0.0755964 0.0761018 0.076558 0.0766558 0.0766558 0.0766558 0.0767382 0.0765961 0.075382 0.075382	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512522 0.512522 0.512502 0.512484 0.512	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036555 53.46437 48.315701 87Rb/86Sr 315.446572 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 170.855091 170.655091 93.461682 77.642227 67.079590 49.622570 46.204486 43.448675 87Rb/86Sr 315.806469 181.385298 129.779850 102.559396 48.70276	87Sr/86Sr 0.706366 0.708709 0.708709 0.7098709 0.709925 0.709166 0.709279 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709533 87Sr/86Sr 0.706758 0.706758 0.706758 0.706758 0.709210 0.709318 0.709211 0.709318 0.70929 0.709779 0.709830 0.709830 0.709779 0.709830 0.709774 0.709904 87Sr/86Sr
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0601 0.0601 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0601 0.0501 0.0501 0.0501 0.0501 0.0601 0.00000000	Nd 80 80.009083 81.86049 81.86049 82.81286 83.783727 86.812928 87.783368 88.935683 90.030017 Nd 80.936622 81.86193 82.844921 83.826448 84.828036 85.849074 83.826448 84.828036 85.849074 80.9057 87.953164 89.037517 90.144322 Nd 80.009285 80.947617 81.903783 82.878319 83.871772 83.871772	Sm 10 10.267935 10.267935 10.267935 10.267935 10.26935 10.26935 10.26935 10.26935 10.27985 11.30689 11.284501 11.441413 Sm 10.001232 10.411336 10.55716 10.411336 10.55716 11.48415 11.304637 11.48409 Sm 10.417345 11.304637 11.48409 Sm 10.417543 10.001351 10.0137666 10.276506 10.276506	Rb 220 220 221,94006 223,98953 225,88642 227,91375 229,97857 232,082 234,2024 236,40924 236,40924 236,40924 220,01925 221,9613 223,95086 228,95086 228,0039 238,38089 238,38089 238,38052 241,13408 Rb 220,01946 221,9838 224,920,01946 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9414 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9413 221,9414 221,9414 220,01946 200,01946 200,01946 200,01946 200,01946 200,01946 200,01946 200,01946 200,01946 200	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.6835334 14.028474 15.42130 17.996268 17.996268 7.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9260648 1.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 Sr 2.20156324 3.5412463 4.9942466 6.3774067 7.6934094 8.9487952	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 875r/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.07598567 0.0762321 0.0762321 0.076345 0.0766127 0.0766127 0.07667346 0.07667346 0.0756964 0.0755964 0.0755964 0.07563974 0.0762271 0.0762276 0.0768374 0.0766374 0.0765271 0.07663974 0.0765961 0.0766997 147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755961 0.075782 0.0756783 0.07659782 0.0765792 0.0765177 0.076271577 0.076275	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512502 0.512484 0.512	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388 93.46168Sr 77.642227 76.795500 93.461685 53.946096 43.448675 87Rb/86Sr 315.806469 181.385298 129.779850 102.559396 85.797259 74.477447	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7098709 0.709360 0.709420 0.709420 0.709460 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709420 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709502 0.709513 0.709502 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709502 0.709574 0.709503 0.709574 0.709503 0.709574 0.709574 0.707209 0.708774 0.709376 0.709574 0.709576 0.709574 0.709576 0.709577 0
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0301 0.0501 0.0501 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0301 0.0401 0.0301 0.0401 0.0501 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001	Nd 80 80.009083 81.86049 82.812665 83.783727 86.812928 87.783348 88.935683 90.030017 Nd 80.039187 80.036622 81.881693 82.844921 83.826848 84.628036 84.828036 85.849074 86.90057 87.953164 89.037517 90.144322 Nd 80.09295 80.037617 90.144322	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.68694 10.68694 10.68694 10.68194 11.30089 11.284501 11.411413 Sm 10.001329 10.272135 10.41136 10.553168 10.697709 10.2553168 10.697709 10.41136 10.553168 10.697709 10.135616 10.137666 10.137666 10.1376760 10.137616 10.137617 10.137617 10.137617 10.137617 10.13777 10.137777 10.1377777 10.1377777777777777777777777777777777777	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89653 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 236.40924 236.40924 221.9613 223.93818 225.95086 220.01925 220.01925 221.9613 223.93818 225.95086 230.038782 230.2127 234.38089 230.08782 230.2137 234.38089 236.83952 241.13408 Rb 220 220.01946 221.98338 223.98251 226.01946 220.9824 221.98338 223.98251 226.01946 220.98348 223.98251 226.01946 220.98348 223.98251 226.01946 220.98344 232.98251 226.01946 220.99344 232.98251 226.01946 220.99344 232.98251 226.01946 220.99344 232.98251 226.01946 220.99344 232.98251 226.01946 220.99344 232.98251 226.01947 220.01946 220.99344 220.01946 220.01946 220.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.01947 200.0194	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876699 7.8835334 10.1027 12.56143 14.028474 15.42130 15.42130 15.42130 17.996268 Sr 2.2017841 3.7589992 5.417287 6.9956622 5.417287 6.9956625 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 Sr 2.20156324 3.5412463 4.9942486 6.3774067 7.6934094 8.944863	0.70030 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.075722 0.07588507 0.0759852 0.0761127 0.0763845 0.0764889 0.0766123 0.0766123 0.0767346 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.0768567 0.0761347 0.076358677 0.0761347 0.0765271 0.0766358 0.0768587 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.07655961 0.0767833 0.076997 147Sm/144 <sup>1</sup>	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512484 0.51	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.03653 85.069973 70.219449 60.406045 315.46437 44.36136 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 19.617388 93.46166Sr 33.46166Sr 49.622570 49.622570 49.622570 87Rb/86Sr 315.806469 181.385298 129.779850 120.559396 85.797259 74.477447 65.559396	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708709 0.709366 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709502 0.709719 0.709820 0.709779 0.709820 0.709720 0.709720 0.709520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.700520 0.70052000000000000000000000000000000000
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0	f 0.0001 0.0201 0.0301 0.0501 0.0601 0.0701 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0001 0.0001 0.0201 0.0301 0.0401 0.0301 0.0601 0.00000000	Nd 80.009083 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 86.812928 80.030017 Nd 80.030017 Nd 80.030017 Nd 80.030612 81.881693 82.844921 83.826448 84.828036 85.849074 85.864907 87.953164 89.037517 90.144322 Nd 80.009295 80.947617 81.903783 82.878319 83.871772 83.871773 83.8971773	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.267935 10.68694 10.33198 10.68694 11.30689 11.284501 11.414113 Sm 10.001329 10.13549 10.272135 10.411336 10.553168 10.9553168 10.9553168 10.995246 11.148415 11.304637 11.464009 0.003551 10.37666 0.417943 10.276505 0.027655 10.17666 10.276556 0.0276556 10.0276577 10.0276577 10.0276577 10.0276577 10.0276577 10.0276577 10.027677 10.027677 10.027677 10.027677 10.027677 10.027677 10.027677 10.027777 10.027777 10.027777 10.027777 10.027777 10.027777 10.027777 10.027777 10.027777 10.0277777 10.0277777 10.0277777 10.02777777 10.0277777777777777777777777777777777777	Rb 220 220.01904 221.94006 223.8953 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.22515 236.40924 238.6355 240.90522 221.9613 223.93818 225.95086 228.001925 224.9013 223.93818 225.95086 226.001925 224.921 234.38089 230.68889 236.58889 236.58889 236.28829 241.13408 Rb 220.01946 221.98231 228.01785 228.98044 229.88251 228.01785 228.89014	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876698 7.0835334 10.107072 12.56143 14.022474 15.42130 17.996268 37.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9250648 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 Sr 2 2.0156324 3.412463 4.9942466 6.3774067 7.8934094 8.9484663 3.0134319 11.264273	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144P 0.0755967 0.0758967 0.0758952 0.0758952 0.0762391 0.0762391 0.07683645 0.0766189 0.0766129 0.076656 147Sm/144P 0.0755964 0.076856 0.0768394 0.0766397 0.0766397 0.0766397 0.0766397 0.076658 0.0768397 0.076658 0.0767833 0.076658 0.0767833 0.076658 0.0767833 0.07665961 0.0755961 0.0755961 0.0755961 0.0755961 0.0756197 0.0766197 0.0766197 0.0766197 0.0766197 0.0766294316 0.07624316 0.0765431 0.07652941 0.07652941 0.07624316 0.0765431 0.0765431 0.0765431 0.07652961 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.076619 0.0766294 0.0765594 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0766294 0.0765	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512502 0.512484 0.512	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 35.059973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 170.855091 171.64738 93.461682 77.642227 67.079590 59.555265 53.946096 43.448675 87Rb/86Sr 315.806469 181.385298 129.779850 102.559396 85.797259 74.477447 60.350819 60.288656	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.709360 0.709360 0.709360 0.709420 0.709420 0.709460 0.709503 0.709503 0.709503 0.709503 0.709502 0.709424 0.709512 0.709502 0.709502 0.709713 0.709520 0.709713 0.709583 0.709594 0.709594 0.709964 0.709964 0.709964 0.709964 0.709964 0.709964 0.709684 0.709964 0.709964 0.709964 0.709694 0.709675 0.709694 0.709675 0.709694 0.709675 0.709694 0.709675 0.709695 0.709675 0.709695 0.709675 0.709695 0.70075 0.70075 0.70075 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.709675 0.70075 0.70057
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0601 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0301 0.0501 0.0501 0.0501 0.0601 0.0001 0.1001 f 0.0001 0.00000000	Nd 80 80.009083 81.86049 81.86049 82.812865 83.783727 86.812928 87.783364 88.935683 90.030017 Nd 80.039187 80.936622 81.861993 82.844921 83.826848 84.828036 85.849074 83.826848 84.828036 85.849074 80.037517 90.144322 Nd 80.092925 80.947617 81.903783 80.947617 81.903783 80.947617 81.903783 85.917738 86.971461 88.946528	Sm 10 10.267935 10.267935 10.267935 10.267935 10.26935 10.26935 10.26935 10.27985 11.30689 11.284501 11.441413 0.979885 11.30469 10.272135 10.001329 10.272135 10.411336 10.553168 10.54570 10.84504 10.84504 10.84504 10.001351 10.137666 10.276606 10.2777 10.58614 11.168620 11.1	Rb 220 220 221,94006 223,98953 225,88642 227,91375 223,422515 234,40224 238,6355 240,90522 241,9052 221,9613 223,95086 228,95086 228,0039 230,08782 231,21427 234,38089 238,83952 241,13408 Rb 220,011946 223,58889 238,83952 241,13408 Rb 220,011946 220,011946 220,011946 220,011946 220,011946 220,011946 220,011946 220,011946 220,011946 220,01195 228,01785 228,09044 230,20317 234,54276 234,54276 234,54276 234,54276 234,54276	Sr 2 2.022966 4 .001122 5.8876698 7.6835334 14.028474 15.42130 17.996268 17.996268 7.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9260648 0.9958023 8.4977952 9.9260648 1.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 Sr 2.0156324 3.5412463 3.5412463 4.9942466 6.3774067 7.6934094 8.944863 0.134319 11.264223 12.336969	0.70030 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 875r/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755967 0.0757272 0.0758867 0.07598567 0.0762391 0.0763945 0.0766127 0.0766126 0.0766128 0.07667346 0.07667346 0.07667346 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0755964 0.0766374 0.0766271 0.0762271 0.0766397 0.0766997 147Sm/144 <sup>k</sup> 0.0755964 0.075782 0.07659872 0.0756782 0.0765782 0.0765782 0.07661577 0.0762265 0.07664316 0.07656668 0.076764316 0.07656668	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512502 0.512484 0.512	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 85.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 119.617388 93.46168Sr 33.464572 87.079590 93.46168Sr 49.622570 46.204486 43.448675 87Rb/86Sr 315.806469 181.385298 129.779850 102.559396 85.797259 74.477447 44.77447 66.350819 60.258565 55.542945	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7098709 0.709360 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709503 0.709420 0.709502 0.709502 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709502 0.709513 0.709503 0.709513 0.709503 0.709503 0.709503 0.709513 0.709504 0.709504 0.709504 0.709504 0.709504 0.709505 0.709513 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0.709515 0
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	f 0.0001 0.0101 0.0201 0.0501 0.0501 0.0501 0.0901 0.1001 f 0.0001 0.0201 0.0401 0.0201 0.0401 0.0401 0.0501 0.0601 0.0601 0.0001 0.0001 0.0001 0.0201 0.0001 0.0201 0.0201 0.00000000	Nd 80 80.009083 81.86049 82.812665 83.783727 86.812928 87.85385 85.783167 86.812928 87.85384 88.935683 90.0300177 80.936622 81.881693 80.009187 80.936622 81.881693 82.844921 83.826448 84.628036 84.628036 89.037517 90.144322 Nd 80.09295 80.037617 90.144322 Nd 80.09275 80.037617 80.037617 80.37517 80.484714 83.871172 83.871172 84.884714 85.917738 86.971461 88.04628 89.143611	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.68694 10.68694 10.68694 10.68694 11.300699 11.284501 11.414141 Sm 10.001329 10.272135 10.41136 10.553168 10.957709 10.2533168 10.95246 11.148415 11.304637 11.464009 Sm 10.01351 10.01351 10.01351 10.01356 10.137666 10.276506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.277757 11.265506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.2776506 10.277757 11.265506 10.277757 11.265506 10.277757 11.265506 10.277757 11.265506 10.277757 11.275757 11.275757 11.275757 11.275757 11.275757 11.275757 11.275777 11.2757777 11.2757777777777777777777777777777777777	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89653 225.88642 227.91375 229.97857 232.082 234.4024 236.4024 236.4024 236.4024 220.01925 221.9613 223.93818 225.95066 228.0039 230.08782 232.21427 234.38089 236.28392 241.13408 Rb 220 220.01946 220.92388 238.83952 241.13408 Rb 220 220.01946 221.98338 238.23952 241.13408	Sr 2 2.0202968 4.001122 5.8876699 7.8835334 10.17027 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 7.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9956622 8.4977952 9.9260648 11.283565 12.573106 13.797414 14.959131 16.060823 7.573106 13.797444 4.959131 16.060823 7.573106 13.797444 4.959131 16.060823 7.76934094 8.9448683 6.3774067 7.76934094 8.9448683 10.13434199 11.264223 12.306969 11.264253 12.336487 12.	0.70030 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755967 0.0757272 0.07588567 0.0759852 0.0761127 0.0763845 0.0764889 0.0766123 0.0766123 0.0767346 0.076856 147Sm/144 <sup>1</sup> 0.0755964 0.0758677 0.0761347 0.0765271 0.07685867 0.07685271 0.0768587 0.07685867 0.0768587 0.0768587 0.0768587 0.0768587 0.0768587 0.0768587 0.0768587 0.0768587 0.0768586 0.07678792 0.076619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07619 0.07610 0.07619 0.076	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 143/144Nd 0.512502 0.512484 0.51	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.03653 85.069973 70.219449 60.406045 315.46437 44.36136 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 33.461662 77.642227 67.079500 59.552525 53.940096 49.622570 87Rb/86Sr 315.806469 817.806469 817.806469 813.385286 25.797299 74.477447 66.350819 60.258565 55.542945 51.802911	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.708709 0.709366 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709420 0.709502 0.709420 0.709502 0.709719 0.709825 0.709719 0.709826 0.709779 0.709826 0.709779 0.709826 0.709779 0.709826 0.709779 0.709826 0.709779 0.709826 0.707209 0.709826 0.707209 0.709844 0.700376 0.709376 0.709376 0.709694 0.709376 0.709694 0.709376 0.709694 0.709376 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709694 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709820 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709904 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.709799 0.709799 0.709904 0.709799 0.709904 0.70910 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.70010 0.700100 0.70010000000000
r 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4	CPX 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	PLG 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8	OL 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	OPX 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	AMPH 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1	QTZ 0.05 0	f 0.0001 0.0201 0.0201 0.0501 0.0601 0.0701 0.1001 0.0001 0.1001 0.0201 0.0001 0.0001 0.0201 0.0201 0.0201 0.00000000	Nd 80.009083 81.86049 82.812865 83.783727 84.773635 85.783167 86.812928 80.030017 Nd 80.030017 Nd 80.030017 Nd 80.030622 81.881693 82.844921 83.82648 84.828036 85.849074 83.82844921 83.82648 84.828036 85.849074 83.827819 90.144322 Nd 80.009295 80.947617 81.937819 83.871772 83.87819 83.871773 83.8781773 83.871773 83.871773 83.8484714 85.917461 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.8417173 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 83.871773 84.884714 85.91743 83.8717773 83.8717773 83.8717773 83.8717773 83.8717777777777777777777777777777777777	Sm 10 10.001309 10.133399 10.267935 10.267935 10.68694 10.33198 10.68694 11.30689 11.284501 11.414113 Sm 10.001329 10.13549 10.272135 10.411336 10.553168 10.955216 11.34594 10.955246 11.148415 11.304537 11.464002 Sm 10 10.001351 10.37666 0.417943 10.562054 10.7768814 11.07788514 11.0778514 1	Rb 220 220.01904 221.94006 223.89553 225.88642 229.97857 232.082 234.22515 234.22515 234.22515 240.90522 234.22515 221.9613 223.93818 225.95086 228.0039 232.93087 232.393818 233.08782 232.91427 233.08782 234.21427 234.38095 241.13408 Rb 220.01946 220.01946 221.98388 238.83952 241.13408 Rb 220.01946 223.98218 238.83952 241.13408 Rb 220.01946 223.98218 238.83952 241.13408 Rb 223.98218 238.83952 241.13408 Rb 223.98218 238.83952 241.13408 Rb 223.98218 238.83952 241.34517 233.5175 234.54276 234.5	Sr 2.2.022986 4.001122 5.8876698 7.0835334 11.017072 12.56143 14.028474 15.42130 17.996268 37.2 2.017841 3.7589992 5.417287 6.9958628 8.4977952 9.9250648 13.797414 14.959131 16.060823 9.9260648 13.797414 14.959131 16.060823 13.797414 14.959131 16.060823 13.797414 14.959131 16.060823 13.797414 14.959131 16.060823 13.797414 14.959131 16.060823 13.797414 14.959131 16.060823 13.797414 14.959131 16.060823 13.774067 7.9934094 3.9942468 3.0134319 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 12.335687 11.264223 11.264223 12.335687 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.264223 11.26423 11	0.700300 0.51213 875r/86Sr 143Nd/144N 0.706330 0.512521 0.709738 0.512525 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.706725 0.512502 0.710134 0.512506 87Sr/86Sr 143Nd/144N 0.707180 0.512484	147Sm/144P 0.0755967 0.0758967 0.0758952 0.0758952 0.0762391 0.07683645 0.0766129 0.0766129 0.076656 147Sm/144P 0.0755964 0.076856 0.076856 0.0768394 0.07685961 0.0768394 0.076858 0.0768394 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076858 0.076619 0.0758961 0.0758961 0.0758961 0.0758961 0.0758961 0.0758963 0.076819 0.076619 0.076619 0.076619 0.076619 0.076619 0.076619 0.076619 0.076619 0.076838 0.0767099 0.076619 0.076619 0.076838 0.076709 0.076838 0.076709	143/144Nd 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512521 0.512522 0.512522 0.512502 0.512484 0.512	87Rb/86Sr 315.050756 160.496064 110.036553 35.069973 70.219449 60.406045 53.464437 48.315701 44.361936 41.245095 38.737692 87Rb/86Sr 315.446572 170.855091 19.617388 93.461682 77.642227 67.079590 39.461682 87Rb/86Sr 315.806469 818.25570 46.204486 43.448675 87Rb/86Sr 315.806469 181.385298 129.779850 102.556356 55.542945 51.802911 48.78004	87Sr/86Sr 0.706366 0.708132 0.708709 0.7098709 0.7099360 0.709420 0.709420 0.709466 0.709503 0.709503 0.709503 0.709503 0.709502 0.709513 0.709502 0.709713 0.709502 0.709713 0.709904 87Sr/86Sr 0.709904 87Sr/86Sr 0.70209 0.709871 0.709904 0.709904 0.709971 0.709904 0.709971 0.709904 0.709971 0.709904 0.709971 0.709904 0.709971 0.709904 0.709971 0.709971 0.709904 0.709971 0.709904 0.709971 0.709904 0.709910 0.709991 0.700991 0.700929 0.700574 0.709991 0.700952 0.700574 0.709991 0.700574 0.700574 0.709991 0.700574 0.700574 0.700574 0.700574 0.700574 0.700574 0.700575 0.709910 0.700574 0.700574 0.700575 0.709910 0.700575 0.700575 0.700575 0.709713 0.709910 0.700575 0.

RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A REC L'Age 14 Ma L'A	CALCULE A Age Biblio	DOK 2017	
Latitude Latitude Latitude Latitude Aue Correction Mai Aue reference Not Doministic Construction Not Not Doministic Construction Not Not Not Not Not Not Not Not Not Not	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sample Name	(143wdr) 4446) initial resolution (143wdr) 4466) initial resolution Aver 14Mar L- Donnik Install resolution (RSS measured resolution (RSS Model) Initial resolution (RSS Model) Initial resolution (143wdh 4446) Initial resolution (StanMd 1446) Initial resolution	2280/224Pb 2280/224Pb 2280/224Pb 2280/224Pb 2005/204Pb minal 2005/204Pb mi	Interview 2016/2017 Interview	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Rampte Name Rampte Name Location Aue Correcton Ma) Ale Correcton Ma)
Besatt Basatt 34,42 115,4 115,4 115,4 115,4 115,6 115,	13 [10] Bunbury Basalt Bunbury Basalt Bunbury Basalt	0.172 0.172 0.704/022 0.704/022 0.022	0,127 0,028 0,028 0,028	42 122 230 0.704110 0.704110 0.704110 17.890 17.890 17.890 0.70052 0.0052	1 Bunbury Basat Bunbury Basat Sel713 
Basalt Basalt 115.4 115.4 115.4 115.4 115.4 115.4 115.7 115.7 117.5 117.	14 Bunbury Basetit Bunbury Basetit Bunbury Basetit 8 87719	0.194 0.194 0.194 0.2704 0.2704 0.2704 0.272 0.194 0.5122001 0.194	0.137 0.270450 0.037 0.037	3.9 3.0 2.55 3.0 2.55 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704389 0.704394 0.70449444 0.7044944 0.7044944 0.70449444444444444444444444444444444444	2 Banbury Baset Banbury Baset 9 68/12 9 58/12 9 58/12 153 153 157 157
Skeat Skeat	15 Innbury Basett Bunbury Basett Bunbury Basett s 80723	0.157 0.157 0.180 0.190	0.150 0.150 0.150	3.5 110.7 110.7 1180.0 1.8 18.001 18.001 18.001 18.001 18.001 18.001 18.001 18.001 18.001 18.001 19.272 0.197 0.197	3 Bunbury 5(10) Bunbury 5 Besett 8 68774 Beset 34.42 115 13 13
Basad Basad -34.42 115.4	16 [10] Bunbury Basalt Bunbury Basalt s 8072	0.177 0.114 0.0229 0.72485 0.0229	1327 0.7020 0.7020 0.020 0.020	4.0 12.0 22.0 0.4 0.704860 17.982 15.982 0.17 0.17 0.172 0.172	4 Bunbury Basett Bunbury Basett 8 90685 Baset -33 32 115 65 132 7 132 7
	11 [5] Bunbury Baselt Bunbury Baselt s Baselt	0,176 0,14 0,049 0,784279 0,049	0.1327 0.04049 0.050 0.1327	140 130 1223 1273 1273 1273 1273 1273 1273 1273	5 Bunbury Baselt Bunbury Baselt 8 90504 Basel -33 32 115 65 132 7 132 7
Basati / Thoeile 33 115.25 115.25 115.26 0.704128 17.820 17.820 17.820 17.820 17.820 17.821 15.851 15.851 15.851 15.851 37.940 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051 0.051	12 Burbury Besalt Burbury Besalt Burbury Besalt	0,173 0,114 0,704912 0,704912 0,0690	1327 0780 0797 080 080	4.9 15.0 22.10 11.0 11.0 11.1 0.704830 15.860 15.860 15.860 38.151 0.70 0.000	6 Bunbury Beart Bunbury Beart 8 80690 Baat -33 32 115.65 132.7 132.7
Gamodionite 2022 2022 2022 2022 2022 2022 2022 2022 2022 2027	49 [178] Comel Province Lagulia Intrusive Rocks	0.100 0.14 0.078 0.70478 0.078	132.7 0.708 0.708 0.078 0.198	12.1 12.2 220.0 6.5 0.7 0.704770 0.70470 1.7526 1.5526 0.109 0.009	7 Burbury Baset Burbury Baset Burbury Baset 589996 Baset -33.32 115.63 132.7 132.7
Gemodicate (2012) (1170	50 [176] Comel Province Laguila Intrusive Rocks	0,771 0,171 14 0,705 0,705 0,108	132.7 0.76506 0.7666 0.786 0.136	5.2 11.2 11.2 11.2 12.8 1.0 0.705.320 0.705.320 17.531 15.505 15.505 0.158 0.158	8 Burbury E100 Burbury Baset 9 66700 Baset 1-33.32 1-53.32 152.7 132.7
Casbbro 28,22 92,22 197,23 19,22 19,	51 (176) Comei Province Laguila Intrusive Rocks L1617	0.512614 0.102 0.102 0.704700 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100	0.7 0.610 0.7 0.610 0.100 0.100	5.0 15.1 2.24.0 2.54.1 0.761.2 0.764.780 0.764.780 15.501 17.5010 17.5010 15.514 3.614.1 3.614.1 3.614.1 3.614.1	9 Burbury [10] Burbury Basalt 8 88964 Basalt Basalt 15.63 115.63 115.63 115.63
Subbo 28.19 92.22 11.55 12.22 15.22 15.25	52 [176] Comel Province Laguila Intrusive Rocks D1618-2	0.512517 0.189 0.119 0.705316 0.119 0.120 0.189 0.512664 0.189	132.7 0.119 0.705115 0.189	4.8 15.4 15.4 10.0 2.1 0.5 12.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.62 15.63 15.	10 Bunbury Basalt Bunbury Basalt 8 8697 Basalt -33 32 115.63 112.21 [22]

Annexe n°15: Compilation des données isotopiques de roches liées à la présence du panache de Kerguelen, recalculées à 14 Ma (modifiée d'après Olierook et al. 2017)

R	ECAL L'Age	CULE 14 Ma	A	RECA L'Ag	ALCULE / ge Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	
(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé	Age 14 Ma (L. Ponthus)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86S n initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	1. VSVID14440 HITAL HISANC4440 HITAL HISANC4440 HITAL HISANC440 HITAL HISAN	Sin form) Nd form) St form) D form) Urom) 143 Nd/1 44 Nd measured 206 PC/2049b measured 206 PC/2049b measured 206 PC/2049b measured	Provine Location Sambie Name Rock Type Rock Type Longitude Longitude Longitude Age Correction (Ma) Age Oprecion (Ma)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	Ace 114/a (L. Ponthus) (RD: S): measured recalculé (RD: S): Initial recalculé (RD: Nota) Initial recalculé (143:Wrf.44/a) Initial Initial Initialité (143:Wrf.44/a) Initial Initial Initial	Age erf. (L. Ponthus) (RDS Vanesured recalculé (RDS vinitial recalculé (RDS vinitial recalculé (RDS vinitial recalculé (RDS vinitial recalculé (RDS vinitial recalculé (RDS vinitial recalculé	147Sm/144Ad 143Xm/144Ad 875/085F intel 875/085F intel 225U/024Fb 225U/024Fb 225U/024Fb 206Fb/024Fb intel 207Fb/024Fb intel 207Fb/024Fb intel	# (Olarook et al. 2017 - n.) Geochemikary Neurence Elocation Samole Manne Rock Trave Rock Trave Roc
0.152	0.152	0.037 0.704588	0.152	0.512607	0.037 0.704518 0.038	0.122 0.037 0.11 0.40 0.40	8.3 35.3 1068.2 0.5 0.5 0.7014595 0.7014595	Come Province Laikary Formation s Basalt 28 91.9 145 134	22 [31]	0.110 0.706078 0.110 0.150 0.512713 0.150	0.135 0.140 0.140 0.140 0.150 0.150 0.150 0.150	0.511495 0.11102 0.7059 18.855 15.825 15.825	(155) Come Province Lapula Information (166) (166) (166) (17
0.138	0.138	0.002 0.705961	0.136 14	0.512632	0.002 0.705957 0.002	0.00 0.00 0.06 0.06 0.20 0.20 0.20	0 512763 0 512763 0 512763 0 512763	Lakang Fernation s CN14-1 Diabase 91.9 91.9 145	23	14 0.143 0.705762 0.143 0.155 0.155 0.151 0.155	0.143 0.70 <b>5516</b> 0.143 0.143 0.155 <b>0.5128</b> 16	0.512619 0.512619 0.143 0.7055 18.402 18.602 38.60	54 Comei Provins Laguila Intrasive Reces Galactica 28 10 28 27 27 30 27 30 38 20 27 50 38 20 27 50 38 20 27 50 38 20 27 50 38 20 27 50 38 20 27 50 27 50 28
0.145	0.145	0.112 0.704763	0.145	0.512626	0.112 0.704554 0.113	0.617284 0.1122 0.770454 0.07 0.00 0.28 0.28	120 50 151 151 07 87 87 87 0.7 27 0.51 27 47 0.7 47 55	Lakang Fermation s CN24-1 Basalt 28 91.9 145 [34]	[31]	0.171 0.705856 0.171 0.149 0.512713 0.149	0.173 0.171 0.705566 0.172 0.149 0.512597 0.149	0.512897 0.17135 0.77056 0.7056 18.764 15.694 39.046	55 Comes P [175] Dictors Dictors 92,22 92,22 92,22 92,22 94,22 95,89 0,7559 0,7559 10,7559 10,7559 11,7759 15,772 15,772 15,772
0.148	0.148	0.005 0.707742	0.146 14	0.512635	0.005 <b>0.707733</b> 0.005	0.619.87 0.619.87 0.005 0.05 0.05 0.21 0.21	9 2 37 7 20 4 21 3 22 1.3 7.4 7.1 7.1 0.4 7.1 7.1 0.0127743	Lakang Formation s CN1-1 Diabase 28 91.9 91.45 [341]	25	14 0.112 0.705568 0.112 0.153 0.512572 0.153	0.112 0.705378 0.112 0.115 0.153 0.512453 0.153	0.1525 0.1119 0.7054	56 (178) Luguia Intraisive Province Diblosiz (178) 62.2.3 (178) 64.7 28.5.4 28.5.4 28.5.4 28.5.4 3.56 0.5.1 28.6.0 3.56 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.6.0 0.5.1 28.5.0 0.5.1 28.5.1 0.5.1 28.5.1 0.5.1 28.5.1 0.5.1 28.5.1 0.5.1 29.5.5.1 29.5.1 29.5.1 29.5.
0.153	0.153	0.085	0.153	0.512646	0.085 0.705696 0.085	0.5126/153 0.7055 0.7055 0.006 0.000 0.14 145	94 372 246 8390 804 804 904 904 904 905 114 0.512791	Comel Province Lakang Formation s CN13-1 Diabase 91.9 145 [34]	26	0,133 0,706883 0,149 0,512886 0,149	0.133 0.706638 0.134 0.149 0.512720 0.149	0.1487 0.1328 0.1333 0.7066 15.671 15.671 38.326	1180 (188) (188) (188) (1983)
0.138	0.138	0.119 0.703897	0.130	0.138 0.512673	0.119 0.703675 0.120	0.512673 0.119 0.005 0.00 0.03 0.37 145	93 218 228 258 258 258 258 258 258 258 259 257 259 257 257 257 257 257 257 257 257 257 257	Cornel Province Lakang Fermation s CN23-1 Basat 91.9 145 145	27	0.031 0.031 0.031 0.031 0.57 0.51268 0.157 0.51268	145 0.031 0.031 0.031 0.317 0.3157 0.3157 0.157	0.512546 0.031 0.70863 0.007 0.00 0.00 0.30	17 Conve Produce Lakara Formize SCN6-1 Diakara 91,2 91,4 14,5 2,4 4,4 2,4 4,4 2,4 4,4 2,4 4,4 2,4 4,4 2,4 4,4 2,5 4,4 2,4 4,4 2,5 4,5 3,5 4,5 3,5 4,5 4,5 4,5 4,5 4,5 4,5 4,5 4,5 4,5 4
0.153	0.153	0.277 0.709186	0.153	0.512669	0.277 0.708670 0.278	0.5120 0.2077 0.2082 0.05 0.05 0.14 0.14 145	56 378 3784 3270 74 74 0512812 0512812 0700241	Cornel Province Lakang Formation S CN7-1 Diabase 91.9 91.9 145	28	0.703349 0.703349 0.154 0.512685 0.154	145 0.709344 0.51255 0.512553 0.154	0.512553 0.512553 0.0003 0.001 0.001 0.001 0.001	18 Comei Province Lasarg Forsince 18 502-1 Distass 19 5 19 5 19 5 19 5 21 3 21 3 21 3 21 3 21 3 21 3 21 3 21 3
0.151	0.151	0.002	0.151	0.151 0.512691	0.002 0.707701 0.002	0.5 (1.8) 0.70702 0.003 0.03 0.23 0.23 145	10.4 41.7 41.7 0.7 0.7 0.7 1.5 0.5 1.2 8.5 0.5 1.2 8.5 0.5 1.2 8.5 0.5 1.2 8.5	Comel Province Lakang Formation s CN9-1 Diabase 91.9 91.9 145	28	0.705123 0.705123 0.032 0.032 0.512864 0.512864 0.143	145 0.705004 0.705004 0.002 0.143 0.512571 0.143	0.512571 0.512571 0.002 0.13 0.13 0.03 0.52	19 Come Province 3 (X19-1 Diabase 91.9 81.9 81.9 81.9 81.9 81.9 81.9 8.1 8.1 8.1 8.1 8.1 8.1 8.1 8.1 8.1 8.1
0.195	0.195	0.197 0.709831	0.195	0.512560	0.197 0.709478 0.198	0.199 0.197 0.011 0.49 0.49	60 80 150 2201 2201 0.7 201 2.7 0 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 20 0.7 12.7 12.7 12.7 12.7 12.7 12.7 12.7 12	Comel Province Lakang Formation S CNZ2-3 Basalt 91.9 140 [341	[34] 30	0.707384 0.707384 0.002 0.142 0.517707 0.142	145 0,002 0,707379 0,002 0,142 0,142	0.51256 0.51256 0.70727 0.005 0.05 0.31	20 Come Forwhold Lakard Forwhold Diakas 91.9 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0 10.0
0.222	0.222	0.024 0.705584	14	0.222	0.024 0.705543 0.024	0.512746 0.024 0.705540 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	3.6 9.8 14.1 1.3 154.1 1.3 0.5 129.0 0.7.055.89 0.7.055.89	Comel Province Lakang Formation S CN16-1 Diabase 28 91.9 132 132	31	14 0.145 0.705325 0.145 0.147 0.512724 0.147	0.145 0.705052 0.145 0.145 0.147 0.512598 0.147	0.747 0.515588 0.7455 0.705055 0.055 0.00 0.31	21 Corone Frences Lakeag Formation 28 915-2 145 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80

REC L'A	ALCULE A .ge 14 Ma	<b>`</b>	RECAL L'Age	CULE A Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017						RECAL L'Age	CULE A 14 Ma	REC L'A	ALCULE A ge Biblio	CALCUL OLIEROOK 201	7			
(143Nd/144Nd) Initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) initial recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Sm/M/Sr) (RM/Sr) initial recalculé (Sm/M/Sr) initial recalculé	(Sm/Nd) initial recalculé Age 14Ma (L. Ponthus)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86S/t) initial recalculé	147 Styri Vahar 143 Nori Vahar 143 Nori Andre Influi 147 Nori Sen Influi 147 Nori Sen Influi 147 Nori Sen Influi 147 Nori Vahar 147 Nori Vaha	Th (born) 143 Nd/1 44 Nd measured 875/r/865 measured 2065b/2045b measured 2075b/2045b measured 2089b/2045b measured	Rb (span) Sr (span) U (span) Pb (span)	Aqe Correction (Ma) Aqe reference Sm (bbm) Nd (com)	Rock Tvpe Latitude Longitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samble Name	(Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) initial recalcule	Age 14 Ma (LPonthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86S/ initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age rer. (L. POTINUS) (87 Sr/86Sr) Initial recalculé (87 Sr/86Sr) Initial recalculé (Sm (Nd) measurised recalculé (Sm (Nd) measurised recalculé	Colouri Audi Initial Britologi, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial Designer, Initial	Th (opm) 143Nd/1 44Nd measured 87Sr/86Sr measured 206Fb/204Pb measured 207Fb/204Pb measured	Sm (bopm) Nd (bopm) Rb (bopm) U (bopm) Pb (bopm)	Rock Type Rock Type Latitude Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Seante Name
0.511870 0.114		0.114	0.114	3.328 3.328	4 CO 14 CO 14 CO	0.511880 0.511880	131.0 106.0 2.5	132 1341 703	Dacite 28.746 90.715	34 Comel Province Sangxiu Formation s S XI9-1	0.224 0.512941 0.224	0.039 0.70 <b>5053</b>	0.512768 0.224	0,704988 0,204988	0.51276 0.23 0.704983 0.00 0.00 0.10	0.51201 0.51261 0.705061	32 32 37 37 3.7	Dabase 91.9 132 132	32 [31] Comel Province Lakang Fermation
0.511882 0.113		0.113	0.511794	132 4.741 4.750	4 10 87 87	0.511892	125.0 71.0 2.3	132 1341 72.8	Dacite 28.746 90.715	35 [33] Comel Province Sangxiu Formation s SXI8-3	0.221 0.512967 0.221	0.705131	0.512796 0.221	0.704976 0.092	0.612725 0.7704955 0.001 0.00 0.00 0.00	0.512.987 0.7051.49	0.2 0.2 0.2 0.2 0.2	Diabase 28.061 92.366 132 [34]	33 Comei Province Lakang Formation
0.511886 0.113		0.113	0.113 0.511799	132 2.308 2.313	1 10 81 F.U	0.511896	108.0 126.0 2.3	1 32 [34] 12.7	Dacite 28.7.46 90.7.15	36 Comei Province Sangxiu Formation s SXI12-2	0.135 0.512544 0.135	14	0.512439 0.136	0	0.512(39)	0.512556	43.8 8	NORG (Sven 28.7.46 90.7.15 132 [34]	40 [32] Comei Province Sangxiu Formation s Strutt1-1-27
0.512485 0.136		0.136 14	0.512380	132	0,130 61,00	0.512497		132 [34] 9.3	Dacite 28.746 90.715	37 [33] Comel Province Sangxiu Formation s SXI1-1	0.141 0.512606 0.141	0.707785	0.512497 0.141	0.017 0.707756 0.017	0.0017 0.707756	0.512819 0.707788	42.6 1.6 1.4	90010 Basalt 28,746 90,715 132 [34]	42 [32] Comel Province Sangxiu Formation Sangxiu Formation
0.512540 0.132	2 2 2 2	0.132	0.132	132	0.132	0.512652	i	132 [34] 10.0	Dacite 28.746 90.715	38 [33] Comel Province Sangviu Formation s SXI2-1	0.137 0.512675 0.137	14 0.70764 0.164	0.512570 0.137	0.164 0.707373 0.164	0.707373	3.1 0.512688 0.707680	45.5 196.1 198.1	90.715 90.715 132 132	43 [32] Sangalu Formation Sangalu Formation
0.512544 0.135	0 40	0.136	0.135 0.512439	132	0.512439	0.512556		132 [34] 9.8	Dacile 28.746 90.715	39 [33] Comel Province Sangxiu Formation s SXI1-1-2	1. A A A A	0.004 0.709134	0.119	0.004 0.709127 0.004	0.704 0.709127	4.1 0.709135	44.5 1.1 753.4	907417 Basalt 28,746 90,715 132 [34]	44 [32] Comei Province Sangxiu Formation
0.512575 0.135	2 3 7	0.135	0.135	132	0.512470	0.512587	ļ	132 [34] 9.5	Dacite 28.746 90.715	41 [33] Comel Province Sangxiu Formation s SXI1-2	81,000 B	0.063 0.710011	0.120	0.77099063 0.0064	0,709905	0.710024	456 8.5 1.3	90740 283746 90.715 132 [34]	45 [32] Comel Province Sangxiu Formation
	0.704804 0.704804	1	0.0000	0.704804	0.704804	0.512720 0.704804 18.656 15.577 38.980	1189.0	ן [43]	Trachyandesite -53.12 73.33	77 [36] Heard Island Laurens Peninsula Series s 65054	an vouer	14 2.529 0.725928		0.721687 2.529 2.533	2,529 0.7.21887	0.726431	110.7 126.9	Not Griven 28,746 90,715 132 [34]	46 [32] Comel Province Sangxiu Formation s 32/(11)-2
	0.000 0.704862 0.000		or word	0.704862	0.000 0.7 04862	0.5.12705 0.7.04862 18.776 15.588 39.170	0,939	ר [43]	Basanite -53.12 73.33	78 (36) Heard Island Laurens Peninsula Series s 69244	AL VYYM	14 2.881 2.882	0.118	0.723615 0.1487	2.261 0.723615	3.0 0.729021	52.5 52.5 128.9 128.7 129.7	9 - Sanger - 1 Basalt 28,746 90,715 132 [34]	47 [32] Comei Province Sangxiu Formation
	0.186 0.705310 0.186	_		1 0.186 0.7 <b>05310</b>	0.785	3.0 0.512602 0.705313	39.0 607.0	1 [43]	Basanite -53.12 73.5	58 [37] Heard Island Big Ben Series s 69289		14 4,791 0,730083 4,792		0.722047 4.800	4.791 0.722047	0.731036	121.9 73.8	8 007007-0 Not Given 28.746 90.715 132 [34]	48 [32] Comei Province Sangxiu Formation s SX (/8).3

	REC/	LCUL ge 14 I	E A Na	REC/	ALCULE A ge Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	,				REC/	ALCULE A ge 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				
DIDARA I INTRO I DARANG	(Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age 14Ma (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	(Sm/NG) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Mate ter, (LFUTURIS) measured recalculé (RSVS) measured recalculé (RSVSR6Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Harshort Annu British HSNMA Annu British BTR/DRSS BTR/DTR/DRSS BTR/DTR/DRSS BTR/DTR/DRSS BTR/DTR/DTR/DTR/DTR/DTR/DTR/DTR/DTR/DTR/D	r to tubini) 143Nd/144Nd Tineasured 875/R857 maasured 2078/b2049b maasured 2078/b2049b maasured	Age reference Sm (ppm) Nd (ppm) St (ppm) U (ppm)	Location Sample Name Rock Type Latitude Longitude Age Correction (Ma)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistrv Reference Province	(143Md7 Md0 initial recalcule (143Md7 Md0 initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age ref. (L Pontha) (Rb:S) moasured recalcule (87:Sr86S) initial recalcule (SmNA) measured recalcule (SmNA) measured recalcule (1143A1/141A0) Initial recalcule (SmA)	147 Smr14Held 143 Nmr14Held 143 Nmr14Held 167 Smr63 Smithal 256 Ur (204Pb 256 Ur (204Pb 256 Ur (204Pb 256 Ur (204Pb 206 Pb (204Pb 206 Pb (204Pb 206 Pb (204Pb) 206 Pb (204Pb)	Pb (born) 143Nd/1 4ANd measured 8757186Sr measured 206Fb/204Pb measured 206Fb/204Pb measured 208Fb/204Pb measured	Sm (cpcm) Nd (cpcm) Sr (cpcm) U (cpcm)	Sample Name Sample Name Rack Type Latitude Longitude Age Correction (Ma) Age Correction (Ma)	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province
0.121	0.512617	0.705232 0.142	0.142	0.121 0.512617 0.121	0.142 0.705232	0.55/2017 0.7005332 0.7005332	6.0 0.512618 0.705234 18.189 15.566 38.646	143) 10.3 51.4 965.0	Big Ben Series 8 × H10 Basanite -53 12 73 .5	70 [37][36] Heard Island	0.127 0.512629 0.127	0.159 0.705333 0.159	1 0.159 0.159 0.157 0.157 0.52829 0.127	0.127 0.52828 0.169 0.705333	6.0 0.512830 0.705335	11.1 52.8 44.0 800.0	53 Corono 9 SE3001 -53.12 -73.5 73.5 1 1	59 Heard Island
0.110	0.512548	0.705673 0.223	1 0.223	0.119 0.512548 0.119	0.223 0.705673 0.223	0.510210 0.2223 0.709673	9.0 0.512549 0.705676	6 8 4 5 8 9 3 0 8 9 3 0 8 9 3 0 9 8 9 3 0 9 8 9 1 4 9 1 8 9 1 8 9 1 8 9 1 8 9 1 8 9 1 8 9 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 1	Big Ben Series s 65 143 453 12 -53 12 73 5	68 [37][54] Heard Island		1 0,183 0,70 <b>5310</b> 0,183	0.183 0.7 <b>05310</b> 0.183	0.183 0.705310	10.0 0.512842 0.705313 18.138 15.556 38.575	62.0 979.0	Basalt, Basantic -53.12 73.5 [4]	60 Heard Island
41144	0.134 0.512647	0.705343 0.168	1 0.168	0.134 0.512647 0.134	0.168 0.705343 0.168	0.51784.7 0.51784.7 0.108 0.705343	4.0 0.512848 0.705345	[43] 5.3 23.9 24.2 415.0	Big Ben Series as H61 Basanite -53.12 73.5	71 [37][54] Heard Island		1 0.207 <b>0.705338</b> 0.207	1 0.207 0.207 0.207	0.207 0.705338	0.512592 0.705341	43.0 600.0	-53.12 Basalt -53.12 73.5 1 [43]	61 [37] Heard Island
		0.704725 0.229	1 0.229		0.229 0.704725 0.229	0.229 0.704725	10.0 0.512729 0.704728 18.6822 15.601 39.270	[43] 76.0 960.0	Laurens Peninsufa Series s 65254 Easanite -53.12 73.33	79 [37][54] Heard Island		1 0.249 0.705514 0.249	1 0.705514 0.249 0.249	0.705514	6.0 0.512827 0.705518	70.0 814.0	Basalt, Basantic 73.5 [43]	62 Heard Island
V: 16.7	0.512603	0.705481 0.196	1 0.196	0.127 0.512603 0.127	0.196 0.705481 0.196	0.512603 0.196 0.706.496 0.00 0.00 107.34	0.512604 0.705484 15.864 15.864 38.590	[43] 7.6 40.0 589.0 0.0	Big Ben Steries s 65085 Basatt -53.12 73.5	67 [37][54][36] Heard Island	0.512568 0.116 0.116	0.705645 0.705645 0.189	0.189 0.705645 0.189 0.51266 0.51266	0.512586 0.512588 0.789 0.705645	7,0 0.512569 0.705648	11.9 61.8 997.0	Trachyandesite -53.12 73.5 [43]	63 Heard Island
0.110	0.512507	0.705991 0.249	1 0.249	0.125 0.512507 0.125	0.249 0.705991 0.249	0.512807 0.249 0.705991	7.0 0.512508 0.705985 17.953 15.550 38.420	[43] 9.8 47.7 52.0 604.0	Big Ben Series s 65151 Trachybasatt -53.12 73.5	69 [37][54][36] Heard Island		1 0.213 0.213 0.213	1 0.213 0.205811 0.213	0.213 0.705611	5.0 0.512537 0.705814 17.958 15.568 38.443	40,0 543.0	s 66030 Basalt -53.12 73.5 1 [43]	64 Heard Island
011.0	0.512580	0.705318 0.204	0.204	0.512580 0.119	0.204 0.705318 0.204	0.51280 0.204 0.705318	9.0 0.512581 0.705331 18.211 15.567 38.508	[43] 57.9 818.0 2.0	Mawson Peak s 65171 Trachybasalt / Basanite -53.12 73.5	80 [37][54][36][77] Heard Island		1 0.236 0.705966 0.236	0.236 0.7 <b>05966</b> 0.236	0.705366	0.512520 0.705969 17.5913 15.559 38.412	63.0 772.0	Trachyandesile 73.5 1 1 1	65 Heard Island
V: 16.V	0.512596	0.705408 0.155	1 0.155	0.5120 0.512596 0.120	0.155 0.705408 0.155	0.512386 0.155 0.705498	3.4 0.512597 0.705410	[43] 8.9 345.0 0.8	Heard Island s BM1967, P9 Basett, Alcaline -53, 12 73, 33	73 [68] Heard Island		1 0.254 0.264 0.254	1 0.254 0.26111 0.254	0.706111	6.0 0.512483 0.706115 17.582 15.560 38.4/1	54.0 616.0	s 65104 Trachybasalt 73.5 1 1 [43]	66 Heard Island
0, IEU	0.512581	0.705547 0.195	1 0.195	0.512581 0.512581	0.195 0.705547 0.195	0.51250 0.51258 0.705547	0.512582 0.705550 18.009 15.547 38.461	[43] 54.0 57.0 845.0 1.2	Heard Island s BM64986 Basalt, Alkaline -53.12 73.33	74 [68] Heard Island	0.5128 0.512651 0.129	0.142 0.705471 0.142	1 0.706471 0.142 0.142 0.129 0.512661 0.129 0.129	0.5128 0.512851 0.142 0.705477	6.0 0.512652 0.705473	96 45.0 1234.0		72 [37] Heard Island
		0.705748 0.155	0.155	0.109	0.155 0.705748 0.155	0.109 0.155 0.705748	5.3 0.7.05750 17.993 15.559 38.511	[43] 11.9 580 45.0 839.0 1.0	Heard Island s BM64992 Basalt, Alkaline -53.12 73.33	75 [68] Heard Island		1 0.228 <b>0.704856</b> 0.228	1 0.228 0.704856 0.228	0.228 0.704856	0,512706 0,704859	80.0 1013.0		76 [37] Heard Island

RECALCU L'Age 14	Ma RECALO	CALCUL OLIEROOK 2	2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CUL OLIEROOK 2017	
(N. V. V. V. Initial recalculé (RNS) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/ 44Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(RUSS) Initial recalculé (Sm/Nd) masured recalculé (143Nd/144Ng) Initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé (RUSS) masured recalculé (RUSS) masured recalculé (RUSS) masured recalculé	grzybiesi grzybiesi zasuczałe zasuczałe dobezczele nala zoreczele	P Loom PL John 143Nd/144Nd measured 2/5/R58/r measured 2/0F1/204/b measured 2/0F1/204/b measured 2/0F1/204/b measured 147Sm/14Nd 147Sm/14Nd	# (Olenook et al., 2017 - n.) Province Location Samole Name Rock Type Mar Contracton (Ma) Aler of erence Molitude Molitude Mar Contracton (Ma) Aler of erence Not Location Not Location Not Location Structor	(Ptb/S) newsured recalculé (Ptb/S) newsured recalculé (RSVR6S) nintel recalculé (Sm/Nd) neusier de recalculé (143Ndf14Nd) nintal recalculé (Sm/Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	2026/2044b Initial 2026/2044b Initial Age off (L.Porthus) (RVS) measured resolution (RVS) notation and the (RVS) notation and (RVS) notation (RVS) notation (	Di Olemi To Longi To	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistr Reference Province Sample Nam Rock Twee Rock
0.209 0.513077 0.209	0.209 0.513077 0.209 0	0	0.519077 0.70302 17.932 15.509 37.822	635 Indian Ocean Synaeling Ridges Southeast Indian Ridge CHRHYMA-010014 74.67 74.67 74.67 5.1	0.213 0.213 0.213	0 0.213 0.213 0.213 0.213	0 51302 0 70342 15 80 37 985 37 985	Indan Oceans Spinoling Filipi Southeast Inden Folds CHRHYAM201-1026 CHRHYAM201-1026 4-03 7-8.65 0 N/A 2.65 5.85
0.153 0.512925 0.153	0.153 0.512925 0.153 0	o	0.512925 0.770863 18.585 15.583 39.802	635 Indian Ocean Spreading Fidge Southeast trials Fidge CHRIVANSTPALL -387 775 175 NUA 3.39 13.41	0.181 0.512854 0.181	0 0.181 0.512854 0.181	0.51284 0.70435 16.065 15.665 28.445	628 Indian Ocame Spinneding Fulgers Southware Marking CHIPHAWA002 78.48 78.48 78.48 8.0 4.19 4.19 4.19
0.179 0.512821 0.179	0.179 0.512821 0.179 0.179 0	o	0.512821 0.77443 18.008 15.55 38.636	640 Indian Ocean Spreading R1(141 Southeast Indian R402 DUFF007-006-002 	0,155 0.512822 0.155	0 0.155 0.152 0.155	0.51282 0.74411 18.738 16.578 38.000	827 Indian Ocean Spreading Ridge Scuttering Holds CHRENYAMA005-00 37.82 78.42 78.42 8.5 8.5 8.5 8.5 2.2
0.198 0.512978 0.198	0.198 0.512078 0.198 0.198	•	0.512978 0.7733134 18.0825 15.4757 37.9914	885 hidan Ocean Spreading 1123 Southeast Indian Roge 10P0187-1152A-001R-001/052-122 1227.087 1227.087 1237.087 1433 1433	0.195 0.572991 0.195	0 195 0.195 0.195	0.612891 0.72012 18.531 38.215	1823 Indian Ocean Spreading Fielding Scaling at Indian CHRIVMA004.043 -34.91 -78.67 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.0 -0.
0.196 0.512987 0.196	0.196 0.512887 0.196 0	0	0.512887 0.7750687 18.0625 18.4757 15.4757 37.9871	891 hrdan Ocean Spreading 1223 Southers Indian Robe Dip 197 - 11528-044-00020-244 1/870.078 000 000 000 000 000 000 000 000 000	0.229 0.229 0.229	0 0.51289 0.229 0.229	0.672890 0.7287 18.41 15.698 39.36	823 Indian Oceans Spranding Polygo Scatterate Indian CHRHYMADD4-2020 -34.91 1767 0 ND 148 48
0.214 0.513060 0.214	0.214 0.513080 0.214 0.214	o	0.51308 0.702758 18.3053 15.4716 37.9344	885 Indian Ocan Spreading Riges Santasett ritar Riges DDP0187-1183A-007W-004065-05 193-81515 193-81515 193-81515 193-8151 193-81551 193-81551 193-8155555555555555555	0.201 0.512963 0.201	0 0.201 0.212863 0.201	0.662863 0.70321 18.406 15.551 38.37	630 Intellin Scattered in Plage Scattered in Plage CHRHWAU05.00 34.96 78.54 0.0 NA 2.14 2.45 6.45
	0	0	0.513053 0.702734 18.422 15.4864 38.0487	888 holian Ocean Spreading Ridge COPP0187-1153A-004R-001701-11- Essant 12-28151 12-28151 NA	0.208 0.208 0.208	0 0.208 0.213003 0.208	0 513083 077286 17 86 18 477 15 477 37 860	631 Holan Osan Systems Fill Suthers Holan Content And Suthers Cherkinkan Content Total NA NA 830 840 840 840 840 840 840 840 840 840 84
0.210 0.513073 0.210	0.210 0.513073 0.210 0	0	0.513073 0.702771 18.428 16.4894 38.095	890 holian Ocean Sprading Roge Southeast Indian Roge ODP1087-1153A-008R-001154-11 123-8151 123-8151 4.000 4.11 1189	0.202 0.202 0.202	202.0 202.0 202.0 202.0 0	0.51308 0.77283 17.6694 15.6794 37.728	1920 Hollan Oceans Spensation (Figure Southaan Hollan Regins CHRHYNAUCTOR -512 765 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.511 0.513100 0.214	0.21 0.513100 0.214 0.214		0.513 0.702944 18.613 15.4595 38.1483	900 Indian Ocean Spreading Rdg ODP0187-118-4-4028-4001/025-021 8-84 13-3377 13-3377 13-3372 13	0.200 0.200 0.200	0.510070	0.51307 0.7028 15.645 37.728	10dian Ocean Spreading Fudge Sutheast Indian Regist CHRHYMAG9.00 767.7 76.7 8.0 8.0 9.0 8.0 8.0 9.0 9.0 9.0 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
0.223 0.513076 0.223	0.223 0.513076 0.223 0	0	0 5 13076 0 7768529 18 5875 15 54778 35,1148	911 Indian Ocean Spreading P125 Southeast Indian Ocean Spreading P126 Southeast Indian Robert Based 131.3173 131.3173 4.5 12.2 12.2 12.2	0.205 0.205 0.205	9020 6505 9220 0220 0220	0.5 (30:59 0.77286 15.430 15.430 37.785	10dan Ocara Spreading Life2 Southeat Indian Rages CHRH/MAC94008 333 75.76 NA NA 9.43 9.43 9.43 9.43

RECALCU L'Age 14	JLE A Ma	RECAI L'Ag	LCULE A e Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017						RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(TO AND/OUT) Initial receive (RNS) initial receive (Sm/Nd) measured receive (143Nd/144Nd) initial receive (Sm/Nd) initial receive (Sm/Nd) initial receive	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875/86S1) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	147Sm/144AQ 147Sm/144AQ 87K/b65K/bfab 87K/b65K/bfab 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb	143Nd/714ANd measured 87Sr/86Sr measured 206Fb/204Pb measured 207Fb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	Rb (opm) Sr (opm) U (opm) Pb (opm) Th (opm)	Age reference Sm (ppm) Nd (ppm)	Rock Type Latitude Longitude	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Lucention Samble Name	Aqe 14Ak L. Pontrus) (Rb:S'n measured recalculé (87 Sr/86Sh initial recalculé (Rb:S'n)intial recalculé (Sm/Md) initial recalculé (Sm/Md) initial recalculé (Sm/Md) initial recalculé	(RUS) measured recalculé (RUS) measured recalculé (RTS/RSS) Initial re calculé (RTV) measured recalculé (RTV) measured recalculé (143Nd/14ANB initial recalculé (Sm/N) Initial recalculé	14 Swith Hand 14 Swith Hand 14 Swith Hand 15 Swith Hand 16 Swith Hand 17 Swith Hand 17 Swith Hand 18	A management of the second of	# (Olencok et al. 2017 - n.) Geschmitter Veterend Location Rock Tvoo Rock Tvoo Lanttude Lanttude Lanttude Se formene Se formene Se formene Se formene
0.211 0.513021 0.211	0	0.211 0.513021 0.211	c	,	0.513021 0.702942 17.9848 15.4608 37.8079		N/A 3.02 8.65	Basalt -43.2611 128.8861	938 Indian Ocean Spreading Ridges Sourteast Indian Ridge IDP0187-1157A00W-CC012-016	0.199 0.199 0.199	0.199 0.513031 0.199	-	0.513031 0.702875 15.0637 15.4666 37.5466	112 hrdan Ocean Screeting [112] Screen Screeting [112] Screen Screeting [112] Based 4.13652 127.6948 NA NA 1.55 1.55 1.55
0.214 0.513066 0.214	0	0.214 0.513066 0.214	o		0.513006 0.702661 18.692 15.5054 38.242		N/A 4.42 12.49	Basalt -43.2611 128.8861	942 [125] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge DP0187-1157A-0266-001(066-000	0.513026 0.200 0.200	0.513026 0.200 0.200	5	0.513028 0.70259 17.9871 15.4871 37.7631	1151 1151 1152 1153 1155
0.218 0.513064 0.218	0	0.218 0.513064 0.218	c	,	0.513064 0.702729 18.6895 15.5027 38.2411		N/A 4.35 12.05	Basalt -43.2611 128.8961	945 [125] Indian Ocean Spreading Ridges Soffwaat Indian Ridge DDP0 167-1157A-0036-001/30-021	0.205 0.513049 0.205	0.205 0.513049 0.205	2	0.513049 0.702848 18.0056 15.6455 37.7568	818 Indian Ocean Spineling F(122) Scotthead Holding Fords Scotthead Holding Fords Baseling 115982 4115982 21 NA 21 6199 619
0.213 0.513061 0.213	0	0.213 0.513061 0.213	0		0.513061 0.70282 18.6493 15.4973 38.2084		N/A 4.18 11.86	Basalt -43.2611 128.8861	946 Indan Ocean Spreading Ridges Soffwaat Not 2001 18-1840 DDP0167-1157A-000128-1840	0.216 0.216 0.216	0.216 0.513005 0.216	2	0.513055 0.702854 18.0081 15.6406 37.7819	822 Indian Ocean Spinadrig Fil25 Scitthaet Holdin Ford Scitthaet Active Baselit 127 592-4 0 241 675 675
0.204 0.513038 0.204	0	0.204 0.513038 0.204	c		0.513038 0.702867 17.9842 15.456 37.757		N/A 3.32 9.83	Basalt -43.2613 128.8638	950 [12] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge ODP0187-11572-00740	0 0.219 0.219 0.219	0.219 0.513048 0.219	5	0.513048 0.702804 15.458 15.458 37.7611	823 hdan Ocean Spreading Fid2s Southware and fid2s OpP0187-11558-0086-002 Basel 1-27.982 
0.204 0.5 13050 0.204	0	0.204 0.513050 0.204	c	,	0.51305 0.702913 17.987 15.4566 37.758		N/A 3.41 10.11	Basalt -43 2613 128.8638	956 [125] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge ODP0187-1 1572-0008-001042-001	0 0.230 0.230 0.230	0.230 0.230 0.230	5	0.513039 0.702877 15.79682 15.4545 37.7697	824 brdian Ocean Spreading [1/23] Scattores Total Reduce COPPO167-11558-0086-0020-009 Basel 1529 824 1279 824 1279 824 1279 824 1279 824 1298 24 1298 24 1298 1298 24 1298 24 1298 24 1298 24 1298 24 1298 24 12988 24 1298 24
0.201 0.513060 0.201	0	0.201 0.513060 0.201	c		0.51306 0.702852 17.9854 15.4575 37.7611		N/A 3,47 10,46	Basalt -43.2613 128.8838	957 [125] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge ODP0 187-1577 0084-001/02-00	0.207 0.513010 0.207	0.207 0.207 0.207	5	0.51301 0.702594 15.028 15.4662 37.8457	522 Holan Ocean Syreading Tess Scathana Indan Robert Scathana Ind
0.201 0.512982 0.201	0	0.201 0.512982 0.201	e		0.312982 0.703284 18.3142 15.4918 38.091		N/A 3.94 11.86	-43.948283 128.828285	959 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge ODP0187-1156A-00370-001	0.216 0.513001 0.216	0.216 0.216		0.513001 0.702821 16.0282 15.4434 37.8424	1831 Ibrian Ocean Spranding 1848 Southwat Indian Fedge ODP0187-1156A-00278-0127-868 Basta 1827-885 1827-885 1828-1829 1829 1829 1830 1830 1830 1830 1830 1830 1830 1830
0.51306 0.201 0.202	_	0.20 0.513064 0.205			0.70730 0.7072 18.581 15.500 38.1772		4.3 12.7	-43.94639 128.8263	96: Indian Ocean Spreading Ridge Indian Cocean Spreading Ridge ODP0 187 - 1158E00404 R001101				97 848 18.011 18.012 19.011	83 Indian Ocean Syna, 162 Sutheast Indian Res Sutheast Indian Res Based 162 172, 8880-0 172, 8880-0 172, 8880-0 NM
0.217 0.513080 0.217	0	0.217 0.513080 0.217	0		5 0.51308 0.70282 18.7117 15.5054 38.257		N/A 4.37 12.17	t Basalt -45,9567 129,9999	125 Indian Ocean Spreading Ridges ODP0 187-1156/JUNE Ridge	0.512982 0.512982 0.202	0.512882 0.202		3,1698 1,2000 1,	1 Indian Ocean Spreading Tel: Southern Right Southern Right Based Based 1 27146 1 271806-007 1 271800-00 1 271800-

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECAI	LCULE A e Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017					RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Rb/S) measured recalculé (875/868) Initial recalculé (87/898/101/81) Initial recalculé (87/140) measured recalculé (143/40/14/81/86/81) (Sm/Md) Initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	(87 Sr/86Sr) initial recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	147 Sm/144AQ 149 Nor/144AQ 149 Nor/144AQ 1875-0885 Inhal 1875-0885 Inhal 2820 I/2415 2821 I/2415 2821 I/2415 Inhal 2821 I/2445 Inhal 2015-I/2445 Inhal 2015-I/2445 Inhal 2015-I/2445 Inhal	A strate and experiments of the strategy of th	Age reference Sm (bbm) Nd (bbm)	Location Sample Name Rock Type Latitude Latitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	Age 1414 (L-Yonthus) (RDS/S) measured recalculé (RDS/S) initial recalculé (RDVS) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/141Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age teri, L-Portrus) (RbS) measured recalculé (87 Sr/86Sh Initial recalculé (Rb/S) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé (14 3Nd/14Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	147 Sm/144AQ 143 Nm/144AQ 875/b685 Initial 875/b685 Initial 825/b785 Zolu /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb 225U /204Pb	A constraint of the constraint	# (Oterook et al. 2017 - n.) Geochemiatev tekterenes Lucation Rock Types Rock Types Rock Types Lucatitude Londitide Mac Garretelon Mish Aue reference Sta (Janni) Aue reference Sta (Janni)
0.195 0.512999 0.195	0.195 0.512999 0.195 0	,	0	0.512999 0.703017 15.0494 15.4494 15.4599	N/A 3.21 9.95	ODP0187-1163A-003R-002/002-006 Basalt -44.4246 126.9983	1009 [125] Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.217 0.513012 0.217	0 0.513072 0.217 0.217	,	0 513072 0 702861 18 5604 15 5011 38 208	888 hd/an Ocean Storedrig Riches Southeast Index Ridge DDP0187.1153A.008R.002/053.007 45.0867 45.0867 3.10 3.10 3.10 10.54
0.216 0.512992 0.216	0.216 0.512992 0.216 0		0	0.512992 0.703064 18.0767 15.4689 37.9281	N/A 3.5 9.79	DP0187-1163A-006R-003046-049 Basatt -44.4246 126.9083 000	1011 [125] Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.510 0.513074 0.210	0.513074 0.210 0.210	,	0.513074 0.702542 18.8694 15.2203 38.3600	974 Indian Oceans Storeding Ridges South east Indians Ridge DDP0187-1160A-000R-001/078-021 -14.000978 144.998258 0.0 3.45 3.45 9.55 9.55 9.55 9.55
0.200 0.512988 0.200	0.200 0.512988 0.200 0	,	•	0.512988 0.702895 18.0757 15.4035 37.9165	N/A 3.35 10.15	ODP0187-1163A-010R-001/116-120 Basat -44.4246 126.9080 -000	10.16 [125] Indian Ocean Soreading Ridges	0 0.513076 0.233 0.233	0.233 0.513076 0.233	,	0.513076 0.708607 18.7761 15.477 38.2132	978 Hofan Oceans Spreating Fides Southoat Nation Region Southoat Nation Region Essantia 144.0082 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.208 0.208 0.208	0.208 0.513033 0.208 0		•	0.513033 0.702823 15.46018 15.4601 3.7.8584	N/A 3.42 9.94	Southeast Indian Ridge ODP0187-1164A-004R-001/020-024 43.7483 127.7483 127.7480	1018 [125] Indian Ocean Spreading Ridges	0.241 0.513107 0.241	0.241 0.513107 0.241	,	0.513107 0.7702529 18.635 15.527 38.376	981 1123 Scatta Sarradina Editas Scatta Sarradina Editas ODP0187-111068-0047-027/12-126 Basali Basali 134.9883 0 0 137 137 137 137 137 137 137 137 137 137
0.214 0.513005 0.214	0.214 0.513005 0.214 0		0	0.513005 0.702366 18.0489 15.4703 37.8838	N/A 2.94 8.3	ODP0187-11648-003R-001/038-097 Basalt -43.7492 127.7461	1020 [125] Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.257 0.257 0.257	0.257 0.2513096 0.257	,	0.513096 0.7702576 18.7687 15.4881 38.2517 38.2517	983 holan Ocean Spreading 1/23 South Spreading 1/27 000P0187-11008-0096-001/127-129 Baselit 1/34.983 000 000 000 000 000 000 000 0
0.219 0.513001 0.219	0.219 0.513001 0.219 0		0	0.513001 0.702546 15.4682 37.8911	N/A 2.58 7.13	ODP0187-1164B-010R-001/021-025 Basalt -43.7461 -127.7461 0	1027 Indian Ocean Screading Ridges	0,210 0,210 0,210	0.210 0.513080 0.210	,	0.51308 0.702884 15.4593 37.746	988 Indian Ocean Styreading 1/28 Southeast Indian Rote Basel Basel 1/200510 3.17 9.13 9.15 9.15 9.15 9.15 9.15 9.15 9.15 9.15
	0			0.513072	NIA	Southeast Indian Ridge VEM0033-1-001-002 Basati -50.408 131.005	1031 [126][125] Indian Ocean Sereading Ridges	0,228 0,513052 0,228	0.228 0.513062 0.228		0.513052 0.705028 17.9182 15.4557 37.6837	1000 1120 11200 11000 10
	0			0.513072	NA	Southeast Indian Ridge VEMD033-1-002-019 -50.267 132.55	1036 Indian Ocean Spreading Ridges	0.209 0.513033 0.200	0.5 13 003 0.206		0 5 1003 0 7 2240 18 1594 19 4 733 37 1594 37 1594	1000 Kdian Ocean Spanisting Fidure Sutheast Indian Reduce Sutheast Indian Reduce Basel 122 0613 00000187-11615-0038-001/039-04 Basel 122 0613 000000
	0	·		0.5.13055	N	Southeast Indian Rida VEM0033-1-003-00 -50.417 -50.417	1039 [126][125] Indian Ocean Spreading Ridges	0.210 0.210 0.210	0.513066		0 5 1306 0 7 70390 16 1 70 37 848	100 Indian Ocean Spread of 1 Scuttmast Indian Ridge Scuttmast Indian Ridge Scuttmast Indian Ridge Indian Ocean Spread of 1 Scuttmast Indian Ridge Indian Ocean Spread of 1 Indian Ocea
	0			0.513035	NA	Southeast Indian Ridge VEM0033-2-007-407 Basalt -49.033 124 124	1049 [126][125] Indian Ocean Streadino Ridotea	0 0.225 0.573013 0.225	0 0.225 0.513013 0.225		0 5 130 13 0 7 702986 15 06859 15 4704	1007 1103in Ocean Strendtin (2018) Southeast Index (2018) Basel 1000 1010

	RECALCULE # L'Age 14 Ma	RE	CALCULE A Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87S/86S9 initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Sn/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalculé (SmNd) initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	Age rei: (Lrommus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rt/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	HTS/IN144404 Initial HSR/AUA AND Initial BTS/UNSS Initial BTS/UNSS Initial ZSB/UZAHPS ZSB/UZAHPS Initial ZSB/ZCHPS Initial ZSB/ZCHPS Initial ZSB/ZCHPS Initial	Th (com) 143 Nd/1 44 Nd measured <i>STS:1865</i> measured 207P b/20,4Pb measured 207P b/20,4Pb measured 208P b/20,4Pb measured	Loncitude Aus Correction (Ma) Aus reference Ma (com) Ma (com) Sr (com) Sr (com) U (com) Pb (com) Pb (com)	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sambe Name Sambe Name Jatitude Latitude	Ane 14Me (L Porthus) (RUS measured recalcule (Sam (RUSS) initial recalcule (Sam (RUSS)) initial recalcule (14394854) initial recalcule (14394744463864876 (SamMd) Initial recalcule	Age ref (L.Ponthus) (RUS/S) measured recalculé (875/8656) Initial recalculé (878/8656) Initial recalculé (878/8656) Initial recalculé (878/86/11/11/11/11/11/11/11/11/11/11/11/11/11	14750rd 4440 http: 1430rd 4440 http: 1876 b085 http: 2580 U204 Pb 2580 U204 Pb 2580 U204 Pb 2580 U204 Pb 2580 U204 Pb 2087 Pb 2044 Pb minal 2087 Pb 2044 Pb minal	Sr (born) Sr (born) D (born) 143 Nd/r 44 Nd maaured 875 //855 maaured 206 FV2/2049 braaured 207 FV2/2049 braaured 207 FV2/2049 braaured	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samula Mann Call None Locati Yone Locati Yone Ada Carroction (Ma) Ada reference Nd form)
0.208	0.208	0.513102 0.208 0	0.208		0.513102 0.70259 18.617 15.48 38.085	130,417 N/A 4.8 13.99	1044 Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge VEM0033-1-006-001 Basalt -50.3		c		0.512988 0.703212 19.2441 15.4927 38.2809	1051 Indian Ocean Spreading Ruges Surbeat Indian Ridge VEM052-006-005 Jackson 121.055 121.055 N/A
0.184	0.184 0.512972	0.512972 0.184 0	0.184 c	,	0.512972 0.70314 18.225 15.465 38.211	121.033 NIA 3.29 10.79	1052 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge VEM0033-2-008-008 Basalt 49.467	•	c		0.513017 0.7702849 18.0008 15.4888 38.0123	1053 Indian Ocean Spreading Ridges VEMOD2-2008-001 VEMOD2-2008-001 113175 113175 113175 NA
0.214	0.214	0.513036 0.214 0	0.214		0.513038 0.770293 18.248 15.489 38.003	119,175 NA 3.15 8.9	1054 [127][126] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge VEM0033-2-009-002 Basett -49.808	•	c		0.513006 17.7835 15.5004 37.887	Indian Ocean Spinearing (128) Southread Trading Roge VEMO25010-010 143.37 143.37 NA
0,198	0.198 0.51 297 8	0.512978 0.198 0	0.198		0.512878 0.70346 17.772 15.494 37.837	115.375 NA 2.74 8.35	1055 [127][126] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge VEM0033-2-010-010 VEM0033-2-010-010 -49.917	•	c		0.51304	1060 Indian Ocean Spreading Roges Scothest Indian Roge VEMO03-2011.005 8888 100 100 100 100 100 100 100 100 10
0.206	0.206	0.513041 0.206 0	0.206	,	0.513041 0.70284 17.944 15.409 37.743	118 0 0 2.46 7.546	1059 [127][128] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge VEM0033-2-011-006 VEM0033-2-011-006 ABasit -49.858		c		0.70612	1060 Indan Ocean Spreading Roge Southwast Indan Hotge VEMOS-2-006-02 VEMOS-2-006-02 VEMOS-2-006-02 VEMOS-2-006-02 VEMOS-2-006-02 VEMOS-2-006-02 NA
0.211	0.211	0.513058 0.211 0	0.211		0.513058 0.70281 18.911 15.514 38.319	132,55 0 0 14,5 4,5 12,3 9	1035 [127][128][11] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge VEM0033-1-002-019 Basalt		c		0.513066	1041 Indian Ocean Spreading Hogs Southwest Indian Rodge VEMOUST-B04-C07 0,52 at 137,655 0,0 NA
0.189	0.51307	0.51307- 0.189	0.18		0.51307 0.7025 18.99 15.61 38.46	135.00 N/ 3.844 12.23	103] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge VEM0033-1-003-00- VEM0033-1-003-00- Basal -50-41-	0.201 0.51307 0.202	0.20 0.51307 0.20		0.51307	100: Indian Ocean Spreading Factor Scutheeat Indian Rody VEM/031005 Co VEM/031005 Co VEM/04 140:710 2.7. 2.7. 2.7. 8.1.1.1. 8.1.1.1. 8.1.1.1.1
0.21	0.51313	0.51313 0.21	0.21		0.51312 0.7025 18.811 18.813 15.50 38.16	137.55 NG 2.68 7.4	104 Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridg VEM0033-1-004-00 VEM0033-1-004-00 	0 0 0 20 0 20 0 20 0 20 0 20 0 20 0 20	0.20 0.21307 0.20		0.51307	100 Indian Ocean Spreading Fedge Southeast Indian Red VeDM053006 CO 130-07 130-07 4.0
4 0.2	0.51300 9 0.51300	9 0.51300 4 0.22	0.22	2	9 3 2 2 18.0 3 3 3 3 7.7 6	8 P. Z 4	10 11 12 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	N <b>4</b> N 6	272 0		0.5130 5	5 Indian Ocean Spreading Ridg Southeast Indian Ocean Spreading Ridg USAN Spreading Ridg Base Southeast Indian Spreading Ridg Base Southeast Indian Spreading Ridg Base Spreading Ridg Spreading Ridg Spre
0.183	0.183 77 0.513007	0.513007 0.183 0 0	0.18 <u>ය</u> ද	2	77 0.513007 33 0.7028 38 18.057 28 18.057 29 16.439 4 37.858	124 0 0 0 1/1 1/1 1/1 1/1 1/1 1/1 1/1	48 1046 59 [127][126][163][15] 59 Indian Ocean Spreading Ridges 19 Southeast Indian Ridge 19 VEM0033-2:007-003 11 VEM0033-2:007-003 13 40,003	0 0 0 0 181 0 181 0 181	0 0.181 0.181 0.181		12 0.51305 18.772 18.75 15.49 38.19 38.19	47 47 55 55 55 50 50 50 50 50 50 50

RECAI L'Age	LCULE A e 14 Ma	RECA L'Ag	LCULE A ge Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017					RECALCU L'Age 14	JLE A Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86S / Initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875/8651) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	147 Smr / 1440 143 Nmr / 1440 157 Lossis 157 Lossis 258 Li Zoute 258 L	rr to Lourn) Th Loopm 143 Nd/144 Nd measured 20Fb/204b measured 20Fb/204b measured 20Fb/204b measured 208b/224/b	Acte reference Sm (ppm) Nd (ppm) Rb (ppm) Sr (ppm) U (ppm)	Samble Name C Rock Tvpe Latitude Longitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	(Textoroso) initial revenues (SmNch messured recalculé (SmNch messured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (SmNch initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (RD/Sr) measured recalculé	(RbSr) measured recalculé (R5Sr88S) Initial recalculé (R7Sr88S) Initial recalculé (R1Sr10S) Initial recalculé (143Md/144Nd) Initial recalculé (143Md/144Nd) Initial recalculé	147 Sur / 44 Ai 143 Nur / 44 Ai 143 Nur / 44 Ai 875/1985 initial 875/1985 initial 2001/20419 2001/20419 nitial 2005/20419 nitial 2005/20419 nitial 2005/20419 nitial 2005/20419 nitial	U (borm) Pb (born) Th (born) 143Nd/144Nd measured 875/865r measured 20Pb b/204Pb measured 20Pb b/204Pb measured	# COlerook et al 2017 - n.) Goochemistry Reference Location Samole Name Samole Name Location Latitude Latitude Latitude Aue reference San Loom Autorition Aue reference Roticom
0.213 0.513061 0.213	0	0.213 0.513061 0.213	c		0.513061 0.703051	N/A 4.62 13.1	DP0 187-1154A-002R-001/075-077 C Basait -41.4778 131.3173	902 [129] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges	0.174 0.513065 0.174	0	0.174	-	0.513085 0.72284 18.805 14.499 38.262	1030 [127][126][163][125][111] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge VEM0033-1031-003 50 A98 [131:005 [131:005 [131:005] [131:005] [131:005] [131:005] [131:005] [131:005] [131:005] [131:005] [131:005][131:
0.217 0.513070 0.217	0	0.217 0.513070 0.217	Q		0.51307 0.703183	4.31 12	DP0187-1154A-005R-001/091-093 Basalt -41.4778 131.3173	907 Indian Ocean Spreading Ridges South-oest Indian Bridge	0.210 0.513118 0.210	0	0.210 0.211 0.2118	2	0.513118 0.70255 18.572 15.482 38.097	1/12/11/51/51/2 1/12/11/51/51/2 Sumeair Indua Roges VENO25-105-005 49.738 12.708 14.7388 14.73888 14.73888 14.73888 14.73888 14.73888 14.738888 14.7388
0.212 0.513057 0.212	0	0.212 0.513057 0.212	o		0.5130 <i>57</i> 0.703288	14.4	DDP0187-1154A-008R-002.051-055 Basalt -41.4778 131.3173	910 [122] Indian Ocean Spreading Ridges Southsast Indian Bridge		0			0.513075 0.702506	1870 Indian Ocean Spineading F1(28) Southeast Indian F3(28) MOX4001-107-033 B2828 127-47 127-47 NA
	0		0		0.51304 0.702828	NĂ	ODP0187-1155B-009R-00270 19-022 Basalt -41.9582 127.9924	926 Indian Ocean Spreading R1229 Southeast Indian Bidne		0		_	0.513035 0.77236	676 Indian Ocean Spreading Ridges Someast Indian Ridge MCN4801-077-090 48 0021 124 90 NM
0.207 0.512991 0.207	0	0.207 0.512991 0.207	c		0.512991 0.703332	8.6 8.6	OD P0187-1156A-002R-002/076-080 Basalt -42.7332 127.888	928 Indian Ocean Spreading R12981 Southeast Indian Biotee		0		5	0.513041 0.702329	1831 Indian Ocean Spreading Ridges Kicket Joseph Kicket Joseph Hat Strong 12-48 Strong 12-48 Strong 12-49 NM
0.203 0.512998 0.203		0.203 0.512998 0.203			0.512998 0.703522	N/2 3.22 9.8	ODP0187-1156A-003R-001/0 15-019 Basal -42.7333 127.8882	933 Indian Ocean Spreading Ridges Southwast Indian Ridge	0.196 0.512303 0.196		0.196 0.1212935		0.512835	88: holian Ocean Spreading Holia Holian Ocean Spreading Holia (12) 000 (12) 1554-011-0012 (12) 1554-011-0012 (12) (12) (12) (12) (12) (12) (12) (1
0.22 0.51300 0.21		0.21 0.51300 0.22			0.51300	0 N z	ODP0187-1156A-003R-001/140-1 Bas -42.73 127.88	12 Indian Ocean Spreading Ridg Southeast Indian Rid	0.2 0.5 0.2 0.2		0.5128		0.5129	8 10 Indian Ocean Spreading Rig 2000 187-1152-00176-00176-102 188 172 100 172 1
6 0.2 11 0.5133 6 0.2	0	10 11 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 1	C		11 13 0.5130	öñ≯¢	4 ODP0187-1157A-002R-001/025-02 ## 12 22 128.88	14 14 19 19 10 10 10 10 11 10 10 10 10 10	0 11 0 0.5125	0	0.512 0.512	>	0.5125 5 0.703	4 4 4 4 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
209 0.513 332 0.513 209 0	0	209 0.513 332 0.513 209 0	c		0.513 0.703 0.703	28 8 8	77A ODP0187-1157A-002R-001/025-0 salt B 311	940 29) ges Indian Ocean Spreading R( 906 Southwast Indian R	200	0	200 200	>	967 0.512 985 0.702	987 1987 1997 1977 1
209 0.203 14 <b>5 0.513008</b> 199 0.203	0	209 0.203 145 0.513008 0.203	0		M5 0.513008 0.703277	N/A 3.95 2.6 11.9	77F ODP0187-1157B-002R-001/010-012 salt Basalt 111 -43.2613 128.8838	141 947 29) Indian Ocean Spreading Ridges ne Southeast Indian Ridges	0.199 0.512960 0.199	0 0	0.139	2	965 0.51286 966 0.703682	686 830 1014m Ocean Spreading Riges 1014m Ocean Spreading Riges 1020 0000 187-11525404R01079-945 1020 0000 187-11525404R01079-945 1020 1020 187-11525404R01079-945 1020

REC	CALCULE A Age 14 Ma	RECAL L'Age	CULE A Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				RECALCULI L'Age 14 M	EA RE Ma L	CALCULE A 'Age Biblio	ROOK 2017	
(143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875/8657) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	(Sm/Nd) measured recalcule (Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) initial recalcule	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sh measured recalculé (87 Sr&6S A) Initial recalculé (87 Sr&6S A) Initial recalculé	147Sm/144A0 143Nm/144A0 143Nm/144A0 87K/b085/http: 25KU/204Pb 22KU/204Pb 22KU/204Pb 200FP2/204Pb Initial 200FP2/204Pb Initial 200FP2/204Pb Initial	and the state and activity of the state activi	Sample Name Rock Type Latitude Londitude Age reference Age reference Mat (ppm) Rb (ppm)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location	(87 Sr.86Sh) initial recalcule (Rb/Sr) initial recalcule (Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) Initial recalcule	(14.3NG/) 44NOJ Initial recalcule Age 14Ma (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	222 Tr2042b 2221 Tr2042b 2221 Tr2042b 2021 Pr2042b 2021 P	U Journey (1) Journey (45) 40/1 44Md Thatasured 2019/2014/2015/2016/2014/2014/2014/2014/2014/2014/2014/2014	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemister Reference Province Location Samob Name Construction Construction Lastitude Lastitude Construction (Ma) Ade reference Sin Lorent Ade reference Sin Lorent Ade reference Sin Lorent Ade reference Sin Lorent Net Lorent
0.513049 0.214	0.2.14	0.214 0.513049 0.214	o		0.513049 0.703359	upruta - i toswo-jurk-su jurju a- v je Basali 45.9867 129.9990 N/A 4.31 4.21 12.2	968 Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge	0.208 0.513042 0.208	0.208	0.228	0.513042 0.703195	946 1/229 1/6 an Ocean Spreading Riggs Southeast Indan Riggs DDP0187-11579-002R-001090-053 128-883 128-883 128-883 128-883 128-99 102 102
0.513013 0.210	0.210 0	0.210 0.513013 0.210	0		0.513013 0.703546	0167-1138-4-007-6-001 Baselin Baselin 45.9567 123.9990 0.0 0.14 6.11 17.6	970 [129] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.205 0.513025 0.205	0.205	000000000000000000000000000000000000000	0.613025 0.703444	953 Indian Ocean Spinouring Ridges cot87-11578-004R-001/93-400E COP 158-014R-001/93-400E COP 158-683 128.683 143.2813 14
	0		0		0.513063 0.703239	9r018r-11808-0044-00482-005 Basel 134.9982 N/A N/A	129 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge		0	o	0.513044 0.702845	VIN Basel Basel Basel Basel Control School 2011-2810 Basel
	0		٥		0.513051 0.702536	Proto TrobOrr-On 214 Basta 134.9982 N/A N/A	1281 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.205 0.513033 0.205	0.205	0.225	0.51303 0.703284	955 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge 1157-11578-004R-001135-140M 43.2613 128.885 NA 3.33 10.4
	0		0		0.513055 0.702541	ргу на 7-тнове-чи инсусти Вазвід 144, 9082 134, 9982 N/A N/A	990 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.206 0. <b>513045</b> 0.206	0.206 0	0 2206	0.513045 0.703243	959 hrdan Ocean Spreading Fid2) pporter: 15/26-0049-003 Baati -4-22/13 7/28/85 80 0 35/7 10.5
	0	, ,	0		0.513046 0.702872	1,007-0107-1110003-00087-00020-00087-00020-00082- 134.9988- 00 N/A	994 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges		0	۰	0.513046 0.702894	960 holian Ooxan Spreading F1230 Dopote7.1588.004.00.004.003 Esadi 4.334.595 128.520 NA
0.513030 0.214	0.214	0.214 0.513030 0.214	o		0.51303 0.703597	CUDPUI 67 - 11 10 14-00 34-00 14-00 Based 12,2061 129,0513 0 0 1,35 1,35 13,5	996 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.211 0.513042 0.211	0.211	0.2211	0.513042 0.703642	681 Indian O cean Spreading Fit2ge OPD167-11588-0044-00140-ABA -43-0458-044-00140-ABA -43-0458-044-00140-ABA -43-0458-044-0414-04-04-04-04-04-04-04-04-04-04-04-04-04
0.513046 0.217	0.217	0.217 0.513046 0.217	0		0.513046 0.703437	UDFU107-1101A-UD4-K40 Basalt 1220513 0 N/A 3.13 8.72	999 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges	0.210 0.513049 0.210	0.210	0.220	0.5 (3049 0.7 03 043	962 holian Ocean Spreading Ridges Southeast Indam Ridge Southeast Indam Ridge 43.946386 128.8285 128.8285 NA NA 2.8 12.3 12.3 12.3
0.513052 0.216	0.216	0.216 0.513052 0.216	0		0.513062	UUPU18/-1181B40425404 	1001 Indian Ocean Spreading Ridges Southest Indian Ridges	0.212 0.513049 0.212	0.212 0.212	0	0.5 13049 0.70331	1965 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge ODP0187-1159A-0056-001014-013 A Bisati 45.567 12.5.969 NJ NJ 13.5 13.5 13.5 13.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14
0.513045 0.212	0.212	0.212 0.513045 0.212	0		0.513045	UPP0107-1101B-40428-40 	1002 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges	0.211 0.513043 0.211	0.211	02211	0.5 130.43 0.7 028 73	966 Indian Ocean Spreading Ridges Scotheast Indian Ridge ODP0187-1159A-00EX-01014-019M Besatt -45.5657 128.5959 84 85 81 14 3

RECALCI L'Age 1	ULE A RECAI	LCULE A e Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	,				RECALCU L'Age 14	JLE A Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Rb/Sr) initial recalcule (Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) initial recalcule	(143Nd/14Nd) measured recalculé (143Nd/14Nd) initial recalculé (Rb/S) measured recalculé (Rb/S) measured recalculé (875/865) initial recalculé (875/865) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875/86S/) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	147 Sm/14400 143 Nm/14400 8775 0685 http: 87876 0685 http: 228U /24145 228U /24145 228U /24145 228U /24145 228U /24145 http: 2007 Pb/2445 http: 20	143Nd/1 44Nd measured 87Sr/86Sr measured 206Fb/204Pb measured 207Fb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	Age reference Mage reference Nd (som) Rb (dom) Sr (pom) U (pom) Pb (pom)	Province Location Sample Name Rock Troe Latitude Longitude	# (Oliercok et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	(Sr.VN) initial recalcule (Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) initial recalcule	Age 14Ma (L. Ponthus) Age 14Ma (L. Ponthus) (875-8852) initial recalculé	Age ref. (L-Vortmus) (RUSO) measured recalculé (87 Sr&SS) Initial recalculé (87 Sr/KOS) Initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143 Nd/144Nd) Initial recalculé (143 Nd/144Nd) Initial recalculé	147 Smr144AQ 147 Smr144AQ 875/0685 Initial 875/0685 Initial 228U/2049b 228U/2049b 228U/2049b 2009/2049b Initial 2009/2049b Initial 2009/2049b Initial	Analysis and sector an	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochmistry Réference Province Location Samole Name Correction Man Aue reference Aue reference Nd formi Nd formi
0.214 0.513037 0.214	0.214 0.513037 0.2130 0.214 0.214 0.214	0		0.513037 0.703332 18.012 15.459 37.765	N/A 5.75	Indian Ocean Spreading Hoges Southeast Indian Ridge DDP0187-1155B-009R-002/025-029 Basalt -41:9582 127:9924	128 [128]		0	c	2	0.512996 0.702927	1008 1129 Indian Ocean Spreading 1129 Southeast Indian Ridge Basel 44.42-4 126.908 N/A
0.229 0.513057 0.229	0.229 0.513057 0.229 0 0	0		0.513057 0.702965 18.728 15.484 38.192	6.81 6.81	Indian Ocean Spreading Ridges DD P0187-1160B-002R-001/021-025 Basait -44.0082 134.9983	976	0.151 0.512380 0.151	0	0.151 0.151		0.51238 0.711147	1010 hdan Ocean Synading R(20) DP0187-1163-0026-0104-109 Baset 44-22-6 125.005 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05
0.237 0.513059 0.237	0.5130237 0.513059 0235 0	0		0.513059 0.703019 18.872 15.504 38.297	NIA 207 5.29	Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge 0DP0187-1160B-004R-002/141-119 Basait -44.0082 134.9983	[82]1[62]1 086	0.197 0.512869 0.197	0	0.197 0.512960		0.512969 0.703242	1013 hofan Ocean Synearing F123 bofan Ocean Synearing F123 Baatin 44,4246 126,003 3,29 3,29 10,1
0.239 0.513053 0.239	0.239 0.513053 0.239 0.239 0	0		0.513053 0.702722 18.747 15.504 38.234	5 2 N A 3 3 5 15 A	Indian Ocean Spreading Ridges ODP0187-1160B-007R-001049-052 Basilt -44.0082 134.9983	1129 1281	0.212 0.512975 0.212	0	0.212 0.512975		0.512975 0.703222	1011 hrdan Ocean Spreading Fidges ODP0187-1165A008-001064-007 44.4246 1756.000 200 200 203 837 837
	0	0		0.512889 0.70364 17.50 15.501 37.979	X	Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges MELBMRG-6-033-002 -42.115 -48.042	786		0	c		0.512804 0.702801	1023 Indian Ocean Spreading Ridges COPPO167-11648-008200/061408 437.892 127.7461 WM
0.221 0.512904 0.221	0.221 0.512990 0.221 0.221	0		0.512904 0.70358 17.812 15.497 37.886	121 121	Indian Ocean Spreading Ridges MEL BMRG-6-034-001 MEL BMRG-6-034-001 Basali 810.092 87.092	787	0.194 0.512986 0.194	0	0.512986		0.512966 0.7034	1024 Indian Ocean Spreading Ridge COPP0187-11644-0080-001040-6886. 43.749 127.7461 0.001041-0826. 127.7461 0.011010101010101010101010101010101010
0.219 0.51294 0.219	0.213 0.51284 0.21			0.51294; 0.70341 17.733 15.48 37.71	4.3- 1	Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge MELBMRG-6-036-00 Basai -41.091 -86.2	[139	0.21 0.51298 0.21		0.51298		0.5.1208: 0.7.0386	102 102 103 104 104 104 104 104 104 104 104
0.15 0.51296 0.15	0.15 0.12 0.12 0.13			3 0.51296 3 0.7030 7 18.45 5 15.51 5 38.2	14 N	<ul> <li>Indian Cocan Spreading Ridge</li> <li>Southeast Indian Ridge</li> <li>MELWEST-10-048W/</li> <li>Basa</li> <li>46.00</li> <li>95.9</li> </ul>	3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	4 0.21 7 0.51288	0.201	0.51288		7 3 0.7/0330	100         100           Inclian Ocean Spreading Roge         Southeast Indu Roge           100         Indu Roge           100         Indu Roge           110         Indu Roge
3 3 0.21 3 0.22	0.23 0.23 0.23 0.22 0.22 0.22	0		3 0.5130 9 0.703 9 1703 9 15.4 5 15.4 5 37.55	√ 3 ≯ c 10 3.: z	indian Ocean Spreading Ridg Southeast Indian Rid C MELWEST-10-065-0 it -43.082 9 3 91.0946	10 77 17	2 2 0.51300 0.21	10	2 0.51303	2	2 0.51300 1 0.70316 15.40 15.40 37.72	112011         12 <td< td=""></td<>
0.227 88 0.512854 8 0.227	38 0.227 88 0.512254 0 0.225 0 0.225 0 0.225 0 0.225	0		98 0.512954 12 0.70331 18 14 15 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 1	9 4 4 1.79 4.77 4.77	Piese Indian Cocen Spreading Ridges Pie MELWEST-10-069-001 If ABSalt 7 7 88.92217 7 88.92217	00 1139]	22 0.216 77 0.513027 2 0.216	0 0	0.5100276 7 0.5100276	2	77 0,5 (30,27) 77 0,7 (0,5 (30,27) 5 18,108 9 9,7 (5 (5 (3,17)) 9 9,7 (5 (5 (3,17)))	20 20 20 20 20 20 20 20 20 20

RECALCU L'Age 14	Ma RECALO	CULE A Biblio CALCUL OLIE	ROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	LIEROOK 2017	
(Christian Carbon) i minuari v carbone (Rh/Sr) i hitital recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) i nitital recalculé (Sm/Nd) i nitital recalculé	(RUS) Initial reacule (Sm/Nd) mesured reacule (143Nd/144Nd) Initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé (RUS) mesured recalculé (RUS) mesured recalculé	220/USAPPU 220/USAPPU 220/USAPPU 220/Pb/204Pb initial 200Pb/204Pb initial 200Pb/204Pb initial 200Pb/204Pb initial 200Pb/204Pb initial (FbUS) measured recalculé (FBUS) Initial recalculé (FBUS) Initial recalculé	This price is the price of the	# (Olivroke et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Erovince Location Sambe Name Sambe Name Sambe Name Auto Correction (Ma) Auto Correction (Ma) Auto Correction (Ma) Auto Correction (Ma) Md (com) Md (com) Scriberth) Scriberth	(Bb/S) masaured readculé (Bb/S) masaured readculé (Bb/S) initial recalculé (SmN4) measured readculé (143Md/14Md) initial recalculé (SmN4) initial recalculé	Zastricziek Zastricziek Diebsczuste Rusz (Rusz) mealund realcule (Rusz) mealund realcule (Rusz) mealund realcule (Rusz) miał realcule (Rusz) miał realcule (Rusz) miał realcule (Rusz) miał realcule (Rusz) real realcule	bb (cimi) Th (cimi) (143Mdr) 444M masured (2757/657 masured 2767/2424 http://www.ed 2767/2424 http://www.ed 2777/2424 http://www.ed 2777/2424 http://www.ed 2777/2424 http://www.ed 2777/2424 http://www.ed 2777/2424 http://www.ed 2777/2424 http://www.ed 2777/2424 http://w	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Locarice Samale Kam Resk Twa Resk Twa Lastitude Lastitude Lastitude Mate Correnton (Ma) Are reference Sin Loomi Net Joomi Net Joomi Stational Licenti
0.205 0.513011 0.205	0.205 0.513011 0.205 0	o	0.513011 0.72005 17.460 37.540 37.540	902 Indian Ocean Spreading (1139) Scuthwest Indian Ridges MIELWEST-1043 95-59 85-80	0.513021 0.204 0.204	0 0.55 3021 0.204 0.204	0.513021 0.70302 17.51 15.474 37.646	792 Indian Count Spinatring Folds Schwart Indian Roden MELWEST-10-070-032 90-256 90-20
0.204 0.513018 0.204	0.204 0.513018 0.204 0	o	0.513018 0.72318 17230 15.740 37.55	803 Indian Ocean Spreading (159) MELIVEST: 1062.203 Baadi Sci 2014 Sci 2014	0.211 0.553040 0.211	0 0.211 0.211 0.211 0.211	0.51304 0.70283 17.863 15.478 97.459	733 Hofan Ocean Springeling Ridge MELWEST-10-071-00 4-0.2863 90.7.9617 91.7.9617 91.7.9617 91.7.9617 91.7.9617 91.4.2.8633 91.4.3.9.945
0.175 0.512986 0.175	0.175 0.512866 0.175 0	0	0.51208 0.07032 16.133 16.533 37.52 37.52	804 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge MELWEST-0.083-017 46.03117 89.764 NA 2.74 9.49 9.49	0.217 0.513029 0.217	0 0.217 0.217 0.217 0.217 0.217	0.519028 0.7028 17.57 15.464 37.661	Pat Indian Ocean Screeding Filtasi Scalibraset Hotelan Ridge MELWEST-10-072-002 91-28017 91-28017 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0.203 0.513036 0.203	0.203 0.513036 0.203 0	o	0.5513006 0.72006 15.7264 15.7264 37.440 37.440	105 Indian Ocean Spreading Riggs Sontheat Indian Ridge MELVEST-10.084-007 IS-307 0 NA NA 9.326 9.69 9.69	0.213 0.513032 0.213	0 0.61303 0.213 0.213 0.213 0.213 0.213	0.513032 0.70922 17.688 15.485 37.669	ndan Ocean Spording PE(29) Indan Ocean Spording PE(29) Sporth-sait Horizan Ridge MELWEST-10-073-009 MELWEST-10-073-009 Basel 43-4683 91:684 0 0 0 0 1:684 27 12:11
0.218 0.512981 0.218	0.218 0.512891 0.218 0 0	0	0.5:2081 0.70223 17:71 15:47 37:50 37:50	806 Indian Ocean Spreading F16309 Submast Indian Rege MELWEST-100477439 	0.193 0.513016 0.193	0,0113 0,0113 0,113 0,113 0,113 0,113	0.513016 0.70314 15.464 15.464 37.549	796 hdan Osean Synoding Pidigi MELWEST-10074-027 Basel 1-3-42617 1-3-3333 10 11-8 11-8
0.223 0.513015 0.223	0.223 0.513015 0.223 0	0	0.510015 0.20315 17.841 15.461 37.760	807 broken Oosen Spreeding F1839 Keutweit richt an Rober Heutweit richt an Rober Heutweit richt auf der Bel 2019 Bel 201	0.199 0.512995 0.199	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0.51286 0.7024 15.444 15.478 37.647	797 htdin Oran Syndig Picija Sontwart Indan Regio MELWEST-10/75-007 40.577 92.07 92.07 92.07 92.07 93.0 93.0 10.07 10.07
0.178 0.512911 0.178	0.178 0.512911 0.178 0.178 0	o	0.5.12011 0.170351 17.037 15.4400 37.801	808 Indian Ocean Spreading Fildpare Suchwart Indua Ridge WILTWET-10408,004 -17, Hassa 17,145 17,15 17,	0.192 0.192 0.192	0 192 0.192 0.192 0.192	0.512961 0.70332 17.874 15.444 37.896	193 Helian Count Spradding Felgins Suthers Indus Regins MELWEST-1007b; 001 438223 11433 11433 11.16 11.16
0.512952 0.512952 0.186	0.186 0.512952 0.186 0	o	0.512982 0.70230 16.2890 14.2890 37.7402	800 Horlian Ocean Spreading Ridges Surface Horlia Ridges MILEWEST-0.086 107 4-17 Hetes 19:130 11.1 11.1	0.208 0.208 0.208	0 0.28 0.28 0.28 0.28	0.51306 0.70262 15.445 37.443	1900 1910 Hotian Course Speaking Regist Southeast Indian Regist MELWEST-F0.077.007 44.1106 43.077 03.077 03.077 0.017 12.08 12.08
0.204 0.512960 0.204	0.204 0.512860 0.204 0	o	0.5128 0.7288 17.843 37.844	510 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge MELWEST-10-080-001 961-1263 3.32 9.82 9.82 9.82	0.206 0.206 0.206	0 0.286 0.286 0.286	0.5 (30)2 0.70312 17.871 15.489 37.537	800 Indian Coain Spreading 17:39 Southwart Indian Ridges MELWEST-10-075-000 MELWEST-10-075-000 MALASS 94.82285 0 NAA 2.85 8.39 8.39
0.200 0.512986 0.200	0.200 0.512886 0.200 0	0	0,5,1296 0,70316 15,214 15,414 37,828	611 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge MELWEST-10-09-1003 81:000120 96:0120 5,61 17,6	0.513018 0.210 0.210	0 0210 0613018 0210 0613018	0.513018 0.70304 17.875 15.477 57.523	801 Indian Coann Sgrending 1139 Scutharat Indian Ridge MELWEST-10.079.017 MELWEST-10.079.017 0.04.0883 0.04.0883 NJ 15 15

REC/	ALCULE A ge 14 Ma	RECA L'Ag	LCULE A e Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017						RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Sm/Nd) méasuréd recalcule (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr8651 initial recalculé (RVSr) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/S) measured recalculé (875/856) initial recalculé (RD/S) initial recalculé	147 Strut And Initial 147 Strut And Initial 875/b885 Initial 2581/CAR56 Initial 2581/CAR56 Initial 2581/CAR56 Initial 2585/CAR56 Initial 2585/CAR56 Initial	143 Nd/1 44Nd messured 875.4855r measured 207P b/204Pb measured 207P b/204Pb measured 208P b/204Pb measured	Rb (span) Sr (span) U (span) Pb (span) Th (span)	Age Correction (Ma) Age reference Sm (ppm) Nd (ppm)	Location Samble Name Rock Tupa Latitude Longitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochermistry Reference Province	Age 14,14-bornus) (Rb:SS) masuned recalculé (87 Sr/86Sh 1 nbial recalculé (Rb:S) ninitial recalculé (Sm/kd) masuned recalculé (143Nd/144Nd) inhial recalculé (Sm/kd) inhial recalculé	Ander trei, Lin vontinkas ja (RD250) metastured recaliculé ( <b>875665</b> ) initial recaliculé ( <b>8705</b> ) initial recaliculé ( <b>870VG)</b> initial recaliculé ( <b>143Wd14VA)</b> initial recaliculé ( <b>143Wd14VA)</b> initial recaliculé	147 Stru 1440 http: 143 Nort 1440 http: 875-1985 http: 875-1985 http: 2281/22419 2281/22419 http: 2281/22419 http: 2381/22419	An on norm An on	# (Olienook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Landuice Samoth Mann Rock Twee Rock Twee Rock Twee And Correction (Ma) Ade ordremoe Samoth Ade ordremoe Samoth Mid Ioomi
0.205 0.513024 0.205	0	0.205 0.513024 0.205	o		0.513024 0.70293 18.103 15.482 37.936		0 N/A 2.66	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-108-003 -47.972 103.57133	822 [139] Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.513019 0.207	0.513019 0.207	2	0.513019 0.70317 17.891 15.486 37.578	1312 Indian Ocean Spinadrika [1139] Southeast Indian Ridge MELWEST-10.002.009 48.1005 99.94317 2.5 8.47
0.213 0.513028 0.213	0	0.213 0.513028 0.213	0		0.513028 0.70286 18.062 15.466 37.844		N/A 2.65	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-110-004 -48.10367 103.93133	823 Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.189 0.513001 0.189	0.513001 0.189 0.189	-	0.513001 0.70301 16.133 16.435 37.925	613 Indian Ceann Screating Filips) Scatheast Indian Ridge MELWEST-10:066-071 47:355 100:67167 0 NA NA 3.81 12.2 2
0.170 0.512934 0.170	0	0.170 0.512934 0.170	0		0.512934 0.70312 18.322 15.506 38.217		0 3.88 13.79	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-111-018 Basalt -48.2 1333 104.66167	824 Indian Ocean Spreading Ridges	0.186 0.186 0.186	0.186 0.186	-	0.513018 0.70284 18.088 15.466 37.874	8.4 Indian Ocean Styneding Fildball South-basil Hollan Ridge MELWEST-10-007-008 MELWEST-10-007-008 4.71768-5 100.956327 2.75 8.22 2.75 8.22 2.75 8.22
0.197 0.512985 0.197		0.197 0.512985 0.197	0		0.512985 0.70304 18.14 15.494 37.99		N/A 2.91 8.94	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-112-001 48.31717 104.9665	825 Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.182 0.512988 0.182	0.182 0.182 0.182	2	0.512888 0.70201 18.227 15.512 38.102 38.102	115 115 115 115 115 115 115 115
0.199 0.513052 0.199		0.199 0.513052 0.199	0		0.513052 0.70274 18.144 15.467 37.936		N/A 3.27 9.95	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-113-007 Basalt -48.7517 105.2241	826 Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.51302 0.51302	0.199 0.199	2	0.51302 0.70233 17.596 15.467 37.764	816 Indan Ocean Spinsdrig F193] MELWEST-10030-015 MELWEST-10030-015 101.22287 0 0.2237 0.33 10.04
0.156 0.512857 0.156	0	0.156 0.512857 0.156	o		0.512857 0.70351 18.351 15.536 38.268		0 N/A 3.72	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-114-012 Basalt -49.11633 105.58767	827 [139] Indian Ocean Spreading Ridges	0.182 0.512978 0.182	0.182 0.512978 0.182	2	0.512978 0.70306 18.105 15.455 37.944	817 Istian Ocaran Spreading Fid.93 Scrittheast India Fidge MELWEST-10-100-001 401-532 101-532 3.64 3.64 12.08
0.512992 0.203 0.203		0.203 0.512992 0.203	o		0.512992 0.70311 18.06 15.495 38.005		0 N/A 3.33 9.92	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-115-003 -49.22867 105.86767	828 Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.513021 0.207 0.207	0.207 0.213021 0.207	2	0.513021 0.70393 15.459 15.475 37.77	818 Irodian Ocean Spreading Fiddian Southeast Indian Redge MELWEST-10-102-001 Bealth 102-1395 0 NKA 2,85 8,34
0.513007 0.183 0.183	0	0.183 0.513007 0.183	0		0.513007 0.70224 18.233 15.487 38.175		0 3.79 12.5	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-116-002 48.87333 106.49417	829 [139] Indian Ocean Spreading Ridges	0.5.13039 0.2.10 0.2.10	0.210 0.213039 0.210	2	0.513039 0.70291 15.451 15.45 37.719	815 Hollan Occean Spinarafing Ridging Scittbareau todan Ridging MELWEST-10-102-004 Based HELWEST-10-102-004 Based HELWEST-10-102-00 Based HELWEST-10-1
0.184 0.513008 0.184		0.184 0.513008 0.184	0		0.513008 0.7029 18.251 15.5 38.223		0 N/A 3.84	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-116-015 -48.87333 106.49417	830 [139] Indian Ocean Spreading Ridges	0.513047 0.189 0.189	0.513047 0.189 0.189		0.5 13047 0.7029 17.887 15.887 37.802	820 Indian Catan Synerading (1139) Southwart Indian Ridges MELWEST-10-105-001 MELWEST-10-105-001 103.008 0 0 3.32 10.5 103.008 0 3.32 10.5 10 10.5 10 10.5 10 10.5 10 10.5 10.5
0.184 0.513011 0.184		0.184 0.513011 0.184	0		0.513011 0.70289 18.2649 15.508 38.249		0 N/A 4.4 14.49	Southeast Indian Ridge MELWEST-10-117-001 -48.34967 107.14543	831 [139] Indian Ocean Spreading Ridges	0 0.197 0.197 0.197	0.197 0.197 0.197		0.5 130 15 0.7028 18 114 18 14 15 477 37 522 37 522	821 Indian Coann Sgreadain (1139) Scuthan Ridges MELWEST-0-106-004 103-385 0 0 303 87-38 2-38 7-38

RECALCU L'Age 14	JLE A I Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	7			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(RVS) i nitial recalcule (RVS) i nitial recalcule (Sm/Nd) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) initial recalcule	(SmNd)initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus) Age 14Ma (L.Ponthus) (8758860 Initial recalculé	Ade rer. (L-POTITUS) (REVS) measured recalculé (R7Sr/86Sh initial recalculé (RVS) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nud/14/Nd) initial recalculé	147 Stru 1444 Hotid HSNM 1444 Hotid 875-0685 milai 875-0685 milai 2020 UZAIP5 2020 UZAIP5 2020 F2A450 milai 2021 F2A450 milai 2021 F2A450 milai	U (com) U (com) Pb (com) H (com) 443Wdr 444K measured 873-885 measured 2079-1220-49 measured 2079-1220-49 measured	Province Location Samole Name Rock Troe Landhuide Landhuide Landhuide Alas eference Mais of erence Mais marking and the Mais marking and the Mais marking and the Mais marking and the Mais marking and the Roleman	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	Age 14.Mg (L-Poorbus) (RUSS) massured recalculé (87.SV/86.S6) Initial recalculé (87.SV/86.S6) Initial recalculé (SmN40) massured recalculé (SmN40) Initial recalculé (SmN40) Initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus) (REVS) measured recalculé (RTS/R6S5) Initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Md/141Nd) Initial recalculé (143Md/141Nd) Initial recalculé	147 Strut Vatuda Initial 143 Nort Vatuda Initial 875 MolSen Initial 255 U Code Po 255 U Code Po 255 U Code Po 255 U Code Po 255 Po Z Code Po Z Code Po 255 Po Z Code Po Z Code Po 255 Po Z Code Po 255 Po Z Code P	Sr (born) Sr (born) D (born) D (born) D (born) 143Nd/14Nd masured 275/85S7 masured 206/b72/2040 masured 2077b72/040 masured 2077b72/040 masured	# (Olenook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Sciczation Rock Twheme Rock T
0.207 0.513040 0.207	0.207	0.513040	-	0.5.1304 0.7.0285 17.964 15.454 37.8.19	mdar ucean spreading riverges Southeast India Ridge Basat (2006) 112 490.06 112 490.06 1	842 [139]	0 0.512973 0.175	0 0.175 0.512913 0.175		0.512973 0.72001 18.885 16.503 38.383	1822 Indian Ocean Spinodring F1 Southeau Indian F1459 MELWEST-10-118-009 MELWEST-10-118-009 46-2283 107-52717 5-16 5-16 17-54 17-54 17-54
0.207 0.513055 0.207	0.207	0.207 0.513055	-	0.513055 0.70281 17.931 16.455 37.785	Indian Cuenta Spreading Honges Scutterest (un Ridge 46,00733 112,59467 0 10,2947 10,22 10,22 10,22	R43	0 0.187 0.512972 0.187	0 0.187 0.187 0.187		0.512072 0.70298 18.282 15.491 15.491	633 Indian Ceam Synoximp (1139) Seam-mart Hollan Ridges MELWEST-10-122007 MELWEST-10-122007 108/27667 108/27667 108/27667 46 14.9 14.9
0.207 0.513044 0.207	0.207	0.513044	-	0.513044 0.730283 17.95 14.486 37.821	Indian Outers Systeming Houses Southeast Houses MEL/WEST-10-138-015 Basati 112:68028 NA Southeast 12:69028 NA Southeast 12:69028 NA	844 [139]	0 0.513041 0.221 0.221	0 0.221 0.513041 0.221		0.513041 0.72273 18.011 15.459 37.845	BA Indian Ocean Sponding F1(39) Scalib and Holman Fidge MELWEST-10-74-00 MELWEST-10-74-00 106-51383 2.3 5.3 6.3 6.3 6.3 6.3
0,198 0,513035 0,198	0.198	0.513035	5	0.513035 0.70289 17.998 15.413 37.723	Indam Outers Systeming Krages Southeast Hules Rtdge 40, 1876 - 10, 188-001 - 20, 18768 112, 86965 - 0, 18768 - 12, 86965 - 0, 18768 - 12, 18965 - 0, 18768 - 12, 18965 - 12, 1997 - 12, 199	845 [139]	0 0.201 0.513023 0.201	0 0.201 0.513023 0.201		0.513023 0.70285 18.128 15.475 38.047	153 1630 Ocean Spreding F(193) 16400 Ocean Spreding F(193) 16200 16200 16200 10210 100
0.197 0.513012 0.197	0.197 0	0 0.197 0.513012	2	0.513012 0.7028 17.952 15.46 37.786	indan/Ucean/spreamg/indan/Kage Southeat indian Ridge MELWEST-10-138-036 112 85665 0 0 0 0 0 0 2.26 9.26	Participan Connection Distance	0 0.165 0.165	0 0.165 0.512909 0.165		0.512609 0.70336 15.18 15.18 15.202 38.202	830 Motion Ocean Stonading (193) Scattmand Internation Regard MELWEST-10-78-009 MELWEST-10-78-009 49.027 100-484 0 0 0 100-484 12.75 100-484 12.75 100-484 12.75 100-484 12.75 100-484 12.75 100-484 12.75 100-485 100
0.191 0.513018 0.191	0,191 0	0.191 0.513018		0.513018 0.70292 18.017 19.51 37.81 37.81	rotain Ocean spreezing voges Southest T-0-104,005 MELWEST-0-104,005 113,454 113,454 NIA NIA 13,453 13,05	847 Idain Doone Screeding Bidges	0 0.190 0.190 0.190	0 0.190 0.512917 0.190		0.512917 0.70343 15.633 38.193 38.193	837 Holian Ocean Screeding FU 391 Scansserviceding FUges MELWEST-10-128-03re 10-03276 -40-020
0,193 0,512999 0,193	0,193 0	0.193 0.512999	5	0.512899 0.70287 17.947 15.41 37.796	nolain Uodan Systealung Honges Southeast MELWEST-10-11-001 13.61633 00 NA 4.05 12.71	848 [139]	0 0.214 0.213141 0.214	0 0.214 0.213141 0.214		0.513141 0.70273 17.734 15.449 37.621	828 Hollan Cosan Syraedina E133 Saturati Ridges MELWEST-10-128, 034 
0.201 0.513015 0.201	0.201 0	0.201 0.213015		0.5.13015 0.70308 15.285 16.785 37.338	Noisin Ocean Streaming Hog is Southeast Indian Ridge MELWEST-10-142-001 114-480804 114-48080 0 0 0 10 27 10.27	849 [139]	0 0.203 0.203 0.203	0 0.203 0.203 0.203		0.5.13.057 0.70.274 18.064 15.064 37.9646 37.964	E30 Indian Coans Spreading (1939) McLuvES 1, 102,000 McLuvES 1, 102,000 McLuvES 1, 102,000 McLuvES 1, 111,1345 0, 111,1345 2, 255 8, 77 8, 77 8, 77 8, 77
0.201 0.513011 0.201	0.201 0	0.201 0.513011		0.513011 0.70315 15.884 15.484 37.887	Indian Ocean Spreaduring Hodg es Southeast Indian Redge MeLWEST-10-14-000 Based 4-000783 115.2127 0 0 0 0 8.81 8.91	Indian Oceans Second film Bide and	0 0.188 0.188 0.188	0 0.186 0.186 0.186		0.5 13038 0.70287 15.47 37.823 37.823	800 11/103 10/13/10 10/15/10/13/2000 MELWISST-10/32/000 11/178317 11/178317 11/178317 11/178317 13/20 10/27 10
0.182 0.512929 0.182	0.182 0	0.182 0.182		0.5.12923 0.10268 17.554 16.47 37.612 37.612	Indian Spreading Koges Southeast Indian Reset MELWEST-10-145-001 	Indian Ocean Second in Bio	0 0.513071 0.201	0 0.201 0.201 0.201		0.5.13071 0.70271 17.701 17.643 37.5844 37.584	841 Indian Ocean Sprending (113) Scathean Indian Rdgs MELWEST-10-173-000 MELWEST-10-173-000 112-31633 00 00 00 00 00 00 00 00 00

RECALC L'Age 1	ULE A REC 4 Ma L'V	ALCULE A	CALCUL OLIEROOK 2017				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalculé (SmNd) initial recalculé Age 14Ma (L. Pontrus) (Rb/S) measured recalculé (875/865/1 initial recalculé	Ade rer. (L. Formus) (Rb/Sr) measured recalculé (875/8651) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	147 San Var ANA 147 San Var Ana 157 Coles 157	Sr (John) Sr (John) H	Reck Trive Latitude Longitude Age reference Age reference Mid (born) Nd (born)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sambe Name	Act 14ML L-bontrus) (FBCS) neasured recalculé (875://BGS/ninklar recalculé (Sm/Nd) inklar recalculé (Sm/Nd) inklar recalculé (143/Nd/14MNd) inklar recalculé (Sm/Nd) inklar recalculé	Age rat. (L-PORTus) (RUS2) measured recalculé (RTS/RSSA) Initial recalculé (RTV/S1) Initial recalculé (Sm/Vd) measured recalculé (143/Nd/AAN) Initial recalculé (Sm/Vd) Initial recalculé	<ul> <li>HY Sim Hand</li> <li>HS Sim H</li></ul>	Sr (oppm) Sr (oppm) Photometry (oppm) Photometry (oppm) 143 Nd/1 44 Nd (oppm) 143 Nd (oppm) 143 Nd/1 44 Nd (oppm) 143 Nd (	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochamistry Reference Province Scalar Rear De Name Rear De Name Rear De Name Rear De Name Longitude Ane Correction (Ma) Ane reference Sin (opin) Ma (opin) Ma (opin)
0.195 0.512854 0.195	0.512954 0.195 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	2	0.512854 0.70312	Basalt 41.8979 127.0067 N/A 81/A 4.9/2 15.23	886 Indian Ocean Spreading Ridge Ridges 1152-0010-002	0 0.185 0.185 0.185	0,185 0,185 0,185	,	0.513075 0.70311 17.362 15.443 37.32	822 Indian Ocean Synoxistip (1139) South near Indian (11439) MELWEST-10-145000 MELWEST-10-145000 116771753 116771753 2161 2161 2161 2161 2161 2161 2161 216
0.199 0.512962 0.199	0.512962 0.199 0	0 1 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		0.512962 0.703165	41.8972 127.0076 0 0 3.75 11.41	889 Indian Ocean Spreading Ridges Indian Ocean Spreading Ridges Surfnest Indian Ridge 0 P0187-11258-0086,00 (100:00-00)	0.193 0.193 0.193	0.193 0.193 0.193	,	0.51291 0.70318 17.974 15.513 38.027	885 Hof an Ocean Sponship R (199) Scott near horing R (199) MELWEST-10-146 (0)9 MELWEST-10-166 (0) 49 50653 117.16175 0 0 0 2.67 9.31
0.198 0.512855 0.198	0.512955 0.198 0	0 100 0		0.512955 0.703074	Hasait -41.8972 127.0076 0 N/A 3.9 11.89	892 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.194 0.513018 0.194	0.194 0.513018 0.194	,	0.513018 0.770285 15.011 15.47 37.847	155 Indian Ocean Speeding FU39 Scenario et aluar Folge MELWEST-10-47-006 497 20467 1175 1667 5,31 5,31 16,57 16,57
0.198 0.512953 0.198	0.512953 0.198 0	0 108 C		0.512853 0.703095	Hassit -41.8972 127.0076 0 N/A 4.17 12.72	893 Indian Ocean Spreading Ridges DOP01 67: 11528-0056-001142-142-142	0.216 0.513047 0.216	0.216 0.513047 0.216	,	0.513047 0.70308 17.62 15.42 37.57	638 Indan Ocean Spinaeting Fid-45 South-are Hoto2:3002-007 DUF002:3002-007 Baselin Baselin 71:025 0 0 0 2.26 6.33
0.212 0.513060 0.212	0.513060 0.212 0	0 212 0		0.51306 0.702745	Basast -41 2715 129,8161 N/A 4,67 13.32	894 [156] Indian Ocean Spreading Ridges Softwast Indian Ridge 20P0 187-1155A-007W-004-080-05	0 0.207 0.513018 0.207	0.207 0.23018 0.207	,	0.513018 0.703146 15.466 15.475 37.67	640 (F44) Notan Ocean State DU007201-008 South-sectors DU007201-008 Salari 72242 0 0 0 0 224 224 6.60
0.209 0.513045 0.209	0.513045 0.209 0			0.513045 0.702742	Basalt -41.2715 128,8151 N/A 4.37 12.62	896 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.204 0.513044 0.204	0.204 0.204 0.204	,	0.513044 0.70289 17.817 15.447 37.75	642 II43) Notian Ocean Screeding Fidges South-Sector/Code DUF9037-026-036 28.7 7-5-191 0 0 8.87 8.87 8.87 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5
0.209 0.513047 0.209	0.513047 0.209 0	0.000		0.513047 0.702717	Basalt -41 2715 129 8151 0 N/A 415 11.99	897 [159] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge COP0187-1153A-008R-001700-0	0.197 0.513010 0.197	0.197 0.513010 0.197	,	0.51301 0.702982 15.489 38.04	645 14 dig 14 dig 15 dig 15 dig 16 dig 17 dig 18 dig 19 dig
0.211 0.513061 0.211	0.513061 0.211 0	0 2111		0.513061 0.702689	Basah -414788 1313173 010 4.83 13.83	901 [166] Indian Ocean Spreading Ridges DDP0187-1154.v0078.r001031-020	0.226 0.226 0.226	0.513006 0.226	,	0.5.13006 0.7.03024 15.012 15.012 35.029 38.020	648 Indian Coans Specialing (14) Southers reading (14) Southers read (14) UFeO37-405-001 17:855 0 0 0 10 2.8 7.555 7.555 7.555
0.211 0.513061 0.211	0.513061 0.211 0	0 241		0.513061 0.702572	Easant 41.4778 131.3173 0 N/A 4.93 14.12	903 [156] Indian Ocean Spreading Ridges Opp 187-1 15-Koutheast Indian Ridge	0 0.176 0.512712 0.176	0 0.176 0.176 0.176		0.512712 0.704747 15.554 38.68	660 Indian Ocean Streading Adapt South-an Indian Robert DU-9027-006-002 78 438 0 78 438 3.12 3.12 10.7 10.7
0.211 0.513063 0.211	0.513063 0.211 0	0 221		0.5 13063 0.7 028 05	Basali -41:4778 131:3173 0 4.93 4.93 14:14	904 [158] Indian Ocean Spreading Ridges ODP0 187-1 154-0054 0028 002190	0 0.512969 0.181	0.181 0.181 0.181		0.5 12969 0.7 02982 18.4 15.524 38.49	653 Indian Ocean Spreading Ridge Scottenatineading Ridge Scottenatineading Ridge Scottenating Ridge Scottenating Ridge Scottenating Sco

RECALC L'Age 1	ULE A RECAL 4 Ma L'Age	CULE A	CALCUL OLIEROOK 2017	7			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(1434d/144Nd) Initial recalcule (1434d/144Nd) Initial recalcule (Phonthus) (PDS) nessured recalcule (PDS) nessured recalcule (PDS) nessured recalcule	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86S7) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	147 Star V44AQ H43 Not 144AQ B75 b985 hital 875 b985 hital 256 U204Pb 256 U20	Pb (ppm) Th (ppm) 143Nd/144Nd masured 276Pb274Pb massured 277Pb274Pb massured 207Pb274Pb massured	Lantitude Lantitude Alse Correction (Ma) Alse reference Matomi Re (open) Sr (open) U (com)	# (Olierrock et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sample Name Rock Toxe	(Rb/S) initial recalculé (Rb/S) initial recalculé (Rb/S) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(RUS) mesured recalculé (RUS) mesured recalculé (RUS) initial recalculé (SmNd) mesured recalculé (143Nd/14Nd) initial recalculé (SmNd) Initial recalculé (SmNd) (SmNd)	147 Smr (1444) 143 Nor (1444) 875 NBS - Initial 875 NBS - Initial 875 NBS - Initial 226 U/2041Ph 226 U/2041Ph 2007 IPA/2041Ph Initial 2007 IPA/2041Ph Initial 2007 IPA/2041Ph Initial	Sr (ppm) U (ppm) Th (ppm) 143Ndr/141Nd measured 8753/8557 measured 2017F2/24F5 measured 2017F2/24F5 measured 2017F2/24F5 measured 2017F2/24F5 measured	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochariaty Reference Province Location Sample Name Carect Yose Latitude Latitude Latitude Alse Orarction Mai Alse reference Sam (Dem) Nd (Dem)
0.204 0.512991 0.204	0.204 0.512991 0.204 0	0	,	0.512891 0.702915	127,382 127,386 N/A 2,59 8,85 8,85	933 Indian Ocean Spreading Ridges Sourheast Indian Ridges 20P0187-1156A-003R-001/102-104 Date: Date: D	0.513062 0.211 0.211	0.513062 0.513062 0.211	2	0.513062 0.702852	905 1156 101 an Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge Basal 41.4778 13.173 NA 4.57 13.34
0.202 0.512980 0.202	0.202 0.512980 0.202 0	0	,	0.51298 0.703003	42,73145 127,88000 NIA 3,20 9,78	936 Indian Ocean Spreading Rtdges Southeast Indian Rtdge DP0187-1156B-004R-001/102-106 DP0187-1156B-004R-001/102-106	0.211 0.513069 0.211	0.513069 0.211 0.213 0.211	-	0.513069 0.702801	900 hrdan Ocean Spreading R1699 DP0187-154A-004R-02001-044 Baat 41-4/78 1313170 NA 4.8 13.8 13.8
0.204 0.513015 0.204	0.204 0.513015 0.204 0.204	0	,	0.513015 0.702894	128.8861 128.8861 N/4 3.18 9.43	938 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges 20P0187-1157A-001W-CC013-017 DBast	0.211 0.513063 0.211	0.211 0.513063 0.21		0.513063 0.702699	508 hdan Ocean Spreading R169 DDP0187-1154A0008-001005-011 41.4778 41.4778 131.317 4.1478 4.14778 4.14778 4.14784444444444444444444444444444444444
0.208 0.513049 0.208	0.208 0.513049 0.208 0	0	,	0.513049 0.702613	128.8061 128.806 N.K. 4.50 13.32	943 Indan Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges ODP0187-1157A-003R-001/02a024	0.211 0.53367 0.211	0.211 0.513057 0.21		0.513057 0.702801	909 Indian Ocean Synading F8169 Summark Johnson Holm Ridge DDP0187-1154-00776-00100-008 4154-0078-001000-008 4154-007 41
0.206 0.513048 0.206	0.206 0.513048 0.206 0	0		0.513048 0.70258	128.8861 128.8861 N.0 4.54 13.36	944 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges 00 Pht 87-11 57A-003R-001 /028-029	0.195 0.195 0.195	0.195 0.13001 0.19 0.19	2	0.513001 0.702987	913 hdan Ocean Syneadrig 1763 Southeat rulan Ridges 00P0187-1155-0095-00102-023 419 5940 0 0 127 5948 438 13 59
0.205 0.513040 0.205	0.205 0513040 0.205 0	0	,	0.51304 0.70283	128,82613 128,830 830 840 3,940 11,8	949 Polan Ocean Spreading Rdges Southeast Indian Rdges COP0187-11578-002R-01055-055	0.211 0.513031 0.211	0.211 0.513031 0.21	-	0.513031 0.702833	915 Indian Ocean Spreading Ridges COPP0187-11558-0278-01005-057 Based 41558-0278-01005-057 127.950 02 02 02 04 02 04 02 04 02 04 02 04 02 04 02 04 02 04 02 04 02 04 04 04 04 04 04 04 04 04 04 04 04 04
0.209 0.513047 0.209	0.509 0.513047 0.209 0	0		0.513047 0.702679	1228388 12288888 0 0 3344 1142	951 Indian Ocean Spreading R1ges Southeast Indian Ridges ODP0187-11578-004R-001/034-084-084	0.210 0.513021 0.210	0.210 0.513021 0.210		0.513021	916 hdian Ocean Spreading Fidge copp0187-11550-028-001066-08 -415982 127:592 0 127:592 247 247 7.1
0.204 0.513043 0.204	0.513043 0.204 0.200			0.513043 0.702813	128 8291 128 8291 8 10 10 3 3 10 9	952 Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge ODP0187-11578-004R-001/136-132	0.211 0.51303 0.211	0.513032 0.211		0.51303 0.702823	917 Istice braine Ocean Spreading Rege Southeast Indian Rege Opph 187-11556-0002 A0000540-41 9586 4-19 958 127 950 2 96 2 96 2 96 7 56 7 56
0.21 0.51304 0.21	0.51304 0.21			0.51304 0.70263	- 45.956 123.966 - 123.967 - 129.967 - 129.977 - 129.9777 - 129.97777 - 129.97777 - 129.97777 - 129.97777 - 129.97777 - 129.97	96 [156] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Rid ODP0187-1159A-006R-002/054-05	0.21 0.51303 0.21	0.21 0.51303		0.5 1303	00000167-11550-0084-000000 00000167-11555-0088-001004-01 Basa 41.958 127.952 17
0.211 0.513045 0.211	0.513 0.513 0.211 0.211 0.211 0.211 0.211 0.211	0		0.513045 0.702642	122.99867 122.99867 NI 12.9986 NI 12.9986 NI 11.39	971 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges ODP0187-159A-0077R-001/139-141	0.204 0.51285 0.204	0.512865 0.204	5	0.512985	1930 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge ODPN 1877-1156A-002031/33-136 Basalt -42.1322 127.1882 NA 3,177 9,38

RECALO L'Age 1	ULE A RECALO	CULE A Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCU L'Age Bit	LE A CALCUL OLIEROOK 20	017	
(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(KOSY) Initial recalcule (Sm/Nd) mesured recalcule (13Nd/14Nd) Initial re calcule (Rb/Sm/Nd) Initial re calcule (Rb/Sh Initial recalcule (Rb/Sh Initial recalcule (Rb/Sh Initial recalcule	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875:R6Sn initial recalculé	147 Sm/144AQ 143 Ng/144AQ 875 bills 875 bills	U (Jopm) Pb (Jopm) Th (Jopm) 143Nd/144Nd measured 875/865r measured 2070Fb204Pb measured 2070Fb204Pb measured	Sannik ikan Rack Tve Lanitude Lanitude Age rofeence Age rofeence Ser (com) Ser (com) Ser (com)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Location	(Rb/S) measured recalcule (87 S/86Sh initial recalcule (Sm/NS) initial recalcule (Sm/Nd) measured recalcule (143Hd/14M) initial recalcule	(875/8587) Initial recalculé (RtVS) Initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144N8) Initial recalculé (SmNd) Initial recalculé Age 14Ma (L-Ponthus)	14 NACA And An initial 8775 (2005) Initial 8775 (2005) Initial 2756 (1204) Po 2756 (1204) Po 2757 (PA) Cube Initial 2005 PC) Cube I	147.200/144MG	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochmistry Reference Provine Location Sample Name Concentration Sample Name Correction (Ma) Aue reference Sin Loom Aue reference Sin Loom Ref Loom Ref Loom Ref Loom Ref Loom Ref Loom
0.207 0.513061 0.207	0.207 0.513061 0.207 0	ō		0.513061 0.702837	ODP0187-1161A-003R-00168-66 0 Basalt -44.2860 129.0610 0.0 0.0 0.0 10.29 10.29	995 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.212 0.513041 0.212	0.212 0.513041 0.212 0.212 0.212	o	0.513041 0.702828	972 Indian Ocean Spreading 1155 Swineast Indian R16 Swineast Indian R16 Basat 45,5667 123,909 NA 1,39 1,39 1,37
0.207 0.513057 0.207	0.207 0.513057 0.207 0	0		0.513057 0.702851	DP0187-1161A-003R-001/008-0010 Basait 44.2260 129.0513 NA 3.51 10.28	997 [156] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.206 0.513044 0.206	0.513044 0.206 0.206 0.206 0.206	o	0.513044 0.702533	973 1973 1973 1973 1974 1975 1
0.208 0.513042 0.208	0.208 0.513042 0.208 0	o		0.513042 0.703014	DP0187-11629-009R-001090-092 44, 63301 129,188015 NA 3,88 11.3	1005 [156] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge	0.235 0.513055 0.235	0.235 0.513055 0.23 0.25	ō	0.513065 0.702576	975 Indian Ocean Spreading [155] Suthead Indian Ridge Baselt 44.0082 134.989 NM 227 5.64
	0	٥		0.513056 0.703044	DP0187-11625-008R-001/080-094 44.63208 129.188015 N/A N/A	1006 [156] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.225 0.513066 0.225	0.225 0.513066 0.225 0.225	0	0.513066 0.702363	977 Indian Ocean Spreading [195] Bootest Halin Ridge Basit 44.002 134.985 194 195 194 195 4.19 195 197 197 197 197 197 197 197 197 197 197
0.195 0.512975 0.195	0.195 0.512975 0.195 0	٥		0.512975 0.702983	DP0187-1163A-008R-0018041-04-3 -44-8248 126-9063 N/A 3.35 10.41	1012 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.210 0.513043 0.210	0.210 0.513043 0.210 0.210	0	0.513043 0.702641	982 Indian Ocean Spreading [195] Southeast Indian Ridge Baset 14,002 13,993 NA 2,48 7,13
0.195 0.512963 0.195	0.195 0.512963 0.195 0	0		0.512963 0.702979	0P0187-1163A-009R-002.000-002 Basalt 126-9083 N/A 3.63 11.27 11.27 11.27	1015 [156] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridge	0.237 0.513069 0.237	0.237 0.513069 0.23 0.237	0	0.513069	983 holun Ocaan Spreading R48pa Spreading R48pa Esait 44.0082 13.9.98 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80 80
0.203 0.512975 0.203	0.203 0.512975 0.203 0	0		0.512875 0.702912	00P0187-1164A-002R-001001-005 -43-7482 127.7482 NA 2.69 8 8	1017 [156] Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Indian Ridges	0.211 0.513046 0.211	0.211 0.513046 0.214 0.214	o	0.513046 0.702634	984 Indian Ocean Spreading PR098 Summer Indian R098 Based Cortex Ord/006-011 Based - 410-002 134-395 9 2.5 7.18
0.209 0.512979 0.209	0.209 0.512979 0.209 0	0		0.512979 0.702945	ODP0187-1164B-001W-CC/023-025 Besett 127.7461 2.51 2.51 8.43 8.43	1019 [156] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge	0.238 0.513058 0.238	0.238 0.513058 0.238 0.238	o	0.5.13088 0.7.02573	888 hrdian Ocean Spreading Rdgs Southeast Indian Rdge Southeast Indian Rdge Southeast Indian Rdge Beatt - 44 002 - 13 985 - 84 - 84 - 84 - 84 - 84 - 84 - 84 - 84
0.211 0.512986 0.211	0.211 0.512986 0.211 0	o		0.5.12986 0.7.02939	ODP0 187-1164B-004R-002/135-138 Basalt -43.748 127.7461 2.59 2.59 7.41	1021 [156] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge	0.237 0.513061 0.237	0.237 0.513061 0.230 0.237	o	0.5.13081 0.7.02551	991 Indian Ocean Spreading Rdge ODP0 187-1160E-008-00 1005-007 Basati 44.002 19.985 01.04 1.94 3.8 3.8 1.94 1.94 3.8 3.8 1.94 1.94 3.8 1.94 1.94 1.94 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8 3.8
0.211 0.512987 0.211	0.211 0.512987 0.211 0	o		0.5 12987 0.7 02934	ODP0187-1164B-008R-001036-039 Basalt -43.7482 127.7481 0 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2 8.2	1022 [156] Indian Ocean Spreading Ridge Southeast Indian Ridge	0.238 0.513069 0.238	0.238 0.513069 0.238 0.238	O	0.5.10069 0.7.02591	1912 Indian Ocean Spreading Ridge ODP0187-11605-00040/01070-074 Basati -14,0002 -14,9983 -14,9983 -24,0 -24,

RECALCI L'Age 1	ULE A 4 Ma	RECA L'Ag	LCULE A e Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017					RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE L'Age Bibli	A CALCUL OLIEROOK 201	7	
(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875/86Sn) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	147 Stri Val AND 148 Stri Val AND 875 UKS in Itali 875 UKS in Itali 288 UKAH bi 288 UKAH b	An and a start and	Age Correction (Ma) Age reference Nd (ppm) Rb (ppm)	Location Samble Name Rock Type Latitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	Age 14Ma (L. Ponthus) (RbtS) measured recalcule (RbtS) Initial recalcule (RTS-8655) Initial recalcule (RTVKS) Initial recalcule (Sm/N0) Initial recalcule (14,3Md/14Nd) Initial recalcule	(100 cs) intensities reserved (875/8656) initial recalculé (Rb/St) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143/Nd/14A/Nd) initial recalculé (143/Nd/14A/Nd) initial recalculé	140W01/44M04Initial 877E/0855: http: 2782/0855: http: 2281/204Pb 2381/204Pb 2	A contract of the second secon	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reliferino Locarion Rock Twe Rock Twe Latitude Latitude Latitude Latitude Latitude Latitude Set form Rock for the set Latitude
	0	0.166	c	,	18.7.11 15.49 98.2019	0 N/A 4.407 14.122	Southeast Indian Ridge MOAB801-011-017 Basalt -50.152 127.652	863 [158][117][111] Indian Ocean Soread to Ridoes	0 0.513024 0.211 0.211	0.211 0.513024 0.211	0	0.513024 0.702819 15.641 15.465 37.786	1, 160 126 Indam Covan System Scattmast Indam Ridge DP0187-1155B-005R-002019-022 141.9562 127.9624 127.9624 7.6 7.6 7.6 7.6
	0	0.176	c	,	18.685 15.485 38.17	0 N/A 7.872 23.8	Southeast Indian Ridge MOA8801-012-001 Basalt -50.162 127.833	864 [158][17][11] Indian Ocean Spreading Ridges	0	0.182	0	18 594 15 4 594 39 1 21	Idan Ocean Spracting Fide Southeast Idan Edge Southeast Idan Edge MoA801:000-001 1-30.533 1-30.553 4-50 1-30.553 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.5555 1-30.55555 1-30.555555 1-30.5555
0.193 0.512943 0.193	0	0.193 0.512943	Q	,	0.512943 17.954 15.485 37.754	0 N/A 9.676	Southeast Indian Ridge MOA8801-029-005 -48 997 -48 997 124 468	[158][163][117][111] [158][163][117][111]	o	0.166	0	18.583 15.479 38.101	1 (58) (11) Indian Ocean Symethys 19(49) Scatharast telain REga MOA8011-006-041 - 50 (188 - 50 (188)) - 50 (188 - 5
0.207 0.513076 0.207	0	0.207 0.513076	C	,	0.513076 0.70258 18.655 18.485 18.485	0 N/A 5.89 17.203	Southeast Indian Ridge MOA8801-013-047 Basitt -50.147 128.015	159]158]1158]1111 [159]158]1111	o	0.174	0	12 BES 15 486 38 148	Indian Ocean Symetry Reg Scathward Reg McAsson Levin Reg McAsson - Children Reg Based - Scathward Reg Based - Scathward Reg Based - Scathward - Scathw
0.181 0.513092 0.181	0	0.181 0.513092	C	,	0.513092 0.77248 15.609 15.458 16.458 38.075	0 N/A 9.964	Southeast Indian Ridge MOAB601-004-002 -48.763 127.36	[159][158][117][111] Indian Ocean Soreading Ridges	o	0.165	0	12 689 15 489 38.187	115011071 Indian Ocean Symetry Region Scathwast Intellin MOA801-019-056 Basat 50-147 127.017 127.017 10 10 10 10 10 10 10 10
0.214 0.513038 0.214	0	0.214 0.513038	0	,	0.513008 0.70284 18.238 18.238 18.48 37.998	0 N/A 3.403 9.617	Southeest Indian Ridge MOA88014-005-001 Basalt -48.68 126.52	[159][158][117][11] [159][158][117][11]	0		0	17.885 15.464 37.705	Holian Ocean Spreading Totality Scatterest Indian Roge MCA801427 206 MCA801427 206 Basat 49 002 124 895 124 895 NNA
0.207 0.513050 0.207	0	0.207 0.513050	c	,	0.51305 0.70288 18.4 15.45 38.050	0 N/A 9.799	Southeast Indian Ridge MOA8801-006-002 Basalt -48.765 126.883	[159][159][178][117][111] [159][169][117][111]	•	0.191	0	17.788 15.482 37.547	Helian Orean Screeting (158) Scattmast Indian Rodge Scattmast Indian Rodge MOA801-028001 124.708 124.708 340 345 96
0.205 0.513088 0.205	0	0.205 0.513088	o	,	0.5.13088 0.70251 18.728 18.728 15.455 38.245 38.245	0 N/A 3.382 9.971	Southeast Indian Ridge MCA8801-016-001 Basalt -50.163 127.577	[159][159][117][117] Indian Ocean Screading Ridges	0	0. 185 0. 185	0	18.689 15.5 38.21	Helian Ocean Streading Fields Scathwart Streading Fields MOA801-001-015 Basati 128.54 0 0 5.727 16.462 16.462
0.174 0.513064 0.174	0	0.174 0.513064	c	,	0.513064 0.70258 0.70258 18.787 15.487 38.2497 38.2497	0 N/A 3.769 13.096	Southeast Indian Ridge MOA8801-016-012 Basalt -50.163 127.577	[159][158][117][111] Indian Ocean Screading Ridges	0	0.181	0	18.667 15.505 38.207	1156[1177111] Indian Oceane Streading Richer Southeast Indian Richer MO4801-003-006 Basel 50107 127362 0 0 7 081 208
0.174 0.512903 0.174	0	0.174 0.512903 0.174	c		0.512803 15451 15852 12888 15203	0 N/A 3.66 12.725	Southeast Indian Ridge MOA8801-027-058 Basait 49.062 124.965	877 [159][158][177][11] Indian Ocean Streading Ridges		0.171	0	18.657 15.488 38.169	163(1):17(1) 101(a): Ocean Spravids, 164(a):1 Southeast Jointon Ridge MO485(1-101-001 Basati 02.243 127.59 0.0 0.2 0.2 12.5 12.

	RECAL L'Age	CULE A 14 Ma	R	L'Ag	LCUI e Bit	LE A blio	CALCUL O	LIEROC	DK 2017						RECALCULE A	A	RECALCULE L'Age Biblic	A (	CALCUL OLIEROOK 2017		
(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(Rb(Sc) measured recalculé (Rb(Sc) miasured recalculé (87 Sr/86St) initial recalculé	(Sm/Nd) initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	232 Th/204Pb 232 Th/204Pb initial 206 Pb/204 Pb initial 207 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial	87Sr/86Sr initial 238 U/204 Pb 2351 U/204 Pb	147 Sm/144Nd 143 Nd/1 44 Nd initial 87R b/86Sr	Th (com) 143 Nd/1 44 Nd measured 8/75 /865r measured 20/P b/204Pb measured 20/P b/204Pb measured 20/P b/204Pb measured	Variations National Sr (pom) U (pom) Pb (pom)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference Sm (nom)	Location Sample Name Rock Type Latitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	(Rb/S) measured recalcule (87 SreSs) Initial recalcule (Rb/S) Initial recalcule (Sm/Nc) measured recalcule (143Nd/141Nd) Initial recalcule (Sm/Nc) Initial recalcule	(Sm/Nd) initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	(RD/S7) measured recalcule (875/858) initial recalculé (RD/S7) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143/Nd/144/Nd) initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus)	147 Sm/14440 143 Nm/14440 143 Nm/14440 1875/085 P. Initial 1875/085 P. Initial 2281/024/Pb 2281/024/Pb 2019/024/Pb 2019/024/Pb 2019/024/Pb 2019/024/Pb 2019/024/Pb	Sr (opm) U (opm) Pb (opm) Th (opm) 143Nd/f 44Nd measured 875r/685r measured 2061b/2041b measured 2061b/2041b measured	# Cleinosk et al2117 - n.) Geochemistr Reference Province Sample Name Rock Twos Rock Twos Rock Twos Rock Twos Rock Twos Rock Twos Rock Two Rock
			0			0				0.70575		N/A	Southeast Indian Ridge VEM0033-1-002-001 Basalt 50.267	1034 [85] Indian Ocean Spreading Ridges	0.198 0.513012 0.188	0.198	0.198	0		0.513012 0.70285 17.83 17.83 15.4774 37.774	14 501 (158) 1711 11 hdan Cean Spreading Ridges Scotheast Idages MOABOT COLO Basad 123 202 123 202 123 202 9,62
		¢	0			0				0.70492		N/A 0	Southeast Indian Ridge VEM0033-1-003-002 Basait -50.417	1037 [85] Indian Ocean Spreading Ridges	0.200 0.513261 0.200	0 200	0.200 0.513261	0		0.512261 0.70281 11.763 15.428 37.591	[169][169][163][17][[11] hdanOcean Syneating Ridges Southeast Unit an Ridge Southeast Unit an Ridge Southeast Unit and Ridge Based 123.800 2.417 7.317
		¢	0			0				0.7096		N/A 0	Southeast Indian Ridge VEM0033-2-011-001 Basalt -49.858	1057 [85] Indian Ocean Spreading Ridges	0.216 0.513054 0.216	0216	0.216 0.513054	0		0.513054 0.70254 18.513 15.466 38.009	[159][10][158][117][111] hrdan.Ceena Spreading Ridges Scatheast Luina Ridge Baset 152, 477 152, 477 3, 02 3, 02 8, 449
		¢	0			0				0.71384		N/A N/A	Southeast Indian Ridge VEM0033-2-011-002 Basalt -49.858	1058 [85] Indian Ocean Spreading Ridges	0.233 0.513224 0.233	0.233	0.233 0.513234	0		0.513234 0.70285 17.779 5.4 37.6	[159][10][158][117][111] hndan Ocean Spreading Hoges Scatheast Unian Ridge McNa801-032.001 Halers 123.680 2.320 6.05
0.212	0.212 0.513181		0.212	0.212 0.513181		0				0.513181 0.70319	9.71	14:542 0 N/A 3.41	Southeast Indian Ridge ARGDODO-113-A1 23.343	622 [89] Indian Ocean Spreading Ridges	0.220 0.513048 0.220	0.220	0.220 0.513048	0		0.513048 0.70276 17.887 15.453 37.634	[150]160[150]117[11] holian Ocean Spreading Redges Southeast India Redge MOA8011-026 001 East 124.295
0.200	0.200		0.200	0.200 0.513119		0				0.513119	9.76	72:433 N/A 3.22	Southeast Indian Ridge ARGDODO-114-A Basalt -24.117	624 [89] Indian Ocean Spreading Ridges		0.174	0.174	0		0.7029 17.843 15.459 37.626	[150]160]150]117[111] holian Oram Spreading Rolges Southeast Indan Rolges MOA801-027.071 Basati 124.480 124.480 2.824 8.626
		,	0			0				0.7026 18.68 15.5 38.13		13 1:000 0 N/A	Southeast Indian Ridge VEM0033-1-001-A Baselt -50.408	1032 [95] Indian Ocean Spreading Ridges	0.207 0.513007 0.207	0.207	0.207 0.513007	0		0.513007	Hdian Ocean Spreading Filips Southwest Intain Ridge DUF0037-003-001-01 Baset 72-24 V/A 224 6.56
0.181	0.513050	c	0.181	0.181 0.513050		0				0.51305 0.70261 18.75 15.49 38.19	15.9	13 1.000 0 N/A 4.77	Southeast Indian Ridge VEM0033-1-001-G Basalt -50.408	1033 [95] Indian Ocean Spreading Ridges		0		0		0.7033 18.21 18.57 38.57	It est] feat brain Ocean Streading Ridges Sudhest Halan Ridge ARG0000-114 Thrateite 24.117 7.2.43 N/A 2.08
		:	0.212	0.212	0.014	95 0.014	0.00	0.00	0.212 0.014	18.002 15.543 38.879	3.2 0.8 156.1 0.3	95 1.3	Central Broken Ridge. Dredge 10 s M-D10-1_LEACHED Bassit -31.23	87 [20] Kerguelen (Broken Ridge)		0		0		0.7043	1028 Indian Ocean Spreading Ridges Southeast Hotan Ridges VEM019 524 76.06 76.00 10.00 4.21 4.21 4.21
			0.155	0.155	0.106	95 0.106	0.00	0.00	0.155 0.106	18 249 15 498 38 396	12.0 7.5 190.7 0.7	191 102 102	Central Broden Ridge. Dredge 10 s M-D-2_UNLEACHED Basalt -31.23	88 [20] Kerguelen (Broken Ridge)		0		0		0.7032	NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA NA N

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	
(RUS) measured recalculé (RUS) measured recalculé (RSV8051 initial recalculé (RSVN01 measured recalculé (SNNV01 measured recalculé (SNNV01 initial recalculé (SNNV01) initial recalculé	Age teri (L Ponthus) (Rb:S) measured recalculé (87 Sy/86Srl initial recalculé (Rb:S) initial recalculé (Sm/k4) milati recalculé (143Wd/4Ad) initial recalculé (Sm/k4) initial recalculé	1420 Control of the second of	Lanitude Longitude Alea Forreation (Ma) Alea reference Mat (com) Mat (com) St (com) St (com) St (com) St (com) St (com) St (com) St (com)	# (Olerrok et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Samble Name Samble Name Rock Tope	Age 14Ma (L. Ponthus) (Rb/S/) measured recalculé (Rb/S/) initial recalculé (Rb/S/) initial recalculé (Sm/Md) initial recalculé (Sm/Md) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb:Us) measured recalcule (875/86501 Initial recalcule (870/14) measured recalcule (501/14) measured recalcule (501/14) measured recalcule (1304/141/06) Initial recalcule (1304/141/06) Initial recalcule	147 Sm/144Ad 143 Nm/144Ad 143 Nm/144Ad 147 N	glocobranitary References Provinces Location Sample Nume Rock Yraw Rock Yraw
0.037 0.775477 0.038 0.138 0.51280 0.138	94.87 0.037 0.705430 0.037 0.138 0.138 0.138	0,65/2820 0,705480 16,200 16,2	-322317 94.87 7.5 35 56 4890 02 2.3 1.3	53 [21] ODP Los 163, Ste 1142 5 15-1142/CR112A 8 15-1142/CR112A	2	0.055 0.216 0.216	0 2 16 0 10 55 0.000 0.000	88 Corrit Borken Rego -D10-3_UNLEXCHED Basel 31.23 10.3 11.23 10.3 11.23 10.3 11.23 10.3 11.23 10.3 11.23 11
0.705444 0.025444 0.082 0.182 0.512630 0.182 0.182	94.87 0.031 0.705408 0.1031 0.1031 0.151253 0.162	0.6572847 0.7705450 16.508 16.508 16.508 16.508 0.01822 0.01845 0.01845 0.02845 0.02845 0.02845 0.02845 0.02845 0.02845 0.02845 0.0512 0.0512 0.05120000000000000000000000000000000000	-32.2317 94.87 94.87 2.4 8.1 8.1 4.82.3 1.1	54 Keguiden (Broken Ridge) COPLeg 183, Stef 11-2 s 183-1142AR1 2A, LEACHED s 183-1142AR1 2A, LEACHED s	ž	95 0.034 0.181 0.181	0 181 0 00 0 00 0 00	60         Control Encicion Regal         Control Encicion Regal         Control Encicion Regal         Control Encicion         S314         S
0.705857 0.75857 0.289 0.183 0.183 0.183	0.705547 0.705547 0.705547 0.269 0.269 0.51285 0.1255 0.132	0.0512675 0.7205910 17.298 16.522 0.41256 0.41256 0.41256 0.41256 0.412 0.4100 0.4100 0.4100 0.410000000000	-32.2317 94.87 94.87 2.4 7.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5 183.5	95 Kerguelen (Broken Ridge) ODP Leg 185, Ste 1142 183-1142-09R3 51-54. LEACHED	14	0.004 0.004 0.189 0.189	0.189	81 Karguelen (Botken R(ge)) Eastern Bocken R(ge) a M-08-1_LEXC/HED 96 33 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 95 9
0.133 0.705494 0.133 0.512551	16 0.133 0.70 <b>5480</b> 0.133 0.512551	0.70551 0.70551	(40][39] 17 369	36 1 (40[36] Kenguelen Archipelago Cool 33 19 basat	4	95 0.124 0.153 0.153	0,153 0,00 0,00	82 Eastern Broken R(20) s D& E-1A_UNLEACHED 30 & E-1A_UNLEACHED 30 & E-1A_UNLEACHED 30 & 30 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
0.416 0.705527 0.416 0.512461	20 0.416 <b>0.705492</b> 0.416 0.512461	0.512441 0.70661	[40][39] 117 814	351 (40][39] Kerguelen Archpelago Courbel Paninsula 3307 3307	0.056 0.70549 0.056 0.056 0.512617 0.136	95.17 0.76545 0.765434 0.056 0.136 0.512544 0.136	0.51254 0.512544 0.72644 0.72644 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.746 0.756 0.7	81 Kerganien (Broken Rege) ODP kaj 163, Sen 141 813, 114,A2384,2 Basel V. Nalime 52,287 96,97 96,97 15,004 15,004 35,600 35,600 35,600
0.214 0.705237 0.214	20 0.214 0.705219 0.214	0.70 828	[40][39] 61 824	352 Kergusten Archipetago Courbert Prominsula 3308 basat	14 0.755619 0.054 0.054 0.054 0.0512652 0.155	95.17 0.70557 0.70557 0.156 0.156 0.156 0.150	0.156 0.1524 0.054 0.0254 0.025 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.0	82 Kengualem (Ecolem Regar) CDP Leg 153, Stel 141 9 (193, 1141, 1482) 19 (193, 1141, 1482) 19 (17, 1283) 19 (17, 1283) 19 (17, 1283) 10 (17, 1283) 10 (17, 1284) 10 (17, 1284) 10 (17, 1284) 11 (17, 1284) 11 (17, 1284) 13 (18, 100) 15 (1284) 15 (1284) 16 (1284) 16 (1284) 17 (1284) 17 (1284) 18 (1084) 19 (1284) 19 (1284) 10 (1284
0.109 0.705508 0.109 0.114 0.512533 0.114	20 0.109 0.705499 0.119 0.114 0.512528 0.114	0.512643 0.70653	1401 20 8.17 43.34 2.5 666	353 [40][39] Kerguelen Archipelago Courbel Peninsula 3310 gabbro	0.765 0.765479 0.055 0.055 0.171 0.51264 0.171	05.17 0.70545 0.055 0.171 0.512543 0.171	0.171 0.412543 0.065 0.05 0.05 0.05 24.27 18.003 18.003 18.587 38.601	B B B B B B B B B B B B B B
0.70556 0.70556 0.625 0.512562	20 0.625 <b>0.705533</b> 0.625 0.512562 14	0.512582 0.70571	[40][39] 143 662	354 (40[]39] Kerguelen Acchivolato Courbet Peninsula 316 trachyte	14 0.7050 0.705432 0.000 0.1184 0.51263 0.184	95.17 0.705208 0.705288 0.184 0.512541 0.184	0.164 0.712541 0.060 0.7053228 0.02 9.02 9.02 18.055 15.596 38.689 38.689	84 Kesputen (Bober Ridge) ODP Leg 193, Ster 141 193-1141/-1931, LEACHED Basel Variant, Ster 128 1971 283 1971 2971 2971 2971 2971 2971 2971 2971
0.773 0.705794 0.473 0.477 0.512407 0.092	8.4 0.773 0.705794 0.473 0.052 0.512407 0.092	0.512412 0.70885	8.4 (40)[39] 14.41 94.6 153 886	355 Kerguelen Archipelago Jeanne D'Arc Paninsula 3309	4	95,17	0.00 0.00 0.00	85 Kegguelen (Boken Rigge) 00P / teg 153, Sie 1/41 Beaut, EXO(FED Beaut, Kawine 
0.189 0.705717 0.189	8.4 0.189 0.705717 0.189	0.776574	401389 31 474	356 (40)[39] Keguelen Archipelago Jeanne D'Arc Penrinsula baait	5	95,17		8 00P - koj 152 00 00P - koj 153 00 er 144 Biasult Analine 30 2220 9 128 9 128 9 128 9 13 141/ 168 9 13 141/ 168 9 13 141/ 168 9 141/ 15 10 15 10 38 573 38 573

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017					RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			
Age 14Ma( L Ponthus) (RbLS) measured resetuté (875/8065/1 Initial recalcuté (Sm/Nd) measured resetuté (143/04/144/06) Initial resetuté (Sm/Nd) resetuté (Sm/Nd) resetuté (Sm/Nd) resetuté	Age ref. (L. Pontha) (Rb:S): Nessured reseluté (87:Sr/8051 Initial recalcuté (Sm/N) messured reseluté (14:34:NH (St. Rb)) (Sm/N) reseluté (Sm/N) reseluté (Sm/N) reseluté	1475mr1444 1475mr1444 1475Mr14444 1877k0855 1877k0855 1877k0855 1877k0245 2281/02456 2281/02456 2281/02456 2281/02456 2016/02456 2016/02456	Th (born) 143 Nd/1 44 Nd measured 87S r/86Sr measured 20 Fb 1/20 44b measured 20 7P b/20 44b measured 20 8P b/20 4P b measured	Sm (born) Nd (born) Rb (born) U (corn) U (born) Pb (born)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Poroince Location Samole Name Samole Name Jackt Ynae Jackt Vnae Jackt Vnae Jackt Vnae Jackt Vnae	Age 14Ma( I, Ponhus) (Rb:S) measured mealculé (875-9865) Initial recelculé (Sm/Nd) measured recelculé (Sm/Nd) measured recelculé (14304/144Nd) Initial recelculé (Sm/Nd) Initial recelculé	Age ref. (L. Ponthia) (Rb:S) measured recalculé (87:Sr/86S)1 initial recalculé (Sm/N0) measured recalculé (Sm/N0) measured recalculé (Sm/N0) initial recalculé (Sm/N0) initial recalculé (Sm/N0) initial recalculé	1475/mr144/444 1438/441444/444 1438/441444/444 1878/858 britel 1878/858 britel 1878/858 britel 1878/858 britel 2580/02449 2580/02449 intial 2287/502449 intial 2287/502449 intial 2287/502449 intial	Th (com) 143Nd/144Nd measured 87578685r measured 206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	Age reference Sn (ppm) Age reference Sn (ppm) R4 (ppm) S1 (ppm) U (ppm) B4 (ppm)	# (Olierock et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samble Name Rock Tome Rock Tome Locatitude Locatitude
10 33.4.98 <b>0.7/16243</b> 33.503	10 33.4.98 <b>0.7/16243</b> 33.503	33.47	0.71	130.8 11.3	10	2699 Kergunden Archinologia Kergunden Kergunde	8.4 0.511 0.511 0.511 0.124 0.51233 0.124	8.4 0.511 0.511 0.511 0.511 0.124 0.124		0.512346 0.70594	8.4 [40][39] 7.91 3.8.62 2.71 15.35	357 Kerguelen Archio[139] Jeanne D'Arc Pennsula Jeanne D'Arc Pennsula 1318 trachyte
10 32.950 <b>0.705221</b> 32.955	10 32.950 0.70 <b>52.21</b> 32.955	32.94	0.7098	129.8 11.4	10	40139 Kergunden Archipelago SRBIC	14 0.705199 0.705199 0.408 0.512444	15 0.705193 0.712444		0.512444 0.70528	404 57	(40139) Kerguelen Acriptelago Loranchef Parinsua 3311 trachyte
10 54.272 0.76283 54.280	10 54.272 0.76233 54.280	54.29	0.714	133.1 7.1	10	316 (40]381 Kenguelen Archelego SRBC 2854	14 0.085 0.7056833 0.085	15 0.085 0.085 0.085		0.70565	6-10 46 5	359 (40)(30) Korguelen Acchipelago Loanchel Perimsula 3315 basante
10 120.248 0.704924 120.266	10 120.248 0.704924 120.286	120.2	0.722	135.3 3.26	10	(40(38) (40(38) SRBC 2865	14 0.705128 0.113 0.113 0.1138 0.512698 0.138	16 0.712 0.725124 0.113 0.138 0.512697 0.138		0.512711 0.70515	16 28 44 540	360 (40[35]) Karguelen Achipelago Mouril Blanc 3317 basat
10 13.2.618 <b>0.706167</b> 132.637	10 132.618 <b>0.706167</b> 132.637	132.5	0.725	102.5 2.24	10	318 (40[38] Kerguelen Achbiedepo SRBC 2299	10 1.768 0.705549 1.768	10 1.768 0.705549 1.768	1.77	0.7058	10 180	(40[30] Kerguelen Acthinelige SNBIC 20 E 5 B
10 127.946 0.705330 127.964	10 127.946 0.705330 127.964	127.9	0.7237	104.2 2.36	10	(40[39] Keguelen Accholeago SRBIC	11.5 4.019 4.020	11.5 4.019 4.020	4 02	0.7064	1 1.5 182 131	(40128) Kerguelen Accipelago SRBIC 20 F 8 A
10 210.106 0.703163 210.136	10 210.106 0.703163 210.136	210.4	0.733	148.5 2.05	10	(40138) (40138) Kenguelen Acchpielen SRBC 2666	11.5 10.746 0.70548 10.748	11.5 10.746 10.748 10.748	10.74	0.7073	11.5 208 56	(40139) Kerguelen Archipelago SRBC 20 F 15 A
10 207.722 0.703401 207.751	10 207.722 0.703401 207.751	207.6	0.7329	148.1 2.04	10	(40)(321 Kerguelen Acchipiologio SRBIC	10 2.133 0.706197 2.133	10 2.133 0.706197 2.133	۵۵ ۵۵	0.7085	10 58.1 78.8	(40)[39] Kerguelen Archipelago STRIC 2657 B
10 217.358 0.704833 217.389	10 217.358 0.704833 217.389	2189	0.7357	140.1 1.87	10	2698 Kegualen Achipulago SRBIC SRBIC	10 9.668 9.669 9.669	10 9.668 9.669	9.67	0,7069	10 107.6 322.2	(40)[99] Kerguelen Archipelago SRBC 2660
8.75 9.460 <b>0.705724</b> 9.462	8.75 9.460 <b>0.705724</b> 9.462	9.4 8	0.7069	110.2 33.7	8.75	323 H40[[39] Kerguelen Actriptelen Stellago 2878 C	10 13.689 0.706056 13.691	10 13.689 0.706056 13.691	13.71	0.708	10 151.4 32	313 [40][39] Kerguelen Archipelago SRBIC 2861

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	,				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				
Revent in the calcule     (RVSV) measured recalcule     (R7Sr86SS) initial recalcule     (R7Sr46SS) initial recalcule     (R3NU4) measured recalcule     (143Nd/14ANJ initial recalcule     (SmN4) measured recalcule     (SmN4) initial recalcule	Age eff. (L. Porthus) (RUSO's measured recalculé (RUSO's) Initial recalculé (RUSO's) Initial recalculé (143Md/144/a) Initial recalculé (143Md/14/a) Initial recalculé	147 Smr 1444 initial 148 Mar 1440 initial 875/1685 initial 875/1685 initial 228U/2049 228U/2049 228U/2049 nitial 228P2/2049 nitial 228P2/2049 nitial	Ph (topm) 143 Nd/1 44 Nd measured 276 Ph 20 4Ph measured 20 Ph 20 4Ph measured 20 2Ph 20 4Ph measured 20 8Ph 20 4Ph measured	Sm (bom) Rb (pom) Sr (pom) U (pom)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olinsok et al., 2017 - n.) Geochemisterv Reference Province Location Samola kanne Samola kanne Janiculos	Age 14Ma (L. Ponthus) (RUSO) measured recalculé (875/8685) Initial recalculé (871/8053) Initial recalculé (871/94) initial recalculé (143/94/141/96) Initial recalculé (143/94/141/96) Initial recalculé	Age ref. (L-Ponthus) (RUS25) massured recalculé (87 Sr66S5) Initial recalculé (87 Sr66S5) Initial recalculé (87 Mol7 Massured construité (14 Mol7 44 Noi Initial recalculé (14 Mol7 44 Noi Initial recalculé	147 Smr144 Heid 147 Smr144 Heid 875 V685 heid 238 U/204Pb 238 U/204Bb 238 U/20	Tr buonn Tr buonn 143 Nd/1 44 Nd massured 275 /2655 massured 20 Pb V204Pb massured 20 Pb V204Pb massured 20 Pb V204Pb massured	Sm (com) Nd (com) Sr (com) U (com)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Location Sample Name Rock Tvop Latitude
2.38.2.57 0.7057.32 2.38.2.84	8 238.257 0.705732 238.284	239.5	0,7328	168.4 2.05	œ	Hol[[39] Kerguelen Architelago SRBC 2804	8.75 77.286 0.705097 77.296	8.75 77.286 0.705097 77.296	77.24	0.7147	130.8 4.9	8.75	324 (Aorguelen Archipolago SRRad 2680
2.49.132 0.706097 2.49.160	8 249,132 0.706097 249,160	2 48 8 8	0.7344	175.2 2.04	œ	(40[[39] Kerguelen Archivellage SRBIC	8.75 2.04.7.98 0.70 <b>825</b> 2 2.04.824	8.75 204.798 0.70 <b>5252</b> 204.824	205	0.7307	135.6 1.92	8.75	325 [40][39] Kerguelen Archipelago SRBIC 2662
262.51 0.703377 262.541	8 262.51 0.703377 262.541	261.8	0.7332	179.2 1.98	œ	(40[39] Karguelen Archivelago SRBC 2063	243.587 0.705332 243.817 0.712546 0.512546	8,75 2,43,887 0,705332 2,43,817 0,512546	243.6	0.512546 0.7356	129.3 1.54	8.75	326 [40][39] Kenguelen Archipelago 2683
257,285 0.704770 257,324	8 257.295 <b>0.704770</b> 257.324	226.6	0.734	177.4 2	œ	(40139) Kerguelen Achteelage SRB/C	647.015 0.703529 547.083	675 547.015 547.083 547.083	544.3	0,7715	144.3 0.768	8.75	327 [40][39] Kerguelen Archipelago SRBIC 2879
257.882 0.703703 257.911	8 257.882 0.703703 257.911	256.9	0.733	179.6 2.02	œ	(40)(30) (40)(30) Kerguelen Achineiago SRBIC	8 141.613 0.705512 141.629	8 141.613 <b>0.705512</b> 141.629	141.4	0.7216	161.3 3.3	œ	328 [40][39] Kerguelen Archipelago SRBC 2684 D
77.573 07 <b>05687</b> 77.582	8 77.573 77.582 77.582	77.65	0.7145	183 6.83	œ	(40139) Kerguelen Acchaelago SRBIC ZG G	895.339 0.701384 895.440	8 895.339 895.440	897.3	0.8031	246.5 0.804	œ	329 (40)[39] Kerguelen Archipelago 2602
76.949 0.706377 76.958	76.949 0.708377 76.958	76.96	0.7149	177.8 6.69	7.8	(40139) Kerguelen Acchipalago SRBIC ZRDC H7	8 211.438 0.705079 211.462	8 211.438 0.705079 211.462	211	0.7.291	286.6 3.93	00	330 (40][39] Kerguelen Archipelago SRage 2603 E
78.118 0.706447 78.126	78, 17.8 78, 118 0.706447 78, 128	78.11	0.7151	189.4 7.02	7.8	(40(13)) Kerguelen Archoellago SRBC	8 16.183 0.7.04660 18.195 0.5.12527 0.5.12527 0.147	8 16.193 0.704660 16.195 0.147 0.512577 0.147	16.17	0.512535 0.7085	15.66 64.51 16.4	00	331 (40][39] Kerguelen Archipelago SRBIC 2664 F
0.705580 0.000	0.705580 0.000 0.000	783	0.70558	71	14	(40)(342 (40)(39) SRBC SRBC microgabbro	17.465 0.705516 17.467	8 17.465 17.467 17.467	17.48	0.7075	115.3 19.1	00	332 (40)[39] Archipelago 2662
0.000 0.707710 0.000 0.512549	14 0.000 0.707710 0.000 0.512549	728	0.512549	50	14	343 Kerguelen Archipelago 2818 gabbro	8 17.450 0.705518 17.452	8 17.450 <b>0.705518</b> 17.452	17.48	0.7075	115.2 19.1	00	333 (40)[39] Kerguelen Archipelago SRBIC SRBIC

RECALCULE A RECALCULE A LAge Biblio CALCUL OLIEROOK 2017	RECALCULE A LAge 14 Ma LAge Biblio CALCUL OLIEROOK 2017
f (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemister Reference Province Samob Name Samob Name Samob Name Samob Name Samob Name Samob Name Fock Tvas Luthuse Luthuse Samob Name Fock Tvas Samob Name Fock Tvas Sa	geochemistry Relevened     geochemistry Relevened     geochemistry Relevened     constant
Kenguelen Archijelago Mauni Fontaine SURVA Beset Beset 14.2 14.2 14.2 14.2 15.5 14.2 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15	344 Kengualem Architestago dike 14 70 0.512499 0.7655 764 764 765 0.000 0.512499 0.7655 14 0.000 0.512499 0.7655 14 0.000 0.512499 0.7655 14 0.000 0.512499 14 14
159 Kengunéen Arch (H2) (Muni Fontaine Muni Fontaine Bauat Bauat Bauat Bauat Bais Bais Bais Bais Bais Bais Bais Bais	Kerguden Archeelago SREG grambe 8 8 8
160 Kengunelen Archipelagi Morurt Fontaine a B7616 100 a B7616 100 Beauti 163 163 163 163 163 163 163 163	123 Kergunisen Archi (42) Style-still BY96-still Style-still Styl
161 Kerguelein Archipelago Mount Fortaine s British Basat 162 162 162 162 162 162 162 162	Kengueleen Archipelaago Mourt Kraitaen Bry6-82 Basel 15.88 15.88 15.88 2.87 2.87 0.01273 0.704485 0.704485 0.040 0.0407 0.0177 0.0177
142 Kerguelen Acciptelia Montr-Fontshe 4.15 4	153 Kergaleken Architeken Maxim Fontialen Bitten Bi
163 Kenguelen Archipeligi World Fonaine st 97 Fonaine 162 163 163 163 163 163 163 163 163	Kaggulein Archiged
165 Keggulen Archipelago Not Poniso Strivension 100 100 100 100 100 100 100 10	Keguden Archip (42) Mount Formine Basait 1745 28 357 1745 414 414 414 414 414 414 414 414 414 4
Hose         Hose           Meseguelen Archipoliska         Elawatt           Bawatt         Elawatt           Bawatt         Hose           Babatt         Hose	Keguden Archibelden Mount Fondien Bismon Bismon 12,2 304,0 305,0 3
Kenguelen Archipelago Wang Lelen Archipelago s.Brochaine s.Brochai	158 Kaggudein Archologiago Mount Fondinio BP06600 BP06600 BP06600 16.3 17. 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7 1.7
137 Kenguelen Archigelago s Brigozo S Brigozo S Brigozo S Brigozo S Brigozo S Brigozo S S S S S S S S S S S S S S S S S S S	Kegguelen Arribelego Mourt Fordina Brote- Base Brote- Base Brote- Base Brote- Base Brote- Base Brote- Brote

RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A LAge Bolio CALCULE A LAge Bolio CALCUL OLIEROOK 2017
14 Norf 44 Norf Advin measured 20 PC/2045 Printing 20 PC/2045 Prin	# (Olivrook et al. 2017 - n.) Geochematry Reference Docation Rampair Kann Rampair Kann Kannak Lanituda Lanituda Aae reference San Loomi Bal Loomi	# (Olarook et al. 2017 - n.) Geochemany Retrono Particle Rose Nom Rose No Age Orrected Age orderence Sin Loomi Hallow Hal
0.512725 0.7204431 0.7204431 0.7204431 0.7204431 0.812726 0.614 0.812726 0.614 1.8472	150 Kerpuelen Archipelago Mount Des Recentes 98 384 88 87 88 28 88 28 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 88 8	138 Kengapaten Archite He ZJ Holourt Das Buchara Besta
0.0513875 0.0704915 0.0704915 18334 18345 18345 0.0513646 0.0513646 0.012 0.012 0.012 0.012 0.014 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144 0.0144	151 Kerguelen Archipeligo Mount Des Ruches S Brass Bass 68,95 88,95 88,95 88,95 92 88,2 82,2 82,2 82,2 9,2 2,3 0,7 0,7 0,7	139 Korganation Archine 142 Monard Des Relations Bergel 48.67 48.67 48.67 48.67 48.67 48.67 48.67 48.67 49.2 1.1 0.512664 15.518 15.518 15.518 15.518 15.518 15.518 15.518 16.201 18.203 15.518 16.201 18.203 14.41 0.1050 14.21 15.518 16.201 18.203 15.518 16.217 0.1147
0.512830 0.0512830 0.0105170 0.0105170 18.2547 18.2547 0.1528 0.15128 0.15128 0.05128 0.05128 0.05128 0.010	147 Kerguelen Auchzeitago Mount Des Rockers Basalt / Basalt Transition (88,8 18,2 18,3 18,3 18,3 10,3 10,3 10,3 10,3 10,3 10,3 10,3 10	140 Korgunden Architel (42) Mount Das Ricitado Mount Das Ricitado Basit 48.67 48.67 48.67 48.67 48.67 48.67 49.70 11.1 1.2 2.2 2.0 1.1 1.2 2.2 2.0 1.2 1.2 2.2 2.0 1.2 1.2 2.2 2.0 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2 1.2
0.512381 0.705416 18.340 18.340 18.340 18.340 18.340 18.340 0.705456 0.1512 28.2 0.705456 0.1512 28.2 0.705456 0.1512 0.1	(42)(50) Korguelen Archolespo Mount Des Routes Basalt / Basalt / Tereston (82) (82) (82) (82) (82) (82) (82) (82)	141 141 Kegguselen Architel (42) Mount Des Rischen Bauer 148/56-38 149/56-38 161/5 162/2 162/2 162/2 162/2 171.15
0.51272 0.51272 0.704725 0.704725 18.884 18.884 0.512886 0.512886 0.704744 0.029 0.129 0.029 0.150 0.02140000000000000000000000000000000000	169 Kergatelen Archineterspo Moord De La Tournetersp Basel LA dade 70.5 [70] [70] [70] 31.7 31.7 33.6	142 142 Keggaaaline / Acristy (4/2) Mount One Floridop Mount One Floridop Baset -48.67 8.62 16.20 0.7704676 0.770476 0.77
0.512715 0.704715 0.704715 18.824 18.824 0.512001 0.512001 0.704714 0.704714 0.704714 0.704714 0.704714 0.7147 0.714770 0.7147 0.714771 0.704716	(46) Kegguelen Architoletago Mount De La Tourneete Basait, Tenselocot 70,5 (70) (70) (70) (70) (70) (70) (70) (70)	143 Korgunation / Activity Mount Des Plantes Basan 148/64-42 Basan 148/64-42 Basan 148/64-42 Basan 148/64-42 Basan 15.401 18.201 19.401
0.512725 0.512725 0.704747 18.884 0.5127012 0.5127012 0.704743 0.0114 0.704743 0.0114 0.704743 0.0114	171 Kegyusten Archizebelago Moont De La Tournerte Besatt Transidova 705 [70] [70] [70] 27.7 3.2 3.3 33.3	144 Keggaalaten Aceiste Mount Das Piculas Baset Baset 48.67 88.6 28.5 28.5 28.5 28.5 28.5 28.5 28.5 28.5
0.51272 0.51270 0.70480 18445 0.512876 0.512876 0.512876 0.704785 0.1210	(12 Keguelen Archoelego Mount De La Tournelle Basait, Transford 705 (70) (70) (73) 312 342 3420	145 Korgustern Archite (42) Mount Des Russes 9 (9)-43 (das 9 (9)-43 (das 9 (9)-43 (das 9 (9)-43 (das 9 (9)-43 (das 9 (9)-43 (das 9 (9)-44 (das 9 (9)-44 (das 9 (10)-44 (das 9 (das)9 (das 9 (das)9 (das 9 (das)9 (da
0.5 13 7.2 0.7 04 779 0.5 0.139 0.5 0.139 0.5 1035 0.7 04787 0.005 0.7 04787 0.005 0.7 04787 0.005 0.7 04787 0.005 0.7 04786 0.7 04786 0.7 04786 0.7 04786 0.5 15659 0.5 15659 0.5 15659 0.5 15659	173 Kergueten Archivelago Mount De La Tournente Basait, Tarente Sat 705 705 170 80 80 389 389 389 389	140 Morani Due Burge Monani Due Burge Borden Basit 143 144 1556 143 143 143 143 143 143 143 143
0.5127.5 0.5	174 Kenyuden Anthreite Mount De La Tournente Basalt Transford 705 100 100 100 100 100 100 100 100 100 1	143 Kengupaken Anche Barg Nount Das Russel 4.67 4.62 4.67 4.62 4.

Annexe n°15: Compilation des données isotopiques de roches liées à la présence du panache de Kerguelen, recalculées à 14 Ma (modifiée d'après Ollerook et al. 2017)

RECALCULE L'Age 14 M	A RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio C,	ALCUL OLIEROOK 2017	
(877,865) initial real-ute (877,865) initial real-ute (RNS) initial real-ute (SmN4) masure real-ute (SmN4) initial real-ute (SmN4) initial real-ute	Age ref. (L Penthas) (RUS) measured readculé (RUS) measured readculé (RUS) measured readculé (143Md744M6) mitial readculé (143Md744M	Pi loonin 143/Mdr 44h maaured 875/852 maaured 2095/b2049 maaured 2095/b2049 maaured 147/Smr 144/d 148/Smr 144/d 147/Smr 144/d 148/Smr 144/d 147/Smr 147/Smr 144/d 147/Smr 147/Smr 144/d 147/Smr 147/Smr 14	# (Olevook et al. 2017 - n.) Geochenstavy Reference Location Sample Name Rock Toes Location Rock Toes Location Rock Toes Location Mar director Mal Alar director Sin (com) Rockom National Si (com) Si (com) Si (com) Si (com) Si (com)	Age of L. Ponthal Age of L. Ponthal (FDS) measured reacture (FDS) measured rea	43Nd/144Nd measured 2012726251 measured 2012720426 b measured 1415mr144H 1435mr144H 1435mr144H 1435mr144H 1436	# (Olivrook et al. 2017 - n) Geochamistry Reference Pression Roach Yae Roach Yae Roach Yae Lanitude Lanitude Lanitude Lanitude Mac Correction (Ma) Age reference Stationan Bio (com) Bio (com) Bio (com) Bio (com) Di (com) Th (com)
0.704730 0.704733 0.136 0.142 0.512869 0.142	26 0.138 0.704730 0.138 0.142 0.142 0.142 0.142	0.51712 0.704720 19.422 9.527 9.6527 9.6527 9.6527 0.142 0.149 0.144730	185 Kregueien Archiveisp Mourt De La Tournente Stad-14 Basait, Transford (1988) (19) 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12	28 0.704708 0.704708 0.1285 0.1285 0.1285 0.1285 0.1285 0.7185 0.7185 0.7185 0.7185	0.017/04/200 0.017/200 0.012/200 0.012/200 0.012/200 0.012/200 0.012/2/200 0.012/2/200	175 Kogguein Achtelsen Mourt De La Tormese Basel: / Acies 833 705 705 705 705 705 705 705 705 705 705
0.705140 0.716 0.116 0.5126 0.5126 0.128 0.128	0,125 0,705122 0,176 0,176 0,176 0,176 0,176 0,176 0,176	4.4 0.0512881 0.705188 18.578 38.157 38.157 0.81187 0.510128 0.510128 0.706122	251 Kerguseen Archipelago Rawn Du Chatego Tradvoleaalt 48,5 68,5 42,5 42,5 42,5 42,5 42,5 42,5 42,5 42	0,000 0,70478 0,70478 0,015 0,015 0,015 0,016 0,0000000000	0.120420 0.01408 0.01208 0.01208 0.01208 0.01208 0.01208 0.01212(8 0.01212(8 0.01212(8	178 Krapuskon Architel Hill Mount De La Tourniero Basalt Transford 705 20 21 21 32 3300 16
0.705144 0.705144 0.125 0.512836 0.125 0.125	0.125 0.785125 0.124 0.124 0.125 0.512627 0.125 14	5.1 0.512847 0.705186 19.520 9.125 0.125 0.125 0.126 0.126 0.126 0.126 0.126 0.126	252 Kengueien Archipelago Rawn Du Chulter Trachrosatt 48:5 69:5 100 100 48:2 37:3 87:30	26 0.704795 0.704795 0.147 0.147 0.147 0.147 0.147 0.147 0.147 0.147	0.704780 0.704780 0.1447 0.528747 0.518 0.704792	177 Vergueiden Architekeise Mount De La Tournese 193-403 284-03 285-03 285 101 285 286 3860 1.7 1.7
0.706/139 0.245 0.245 0.5126 0.512632 0.126	0.25 0.705101 0.245 0.215 0.126 0.126 0.126 0.126	10,20,00 10,000 10,000	253 Kerguelen Achipelago Rawn Du Chatton 8717 Trachrossi 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85 85	26 0.704870 0.1084 0.1484 0.14843 0.14843 0.141 0.141	0.014277 0.02427 15.823 0.14.825 0.141 0.141 0.01168 0.0064 0.704870	178 Korpuleken Archipelle Mouril De La Torreite Baselt Torrate 26 [70] 27.4 27.4 337.0 22.2 22.2
0.705252 0.228 0.228 0.124 0.512602 0.124	0.225 0.705216 0.228 0.228 0.228 0.124 0.124 0.12 0.124	6.4 0.0512613 0.705287 15.658 35.669 35.0798 0.5083 0.705216 0.705216	254 Kerguelen Archiptegoo Ravin Du Charbos 98,5 98,5 98,5 98,5 98,5 98,5 98,5 98,5	14	0.0047716	1779 Korganien Archingeleg Mourt De La Touringeleg Besalt Tomatica 70.5 26 [70]
0.70516 0.171 0.171 0.122 0.512626 0.122	0,171 0,171 0,171 0,171 0,171 0,122 0,122 0,122 0,121	5.3 0.0512657 0.7765207 15.8466 15.8466 3.9.0024 3.9.0024 0.6747 0.67477 0.67479	285 Kerguelen Archiptago Ravin Du Crharbon Beaut Alkaline 48.5 48.5 48.5 42.3 42.3 42.3 42.5 42.5 42.5 42.5 42.5	26 0.704686 0.704686 0.1051 0.14681 0.14681 0.14685 0.714 0.7141 0.141	0.000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.000000	180 Koguelen Architelen Mourt De La Tromete Basel, Akaine / Basel 701 28 701 38.5 38.5 38.5 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28
0.705188 0.164 0.126 0.512627 0.126	0.125 0.705173 0.104 0.1164 0.1168 0.1168 0.116 0.116 0.116	0.512.65 0.705221 15.550 15.550 15.550 0.501 0.501 0.501 0.501 0.501 0.501 0.501 0.501 0.705173	286 Keguelen Archiptego Ravin Du Charbos 8,231 Trachrossa 48,5 8,5 8,5 8,5 8,5 8,5 8,4 8,1 8,4 8,4 9,44,0 9,44,0	26 0.704681 0.5081 0.5081 0.518705 0.518705 0.518705 0.518705 0.518715 0.518715 0.518715 0.518715 0.518715	0.0517230 3.6543 3.6543 0.146 0.51275 0.0051 0.704881	Korguelen Archinellen Mourt De La Tourinede System awit, Trensteine 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
0.7.05.228 0.208 0.116 0.512.591 0.116 0.116	25 0.705 0.705 0.208 0.2128 0.116 0.1288 0.116 0.1288	6.4 0.5.12.602 0.7.05.2802 1.5.6412 1.5.6412 3.5.048 0.5.0386 0.5.0386 0.5.0386 0.5.0386 0.5.0386 0.7.09.225	257 Kerguelen Achipelego Ravin Du Charboo -48,55 -48,55 -48,5 -48,5 -48,5 -48,5 -48,7 -48,5 -48,7 -48,7 -48,7 -48,7 -48,7 -48,7 -48,7 -44,0 -744,0	28 0.704681 0.5214 0.521881 0.12881 0.12881 0.12881 0.12881 0.12881 0.12881 0.12881 0.2214 0.2217 0.2218 0.2219 0.	0.047370 0.047370 0.04733 36.5270 36.5270 0.148 0.2311 0.704688	182 Keguaten Acchorete Mourt De La Tourneste Baasut Akadne / Baas 705 80 170 83 84 84 83 223 225 25
0.7,04.677 0.178 0.134 0.512632 0.134	25 0.178 0.178 0.178 0.178 0.134 0.134 0.134 0.134	0.5 12644 0.704827 15.627 38.616 0.5 0.012 0.5 0.012 0.704829 0.704829	288 Keguséen Archip (48) Ravin DU Charbon Bauat, Assaine -48,55 -48,5 -4	0.704728 0.704728 0.1074 0.1074 0.1479 0.146 0.714 0.714 0.7140 0.145	0.04726 0.04726 0.04726 0.518670 0.518670 0.518670 0.0074 0.074728	163 Korguelan Archigh Holl Mount De La Tourneello Mount De La Tourneello 183, 392 asalt, Tonnskroul / Jean 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
0.705187 0.173 0.173 0.512822 0.141	25 0.705162 0.705162 0.173 0.512812 0.141 0.141 14	0.5.783 0.7.76623 17.6623 19.650 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.5500 19.55000 19.55000 19.55000 19.55000 19.5500000000000000000000000000000000000	259 Keguéén Arrippidego Ravin Juane Beatat, Avair 48,55 48,55 48,55 48,55 26,5 26,5 26,5 26,5 26,5 26,5 26,5 2	0.151 0.150 0.1510	0.704678 18.407 15.508 0.8707 0.812715 0.019 0.009 0.009 0.704675	164 Kegupatan Archite Man Du La Transmissi Saudi Tannikowal Jasadi Tannikowal 201 201 201 201 201 201 202 202 202 20 20 20 20 20 20 20 20 20

R	ECAL	.CUL 9 14 1	.E A Via	REC. L'A	ALCULE ge Biblio	A CALCUL OLIEROOK 201	17				RECALCULE L'Age 14 Ma	A RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			
(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) Initial recalculé	(87 Sr86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	(Sm/NO) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	143kpt/144kphtitial 87R-085r 87R-085r 1878/085 1878/085 1878	Pb (ppm) Pb (ppm) 143Nd/144N Th toom) 143Nd/144N th measured 207E b/204Pb measured 207E b/204Pb measured 147Sm/144Nd 202E b/204Pb measured	Age reference Sm (ppm) Nd (ppm) Sr (ppm) U (ppm)	Location Sample Name Rock Type Latitude Longitude Age Correction (Ma)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	(RSS) measured recalculé (875/858) Inhalar recalculé (RSN/61 measured recalculé (Sm/64 measured recalculé (143/kd/144M6) Inhalar recalculé (Sm/84) Inhalar recalculé	(Rb/S) massure reacuté (Rb/S) massure reacuté (Rb/S) initial realcuté (Sm/Nd) metaine realcuté (143Nd/14/Nd) initial realcuté (Sm/Nd) initial realcuté (Sm/Nd) initial realcuté (Sm/Nd) initial realcuté	Vir Sim Valke HSMRA ANN Briti HSMRA ANN Briti B770 ISS B770 ISS B7	143 Nd/1 44 Nd measured 875 //865 measured 2069 b/204Pb measured 2079 b/204Pb measured 2089 b/204Pb measured	Age reference Sm (bpm) Nd (bpm) Rb (dpm) Sr (bpm) U (bpm) Pb (bpm) Tb (cpm)	# (Oliarook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sample Name Sample Name Location Latitude Latitude Latitude Latitude Latitude
0.138	0.138	0.705061	14 0.145	0.512597 0.5138	0.705039 0.745	0.512597 0.145 0.705039 25	0.512820 0.705090 0.138	[70] 5.7 24.9 460.0	Courbet Perinsua Basalt, Alkalin 48,55 88,5	206 [50] Kerouelen Archinelano	0.70284 0.705192 0.130 0.130 0.130 0.133	0.705148 0.705148 0.284 0.130 0.512582 0.130 0.130	0.51258 0.288 0.705148 0.705148	0.512603 0.705249 18.441 15.561 39.059	488 7.7 404 402	260 [48] Ravin Juane Basalt, Mkatine 48.55 [85.5 25
0.123	0.123	0.705008 0.110	0.110	0.512570 0.123	0.110 0.704991 0.110	0.512870 0.110 0.704991 25	2.9 0.512590 0.705030 0.123	(70) 4.8 23.5 19.0 4.99.0	Jeanne D'Arc Perintersa s K47 Basalt, Akaline 48.55 88.5	2 10 [50] Kernulalan Arrhinelann	0.72 (438) 0.72 (438) 0.156 0.128 0.128 0.123 0.123	0.70 0.195 0.704909 0.195 0.123 0.512810 0.123 14	0.5125 0.125 0.195 0.704909	0.512630 0.704978 18.258 15.515 38.645	848) 8551 868 868	261 [48] Ravin Janne 8 682 Basante 48.55 68.5 25
0.141	0.141	0.704862	14 0.091	0.141 0.512707 0.141	0.704848 0.704848	0.512707 0.704848 16.44 0.124 18.313 18.313 15.538 25.715 25.	1.6 2.0 0.5127.30 0.704880 18.337 18.539 18.539 38.813 0.141	770] 5.5 23.5 380.0 0.4	Central plateau 88-12 Basalt, Transtional -48.55 68.5	249 [50] Keroutelen Archinelaon		14	24	0.705260 18.4 18 15.5 31 38.978	[02]	262 [48] Rawn Jaune Basatt Akkaine 48.55 22
0.120	0.120	0.704830 0.000	14	0.120 0.512730 0.120	0.704830 0.000	0.512730 0.704830 15.86 0.12 81.60 15.525 15.525 38.716 25	2.0 2.5 0.704330 18.467 16.528 38.817 0.120	[70] 6.2 31.5 349.0 0.5	Central plateau 86-55 Basalt Transtional -48.55 68.5 25	250 [50] Kerrauelen Archinelann	0.705042 0.042 0.122 0.122 0.122 0.122	0.705007 0.705507 0.042 0.122 0.122 0.122 0.122	0.042 0.705106	0.512648 0.705122	11 54.5 12.0 824.0 0.0	168 Kerguelen Archipelago s MMSC480 Besat 49.55 68.5 25
0,108	0.108	0.705352	14 0.139	0.512519 0.108	0.139 0.705323 0.139	0.512529 0.7065350 17.41 0.13 82.23 16.255 16.5550 38.746 2.29 2.55	3.6 0.512540 0.7053800 18.334 15.552 38.607 0.108	[75] 6.9 38.7 33.0 886.0 1.0	Cuest Island s 80-135 Basalt, Alkaline / Basalt -48.55 68.5 29	[50][64] Kerculalan Archinelan	0.705.083 0.705.083 0.083 0.114 0.512887 0.114	0.705122 0.705122 0.063 0.114 0.512657 0.114 0.114 0.026	Arra	0.512637 0.705122	11.7 61.9 22.47 1038.9	(49) DEA Kerguelen Archipelago CRBC Trachybasalt
0.105	0.105	0.705579	14 0.308	0.512480 0.105	0.308 0.705513 0.308	0.51240 0.338 0.705574 14.87 0.11 70.60 18.199 15.543 38.525 38.525	8.1 0.512500 0.705640 18.2545 38.9776 0.105	[75] 58.0 74.0 696.0 1.9	Curest Island S 80-71 Basalt, Alkaline / Basalt -48.55 68.5 68.5	287 [50][64] Kerouelen Archinelano	60.742 0.706553 50.742 0.116 0.512662 0.116	50.742 0.706553 50.742 0.116 0.116 0.116 0.026	0.028	0.512622 0.706572	14.7 76.9 6.3	(49) DEA Kerguelen Archipelego CRBC MMA-515 Trachyte 0.026
0.140	0.512647	0.704697	14 0.064	0.512633 0.140	0.064 0.704684 0.064	0.512633 0.064 15.74 0.12 77.66 18.433 15.547 38.845 38.845	1.6 0.512660 0.704710 18.504 15.550 38.987 0.140	[70] 19.5 406.0 0.4	Loranctet Peninsua Loranctet Peninsua 81-18 Basalt, Transitional / Basal 48.5 68.5 29	100 [50][64] Kerouelen Archinelano	19.223 0.706134 19.223 0.138 0.512662 0.138	19.223 0.766134 19.223 0.138 0.512622 0.138 0.025	0.028	0.512622 0.708141	32.4 142 82.4 12.4	(49) DEA Kerguelen Archipelego CRBC Trachyte Trachyte
0.145	0.145	0.704286 0.072	14 0.072	0.145 0.512712 0.145	0.072 0.704270 0.072	0.512712 0.7704270 14.58 0.11 35.62 16.336 15.355 38.340 38.340	4.7 2.6 0.740 0.740 18.300 15.558 38.381 0.145	[70] 6.3 10.0 1.1 1.1	Loranchet Peninsua Loranchet Peninsua 8 8-1-19 Basalt, Transitional / Basalt 48.55 88.5 29	101 [50][64] Kerouslan Archinelan	60.766 0.7.04786 60.770	60.766 <b>0.708802</b> 6.0766 0.109 0.109 4.7	0.000	0.708824	11.7 56.8 300.3 14.3	(49) DEA Kerguelen Archipelego CRBC Rhyolite Rhyolite
0.130	0.512608	0.705050	14 0.152	0.512599 0.130	0.152 0.705026 0.152	0.51860 0.70602 17.02 0.12 0.12 90.39 15.562 38.600 25	1.9 0.51262 0.705080 18.444 15.665 39.007 0.130	[51] 5.2 19.0 382.0 0.5	Mount Du Chateau 9.77-211 Basalt, Alkaline / Basalt -48.55 68.5 25	263 [50][64] Kerrupalan Archinelano	0.705164 0.393 0.125 0.125 0.125 0.125	0.339 0.705101 0.939 0.125 0.125 0.125 0.125	A 7	0.512606 0.705164	17 2 83 2 61.56 189.61	49) DEA Kerguelen Accherelago CCBBC MMA-589 Svenite 4.7
0.083	0.083 0.512582	0.705153 0.286	14 0.286	0.083 0.512574 0.083	0.286 0.705092 0.286	8	0.512590 0.705210	7.1 51.8 85.0 861.0	Basalt alkali / Trachybasanite	288 [50][64] Kercualen Archinelano	0,704811 1,290 1,290	1 2 90 0.70 50 67 1 2 90 14		0.705067	79.85 179.1	(49) DEA Kerguelen Archipelago Loranchet Peninsula GR97-116 Rhyolite 0

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
Age 14Ma( L Ponthus) (FbLS) measured recalculé (87 S/86S/1 initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nu/1/44Nd) initial recalculé (143Nu/1/44Nd) initial recalculé	Age ref. (L. Porthus) (RDS) neasured recalculé (RDS) neasured recalculé (RDS) inflat recalculé (RDS) inflat recalculé (SRN/Nd) neasuret recalculé (14.SRN/Nd) neasuret recalculé (SRN/Nd) neasuret recalculé	1475mr1444	Sin (com) Nel (com) Si (com) Si (com) Pi (com) Pi (com) 143 Nd/1 44Nd mesured 2019/22/34/bb mesured 2019/22/34/bb mesured	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Sambé Name Rock Tros Rock Tros Rock Tros Londitot Aue Correction (Ma) Aue Correction	Age 14/40 (. Ponthus) (Rb:(S) neasured recalculé (875/8551 initial recalculé (SnN/01 measured recalculé (143/40/143/1016) recalculé (143/40/143/1016) recalculé	Age ref. (L Porthus) (RDS) nonesured recalculé (RDS) nonesured recalculé (RDS) influit recalculé (RDS) influit recalculé (NSM/N antesimet recalculé (143MC/144NC) influit recalculé (143MC/144NC) influit recalculé	1475/m144/H4 1438/H4/144/H4 1438/H4/144/H4 1878/08/S http: 1878/08/S http: 258/U204P 228/U204P 228/U204P nitial 228/P5/204P nitial 228/P5/204P nitial	143Nd/1 44Nd mesured 87Sr/86Sr measured 206Fb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	# (Olerock et al. 2017 - h) Geochemistry Reference Provine Resmolt Name Resmolt Name Resmolt Name Autor Correction (Ma) Alea Correction (Ma) Alea reference Nationan Nationan Nationan Stiopan Stiopan Polician
14	25		18.453 19.562 30.061	2.38 Kreguelen Archipelago Mount Croceter Basit, CAraine 48.56 225 1701	14 0.149 0.512708 0.149	29 0.149 0.512854 0.149		0.512722 0.704643	280 Kergurelen Architestep Mount Baltens Basalt alfwal / Trachrebatente 20 20 20 20 20 20
ž	25		18.453 15.562 39.064	237 (Kerguelein Archipeliago Mount Crocker Basel, Kaline Basel, Kaline 685 701	14 0.142 0.512782 0.142	0.142 0.512795 0.142		0.512795 0.704655	280 Konguelen Archeulop Nuogeruges Names - Crop 6201 52 22.0
4	8		18.4.53 16.5.65	2.38 Kenguelen Achipelago Mount Occoer Basal, Celab. 48.55 25 (70)	14 0.145 0.145 0.145	0.145 0.52253 0.145		0.512753 0.704692	2:01 Konguelen Archingelige Nungeruges Searchs - Corp 62.77 8.6 36.6
4	25		18 44 8 36 568	239 Kenguéen Achi (58) Mont Crozer 8 058-117 Basit Main 48.5 6 25 [70]	14 0.70422 0.002 0.002	25 0.774 <b>2</b> 19 0.002 0.002 0.166 0.166	0.166 0.002 0.704219 12.41 0.09 0.00	0.704220 18.174 15.570 38.181	245 Karguelen Archipellap Mount Tazael 9 Molaki Tazael 9 Molaki 9 Molaki 9 Molaki 9 Molaki 9 Molaki 9 Molaki 10 1 0 1 0 1 11 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 4	25		18.492 19.573 39.123	240 Kerguelen Archiptelap Mount Coccle Basil / Artime 48,5 25 770	14 0.000 0.704670 0.000 0.221 0.512760 0.221	25 0.000 0.704670 0.000 0.0221 0.512744 0.221	0.5212744 0.0000 0.704670 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	0.512780 0.704670 18.125 15.528 38.626	246 Kergaslen Acrigango Sultanoid Gabroo harado 48.55 (70) 25 (71) 25 (72) 209.0 209.0 0.2
14	25		18.406 18.72 38.112	241 Kerguelen Acritypisego Mount Coccie Basait, Akima 48,5 25 [70]	14 0.012 0.704248 0.012 0.512659 0.229	25 0.704246 0.0012 0.012 0.512643 0.229 0.229	0.551243 0.012 0.012 0.704246 0.704246 0.011 0.011 0.011 0.001	0.512880 0.704250 18.184 15.532 38.464	247 Korgusten Achtipelego Bolten and Geberen in 2228 Geberen in 228 (201) 221 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24
ž	25		18.493 18.573 38.109	242 Kerguelen Archipelago Montri Croze S089-202 Basilt / Arline 48.5 25 (701)	14 0.000 0.512840 0.000	25 0.000 0.512840 0.000	0.5000 0.512840	0.512840 0.704320	248 Kerguelen Architelise s HG-archite s HG-archite -48:55 (70) 0.1
74	25		18.498 18.574 39.177	243 Kerguelen Archipelago Montri Croze SB32-202 Basalt / Aralis - 48,55 - 25 - 25 - 1701	4	25		18,480 15,566 39,129	233 Korgueten Archivelago Kusic orac Basel, Arkain 48, 55 25 [70]
4	25		0.512621 0.512621 18.65280 18.65284 39.5574	80(0)59 Keguelen Arvingelago Mount Coste Basalt / Asia - 48 55 - 25 - 25 - 770	4	25		18.446 15.561 39.059	234 Kerg uslen Achte (89) Mont coare as the are set of a set as the set as the set as the set (70)
14	28		0.512670 0.705260 19.452 15.549 39.058	167 Kerguelen Archipelago Kerguelen Archipelago Stocial-10 Baset -18 89.5 -20 700	14	Ŋ		18.449 15.561 39.060	2.36 Kergusen Architesteg Boottic courter Bestell, Adi 55 265 265 270]

358
RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A	CALCUL	DLIEROOK 201	7				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 20	17			
Ace 1414 (L Ponthus) (Rb (S) measured recalculé (875 y Rb (S) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (1414/1414Ma Initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(RUSS) measured receiculé (875/8654) initial recalculé (RUS) Initial recalculé (3m/Nd) measured recalculé (443Md/ 44/Nd) initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé	232Th/204Pb 205Pb/204Pb initial 207Pb/204Pb initial 208Pb/204Pb initial Age ref. (L.Ponthus)	143 Ndh 44 Initial 87R-bleSr 878/186Sr Initial 238U/204Pb 235U/204Pb	143.Nd/i 44.Nd masured 875.r865 measured 20.69420.495 measured 20.79420.495 measured 20.79420.495 measured 4.175 cont/14.4M4	Sm (born) Nd (born) R5 (bpm) S7 (bpm) U (bpm) P5 (bpm)	Samole Name Rock Tvoa Latitude Lonstitude Aue Correction (Ma)	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	Age 1414(L Ponthus) (R2US) measured recalculé (875/865(L initial recalculé (R3US) initial recalculé (SmNd) mitial recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (SmNd) initial recalculé	Age etc. (L-Ponthus) (RUSS) measured recalculé (RUSS) Initial recalculé ( <b>873</b> 665) Initial recalculé ( <b>13Md/14Md)</b> measured recalculé ( <b>13Md/14Md)</b> Initial recalculé ( <b>13Md/14Md)</b> Initial recalculé	43.Wd/ 44.Wd initial 6712;085;r 8725;085;r 8725;085;r 2235;U204;Pb 2227;1V204;Pb 2227;1V204;Pb 2227;Pb204;Pb mital 2017;Pb204;Pb mital 2017;Pb204;Pb mital	143Nd/14ANd measured 875/865r measured 207Pb/20APb measured 207Pb/20APb measured 208Pb/204Pb measured 147Sm/144Nd	Nd (som) Rb (som) Sr (spm) U (spm) Pb (spm) Th (spm)	Lonsitude Age Correction (Ma) Age reference Sm (ppm)	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sample Name Rock Type Latitude
0.754 0.756925 0.154 0.155 0.153 0.512618 0.153	0.154 0.705003 0.154 0.153 0.153 0.153 0.153	101.25 18.437 15.551 38.970 24.25	0.512608 0.154 0.705004 20.15 0.15	0.7 0.512632 0.705056 15.512 15.555 30.090 0.152	12 775 915 05 05	s MPC99-34 Wehntle -49.71 146 70.080074 24.25 24.25	267 (67) Kerguelen Archipelago Val Gabro Plutonic Suite	14	8		0.704070 1704070 18.483 15.521 38.693		68.5 29 [70]	117 [63] Kerguelen Archipelago Mount Bureau sk (c4-1 Basalt -48.55
0.130 0.705114 0.130 0.130 0.143 0.143	0.130 0.705095 0.130 0.143 0.143 0.143	70.83 18.443 15.534 38.966 24.25	0.512604 0.130 0.705096 12.16 0.09	0.5 0.51826 0.705140 18.488 15.536 0.1450 0.1450	1.7 7.3 7.2 0.1 0.6	s MPC99-38 Wehnte -49.71146 70.080074 24.25 [87]	268 Kerguelen Archipelago Val Gabbo Plutonic Sulle	14	8		0.512807 0.703980 18.399 15.524 38.473		68.5 29 [70]	98 Kerguelen Archipelago Foch s KG6-2 Basatt 48.55
0.168 0.705027 0.168 0.147 0.572622 0.147	0.765 0.705002 0.148 0.147 0.512612 0.147	93.14 18.392 15.538 38.899 24.25	0.512812 0.168 0.705003 19.22 0.14	0.512635 0.705060 18.464 15.541 39.010 0.142	32 32 13.1 2280 1.0	S MP C99-36 Clinopyroxentile, Olivine 70.080074 24.25 1671	269 [67] Kerguelen Archipelago Val Gabtro Plutonic Sulte	14 0.052 0.70 <b>5250</b> 0.052	0.052 0.7052 0.705242 0.052	0.052 0.708242 15.10 0.11 0.00	0.705260 18.377 15.546 38.805	9.8 546.0 0.3 1.1	68.5 24.25 [67]	266 [75] Val Gabtro Plutonic Sulte Val Gabtro Plutonic Sulte Isbto, Clinopyroxe ne-Oliwine -48.55
0.7026 0.70272 0.70272 0.126 0.156 0.156 0.156	0.7765208 0.7765208 0.026 0.156 0.159 0.159	23.95 18.418 15.530 38.952 24.25	0.512591 0.026 0.705208 4.41 0.03	0.512616 0.705217 18.435 15.531 38.980 0.155	1.5 5.8 0.0 0.6	s MPC99-40 Clinopyroxentle. Olivine 70.080742 2425 1671	270 [67] Kerguelen Archipelago Val Gabho Plubnic Sulle	14 0.7652 0.052 0.052	24.25 0.052 0.7052 0.052		0.70526	5.9.8 545	24.25	[75] Kerguelen Archipel apo Val Gabbro Plutonic Suite K92 aabbro
0.072 0.775548 0.072 0.072 0.141 0.512567 0.141	0.072 0.705337 0.072 0.072 0.141 0.512558 0.141	87.3.3 18.290 15.534 38.826 24.25	0.51255 0.702 0.705337 15.58 0.11	0.512580 0.705382 18.348 15.557 38.530 0.441	3.3 14.0 14.0 0.0 1.3	s MPC99-46 Gabbro -49.729124 70.075181 24.25 [67]	271 (67) Kerguelen Archipelago Val Gaboro Palkonic Suite	0.049 0.794980 0.049	24.25 0.049 0.704953 0.049		0.70497	11.5 678	24.25	[75] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Piutonic Suite K94 gabbro
0.114 0.705261 0.114 0.114 0.113 0.5112555 0.133	0.7154 0.705245 0.114 0.133 0.512546 0.133	62.53 18.379 15.54 1 38.896 24.25	0.512546 0.705245 0.705245 8.78 0.06	2.6 0.512567 0.705284 18.412 15.543 38.570 0.133	52 23.7 23.0 586.0 2.7	s MPC99-60 Gabbro -49.7 1636 1 70.077 74 9 24.25 1671	272 [67] Kerguelen Archipelago Val Gabro Putonic Sulte	14 0.090 0.706282 0.090 0.51286	24.25 0.030 0.706289 0.030 0.51286		0.51286 0.7063	6.5 208	24.25	[75] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Putonic Suite 82.247 peridotte
0.705225 0.705225 0.222 0.222 0.222 0.1155 0.512569 0.1155	0.705192 0.705192 0.222 0.135 0.135	83.03 18.397 15.529 38.891 24.25	0.512560 0.222 0.705193 13.81 0.10	3.6 0.512581 0.705259 18.449 15.531 38.590 0.135	7.5 33.7 466.0 2.8	s MPC99-51 Gabbro -49.72067 70.07524 24.25 [67]	273 (67) Val Gaboro Putonic Sulte	14 0.70518 0.548 0.548	24.25 0.548 0.705101 0.548		0.70529	78 412	24.25	[75] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Plutonic Suite 78.08 monzonite
0.705188 0.705188 0.222 0.222 0.143 0.512576 0.133	0.705 0.705 0.722 0.725 0.123 0.512 567 0.133	82.42 18.272 15.501 38.732 24.25	0.512567 0.222 0.705156 15.80 0.12	0.512588 0.705222 18.331 15.504 38.830 0.133	8.8 39.9 531.0 3.4 3.4	s MPC99-24 Gabbro -49.7 10217 70.079229 24.25 [67]	274 [67] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Plutonis Suite	14 0.823 0.828 0.823	24.25 0.823 0.8207 0.823		0.70619	101 355	24.25	[75] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Plutonic Sulte 78,13 Gz microsvenite
0.718205 0.215 0.215 0.215 0.215 0.512574 0.512574	0.215 0.705174 0.215 0.132 0.512565 0.133	107.22 18.288 15.536 38.783 24.25	0.512565 0.215 0.705175 18.40 0.14	4 2 0.512586 0.705248 18.367 15.539 38.910 0.132	84 84 383 383 527.0 2.6	s MPC99-25 Gabtro -49.7 10217 70.079229 24.25 Int	275 (871) Kerguelen Achipelago Val Gabbro Plutonic Suite	14 1.290 0.705323 1.291	24.25 1.290 0.706136 1.291		0.70558	124 278	24.25	[75] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Plutoric Suite 78.06 Oz microsvenite
14 0.335 0.705509 0.335 0.122 0.5125 0.52 0.122 0.122	0.335 0.705461 0.325 0.122 0.512571 0.122	24,25	0.6705	0.51259 0.706576	8.8 43.7 688.0	MPC99-47 Felsic rock 24.25	276 [67] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Plutonic Suite	0.705247 0.705247 0.067	24.25 0.067 0.067		0.51266 0.70526	11.5 495	24.25	[75] [50] Kerguelen Archipelago Val Gabbro Plutonic Suite K90 cabbro

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	ALCUL OLIEROOK 2017				RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
Age 14Mar (L'Portins) (RDS) nessurei recalculé (87 SR851 hithail recalculé (SmNd) metalione cesculé (14.3Md/14.Nd) initial recalculé (SmNd) initial recalculé	2026/P2/CHP initial Area ref. (L. Porthus) (EUS/) measured recalcule (178/8651 Initial recalcule (EUS/) Initial recalcule (SmN40) measured recalcule (SmN40) Initial recalcule	142 Sur/1444 143 Sur/1444 143 Sur/1444 145 Sur/144 147 Sur/144 147 Sur/144 258 U/244 258 U/244 258 U/244 258 U/244 258 Sur/144 258 Sur/144 258 Sur/1444 258 Sur/1	Th (com) 143/Nd/144/Nd measured 8/75/865/measured 20/6Fb/204Pb measured 20/7Fb/204Pb measured 20/7Fb/204Pb measured	Londitude Acte Correction (Ma) Acte of erence Sin (com) N4 (com) Si (com) Si (com) U (com) Pi (com) Pi (com)	# (Oliarook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Lucation Samole Name Samole Name Jahlude	Age 14Ma (I. Pontus) (EUS) mesunot receluté (87 Sr85S1 Inhiai recalcuté (SmVkt) mesunot recalcuté (143Md/144Md) Inhiai recalcuté (SmVkt) mesunot recalcuté (SmVkt) milai recalcuté	Age (rd. (L. Ponthus) (RDS (n. neasured recalculé (RDS (n. neasured recalculé (RDA) natial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé (143Md/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) recalculé	1475 mr 1444 1438/dr 1444 http: 1478/dr 1444 http: 1878/dr 1444 http: 1878/dr 1444 http: 1878/dr 1444 http: 2380/dr 1444 http:	Frontismin 143Nd/14Nd measured 87Sr/86Sr measured 20Fb/204Pb measured 207Fb/204Pb measured 208Fb/204Pb measured	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Samue Name Samue Name Samue Name Samue Correction (Ma) Lastitude Lastitude Lastitude Sam (com) Naticom) Naticom) Sam (com) Sam (com) Sa (com) Sa (com) Sa (com) V (com) V (com) V (com)
0,190 0,190 0,190 0,190 0,190 0,190 0,190 0,196	29 0,704912 0,135 0,135 0,52244 0,138 0,138	0.136 0.512846 0.190 0.704912	1.6 0.512872 0.704990	88-5 1703 113.0 2.13.0 2.13.0 0.2 0.2	130 168] Shied Stage s Bik/4947 Tholeite - 180	14 0.9313 0.76500 0.9313 0.9313 0.9313 0.1723 0.1723	0.913 0.705177 0.913 0.913 0.123 0.512601 0.123	0.1234 0.9161	0.512821 0.705491	277 Kerguelen Archipelago Val Gabrane Suite MPC90-estant Felice nock 24.25 9.1 44.8 101 320.0
0.043 0.744912 0.704912 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43 0.43	29 0.043 0.7704902 0.043 0.043 0.043 0.134 0.134	0.5126430 0.043 0.704902	1.7 0.512865 0.704920	6855 1700 153 153 2710 2710	131 [58] Shied State s Bi/stot Tholeite Tholeite	1610 0.726442 0.726442 0.1210 0.510200 0.510200	24.25 1.619 0.705206 0.120 0.512597 0.120	0.1199 1.6157	0.512816 0.705764	278 Kergu elen Archipelago Val Gaboo Pintone Suite Felais rock 24.25 10.4 28.3 302.0
14 0.724 0.724746 0.023 0.158 0.158 0.158	0.704741 0.704741 0.0223 0.023 0.023 0.023 0.158 0.158	0.168 0.6127168 0.022 0.023 0.704741	0.5 0.512778 0.704750	8815 20 1701 12.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 3.6 5.0	132 [68] Kenguelen Archipelago Shield Stage s Bukka88n Tholeite Bab	4	24,25		18.475 15.551 39.040	276 Kanguden Archipel apo Val Gaboro Fluronc Sulte s MP026-1 Gaboro -4972007 70.07534 2(57) [67]
14 0.079 0.079 0.079 0.141 0.512777 0.141	29 0.079 0.075 0.075 0.075 0.075 0.075 0.141 0.141	0.512763 0.079 0.704657	1.1 0.512790 0.704590 18.112 15.481 38.280	6855 728 729 729 729 729 729 729 729 729 729 729	133 [68] Shiel Gage s Biolean a Bholean Basat, Arkaine 49.5	14	24 25		18.368 15.537 38.930	277 Keirguelen Archipelago Val Geborge Salte s.MPC/92.24 4.9 T0277 7.0079228 21.25 21.25 [67]
0.056 0.704389 0.057 0.057 0.131 0.512815 0.131	29 0.704377 0.055 0.131 0.512802 0.131 0.512802 0.131	0.512.380 0.026 0.006 0.704377	1.4 0.512827 0.704400 18.313 15.592 38.4572	68.5 [70] 3.6.7 15.0 0.3	13.4 [68] Kerguelen Archipelapo S'Neid Stage s BN/75059 Basalt Alkaline 49.55	14	24.25		18.389 15.563 39.000	278 Kerguelen Archipelego Val Gaboro Sutte s MPC2924 49 7-Gaboro -49 7-Gaboro -49 7-Gaboro -49 7-Gaboro -1019225 -20125 -20125 -20125
0.103 0.103 0.103	29 0.041 0.041 0.041 0.103 0.103 0.103	0.512.1808 0.041	0.512.828 18.088 15.504 38.289	68.5 1701 51.0 15.0 975.0 1.1	135 (68) Shied Stage Shied Stage s Blok4866 Basalt Alvaline 44.55	14	24.25		18.378 15.545 38.940	279 Kegyuelen Archipelego val Gaboro Sute s M/CPS 28 43 70070 43 70072 20 29 20 29 20 29 20 29 20 21 20 20 21 20 20 21 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 2
0.053 0.704380 0.053	29 0,70428 0,063	0.053 0.701248	0.512824 0.704270	66.5 [70] 19.0 1044.0	136 [68] Shied Stage Shied Stage s Bhirts 779 Basalt Alfaline 48.56	14	24.25		18.385 15.555 38.970	280 Kerguseian Archipelago Val Gaboro Plutonic Suite s M/C-92,25 48,710,017 70,019225 [67]
0.13 0.705367 0.187 0.115 0.512886 0.115	0.13 0.187 0.187 0.51215 0.51215 0.51215 0.115	0.512586 0.70527	0.512586 0.705267	0.13 10.4 54.6 62.3 985	Kerguelen Archipelego Mount Ross 99	0.765.564 0.765.564 0.8569 0.102 0.512822 0.512832 0.102	0.254 0.705410 0.254 0.254 0.102 0.512541	0.5/102 0.5254 0.705374	6.1 0.512541 0.705410 18.098 18.502 38.710	295 Kerguelen Archpelago s BM1967/P805 9 B3841,-VAarline Baselt,-VAarline 68.5 [74] 9.1 5.1 5.2 776.0
0.15 0.015 0.015125 0.015125 0.183 0.512582 0.123	0.15 0.183 0.183 0.183 0.123 0.123 0.123	0.512582 0.70512	0.512582 0.076125	0.15 14 89.1 89.2 88.2	Kerguelen Archipelago Mount Ross 39	14 0.227 0.765625 0.227 0.104 0.512448 0.512448	0.277 0.705680 0.277 0.104 0.512498 0.104	0.512.401 0.712.491 0.705641	4.2 0.512498 0.705680 18.080 15.537 38.884	206 Kenguulen Achpelago s BM75500 Baselt, Adarine 68.5 [74] 25.5 32.0 48.0 0.7 0.7
0.182 0.109 0.512656 0.109	0.152 0.109 0.512626 0.109	0.512626	0.512626 0.075234	0.152 11 61.2	Kerguelen Archipelago Mount Ross 38	14 0.2.45 0.705931 0.245 0.109 0.512497 0.512497 0.109	0.245 0.705980 0.245 0.109 0.512507 0.109	0.108 0.512500 0.245 0.705945	4.3 0.512507 0.705980	297 Kegualen A.krispalen K.kegualen A.krispalen Basir, A.krispalen K.a.krisp Basir, A.krispalen Basir, A.krisp Basir, A.krispalen Basir, A.krispal

RECAI	LCULE / e 14 Ma	A 1	RECAL L'Age	CULE A	CALCUL OLIERO	OOK 2017					RECALCULE L'Age 14 Ma	A	RECALCULE A	CALCUL OLIEROOK	2017				
(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(SmNd) initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé	229U/XAHP 229U/XAHP 225U/XAHP 225U/XAHP 222U/XAHP 222TP/224Pb initial 227PP/224Pb initial 227PP/244Pb initial 227PP/244Pb initial	147 Sm/144Nd 143 Nd/1 44Nd initial 87R b/88Sr 978 c/88 Sr	U (com) Pb (com) Th (com) 143Nd/14Nd masured 875/885/masured 266Pb204Pb masured 277Pb204Pb masured 277Pb204Pb masured	Sm (ppm) Rb (ppm) Sr (ppm)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samole Name Samole Name Latitude	(EUS) measured recalculé (BT)SR620 hindla recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) Initial recalcule Age 14 Ma (L.Ponthus)	(Rb/S) measured recalculé (875/8654) initial recalculé (Rb/S) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	BYRU085: http: 875/085: http: 238U/24Pb 238U/24Pb 238U/24Pb 237Fb/204Pb initial 2019/204Pb initial 2019/204Pb initial	147 Sm/144Nd 143 Nd/1 44 Nd initial	Th (bpm) 143 Nd/1 44Nd measured 875 r/86SF measured 20Fb 2204Pb measured 20 Pb 2204Pb measured 20 8Pb 2204Pb measured	Sm (spom) Nd (spom) Sr (spom) U (spom) Pb (spom)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samole Name Rock Trope Latitude Latitude
0,106 0.512555 0,106	13.312 0.075438 13.312	0.106	0.106	13.312	0.00	0.512555	0.512555 0.075482	11.6 66.2 128 26.1	0.235	Kergueien Archipelago Mount Ross 98	0.245 0.075232 0.245 0.110 0.512586 0.110	0.167	0.245 0.245 0.110 0.512586	0.70523	0.512586	0.512586 0.075233	864 864	0,167	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 48
0.109 0.512562 0.109	0.075370 2.407	0.109	0.109	2,407	0.000	0.512562	0.512562 0.075378	13.6 75.8 133	0.235	183) Kerguelen Archipellago Mount Ross 131	0.211 0.075200 0.211 0.112 0.12274 0.12574	0.21	0.211 0.211 0.112 0.512574	0.7052	0.512574	0.512574 0.075201	914 915 949	0.21	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 130
0.098 0.512580 0.098	0.075191 2.009	0.098	0.098 0.512580	2.009	0.000	0.51258	0.51258 0.075198	9.98 61.7 140.6 190	0.235	Kerguelen Archipelago Mount Ross	0.113 0.512573 0.113	0.235	0.113	365 C C	0.512573	0.512573 0.078243	63.4 83.4	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 64
0.111 0.512546 0.111	117.866 0.075597 117.866	0.111 0.235	0.111	117.866 117.866	0.338	0.512546	0.512546 0.07599	18.4 165 3.8	0.235	Kerguelen Archipelago Mount Ross 106	0.199 0.075214 0.199 0.115 0.512565 0.115	0.235	0.199 0.199 0.199 0.115 0.115 0.512565	0.70821	0.512565	0.512565 0.075215	11.6 60.8 71.2 971	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 97
0.113 0.512571 0.113		0.113 0.251	0.113 0.512571	50.600 T	0.051	0.512571	0.512571 0.075249	13.5 72.3	0.251	Kergueten Archipelago Mount Ross 61	0.165 0.075155 0.180 0.120 0.512567 0.120	0.120	0.165 0.165 0.125 0.12567	0.70516	0.512567	0.512567 0.075156	10.9 54.3 1056	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 57
0.104 0.512542 0.104	28.792 0.076338 28.792	0.104	0.104	28.792 28.792	0	0.512542	0.512542 0.076493	14.8 86 16.5	0.38	Kerguelen Archipelago Mount Ross 108	0.174 0.075171 0.174 0.173 0.113 0.512576 0.113	0.113	0.174 0.174 0.174 0.113 0.512576	0.70617	0.512576	0.512576 0.075172	10.8 57.9 63.5 993	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 54
0.097 0.512535 0.097		0.097	0.097 0.512535	557	0 64	0.512535	0.512535 0.076788	19.6 122	0.64	Keguelen Archipelago Mount Ross 112	0.325 0.375207 0.325 0.110 0.512564 0.110	0.235	0.325 0.325 0.325 0.110 0.512564	0.70821	0.512564	0.512564 0.075208	11.6 63.6 88 736	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 142
0.100 0.512502 0.100	77.914 0.075396 77.915	0.100 1.02	0.512502	77.914	1 02	0.512503	0.512503 0.076525	16.1 97 22.1 7.7	1.02	Keguelen Archipelago Mount Ross 143	0.075133 0.424 0.424 0.109 0.512567 0.109	0.235	0.424 0.424 0.424 0.109 <b>0.512567</b>	0.70613	0.512567	0.512567 0.075134	11 61.1 114 729	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 144
0.123 0.512662 0.123		0.123 14	0.123 0.512657		14.48 0.11 83.92 15.442 38.777 49.0	0.512657	0.4 16 0.512673 0.704803 18.346 18.344 38.840	17 .5 17	18 83 5. 69	285 [83] Mourt Ross s 145 Gabbro -49.58	0.964 0.075176 0.964 0.113 0.512587 0.113	0.235	0.964 0.964 0.113 0.512587	0.70518	0.512587	0.512587 0.075179	74.5 74.5 142.5 400	0.235	[83] Kerguelen Archipelago Mount Ross 107
0.122 0.512603 0.122	0.141 0.704971 0.141	0.122	0.122 0.512597	0.141 0.704957 0.141	18.86 0.14 90.14 18.315 15.544 38.861 38.861	0.512596 0.141	0.8 2.8 3.9 0.5128 14 0.704993 15.380 15.380 15.890 38.990	8.1 40.1 756.0	69.5 21 [83]	283 (Kerguelen Archiviolago Mount Ross s 128 Trachrousat -49.58	0.07533 3.271 3.271 0.102 0.512590 0.102 0.102	0.235	3.271 3.271 3.271 0.102 0.512550	0.70533	0.51255	0.51255 0.075344	12.7 75 138.6 115	0.235	(83) Kerguelen Archipelago Mount Ross 44

RECALCULE L'Age 14 Ma	A RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 201	7		RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	
(TSVR507 Instant or coacute (BTSVR5051 Instant or coacute (SmN40) Instant or coacute (T43Ndf144Nd) Instant or coacute (SmN40) Instant or coacute (SmN40) Instant or coacute	Aver trist, it, routinos) (PRXS) measured recalculé (PRXS) measured recalculé (SmN4) measured recalculé (143Md AL-Donab India Tecalculé (143Md AL-Donab India Tecalculé Aver 14Md IL-Donab India Tecalculé Aver 14Md IL-Donab India Tecalculé	Handler Hindler Browner Aude Hindle Browner Aude Hindle Browner Handler Browner Handler Browner Browner Handler Browne	All Company of Annual A	# (Dikrock et al. 2017 - n.) Geochemister Reference Province Samole Kinne Rock Trose Rock Trose Rock Trose Aug Collore-Linh (Ma) Aug reference Aug reference Seri (com)	Aver ref. (L. Purchus) (RUSS) measured recelcula (Sam(RUSS) measur	147 Sm (444) 143 Not (444) 143 Not (444) 875/065 h thai 258/U2049 228/U2049 228/U2049 h thai 208/P2049 h thai 208/P2049 h thai 208/P2049 h thai 208/P2049 h thai	# ( Disrock et al. 2017 - n) Geochemistry Netronos Location Samab Mane Rock Trae Rock Trac Rock
0.705675 132.518 132.518 0.094 0.512604 0.094	132.50 0.705675 132.518 0.094 0.512604 0.512604 0.99	n 132	454 453 9.6 0.72261	UNS (Kenguelein Archipeligo Mount Belrac Prinoriale 9	21 0.61337 0.1337 0.137 14 0.137 0.137 0.137	0.512571 15.23 0.11 68.78 15.347 15.545 15.545 39.928	2.24 (Kengjudeen Archipelage Mcunit Pata Gasho 49.85 (19.5 22.1 22.1 2.5 0.5 15.55 (19.54) 0.5 15.55 (19.54) 15.55 (19.54) 15.55 (19.54) 15.55 (19.54) 15.55 (19.55) 15.55
0.723847 0.723847 0.102 0.102 0.512504 0.102	0.723847 0.723847 0.105 0.102 0.512504 0.102 0.102 9	0.106	69 3 40 8 1125 0.51251 0.772366	UMS (74) Kompusien Archipelago Romarch Periorisa Basante Basante 9	0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155 0.7155	0.512600 0.102 0.70517 18.21 18.21 84.03 18.077 18.500 18.500 28.500	3.00 Kengudein Arch pellago Maan It Rass 49.05 49.45 80.5 81.2 40.4 40.4 40.4 40.4 40.4 40.4 40.4 40
0.705735 0.705735 0.195 0.512484 0.105	0.70196 0.70196 0.196 0.196 0.195 0.512484 0.105 9	0.196	97.7 86.4 127.4 0.512.49 0.70576	UMS Kengusen Achtelago Ronarch Perinta Basante 9	0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146	0.512607 0.512607 2.1.26 0.16 80.10 17.944 15.944 15.948 15.948	2,82 Karguelen Archivellage Karguelen S. Salton 4,9,58 80,5 80,5 80,5 1,4 1,4 1,4 1,4 1,4 1,4 1,4 1,5 2,6 2,6 2,6 2,6 3,8 3,8 3,30 3,30
0.72581 0.72589 2.352 0.088 0.512555 0.068	0.772.351 2.352 2.352 0.0512855 0.068 0.068 9	o 23 5	66.3 165 2013 0.51256 0.770599	UMS Kenguelen Archotelago Ronarch Peninsia Phonole 9	24.3 0.117 0.5128013 0.117 14 0.5128117 0.5128117 0.117	0.512804 13.95 0.10 64.37 18.275 15.544 38.824	285 Kenguelen Architelleg Kourik Reps Subtro 49.58 848 848 848 848 1.2 1.2 1.2 5.4 0.0 85.4 0.0 1.2 5.4 5.4 5.4 0.0 1.2 5.4 5.4 5.4 5.4 5.4 5.4 5.4 5.4 5.4 5.4
0.723 0.705176 0.723 0.5126 0.512639 0.125	0.705094 0.755094 0.723 0.723 0.723 0.723 0.725 0.125 0.125	072	ег 91 364 0.10252 0.70532	LKS [74] Kerguelen Architoelago Goary taland LVJKr(13) Trachvie 22	0,76545 0,76545 0,7850 0,78546 0,052466 0,752646 0,75265 7,526 7,5265 0,0665 0,0665	7.9	UNS Kerganian Archifeada Jeanne D'Ac Beninsala Phonelia Phonelia 220 225 225 225 225 225 225 225 225 225
0.712.274 0.707060 12.276 0.108 0.512600 0.108 0.108	12.274 0.725665 12.278 0.108 0.512595 0.108 0.108	12.3		LKS (74) Jeanne D'Are Feniniau LVLK/127 Trachvie 22	0.76577 0.76577 0.5286 0.52860 0.52860 0.52860 0.5286 0.5377 5.517 5.517 5.517 5.517 5.005 0.009	, сл со	UNS Kegyalén Architelado Jean e D'Ac Peninsula Phonoite 9 7.77 197 197 98 98 0.01251 0.70512
0.706943 11.355 0.118 0.512639 0.118 0.118	11.352 0.706653 17.356 0.118 0.512633 0.118 0.118	92 93	53 102 26 0.7092	LMS Kerguelen Archinelago Jeanne D'Arc Fenninelu LVLK1272 Trachvie 22 115	0.705471 0.705471 0.228 0.512614 0.512614 0.228 0.228 0.228 0.228 0.228 0.228 0.228 0.228 0.228	0.229	UNS Kerggulern Architelelage Mcant Rade LVL(K00 Technice 11 68 118 1494 1494 0.7055
0.7049 0.70490 0.149 0.132 0.512738 0.132	0.704917 0.704917 0.149 0.132 0.513728 0.132 0.132	0.512728 0.149 0.704917 0.17 0.17 102.93 18.511 15.574 15.574 15.574 15.574	305 264 694 0 2.3 2.3 2.3 0.5 42760 0.7 64770 0.7 64770 0.7 64770 0.7 15 5770 3.9 27.0 3.9 27.0 3.9 27.0 3.9 27.0 3.9 2.5 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5	Kergusien Archipelaago Gaary Island Basalt Avaaline -46.05 24.05 170.0 6.7 6.7	0.70529 0.70539 0.228 0.51250 0.51250 0.102 0.228 0.251 0.251 0.51250 0.102 0.102	0.228	UNK Kergguler in Architelikage Monart Rouge LVL(KS 14.9 88 14.9 88 1153 1153 0.01564 0.701662
0.7251 0.726136 0.221 0.135 0.512688 0.135	0.221 0.705102 0.221 0.221 0.512878 0.512878 0.135	0.512676 0.72017 0.700102 21.05 100.25 100.25 100.25 15.562 38.962 24.92	31 5 32 5 419 0 0 5 12 70 0 7 16 16 16 0 7 16 16 16 1 1 5 66 1 1 5	17-1 Kenpuelen Achtyloga Jeanne D'Arc Peninsua K.L.K.Y108 Basalt, Achtylog Basalt, Achtylog Basalt, Achtylog 17-0 7-0 7-0	0.7 2535 0.7 2535 0.7 2535 0.5 12555 0.7 2535 0.7 2535 0.7 2535 0.7 2535 0.7 2535 0.5 12555 0.051 0.055	2.36	UMS Kerguwen Accipelago Mount Rage Phonole 6,76 46,6 192 235 0.70569
0.77652 0.77652 0.149 0.137 0.512607 0.137	0.149 0.705207 0.145 0.145 0.145 0.137 0.512598 0.137 0.512598 0.137 14	0.512590 0.7459 0.765207 2.087 0.145 2.087 0.15 18.297 15.555 38.907 15.555 38.907	28.2 21.0 4.07.0 2.4 2.4 2.4 2.4 3.7 0.7.052.60 0.7.052.60 0.7.052.60 1.5.50 38.030 0.137	[74] Jagne DAc Perinsula Basalt, Aktine Basalt, Aktine 24.8 25.8 21.8 21.8 21.8 21.8 21.8 21.8 21.8 21	0,7005 0,7005 0,000000	0.167	UNS Keepueden Architelege Mount Bestern Basean te Basean

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017					RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				
(RDS) massured recalcule (RDS) massured recalcule (RTSR650, Initial recalcule (SmN4) masured recalcule (143Kd/44Kd) Initial recalcule (SmN4) Initial recalcule	Age eff. (L. Ponthus) (RUS/9) measured recalculé (STS/8686) Initial recalculé (STS/8686) Initial recalculé (1438/df 44/dd Initial recalculé (1438/df 44/dd Initial recalculé (SmN4) Initial recalculé	147 Smr 1446 https: 475 Mgr 1446 https: 475 Mgr 1446 https: 475 Mgr 1446 https: 475 Mgr 1446 https: 274 U204 Pb 274 U204 Pb 274 U204 Pb 274 U204 Pb 274 Pb 274 Pb ntml 274 Pb 274 Pb ntml 274 Pb 274 Pb ntml	Pb (conn) 143Ndr Ad-MC Th (con) 205P/2040 Consumed 205P/2040 Consumed 206P/2040 Consumed 207P/2040 Consumed 207P/2040 Consumed	Ader transmission Sm (cosm) Nd (cosm) Sr (cosm) U (cosm)	Longitude Age Correction (Ma)	# (Olianok et al., 2017 - n.) Geochamistry Reference Province Location Sameh Name Sameh Name	Age 14Mar (L. Fornhus) (RSUS) measured recalculé ( <b>875/8656)</b> Initial recalculé ( <b>875/8656)</b> Initial recalculé ( <b>143/kd/44/kd)</b> Initial recalculé ( <b>143/kd/44/kd)</b> Initial recalculé (SmNd) Initial recalculé	Age etc. (L. Ponthus) (RCVS) measured recalculé (STS/R65A) initial recalculé (STN/NC) measured recalculé (STN/NC) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	417 San't AtAld 418 San't Anni Iniai 8175 (1985) 8175 (1985) 8175 (1985) 8175 (1985) 8175 (1985) 8175 (1985) 2181 (1984) 2281	143 Nd/1 44 Nd mesured 87S r/86Sr measured 206PU204Pb measured 207PU204Pb measured 208PU204Pb measured	Sm (bom) Nd (bom) Rb (bom) Sr (bom) U (bom) Eb (bom)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sambe Name Rock Type Latitude
0.252 0.705520 0.252	0.212 0.705520 0.222 14	:	0.70557	69 7 91	14	Kerguelen Archipslago Ouest Island monzonabbro	0.171 0.705236 0.171 0.173 0.512708 0.131	24.8 0.171 0.705210 0.171 0.131 0.512699 0.131	0.171	0.51272 0.70527	5.04 23.2 4.05	24.8	[74] Kerguelen Archipelago Mount Rouge LVLK88 Basalt
85.185 0.707244 86.205 0.51256	86,188 0.707244 88,205 0.51256		0.51256 0.72438	229 7.7	14	Kerguelen Archipelago Ouesi telago 0.0 102 granite (azište)	14 0.785153 0.184 0.184 0.185 0.185 0.135	24.8 0.184 0.184 0.184 0.135 0.512828 0.135 0.135	0.184	0.51265 0.70519	6.34 28.5 30 471	24.8	[74] Kerguelen Archipelago Mount Rouge LVLK87 Basalt
32.006 0.706877 32.012	14 32.006 0.705877 32.012	:	0.71224	251 22.7	14	(75) Kerguelen Archipelago Ouest Island 80.99 alkali crante	0.285 0.285 0.705053 0.1285 0.1380 0.512608 0.130	0.24.8 0.285 0.705010 0.286 0.130 0.1329 0.1329 0.130	0 285	0.51262 0.70511	599 599	24.8	[74] Kerguelen Archipel ago Jeanne D'Arc Peninsula LVLK132 Basalt
16.795 0.706131 16.798	14 16.795 0.706131 16.798	:	0.70547	213 36.7	14	(75) Kerguelen Archipelan Oust Island Dust Island miarolitic sverth	0.114 0.198 0.705161 0.198 0.128 0.128 0.128	0,198 0,705130 0,198 0,198 0,198 0,198 0,198 0,128 0,128	0.198	0.51266 0.7052	5.4 25.5 26 380	24.8	Kerguelen Archipelago Ronarch Peninsula LVLK70 Basait
24,753 0.765949 24,758	24.753 0.705949 24.758		0.71087	260 30,4	14	(75) Kerguelen Acchipelago Ouest biand Bornhvrite microsverille	0.063 0.704758 0.063	15 0.063 0.704787 0.063		0.70477	6.1 281	 Ch	(75) Kerguelen Archipelago Anse du Jardín 81.28 microgabbro
1.247 0705382 1.248	1.247 1.247 1.248 1.248		0.70563	185 429	14	(75) Kerguelen Accharge Ouest bland Svente	14 0.053 0.704479 0.053	15 0.053 0.7 <b>04479</b> 0.053		0.70449	477 1	10	[75] Kerguelen Acchipelago Anse du Jardin 81.25 pombwritic microalabiro
0.056 0.708759 0.056 0.056 0.056 0.056 0.096	14 0.056 0.705759 0.056 0.512826 0.512826 0.512826		0.512835 0.70577	10.76 67.69 23 1187	14	[40][39] Kerguelen Archipelago Ouest Island 2621 gabbro	14 0.075 0.075 0.075	15 0.075 0.075 0.075		0.70451	12.1 466	1 Ju	[75] Kargueten Archipetago Anse du Jardin 81.962 por phyritic microgabbro
0.705587 0.705587 0.118 0.138 0.512466 0.138	14 0.705587 0.138 0.512466 0.138	:	0.512479 0.70559	1-001-00 6.49 28.41 9 1480	14	(40)[36] Kerguelen Archipelago Ouest land 2 Island gabbro	0.102 0.102 0.102 0.512520	0.102 0.102 0.102 0.512520	0.102 0 <b>705440</b> 19.63 0.14 0.00	0.5.12.520 0.7.05440 18.373 15.564 38.910	37.7 1066.0 1.0 3.2	00 14-1 7	308 [75] Cuest Island S 802.5 Gabbro, Biofile Gabbro, Biofile
0.774 0.708615 0.074	0.705615 0.074 0.074	2	0,70563	1090	14	346 (40)(39) Kerguelen Architelago Ouest Leand Rabbro	0.144 0.705511 0.144	0.144 0.708511 0.144		0.70554	52 1045	14	[7:5] Kerguelen Archipelago Ouest Island 80.121 gabbro
0.082 0.70 <b>5574</b> 0.082 0.512448	14 0.082 0.705574 0.082 0.512448 14		0.512448 0.70559	1238	14	40][34] Kerguelen Archipelago Ouest Island 2824 gabbro	14 0.399 0.7056319 0.399	14 0.399 0.705631 0.399		0.70571	645	14	(75) Kerguelen Archipelago Ouest Island 80.76 monzodabbro

	REC. L'A	ALCULE .ge 14 Ma	A	RECALCUL L'Age Bibl	.E A lio	CALCUL OLIEROOK 2017						REC/	ALCULE A ge 14 Ma	RECA L'Aç	LCULE A ge Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				
A LUCK AND A	(311/14), inteasured recarcure (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86S/t initial recalculé (Rb/Sr)/this recalculé /Sm/bl/t measuring/ recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus)	(87Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	1475mr1444 1438/dr44440 1438/dr44440 1478/dr85 brital 2578/02819 2581/02419 2281/02419 2281/02419 2281/02419 brital 2287/b20419 brital 2287/b20419 brital	143Nd/1 44Nd measured 87Sr66Sr measured 206Fb/204Pb measured 207Fb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured	Nd (com) Nd (com) Sr (com) U (com) Pb (com) Th (com)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	Province Location Sample Name Rock Type Latitude	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	(Sm/Nd) measured recaicule (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (875x86Sh initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87.9/86Sn) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	1475/m14444	143Nd/1 44Nd measured 87Srf86Sr measured 206Fb/204Pb measured 207Fb/204Pb measured 208Fb/204Pb measured	Nd (com) Rb (com) Sr (com) U (com) Tb (com) Tb (com)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference Sm (ppm)	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samble Name Rock Troe Latitude
		0.591 0.705251 0.591	13	0.705251 0.591	13 0.591		0,70536	138 675	13	Kerguelen Archipelago Mount Ballons 78.69 morzonite	18		14 0.134 0.705833 0.134		14 0.134 0.70 <b>5833</b>		0.70586	820	14 [40][39]	40[39] Kerguelen Archipelago Ouest Island 2625 gabbro
	0.51258	0.119 0.705268 0.119	13	<b>0.705268</b> 0.119 0.51258	13 0.119		0.51258 0.70529	36.3 884	13	Kerguelen Archipelago Mount Ballons 78.69c amphibolite (cumulath	[75]	0.512630	14 0.130 0.705114 0.130	0.512630	20 0.130 <b>0.705103</b> 0.130	0.130 0.705140 17.57 0.13 0.00	0.512830 0.705140 18.496 15.549 39.042	33.9 755.0 1.0 3.5	68.5 -	309 Kerguelen Archipelago Montagnes Vertes s 77 25 Gabbro -48.55
	0.512610	0.040 0.705372 0.040	14	0.705369 0.040 0.512810	0.040	0.040 0.705380 6.63 0.00 0.00	0.512610 0.705380 18.354 15.580 38.912	7.3 522.0 0.2 1.8	68.5 20	Kergu-elen Archipelago Mount Mamelles s 77.103C abbro, Clinopyroxene-Olivine -48.55	310		14 0.131 0.705004 0.131		20 0.131 <b>0.704993</b> 0.131		0.70503	28.8 6'36	20	Kerguelen Archipelago Montaones Vertes 77.9 cabbro
		0.053 0.70 <b>5490</b> 0.053	14	0.705485 0.053	20 0.053		0,7055	10.6 584	20	Kerguelen Archipelago Mount Mamelles 77.112 cabbro	[75]		14 0.232 0.704874 0.232		20 0.232 <b>0.704854</b> 0.232		0.70492	462 462	20	(75) Kerguelen Archipel ago Montarnes Vertes 77.18 monzocabbro
		4.813 0.706033 4.814	14	0.705623 4.814	20 4.813		0.70699	183 110	20	Kergueten Archipelago Mount Mamelles 77.116 Oz svenite	[75]		14 0.183 <b>0.705114</b> 0.183		20 0.183 0.705098 0.183		0.70515	47.6 751	20	(75) Kerguelen Archipelago Montaanss Vertes 77.38 monzoabbro
	0.512570	0.240 0.705073 0.240	13.7	<b>0.705073</b> 0.240 0.512 <i>5</i> 70	13.7 0.240	0.756120 2018 0.156 0.156 0.00	0.512570 0.705120 18.317 15.530 38.806	68.0 821.0 1.5 4.5	68.5 13.7	Kerguelen Archipelago Societe de Geographie Sabbro, Biotite -48.55	311		14 0.705182 0.340		20 0.705153 0.340		0.70525	79 672	20	[75] Kerguelen Archipelago Montaanes Vertes 77.6 svenite
		0.705078 0.217	13.7	0.705078 0.217	13.7 0.217		0.70512	90 8 8	13.7	Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 81.86	[75]	0.51256	13 0.133 0.705106 0.133	0.51256	13 0.133 0.133		0.51256 0.70513	55.2 1204	1 3	(75) Kerguelen Archipelago Mount Ballons 78,34 amphiboille
	0.51261	1.080 0.704880 1.080	13.7	<b>0.704880</b> 1.080 0.51261	13.7 1.080		0.51261 0.70509	490	13.7	Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 82.26	[75]		13 102.204 0.703821 102.223		13 102.204 102.223		0.72269	194 5.5	13	(75) Kerguelen Archipelago Mount Ballons 78.49c Ne svenite
		1.415 0.705185 1.415	13.7	0.705185 1.415	13.7 1.415		0.70546	134 274	13.7	Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 81.84	[75]		13 0.918 0.708290 0.918		13 0.705290 0.918		0.70546	140 441	13	175 Kerguelen Archipelago Mount Ballons 78.57 microsvenite
		0.705068 1.808 1.808	13.7	<b>0.705068</b> 1.808	13.7 1.808		0.70542	175 280	13.7	Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 81.83	[75]		13 3.028 <b>0.705471</b> 3.029		13 3.028 <b>0.705471</b> 3.029		0.70603	179 171	13	(75) Kerguelen Archipelago Mount Ballons 78.66 Ne svenite

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	7			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017				
(Rb/S) measured recalculé (875/885N initial recalculé (Rt/S) initial recalculé (Sm/Nc) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nc) mitial recalculé	Age teri, Li-Ponthus) (REXS: Neasured recalculé (REXS: Nintail recalculé (RENVAI) measured recalculé (14340/1440A) initial recalculé (14340/1440A) initial recalculé (14340/1440A)	Harver Have India Harver Have India 1972/1982 India 2020/2014 2020	U Johnni U Johni Pri Gomi Th Johni 143/kd/141kd measured 2069-b2049b measured 2079-b2049b measured 2079-b2049b measured	Longitude Age Correction (Ma) Age reference Sm (topm) Nd (topm) Rb (ppm) Sc (com)	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemstry Reference Province Location Samole Name Samole Name Lacter Yose Latitude	Age 14Ma (L Ponhus) (RDS) neasured recalculé (RDS) nitial recalculé (RDMA) neasured recalculé (143Md/14Ma) nitial recalculé (143Md/14Ma) nitial recalculé (SmNd) initial recalculé	Age ref. (L Ponthia) (RDS) measured recelculé (RDS) hittil celculé (RDS) hittil celculé	1475/mr14444 1438/dr14444 1438/dr14444 1878/0855 brital 1878/0855 brital 2580/02456 2580/02456 2580/02456 brital 2087/b020459 brital 2087/b020459 brital	ro rusum 143Nd/14ANd measured 875/86Sr measured 201P.b/204Pb measured 201P.b/204Pb measured 201P.b/204Pb measured	Sm (opm) Nd (opm) Sr (opm) U (opm) Bb (oppm)	Latitude Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Lacation Rock Tove
0.71 2388 21.757	13.7 21785 21757 21757 21757 3.7	3	0.7.1662	13.7 205	[75] Kerguelen Archinelapo Solorete de Geographie 81.54	13.7 1404 0.705067 1404	13.7 1.404 0.705867 1.404		0.70534	132 272	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Sordete de Geographie 82.2.15
45.925 45.93 <b>95</b> 45.934	45.955 0.705395 45.934 3.7	3	071433	13.7 148	[75] Kenguéen Archipeliago Societe de Geographie 81.55	13.7 0.617 0.50500 0.617	13.7 0.617 0.617 0.617		0.70562	80 375	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographe CN7
0.704557 30.653	0.704557 30.653 30.653 30.653 13.7	3	071052	13.7 221	[75] Kerguelen Archivelago Socielle de Geographie 81.59	13.7 0.808 <b>0.704973</b> 0.809	13.7 0.808 0.809 0.809		0.70513	83 2.97	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographe 81.51
14.337 <b>0.705431</b> 14.340 0.5126	14.337 0.705431 14.340 0.5126 13.7	5	0.5126	13.7 72.5	[75] Kerguelen Archinelapo Socielle de Geographie 82.289	13.7 100.024 0.731160 100.043	13.7 100.024 0.731180 100.043		0.75084	168 4.88	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographie CN9
0.709447 388.768	13.7 388.662 0.709447 388.788	5	0.78897	13.7 420	[75] Kerguelen Acchipelago Socielle de Geographie 81 89	13.7 18.398 0.705010 18.402	13.7 18.398 <b>0.705010</b> 18.402		0.70859	110 17.3	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographie CN10
67.896 0.708950 67.909	13.7 67.886 67.809 67.909		0.72216	13.7 273	(75) Kerquelen Achtpelago Societe de Geographie 81 93	13.7 25.213 <b>0.704895</b> 25.218	13.7 25.213 <b>0.704895</b> 25.218		0.7098	13.4 15.38	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographie CN42
38.611 0.730908 38.618	38.613.7 0.730.908 38.618 13.7		0.73642	405	(75) Kerquelen Achtpelago Societe de Geographie 81 97	10.252 0.705145 10.254	13.7 10.252 <b>0.705145</b> 10.254		0.70714	118 33.3	13.7	[75] Kerguelen Archipeleago Societe de Geographie CN44
6.4 394 6.7.05072 6.4.406 0.51282	64.334 67.705072 64.406 0.51262 13.7	5	0.51282 0.7176	13.7 199	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 82.249	13.7 1.288 0.704999 1.288 0.51284	13.7 1.288 0.704999 1.288 0.51264		0.51264 0.70525	110 247	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 81.5
0.705377 0.705377 0.068	0.068 0.705377 0.068	5	0.70539	- 13.7 - 6.8	[75] Keguelen Archipelago Societe de Geographie 8162	13.7 5.639 0.705033 5.640	13.7 5.639 5.640 5.640		0.70613	115 59	13.7	[75] Kerguelen Archipelego Sociele de Geographie 81.52
	254 0.703880 14	3	0.512878 0.703880	88.5 77 01	96 [76] Kerguelen Archipelago 5 KG2-1 Basatt -48.55	13.7 233.476 0.699855 233.521	13.7		0.74528	201 2.5	13.7	[75] Kerguelen Archipelago Societe de Geographie 81.53

RE	CALC 'Age 1	ULE A 4 Ma	REC/	ALCULE A ge Biblio	C/	ALCUL OL	IEROOK	2017							RECAI	CULE A 14 Ma	RECA L'Ag	LCULE A e Biblio	CALCUL OL	IEROOK 2017				
(143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé	(Sm/NG) measured recalcule (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	208Pb/204Pb initial Age ref. (L. Ponthus)	235 U/204 Pb 232 Th/204 Pb 206 Pb/204 Pb Initial 207 Pb/204 Pb Initial	87R b/86Sr 87Sr/86Sr initial 238 U/204 Pb	147 Sm/144Nd 143Nd/144Nd initial	143 Nd/1 44 Nd measured 87Sr/86Sr measured 206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	Sr (ppm) Sr (ppm) V (ppm) Pb (ppm) Th (ppm)	Age reference Sm (ppm) Nd (ppm)	Latitude Longitude Age Correction (Ma)	Location Sample Name Rock Type	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistrv Reference Province	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14 Ma (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age rer. (L. POTITURS) (Rb/Sr) measured recalculé (875/86S1) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	235 U/244 Pb 232 Th/204 Pb 206 Pb/204 Pb 207 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial	14/Sm1144Nd 143Nd/144Nd initial 87Rv86Sr 87Sr/86Sr initial 238U/204Pb	143 Nd/1 44 Nd mesured 875 r/86Sr mesured 206P L/324Pb mesured 207P L/304Pb mesured 208P L/204Pb mesured	Sm (bom) Nd (bom) Sr (bom) U (bom) Eb (bom)	Samble Name Rock Tvoe Latitude Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location
0.142	0.075	14 0.075 <b>0.704787</b>	0.142 0.512681 0.142	0.75 0.704774 0.075	38.771	0.10 73.95 18.351 15.540	0.704774 13.11	0.142 0.512681	0.512705 0.704802 15.542 38.866	33100 1.6 1.6	[70] 4.7 20.1	-48.55 	Mount Capitole s 93471 Basalt	189 [78] Kerguelen Archipelago		14		0.705320	3		0.512831 0.705320		Basalt Basalt -48.55 68.5 [70]	97 [76] Kerguelen Archipelago Foch
0.512691 0.145	0.046	14 0.046 <b>0.704763</b>	0.512679 0.512679	0.046 0.704755 0.046	38,840	78.49 18.43 15.552	0.046 0.704755 9.69	0.145 0.512679	0.512704 0.704772 15.554 38.941	389 c 1.2 1.3	1701 4.2	-48.55 68.5 226	Mount Capitole s 93-472 Basalt	190 [78] Kerguelen Archipelago		14		0.705300	3		0.512641 0.705300		s KGF-3 Basalt -48.55 68.5 (70)	99 [76] Kerguelen Archipelago Foch Island
0.512673	0.057	14 0.057 0.704902	0.142 0.512662 0.142	0.057 0.704892 0.057	38.762 26	0.13 87.87 18.321	0.057 0.704892 18.25	0.142 0.512662	0.512886 0.704913 15.545 38.875	323.0 0.6 3.0	[70] 30.1	-48.55 68.5 26	Mount Capitole s 93-476 Basalt	191 [78] Kerguelen Archipelago		4		250 0.705310	- An		0.512645 0.705310		s KG8-4 Basati -48.55 	211 [76] Kerguelen Archipelago Kerguelen Archipelago
0.512/04	0.079 0.146	14 0.079 <b>0.704767</b>	0.512692 0.5146	0.079 0.704754 0.079	38.807 26	0.11 84.66 15.548	0.079 0.704754 15.3.1	0.146	0.512717 0.704783 18.472 15.551 38.916	323.0 0.6 3.0	[70] 33.0	-48.55 68.55	Mount Capitole s 93-479 Basalt	192 [78] Kerguelen Archipelago		- 4		0.705320	2		0.512631 0.705320		s KG/14-3 Basait -48.55 88.5 25 [70]	212 [76] Kerguelen Archipelago Kerguelen Archipelago
0.512714 0.148	0.052	14 0.052 <b>0.704706</b>	0.148 0.512703 0.148	0.052 0.704697 0.052	38,769 26	0.11 83.17 18.396	0.052 0.704697 14.96	0.148 0.512703	0.512728 0.704716 15.549 38.876	297.0 2.2 2.8	[70] 7.8 31.8	-48.55 68.5	Mount Capitole s 93-482 Basalt	193 [78] Kerguelen Archipelago		- 4		0.705380	2		0.512685 0.705380		Basalt Basalt -48.55 68.5 25 [70]	213 [76] Kerguelen Archipelago Kerguelen Archipelago
0.512701 0.146	0.118 0.146	14 0.118 <b>0.704753</b>	0.146 0.512689 0.146	0.118 0.704733 0.118	38,786	0.73 87.77 18.369 15.549	0.704733 17.17	0.146 0.512689	0.512714 0.704776 15.439 15.552 38.899	347.0 0.7 3.3	[70] 9.0 37.2	-48.55 68.5	Mount Capitole s 93-483 Basalt	194 [78] Kerguelen Archipelago		4		0.705310	2 n		0.512657 0.705310		s (560 Basalt -48.55 25 [70]	214 [76] Kerguelen Archipelago Kerguelen Archipelago
0.512681 0.147	0.039 0.147	14 0.705038	0.512669 0.5147	0.705032 0.039	38.699	0.72 86.221 18.312	0.705032 16.01	0.512669	0.512694 0.705046 15.551 38.810	3440 0.5 2.7	[70] 7.2 2.9.4	-48.55 68.5	Mount Capitole s 93-490 Basalt	195 [78] Kerguelen Archipelago		14		0.705210	2 c		0.512671 0.705210		s IS81 Basalt -48.55 25 [70]	215 [76] Kerguelen Archipelago Kerguelen Archipelago
0.512709 0.147	0.108	14 0.108 0.704749	0.512697 0.512697 0.147	0.704730 0.108	38.756	0.14 87.38 15.552	0.704730 19.54	0.512697	0.512722 0.704770 18.462 38.888	340.0 0.6 2.6	[70] 6.9 28.5	-48.55 68.5	Mount Capitole s 93-495 Basalt	196 [78] Kerguelen Archipelago	0.512672 0.512672	14 0.704824 0.056	0.512661 0.512661 0.140	20 0.056 0.704814 0.056	0.10 83.20 18.386 15.549 38.863	0.512661 0.512661 0.704814 14.12	0.512685 0.704835 18.442 15.551 38.970	410.0 0.3 1.4	s 33-459 Basait -48.55 88.5 [70]	186 [78] Kerguelen Archipelago Mount Capibole
0.512693 0.145	0.176	14 0.176 0.704806	0.145 0.512681 0.145	0.176 0.704776 0.176	38.747	0.13 79.04 18.347 15.537	0.704776 18.01	0.512681	0.512708 0.704841 15.541 38.849	322 0.8 3.4	35.0 35.0	-48.55 68.5	Mount Capitole s 93-50 7 Basalt	197 [78] Kerguelen Archipelago	0.512954 0.512954 0.144	0.074 0.074 0.074	0.144 0.512942 0.144	20 0.074 0.704805 0.074	0.10 76.43 18.341 38.784 38.784	0.512942 0.074 0.704805	0.5.12.867 0.7.04.832 1.8.387 15.540 38.882	33 184 03 184 194 194 194	s 93.463 -48.55 -48.55 26 [70]	187 [78] Kerguelen Archipelago Mount Capitole
0.145	0.079	14 0.079 <b>0.704774</b>	0.145 0.512692 0.145	0.079 0.704761 0.079	38.771	0.13 85.02 15.539	0.079 0.704761 17.44	0.145 0.512692	0.512717 0.704790 18.438 15.542 38.880	327.0 0.6 2.8	[70] 8.7 27.9	-48.55 68.5 26	Mount Capitole s 93-512 Basalt	198 [78] Kerguelen Archipelago	0.145 0.512680 0.145	14 0.082 0.7 <b>04812</b> 0.082	0.145 0.512668 0.145	20 0.082 0.704798 0.082	0.12 78.83 18.356 15.540 38.792	0.512668 0.512668 0.082 0.704798 15.71	0.512693 0.704828 18.419 15.543 38.894	17 - 2 9 9 0 3 17 17 17 17 2 9 9	s 33-445 Basait -48.55 68.5 26 [70]	188 [78] Kerguelen Archipelago Mount Capitole

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2	017
Age (Malt (Porthus) (RSS) measure recalcule (875/8655) Initial recalcule (SWN5) measured recalcule (SWN5) measured recalcule (113Md/144Md) Initial recalcule (SmN4) Initial recalcule	Ade rer. ( vormus) (RUS:) measured recalculé ( <i>87Sr</i> &SS1 initial recalculé ( <i>87NVI</i> ) initial recalculé ( <i>87NVI</i> ) initial recalculé ( <i>13NU1</i> 44NU) initial recalculé ( <i>13NU1</i> 44NU) initial recalculé	14 SMD 14444 Initial 14 SMD 14444 Initial 18 Displays Initial 18 Displays Initial 18 Displays Initial 20 Displays Initial 20 Displays Initial 20 Displays Initial 20 Displays Initial 20 Displays Initial 20 Displays Initial	# (Olknock et al. 2017 - n.)     Geochemistry Reference     Smock Trans     Kann     Smock Trans     Latitude     Latitude     Latitude     Latitude     Latitude     Smock Trans     Kann	Grit Vession     Grit	# (Oliencok et al., 2017 - n.) Geochemistry Reinrenco Preterior Startin Nume Rosch Num Rosch Nu
0,112 0,704389 0,7044389 0,112 0,114 0,51 <i>2757</i> 0,144	0.712 0.74385 0.74386 0.112 0.144 0.512743 0.512743	0.512744 0.7142 0.70436 2.647 0.18 143.22 18.100 15.472 15.472 15.472	108 Kerguelen Archonerag s. KontiBureau MontiBureau s. Gritikansi Baselt, Tremetional 48.5 68.5 710 52 10.5 2110 52 10.5 2110 52 10.5 2110 52 10.5 2110 0.4 0.5 2170 0.5 2 270 0.5 270 20	0.704408 14	199 Kengusten Arch Jonese Maran Cranster Status Bealt 48,55 68,5 70 0,512867 0,704808 0,704808 18,419 18,542 39,852
0.18 0.704054 0.081 0.153 0.512795 0.153	0.704037 0.704037 0.061 0.153 0.152780 0.1580	0.512780 0.081 0.704037 16.00 7.6.94 7.6.94 18.535 18.535 18.535 18.535 18.535	100 Kerguelen Archipeleg Kourt Eusp Basst Transitional 48.5 89.0 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10	.26 0.704878 14	200 Kergueisen Architeko Mont Cestelo Basel Basel Basel 14.856 85.5 20 0.0512880 0.704875 0.704875 0.704875 19.424 19.544 19.544
14 0.705167 0.185 0.136 0.136 0.512607 0.136	0.705128 0.705128 0.1383 0.512593 0.1383	0.512293 0.183 0.705128 0.705128 14.60 14.60 15.524 15.524 38.625	110 Kensuleen Achteria Solkeraa Beeral Beeral Beeral Beeral 1701 22.8 380 0.6128 19.5 22.8 380 0.6128 19.5 22.8 380 0.6128 19.5 22.8 380 0.6128 19.5 22.8 38.0 0.6128 19.5 22.8 38.0 0.6128 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5 19.5	0.708039 14	201 [20] [20] [20] [20] [20] [20] [20] [20]
14 0.048 0.046 0.046 0.012 0.132 0.132	0.048 0.705017 0.048 0.132 0.132 0.132	0.512571 0.048 0.7765017 10.11 0.07 244.73 18.307 15.540 38.559	111 Karguelein Acchiel (78) S. Guitzeeau S. Guitzeeau S. Baseal Baseal, Transitional 68.5 (70) 7.70) 7.70) 7.70 3.7.1 6.1 6.1 6.1 6.1 6.2 0.0 0.51293 0.051293 0.051293 0.051293 15.542 28.562	26 0.70480 3 14	202 Konguelen Archivell Bodurt Capele 1924/12 49.5 26 [70] 0.011206 0.011206 0.01403 116445 11645 11645
0.114 0.705159 0.705159 0.512 0.512619 0.112	0,162 0,705124 0,162 0,162 0,132 0,132	0.512606 0.162 0.705120 12.47 12.47 12.47 18.075 18.057 38.558	112 Kerguslein Achipologi Sourd Bureau SOMCS Bussell Basell, Transitional Basell, Transitional 12,7 13,7 12,7 13,7 14,7 15,7 1	0.7066 0.7066 14.52 14.5	102 Kergunalan Archistoff Maurit Storesa Maurit Storesa Basalt Tarastica 29 (70) 35.4 38.0 0.5 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
14 0.032 0.705805 0.002 0.511 0.511 0.513 0.151	0.032 0.705498 0.032 0.151 0.512548 0.151	0.512548 0.7165498 0.7165498 0.7165498 1075 1075 115734 18.177 15.534 38.714	118 Keguler Architelag som Sum Surau som Surau som Surau som Surau som Surau Su	0.70377 0.70377 11.12 11.12 11.12 18.15 18	Nergusian Architytel Magnation Architytel Magnation Basalt Tarentian 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
14 0.704077 0.704077 0.0807 0.1159 0.1159 0.1159	0.087 0.704058 0.087 0.139 0.512761	0.512761 0.087 0.704058 0.314 0.31 0.31 0.31 18.337 18.352 15.552 38.715	110 Keguleri Achtpolique sOMR2.esu salt, Transitional (Basat 68.5 170) 11.2 374.2 11.2 11.2 11.2 11.2 11.2 11.2 11.2 1	0.7053 0.7053 0.7053 0.1173 0.1173 0.1273 0.1282 0.1275 0.1282 0.	104 Kergualan Archinello Maurit Storello Basalt Tarrafice 29 [770] 27.2 32.3 343.0 943.0 0.5 18.33 15.546 39.020
14 0.704583 0.704583 0.018 0.0179 0.512759 0.179	0.704580 0.704580 0.018 0.512741 0.179	0.512741 0.704580 0.704580 0.049 0.00 0.00 0.225 18.225 15.491 38.445	121 Kerguden Achtholeko Kovit Bureau s CM02 48 68.5 71 13 220 0 3 14 220 0 3 14 220 0 3 14 220 0 3 15 20 14 3 220 0 3 14 14 220 0 3 15 20 14 3 220 0 3 15 12 13 14 14 220 0 3 15 12 13 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15	0.7 0434 0.7 0434 0.7 0434 0.7 0434 0.7 0434 0.120000000000	105 Karguutan Accherges Kargut Bundlago Kargut Bundlago Basali, Transford 20 12 12 12 12 12 13 12 15 15 15 0 0 5 12 16 0 0 5 12 16 0 0 5 12 20 16 0 0 5 12 20 16 0 0 5 12 20 16 0 0 5 12 20 0 5 12 0 16 20 0 16 20 0 16 20 0 16 20 0 16 20 0 16 20 16 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
14 0.227 0.705086 0.237 0.237 0.237 0.237 0.244 0.518614 0.144	0.237 0.705036 0.237 0.144 0.512600 0.144	0.513600 0.237 0.706035 14.96 14.96 15.90 15.90 38.681 38.681	122 Keguelen Arbigslag Schrötzen Baselt, Transfonst Baselt, Transfonst 82,5 82,7 80,7 80,7 80,7 80,7 80,7 80,7 80,7 80	0.144 0.705222 2.200 0.144 0.144 1.8272 1.8272 1.8272 0.146 0.70522 0.146 0.14	100 Korguelen Aerite fr Mount Suree Basalt Transford 100 172 172 172 172 172 172 172 172 172 172
14 0.70525 0.182 0.182 0.182 0.133 0.51256 0.133	0.182 0.705213 0.182 0.182 0.512552 0.133	0.51252 0.702412 0.702412 0.000 0.000 7.8.33 18.527 15.527 15.525 15.525	123 Keguden Actholises s. (3405.0) asalt. Tarnstional / Basat 98.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20.5 20	0.766 0.7665 0.7665 0.7665 0.7665 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7675 0.7655 0.75550 0.75550 0.75550 0.75550 0.75550000000000	107 108 8 Kerguadan Archice 199 8 GA023 S 40 Karata 48,56 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20

RECALCULE L'Age 14 Ma	A RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	7	RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio	
(FOIS7) Initial recalcule (875/868/61) Initial recalcule (SmN4) Initial recalcule (SmN40) Initial recalcule (143/40/144/40) Initial recalcule	(Bb/S) measured recalculé (Bb/S) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143/M/14/Nd) measured recalculé (143/M/14/Nd) measured recalculé Ade 14/Ma (L-Domina)	VA_SIN_VALVA INTA HANNA FANG INTA HANNA FANG INTA REPROSES REP	# (Clanock et al., 2017 - n) Deschmistry Reinnos Sanab Kinne Reck Tries Latitude Latitude Latitude Sana Correction (Ma) Ale Correction (Ma) Ale correction (Ma) Bio Loom) Bio Lo	Geochamitra Reference Province Samob Nam Samob Nam Samob Nam Samob Nam Rock Tvas Adv Gorricchan Adv Gorricchan Samob Nam Rock Tvas Adv Gorricchan Samob Nam Rock Tvas Samob Nam Rock Tvas Samob Nam Rock Tvas Samob Nam Rock Tvas Samob Nam Rock Tvas Samob Nam Rock Tvas Rock Tvas	# (Olierook et al 2017 - n.)
0.70508 0.705008 0.088 0.140 0.512598 0.140	0.085 0.705068 0.088 0.140 0.512582 0.141 14	0.610268 0.70508 0.70508 14.02 10.210 10.210 15.275 15.578 15.578 15.578	127 Kennulein Archite 199 Kennulein Carbite Schutz Jahr Basalt Transitional / Saut 190 191 191 191 191 191 191 191 191 191	Krepulein Archiveligo Konsteinen s. (Konsteinen s. (Konstei	124
0.704508 0.7264508 0.039 0.163 0.5127.00 0.163	0.033 0.704500 0.039 0.163 0.163 0.185 0.185 0.185 14	0.512684 0.039 0.724500 16.43 156.21 156.21 156.21 15.28 15.428 34.28	128 Kepusien Achter [79] Martin Rabolitiko Kepusien (Jasat 685 685 100 110 214 02 214 02 214 02 02 02 0.512715	Kenpulein A (chipeliaga) Mont Bureau South Characteria Basat Basat Tanas 1000 125 125 125 125 125 125 125 125 125 125	120
0,705238 0,276 0,276 0,276 0,131 0,512561 0,131	0.276 0.705179 0.236 0.131 0.512248 0.131 0.131	0.51254 0.7126 0.705179 16.32 0.12 8.5.07 18.108 15.57 15.578 38.818	123 Korgusten Architel [79] Mount Recolution Basati, Tarar Bonz, J. Basati, J. Ba	Kenguelen Archibelfago Mount Bureau Mount Bureau (9492-34) 29 10.7 47.5 33.5 0.705114 0.1382 0.3127 20 0.705114 20 0.705114 0.705114 0.705114 0.705114 0.705114	120
0.705188 0.129 0.120 0.120 0.512623 0.512623	0.725 0.705168 0.129 0.120 0.512614 0.120 14	0.512814 0.129 0.705168 0.20518 0.21 0.21 0.21 123.55 18.337 18.545 15.545 38.541	203 Kenpuden Achipelagi Central Plateou. Armao Basalt. Availine 99.7 101 201 201 201 201 201 201 201 201 201	Vergueten Achtipelige Mourt Rescultere s C.1042-149 Bask 1, Transformat (2015) 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015 2015	113
0.178 0.705182 0.178 0.135 0.512594 0.135	0.705154 0.705154 0.178 0.135 0.512884 0.135 14	0.512803 0.0178 0.002214 12.61 0.00 61.91 18.481 18.481 18.546 2.5101	301 Kerguelen Australia Austerf et al. a Pictra Berra	Korgusten Acchyptige Monu Rathopaten Status Basati Tanchida Basati Tanchida Basati Tanchida Basati Tanchida Basati Tanchida Status Basati Tanchida Status Basati Tanchida Status Basati Tanchida Status Basati Tanchida Status Basati Tanchida Status Basati B	114
0.765226 0.083 0.123 0.512577 0.512577 0.512577	0.708213 07.06213 0.083 0.123 0.123 0.123 14	0.510.1123 0.715.867 0.705.242 0.15 101.59 18.335 15.547 18.545 15.547	302 (Kerguesen Avela jose Autor et Autor Bastell Valence Bastell Valence 164 17.1 17.1 10 10.5 12.86 15.447 15.457 38.660	Kerguelen Archipeligi Kerguelen Archipeligi Mont Raboulliere s. GKR2:86 s. GKR2:86 Basell: Transford 6.5 700 8.5 16.572 16.5	115
0.705213 0.705213 0.095 0.129 0.512593 0.129	0.705198 0.705198 0.065 0.129 0.1284 0.1284 0.1284 14	0.512804 0.7065 0.705281 15.72 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.1.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0	303 Autoria Accineta Autoria Sile Porte 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19	Kegueten Archipeligo Monthe Carlson Bassin Transform 205 21 21 22 21 22 23 23	116
0.705216 0.705216 0.155 0.125 0.512575 0.126	0.705192 0.705192 0.155 0.1286 0.1286 0.1286 0.1286 14	0.51286 0.155 0.70224 28.34 0.21 117.12 18.455 15.455 15.455 15.455	304 Senguelen Acchinesato Auszert (SLB37 Basall, Adairee 17,1 17,2	Kenguelen Archipelign Monteller Baust, Transform Baust, Transform 13.6 65.6 22.2 0.706287 0.706287 0.706287 0.706287 0.706287 0.706287 0.126 0.155 0.055 0.055 0.055 0.055 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.0588 0.05888 0.05888 0.05888 0.058888 0.058888 0.05888888 0.058888888888	117
0.718 0.705264 0.118 0.119 0.512570 0.512570	0.705265 0.705265 0.118 0.119 0.513562 0.119 14	0.51250 0.51250 0.118 0.70505 0.15 90.28 18.446 15.556 15.556	305 Keguusien Archystel (601) Basalt Acaline Basalt Acaline (606) 174 175 100 100 100 100 100 100 100 100 100 10	Kerguelen Archipeligi Kerguelen Archipeligi Schlassell, Transibiola Basalt, Transibiola 18,53 18,55 1	125
	14	26	219 Kesuken Architeckel Kasuken Architeckel Basel Turaelona 6,629 6,68 7,01 18,400 18,545 18,545	Keguaden Archive (79) Keguaden Archive (79) Montrabuellee schlaz-ta- Basell, Transford (78) (77)	126

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RE L	ECALO	CULE A Biblio	CALCUL OLIEROOK 201	7				RECALCULE A L'Age 14 Ma	REC	CALCULE A Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 20	7			
Age 14Ma (L Ponthus) (REUS) measured recalculé (875/885/1 initial recalculé (RUS)/initial recalculé (SMV4) measured recalculé (143Md/144Ma) initial recalculé (143Md/144Ma) initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalcule (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) Initial recalcule (Sm/Nd) measured recalcule	Age rer. (L.Ponnus) (Rb/Sr) measured recalculé (87Sr/86Sn) initial recalculé	14344/1444hitiai 8775085i 8776085i 8769085i 8769085i 22610204Pb 2221704004040404040404040404040404040404040	U Grann) U Grann) Th Grann 143Ndri 141Ndr measured 205F2204P measured 207F2204P measured 207F2204P measured	Sm (bpm) Nd (bpm) Rb (bpm)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemister Reference Londines Sanaboutine Sanaboutine Sanaboutines Latinches	(RUS) measured recalcule (RUS) measured recalcule (RTS/8686) Initial recalcule (RTS/8686) Initial recalcule (RTS/86/74/Wd) measured recalcule (14/3/6/74/Wd) Initial recalcule (14/3/6/74/Wd) Initial recalcule	(143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (Rf Sr/86Sn) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	143Aud/14444hitiai 877Ev855 287Ev855 287Ev824 287Ev824Pb 2227Ev8244Pb 2027Ev8244Pb	143NQ/144Nd measured 875/8657 measured 206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	San (apam) Ned (apam) SF (apam) Sf (apam) Pb (apam) Pb (apam) Th (apam)	Longitude Age Correction (Ma) Age reference	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Sample Name Sample Name Kack Two Latitude
74	0.137	0.086	0.086	0.5127 0.5022 0.704753	0.498 0.49 1.17 2.17 2.17	6.42 24.8 11.7	26	Kegulen Archologo Trois ménestres Basalt	0.196 0.705194 0.196 0.129 0.126 0.126	0.512632 0.129	25 0,196 0, <b>705163</b> 0,196 0,129	0.51263 0.705166 22.00 10.334 10.334 18.323 18.3254 38.821	0.01,2003 0.705233 18.405 38.945 0.129	56 275 4080 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.	70.06 25 [70]	264 (8) Kerguelen Archipelago Mount Trapeze s AG99-182 Basalt, Transitional -49.3
74	0.137	0.062	0.062	0.5127 0.0667 0.704745	01466 1.155	8.8 34.1 8.39	26	Kegulén Archipelago Trois ménestres Basalt	0.196 0.705194 0.196 0.129 0.126 0.126	0.512632 0.129	25 0,196 0, <b>705163</b> 0,196 0,129	0 : 96	0.112653 0.705233 0.1287	4 06 5 8	25	Kerguelen Archipelago Courbet Peninsula AG89-182
74	0.142	0.034	0.034	0.5/27/4 0.704736 0.704736	0.1617 0.1617	7.6 28.5 4.43	26	Kerguelen Archipelago Trois méndetels Basait	0.7111 0.705194 0.1111 0.149 0.1512632 0.149	0.512622 0.149	25 0.111 0.705177 0.111 0.149	0.512822 0.111 0.705177 18.70 10.14 10.247 18.241 18.241 18.241 18.242	0.512.046 0.7052.046 18.314 15.529 38.753 0.1493	42 11.1 1800 10.3 1.0 1.0	69.89 25 [70]	204 (8) Kerguelen Achipelago Ravin chatornýjaune s.AG9-125 Basalt, Transtional -49.35
4	0.140	0.010	0.010	0.512706 0.011 0.704654	0.1460 0.1461	7.5 28.5 1.46	26	Kerguelen Archippe Baset Trois mémeterels Baset	0.145 0.705193 0.145 0.146 0.12617 0.140	0.512607 0.140	25 0.145 0.145 0.145 0.140	0.512807 0.705171 18.78 0.145 0.14 0.14 0.14 0.14 0.14 0.15 15.527 15.527 38.655	0.01/2020 0.705/22 18.289 15.531 38.767 0.140	3.5 15.1 12.3 2.46.0 1.0 1.4	69.89 25 [70]	205 (Rerguelen Achipelago Ravin charboriyaune s AG39-126 Portite -49 35
4	0.138	0.067	0.067	0.512713 0.7704661	0 1574 0 11 13 13 14 19 14 15 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15	7.5 28.8 9	26	Kerguelen Acchipelago Trois ménestres Basalt	0.131 0.705187 0.131 0.131 0.147 0.512642 0.147	0.512631 0.147	25 0.705166 0.131 0.131 0.147	0.131	0.512655 0.705213 0.4464	18.1 18.1 265	25	Karguelen Achipelago Ravin charboriyane AG99-123
- 4	0.138	0.041 0.138	0.041	0.512712 0.0443 0.704666	0.1571 0.129 0.129 0.1271	7.9 30.4 5.5	26	Keguelen Archipelago Tros menastres Basalt	0.705091 0.705091 0.168 0.136 0.512616 0.136	0.512606 0.136	25 0.168 0.168 0.168 0.188	0.168	0.512628 0.705124 0.4355	5.2 20.9 359	25	Kerguelen Achipelago Rawn chatoorijaune AG99-122
4			20				26	Keguelen Acchipelago Trois möntestrels ICSN-27 teol Basalt	0.705062 0.705062 0.139 0.124 0.512645 0.124	0.512636 0.124	25 0.139 0.139 0.139 0.124	0.139	0.512666 0.70509	7.3 26.7 549	25	Karguelen Achipelago Ravin charboriyame AG99-124
4	0.139	0.007	0.007	0.512705 0.0073 0.704685	0.457 2.68 2.68 2.68	7.8 29.9 0.9	26	Keguelen Archoelego Trois ménestres Basalt	Ŧ	0.136	0.065 0.136	0.51/269 0.0669 0.704781	0.4848	8.4 3.2.8 8.45 3.51 1.57 2.98	26	Kerguelen Archipelago Trois ménestrels K2M-1-1 Basalt
4	0.138	0.041	0.041	0.54706 0.0445 0.704727	0.58 1.23 2.55 2.157	7.13 27.4 5.5	26	Keguelen Archipelago Trois ménestres Basalt	Ŧ	0.134	0.048 0.048 0.134	0.512688 0.0515 0.704838	0 15.98	364 6.2 354 183 3.61	26	Kerguelen Archipelego Trois ménestres K2M-3 Basalt
14	0.140	0.043	0.043	0.0462 0.704665	0.5 0.5 1.33 2.79 0.01144	8 30.4 5.8	26	Kerguelen Archipolago Trois ménestres K2M-26 Basat	ī	0.135	26 0.053 0.135	0.512687 0.0574 0.704767	0 9782	9.4 37.1 3.88 0.8 1.86 3.52	26	Xdiop Kerguelen Archipelago Trois ménestreis K2M-5 Basalt

REC L'A	ALCU	ILE A Ma	REC. L'A	ALCU ge Bil	LE A blio	CAL	.CUL	OLIER	оок	2017											RECA L'Ag	LCULE je 14 Ma	a	RECA L'Aç	ALCU ge Bit	LE A blio	CALCUL O	LIERO	OOK 201	7								
(143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) initial recalcule (Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	(Sm/Nd) measured recarcule (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(87578657) Initial recalcule (Rb/Sr) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	207 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial	232 Th/204Pb 206Pb/204Pb initial	238 U/204 Pb 235 U/204 Pb	87R b/86Sr 87Sr/86Sr initial	147 Sm/144Nd 143 Nd/1 44 Nd initial	206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	143 Nd/1 44 Nd measured 87Sr/86Sr measured	Pb (ppm) Th (ppm)	Sr (ppm)	Sm (ppm) Nd (ppm)	Age Correction (Ma) Age reference	Longitude	Sample Name Rock Type	Province Location	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(R0/Sr) measured recalcule (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(87 Sr/86S r) initial recalcule (Rb/Sr) initial recalcule	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	232Th/204Pb 236Pb/204Pb initial 207Pb/204Pb initial 207Pb/204Pb initial	238U/204Pb 238U/204Pb	143 Nd/144Nd initial 87Rb/86Sr 87Rb/86Sr	206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	143Nd/1 44Nd measured 87Sr/86Sr measured	Pb (ppm) Th (ppm)	Sr (ppm)	Sm (bpm) Nd (bpm) Rb (bpm)	Age reference	Latitude Longitude	Location Sample Name Rock Type	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province
0.512399 0.144	0.050	0.050 0.752	0.144 0.512318 0.144	0.050	0.050	15.444 37.648	43.27	0.04	0.050	0.144	17.427 15.448 37.863	0.512412 0.705738	2.4 1.6	253.0	4.6 4.4	Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-14R-1,31-35 Tholeiite / Basalt	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	316			0.139 14	0.139	0.016	26 0.016		0.704000	0.5127 19 0.0169	0 L 10 0 11		1.32	380	1.47 28.5 2.72	20	2	K2M-29 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trrvis ménestrels
0.512410 0.141	0.108	0.108 0.7067.50	0.141 0.512331 0.141	0.109	0.108	15.455 37.695	37.49 17.386	0.04	0.108	0.141	17.463 15.459 37.881	0.512423	3.0 1.8	275.0	5.3 22.9	100 Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-13R-3.24-28 Tholeiite	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	317			0.130 14	0.138	0.037	26 0.037		0.104002	0.512709	0		1.37	347	7.8 30.1 4.81	20	ž	K2M-35 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trnis ménestrels
0.512423 0.134	0.201	0.201 0.705846	0.134 0.512347 0.134	0.201	0.201	15.519 37.933	36.57 17.579	4.93	0.201	0.134	17.696 15.523 38.114	0.512435	1.7 1.0	259.0	14.9 18.0	100 Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-16R-2,53-59 Tholeiite	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	318			0.137 14	0.137	0.045	26 0.045		0.10401.0	0.512698	0		1.39	0.54	5.89	20	2	K2M-39 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trnis ménestrels
0.512424 0.136	0.118	0.118 0.718	0.512347 0.136	0.705074	0.118	15.498 37.932	32.21 17.627	5.24	0.118	0.136	17.709 15.502 38.092	0.512436 0.705742	2.2	243.0 0.2	4.0 17.9	Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-15R-2.134-139 Tholeiite	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Sile 747	320			0.130 14	0.136	0.013	26 0.013		0.104108	0.12443			1.57	0.53	7.8 30.56 1.7	20	36	K2M-49 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trois ménestrels
0.512431	0.028	0.028 0.028	0.141 0.512352 0.141	0.028	0.028	15.514 37.903	38.42 17.497	6.17	0.028	0.141	17.594 15.519 38.094	0.512444	1.9 1.2	274.0	15.3 3 R	Tuncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-16R-5,17-21 Tholeiite	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	321			0.100	0.138	0.009	26 0.009		0.700124	0.512647			1.43	0.5	7.1 27.33 1.28	02	ac	K2M-50 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trois ménestrels
0.512437	0.121	0.121	0.1144 0.512356 0.144	0,121	0.121	15.432 37.668	31.80	9.18	0.121	0.144	17.421 15.439 37.826	0.512450 0.705552	3.3 1.7	271.0	21.0	Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-11R-1,0-5 Tholeitle	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	323			0.137 14	0.137	0.048	26 0.048		0.1 040 1 0	0.512698 0.512698 0.704740	2		1.45	0.56	7.6 29.5 6	20	36	K2M-52 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trnis ménestrels
0.512442	0.253	0.252 0.252	0.512366 0.135	0.253	0.252	15.512 37.974	31.21 17.574	4.63	0.252	0.135	17.647 15.516 38.129	0.512454 0.705828	2.3 1.1	220.0	17.5 10.2	Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-15R-1,15-19 Tholeiite / Basalt	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	325			14			26									02	96	K2M-52 dupl Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trois ménestrels
0.512444	0.029	0.029 0.029	0.512361 0.147	0.029	0.029	15.383 37.551	34.77 17.262	6.22 0.05	0.029	0.146	17.360 15.388 37.723	0.512457	2.2 1.2	252.0	4.1 16.8 2.6	Tou Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-12R-4,53-56 Tholeiite / Basalt	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	326			0. Ioo 14	0.136	0.056	26 0.056		0.2 04 204	0.512684 0.512684			1.52	352	7.7 7.26	20	2	K2M-56 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trnis ménestrels
		14			100	444						0.512470				100 Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-14R-2.27-31 Tholeiite	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	327			0.137	0.137	0.068	26 0.068		70 1900 110	0.512686	2 h h 177		1.58	325	8.7 8.2 8.2	20	8	K2M-57 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trois ménestrels
0.512482	0.349	0.349	0.132 0.512408 0.132	0.350	0.349	15.409 37.583	49.43 17.296	6.55 0.05	0.349	0.132	17.399 15.414 37.828	0.512494 0.705639	2.8 2.2	203.0	5,4 24,6 24.5	Duncan 2002	-54.8114 76.794	s 120-747C-14R-2 27-31 Tholeiite	Kerguelen Plateau (Central) ODP Leg 120, Site 747	328			0.130 14	0.138	0.150	26 0.150		0.1 040 11	0.512877 0.512877 0.1616	D http://www.communication.com/communication/		1.37	0.57 0.57	7.5 28.8 18.6	20	8	K2M-59 Basalt	Xdiop Kerguelen Archipelago Trnis ménestrels

RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
Age Correction (Ma) Age reference Sin form) Hit form	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samble Name Rock Toxe Rock Toxe Lutitude Lutitude	Age 14AB (L-Ponthus) (Rickic) massured resolutio (875x86Sh Initial resolutio (825x1) Initial resolutio (825x1) Initial resolutio (143Ad/14ANB Initial resolutio (143Ad/14ANB Initial resolutio	Age ref. (L-Ponthus) (RUSC) massured recalculé (875/86S01 Initial recalculé (875/86S01 Initial recalculé (1476/101 measured cealculé (1474/141/061 Initial recalculé (1474/141/061 Initial recalculé	147 Sm/1444 143 Wur/1440 billia 174 Sm/1440 billia 1775 Vol35: http: 1775 Vol35: http: 1775 Vol45: http: 2775 Vol45: htt	Sin Gosmi Nd Gosmi Sir Gosmi U Gosmi U Gosmi Th Gosmi 143Ndri 44Nd massured 208FV22845 massured 208FV2245 massured 208FV2245 massured	# (Olemonk et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Succision Row, Ne Name Row, Ne Name Row, Ne Name Row, Ne Name And Correction (Ma) Alan (of vences
100 101 102 102 103 104 105 105 105 105 105 105 105 105	335 (21) Kergueten Plateau (Cerrita) ODP Leg 183, Sie 1138 \$ 183-1138A-98R3.2_LEACHED \$ 35517 75,5917 75,5917	4	100		0.512410 0.756866 17.608 15.608 96.058	315 (25) Kerguelen Pialeau (Central) 00P-teg 120 Site 47 s 120-747C-16R-2 81-84 5-8114 78-794 100 (4)
190 191 2216 2216 2216 2216 2216 2216 2216	338 Kergusten Pateau (2211 COP Log 163, Site 113 00P Log 163, Site 113 165-11384-8873 (A. LEX-OFED 53.5617 75.9717 75.9717	14	100		0.512435 0.705508 17.466 37.5461 37.547	319 (Regueien Pieteau (Central) ODP Leg 120, Site 747 s 120.747C-127-445-45 5-4.8114 78.794 100 (14)
100 100 100 100 100 100 100 100	337 Kegusten Parteau (Certrat) ODP Log 18, Ste 118 5 163-1134-04653_LEX-HE 5 363/17 75.97/1 75.97/1	14	108		0.512445 0.705600	322 Kerguelen Parteau (Central) 00P Leg 120, Sie 747 s 120-747 C-12R-2;123-124 Tholelle -54,8114 -78,784 100 (41)
100 100 100 100 100 100 100 100 100 100	312 Kenguelen Pateau (Cettal) MD49. Directore 8 Basel (Transitional -50.37 74.817	4	100		0.512462 0.70885 18.275 15.643 <del>38.464</del> 3	32.4 (25) (27) 2007-Leg 120, Ste 7.7 5 (20)-747C-569.226-57 Tholeille 5-44.814 76.794 (10) (4)
HIO HIO BIS 277 BIS 27	314 (Kenguelen Planeau (Certra) MCH4, Droctore 8 5 DR0005 Basell Transitional -50.37 7.4817	14 0.206 0.706759 0.206 0.137 0.512595 0.137	100 0.206 0.206 0.207 0.207 0.51259 0.137 0.137	0.51251 0.512519 0.706507 11.6507 19.01 17.781 17.781 15.449 38.062	11.2 11.2 11.2 11.2 11.2 11.1 1.1 1.1 1.	329 (Cerpuelen Plateau (Central) ODP Lega 163, Stei 1138 183-11364-74R1, 4_LCO/HED -335177 759717 100 [9]
0.112 0.	513 (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7) (7)	14 0.013 0.704777 0.013 0.159 0.512617 0.159	0.013 0.704762 0.013 0.013 0.51258 0.51258	0.159 0.013 7.75 0.06 43.79 17.941 17.941 17.941 15.445 38.145	4.5 17.3 17.5 10.2 10.2 17.1 1.1 10.051052 16.0630 16.0630 16.0630 16.0630 16.0630 16.0630 16.0630	330 (Contral) (C
108 108 100 11223 1000 1000	342 Kerguelen Parleau (Ean Bank) ODP Log 185 Sile 1137 s 183-1137A-38-2.107-10 -66 833 -66 833 -66 8433	14 0.057 0.704709 0.057 0.514 0.51262 0.154	0.067 0.704837 0.057 0.154 0.153 0.153	0.154 0.087 0.10 0.10 64.25 17.542 15.502 38.162 38.162	6.7 26.4 159.4 0.5 2.2 0.512834 0.704220 0.512834 0.704220 15.1512 15.1512 3.9.482	331 (211) ODP Leg 183 Sile 1139 s 185-1139-66932 Tholeile -53-5517 75.9717 100 [9]
100 100 100 100 100 100 100 100	341 Keguelen Plateau (Ean Bank) o DPL eg 183, Sile 1157 s 183-1137x-384-34-49 s 683-30 -96.833 68.0533	14 0.027 0.704705 0.027 0.152 0.512624 0.152	100 0.704672 0.027 0.152 0.512538 0.153	0.152 0.027 10.57 0.08 49.48 17.537 15.545 15.545 38.145	8.1 32.2 20 217.9 0.6 0.51258 0.76470 0.76470 18.169 18.169 3.569	332 (2011) 332 (2011) 300 Leg 103 Sile 134 3153-1133-48013, A 535177 75.9717 100 (9)
108 110 100 1100 1100 1100 1100 1100 11	943 [14] COPL egi 163, Sise 1137 5 163, 1137A-38A-3.00-9 5 8, 3045000 -59, 8233 69, 9233	14 0.70476 0.121 0.121 0.154 0.512638 0.154	100 0.121 0.704629 0.121 0.121 0.12551 0.154	0.154 0.121 11.30 0.08 49.37 17.973 15.488 38.1589 38.1589	54 212 2037 2037 204 20 15 15 0512682 0512682 0512682 0512682 0512682 0512682 0512682 0512682 0512682 0512682 051682 15407 154	333 (211) Karguelen Plateau (Central) ODU Leg 163, Sub 1138 5,3 /s 163-1138-4465 PECE3 5,3 /s 163-1138-4465 PECE3 5,3 /f 103-1138-5465 Thorefore / Suster 75.9717 100 [9]
01100 0100 01000 0000 000 000 000 0000 0000 000 0000 0000 0000 00	345 Kergusten Plateau (Ean Bank) ODP Leg 153, Sile 1137 5 153-1137A-334-4, 126-129 7 Tachree - 66.633	14 0.007 0.704609 0.007 0.20 0.20 0.220	100 0.704660 0.2007 0.25420 0.5125420 0.2200	0.220 0.513540 0.007 0.007 5.585 0.04 0.04 17.907 15.494 15.494 15.494 15.494	1:1 2:45 0:1 0:51586464 0:51586464 0:51586464 0:51586464 0:51586464 0:5158646464 0:5	334 (Certral) Kerguelen Plateau (Certral) ODP Leg 183 Ste 1138 0DP Leg 183 Ste 1138 Thotelle -53.5617 75.59171 100 (9)

R	ECAL L'Age	CULE 14 Ma	A	RECA L'Ag	LCULE ge Biblio	A	CALCU	IL OLI	EROC	K 2017	7								RECA L'Ag	LCULE A e 14 Ma	REC L'A	ALCULE A	CALCUL	. OLIERO	DOK 2017				
(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé	Age 14 Ma (L. Ponthus)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus)	206 Pb/204 Pb initial 207 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial	235U/204Pb 232Th/204Pb	87Sr/86Sr initial 238U/204Pb	147 Stiv 14400 143 Nd/144 Nd initial 87R b/86Sr	208Pb/204Pb measured	143 Nd/1 44 Nd measured 87S r/86S r measured 206 Pb/204 Pb measured	U (ppm) Pb (ppm) Th (ppm)	Nd (ppm) Rb (ppm) Sr (ppm)	Age Correction (Ma) Age reference Sm (ppm)	Rock Tvne Latitude Longitude	Geochemistry Reference Province Location Sample Name	# (Olierook et al., 2017 - n.)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Auer Himar L. Provinsus (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr86Sh i hitial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (675/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	206 PP/204 Pb Initial 207 Pb/204 Pb Initial 208 Pb/204 Pb Initial	238 U/204 Pb 235 U/204 Pb 237 Th/204 Pb	14/S/11/14ANG 143 Nd/144 Nd initial 87Rb/86Sr 97Rb/86Sr	Th (born) 143 Nd/144Nd measured 2757.8657 measured 207P b/204Pb measured 207P b/204Pb measured 208P b/204Pb measured	Nd (com) Rb (com) Sr (com) U (com) U (com)	Geochemistry Reference Province Lucation Samole Name Frack Trode Lanitude Lanitude Lanitude Aue Correction (Ma) Are reference	# (Olierook et al. 2017 - n.)
0.113	0.113	0.413 0.706796	0.113 14	0.113 0.512298	0.413 0.706244 0.414	108	18.070 15.670 38.787	0.07 50.39	9.96	0.413	39.054	0.512378 0.706878 18.237	1.9 12.0 9.3	70.0 490.0	100 [9] 15.0	Phonotephrite -56.8333 68.0933	[14] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-36R-1,27-32 s 1	355	0.105 0.512254 0.105	17.764 0.735225 17.768	0.512190 0.105 0.105	108 17.764 0.711493 17.792 0.105	18.4.85 15.8.15 39.432	7.31 0.05 64.22	0.512191 17.764 0.717745	34.0 0.512264 0.738757 18.608 15.821 39.773	98.0 202.0 33.0 35.0	Kerguelen Plateau (Elan Bank) COP Leg 183, Sile 1137 s 183-1137A-33R-5,20-26 -56.8333 8100 8103 101 111 1111 1111 1111 11	349
			14			108					38,699	0.512363 0.706814 18.085			[6]	Phonotephrite -56,8333 68,0933	[14] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 83-1137 A-36R-1,27-32_LEACHED	354	0.105 0.512246 0.105	0.712658 1.930 1.930	0.512182 0.105 0.105	108 0.710080 1.933 0.105			0.512183 1,930	19.0 0.512266 0.713042 18.504 15.844 39.874	750 750 146.0 219.0 2.6	Kerguelen Plateau (Ean 5ak) ODP Leg 133, Sile 1137 s 133-1137A-33R-57-9 -56 833 68 0033 100 110 110 110 110 110 110 110 110	347
0.117	0.117	0.194 0.706382	U.117 14	0.117 0.512299	0.194 0.706123 0.195	108	18.024 15.657 38.664	0.09 56.00	12.57	0.194	38.961	0.512382 0.706421 18.235	1.6 8.0 6.9	640.0	100	Tephrite -56.8333 68.0933	[14] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137 A-36R-2,127-136 183-1	357	0.100 <b>0.512236</b> 0.100	15.573 0.731479 15.576	0.512175 0.100 14	108 15.573 0.710674 15.597 0.100	18.478 15.822 39.403	6.62 0.05 79.83	0.512175 15.573 0.710895	0.51 23.5 0.734575 18.589 15.827 39.827	204.0 38.0 38.0 229.0	Kergueten Piateau (Elan Bark) ODP Leg 183, Silse 1137 s 183-1137A-SIRvolte -56.8333 66.0833 (18) (19) (19) (19) (19) (19) (19)	344
			14			108					38,670	0.512378 0.706328 15.110			[6] 901	Tephrite -56.8333 68.0933	[14] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 1137A-36R-2,127-136_LEACHED	356	0.114 0.512254 0.114	0.713175 2.205	0.512183 0.114 14	108 2.205 2.205 2.208 2.208 0.114	18.431 15.824 39.518	823 0.06	0.512184 2.205 740260	19.0 0.512284 0.713613 18.561 15.831 39.836	74.0 74.0 147.0 147.0 2.7 21.0	Kerguelen Pateau (Elan Bark) ODP Leg 43, Ste 1137 s 183-1137A472.0.11 -66.833 66.033 (18) (18) (18)	348
0.148	0.148		0.140 14	0.512449		108				0.142	38.592	0.512553 0.705012 18.018	2.1	25.7	100 [9]	Tholeine -56.8.333 68.0933	[15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-24R-2,10-11	Upper	0.095 0.512258 0.095	16,180 0.728989 16,183	0.512200 0.096 14	108 0.707373 16.205 0.005			0.51200 16.180 0.707603	34.0 0.512267 0.732206 18.576 15.819 39.780	95.0 212.0 2.5	Keguelen Plateau (Elan Bark) ODP Leg 193 s 183-1137A-3R-2,111-113 s 183-1137A-3R-2,111-113 s 183-1137A-3R-2,111-113 s 183-1137A-3R-2,111-113 s 183-1137A-3R-2,111-113 s 183-1137A-3R-2,111-113 s 183-1137A-3R-2,111-1137 s 183-1137 s 183-1137	351
		0.063	14		0.063 0.704971 0.063	108			0.704972	0.063	38,550	0.512550 0.705068 17.989		12.0 549.0	[6]	Basalt -56.8333 68.0933	[30] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-25R-1,106-108	Upper	0.103 <b>0.512244</b> 0.103	Ŧ	0.512103 0.103 0.103	108 57.749 57.838 0.103	18.464 15.824 39.415	8.2.1 0.06	0.512181 57.750	36.0 0.512253 18.602 15.831 39.921	106.0 193.0 9.0 3.2 25.0	Keguelen Prateau (Elan Bank) ODP Leg 193, Stet 1137 s 183-1137A-34-4,127-130 -66.833 -68.8033 -108 -108 -108 -108 -108 -108 -108 -108	346
0.138	0.138	0.032 0.704999	U. 130 14	0.512469	0.032 0.704955 0.032	108			0.704956	0.512470 0.032	38,567	0.512566 0.705005 15.009	2.9	28.8 6.0 536.0	100 [9]	Basalt, Transitional / Basalt -56.8333 68.0933	[15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-25R-1,64-72	Upper	0.096 0.512258 0.096	14.007 0.729964 14.010	0.512199 0.096 14	108 14.007 14.027 14.028 0.006	18.482 15.823 39.371	6.18 0.05 82.08	0.51200 14.007	36.0 0.512287 0.732749 18.586 15.828 39.807	107.0 198.0 41.0 2.8 29.0	Kegueien Prateau (Elan Bank) ODP Leg 193, Site 1137 s 183-1137A-3R-4,86-91 -66,833 80,093 108 108	350
0.136	0.136	0.046 0.704958	U. 100 14	0.512463	0.046 0.704897 0.046	108			0.704897	0.512464 0.046	38.551	0.512559 0.704967 17.993	2.4	28.4 8.5 537.0	106 6.4	Basalt, Transitional -56.8333 68.0933	[15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-25R-2,119-126	Upper	0.111 0.512273 0.111	2,937 2,937 2,938	0.51205 0.111 14	108 0.709195 2.942 0.111	18.419 15.804 39.374	5.55 0.04	2.937	20.0 0.512283 0.713703 18.512 15.809 39.678	82.0 139.0 137.0 23.0	Keguelen Flateau (Elan Bank) OPF Leg 183, Sila 1137 s 183-1137A-3364, 1103- conglomerate 68,033 108 108 108	353
0.142	0.142	0.065 0.705053	U. 142 14	0.142 0.512449	0.065 0.704965 0.066	108			0.704966	0.512450 0.065	38.625	0.705066 18.018 15.625	22	20.7 12.0 530.0	61 [6]	Basalt, Transitional -56.8333 68.0933	[15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-25R-2,46-53	Upper	0.113 0.511820 0.113	4.696 0.783112 4.697	0.51750 0.113	108 0.776838 4.703 0.113	18.250 15.789 40.135	4.69 0.03	4.696	0.511330 0.784046 18.329 15.783 40.469	64.0 174.0 186.0 2.7 37.0	Keguelen Parteau (Etan Bank) ODP Leg 183.58 r 1137 s 183-1137A-38R-2,40-49 cmss e8 8033 108 109 109 109	340
0.139	0.512570	0.066 0.704974	0.1.39 14	0.139 0.512485	0.066 0.704886 0.066	108			0.704887	0.139 0.512486 0.066	38.575	0.512583 0.704987 17.989	2.3	27.9 12.2 536.0	100 [9] 6.4	Basalt, Transitional -56.8333 68.0933	[15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137 A-25R-7,90-98	Upper	0.117 0.511817 0.117	5.171 0.784580 5.172	0.511745	108 5,171 <b>0,777672</b> 5,179 0,117			5.171	38.0 0.511828 0.78508 18.504 15.792 40.412	67.0 188.0 106.0 3.0	[14] Kergueen Plateau (Elan Bairi) 5 (18)-1137A-35R2-244-46 Gress -66.0333 108 [19] -66.0333 -66.033 -6	338

RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio CA	ALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	
2026/P2/CHP Initial Are of (LP-ontha) (R1SS) measured readoute (R1SS) measured readoute (R1SS) (R1S) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1S) (R1SS) (R1SS) (R1S) (R1SS	The beam in the be	# (Olenook et al., 2017 - n.) Geochmistry Reference Province Location Sanob Name Rock Trae Latitude Latitude Latitude Aae Correction (Ma) Aae reference Sm foom Rofoom Rofoom Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn Notionn	Age ref (L. Denthas) (RUS) measured resolution (RUS) measured resoluti	1475-bir 1441d 1478-bir 1441d 1478-bir 1441d 1478-bir 1478 1878-bir 1478 1878-bir 1478 1878-bir 1478 1878-bir 1478 1878-bir 1478 1878-bir 1478-bir 1478 1878-bir 1478-bir 1478 1878-bir 1478-bir	# (Olevook et al. 2017 - n.) Geochmiatry Reference Lucation Sambe Name Rock Trae Rock Trae Stribent Thiomit
108 0.04/12 0.04/12 0.04 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146	0.55.271 0.120466 0.120466 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.146 0.156 0.1	Upper Vergueien Pauleau (Ean Taivi) OOP Log 153, Sile 1137 s 153, 1137, A264, 6133 Baselt, Transitional Baselt, Transitional 66,0033 (9) (9) (9) (12,7 (12,7) (12,7) (12,7) (12,7) (12,7)	107 0.77 0.77 0.67 0.72 0.77 0.77 0.77 0.77 0.77 0.77 0.7	0.144 0.072 0.704890	Upper Vergueiere Flank auf Gan Reining OPD-Log 185 A. st 155-1177,268-1,31-42 Basel, Threation/ 1864 68.0033 68.0033 68.0033 68.0033 68.0033 68.0033 68.0033 68.0033 68.003 69.003 69.003 69.003 69.003 69.003 60.00
108 0.004411 0.004611 0.142046 0.140 0.140 0.140 0.140 0.140 0.140 0.140 0.140 0.140	0.51.26.5 0.77.46.79 15.669 9.669 0.1140 0.51.2467 0.51.2467 0.51.2467 0.51.2467 0.51.2467	Upper Verguelen Praleau (Ean Ean) OPE Juoy 150, Ste 1137 8 : 153 : 1137, ASLE : 1147 Basealt, Tamaforal (Basalt 68:003 98:003 99:00 99:00 99:00 99:00 99:00 98:00 99:00 90:000	0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110 0.110	0,137 0,512454 0,115 0,704917	Upper Kegunéen Flamau II-Ein Farén ODE-Leg 153: Se 1477 s 153-1137,AGR-2,17-23 Basiat T-reselton Basiat T-reselton Basiat T-reselton 10 710 710 710 710 710 710 710 710 710
108 0.157243 0.159 0.159 14 0.150 0.150 0.150	0.55/2424 0.57/2424 0.15/2425 0.15/2426 0.15/2426 0.15/2426 0.15/2426 0.15/2426	Lower Kergueien Prateau, (Ean 1814) ODP-Uord 163, Ster 1137, s 145 1137, X5 43, G143 Basal ("Trensitional Basal ("Trensitional 68 003 68 003 68 003 61 00 61 01 61 02 61	0 108 0 108 0 108 0 108 14 0 108 14 0 108 14 0 108 14 10 108 14 108 108 108 108 108 108 108 108 108 108	0.095 0.704 <b>930</b>	Ubper Kergusken Fakesu, IEan Band s 143-1137/s-248-5,5-7 Band 143-1137/s-248-5,5-7 Band 143-1137/s-248-5,5-7 15 531.0 11287 0.131287 0.131287 0.131287 0.131287 0.131287 0.131287 0.131287 0.131287
000 000 000000 00000 0000 0000 0000 0000	0.51204 17.050 16.637 38.767 38.767 0.022 0.022	Lower Gregueien Pateur, [Lin Jank] ODP Level 103, Ster 1177 a 182, 1177A-1826-133, 96 Batel -66, 6233 (109 [9] [9] [9] [5] [9] [5] [5] [5] [5] [5] [5] [5] [5] [5] [5	0.000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 0.000000	0:142 0.512466 0.069 0.704770	Upper Kerganiyan Fanana, (Ean Taniya) C (DP Les 163, Sarah Sarah (Ean Taniya) Basal, Transford (Basal Basal, Transford (Basal Basal, Transford (Basal Basal, Transford (Basal Basal, Transford (Basal Basal, Transford (Basal Basal, Transford (Basal Basal) Basal
0.00 0.00	0.551,460 0.75560 17,5674 15,661 0.1556 0.512401 0.512401 0.512401 0.512401 0.512401	Lower (15) Kenzuelen Pateau (Eim Bark) s. 183-1137-2844-71-77 Basal Basal, Transitional / Basal Basal, Transitional / Basal (50,003) (50,003) (51,004)\\(51,004)\\(51,004)\\(51,004)\\(51,0	108 0.704756 0.704756 0.8512477 0.6512477 0.1450	0.145 0.512478 0.0617 0.704788	Upper Kerguelen Prageau (Elles Sark) ODP-Lag 163, Ster 1177, 8, 152-1177, 2618, 3122-128 Bauel, Transitioned Bauel, Transitioned 108 21, 1 21, 1 22, 1 160, 0 532, 0 532, 0 160,
0.100 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.00000 0.000000	0.512,46 0.02774 15,004 15,062 33,003 0.139 0.100	Lower (15) Kenzuelen Pareau (Eim Bank) s 182-1137-264-1101-10 Basalt Tennational Basalt Tennational (80.003 10 (8) (8) (8) (8) (8) (8) (8) (8) (8) (8)	0083 0704845 0083 0083 0083 0704825 0704825 0083	0.063 0.7 04846	Upper Kerguwen Pagaar (Eas Sav) 009 rug 13, Site 137, 8 183-1137A-284-30- 68 0833 108 108 108 108 108 108 108 108 108 108
108	0.5.12463 0.77660 1.7.661 15.667 39.005	Lower Kerguelen Pateau (Elen Bark) 5 132-1327.4421.44.16 Basal: Tamailore Basal: Tamailore 108 108	0.004 0.00400000000	0.142 0.512478 0.004774	Upper Kennuelsen Falenau (Elen Barlo) ODP Leg 183, Start 137 Basel, Transford Basel, Transford (56,003) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10) (10
0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000	0.512488 0.700509 17.5643 38.890 0.009 0.709964	Lower (20) Keguwén Plateau (Elan Bank) or Leg 183, Sile 1137 s 183-1137A-4062,116-121 Basah - 66 3333 108 [9] [11.7 11.7 491.0	0.0050 0.70480 0.0050 0.0051 0.0051 0.140 0.0050 0.704840 0.0050 0.704840 0.0050 0.704840 0.0050 0.704840 0.00510000000000	0.140 0.512448 0.069 0.704840	Upper Opp Leg 193, Site 1137, 9 002 Leg 193, Site 1137, 9 082 1137, S116, S510 Basel 1 Translood / Basel 108 113 114 114 114 114 115 115 115 115 115 115
0.148 0.148 0.148 0.148 0.148 0.148 0.148 0.148 0.148 0.148	87 0.512.85 17.0526 17.6686 39.144 0.145 0.225 0.225 0.705900	Lower (13) Kergusien Plataau (Elan Bank) s 135-1137-Ad03-317-124 Basalt, Transitional / Basalt Basalt, Transitional / Basalt (13) (13) (13) (13) (14) (14) (15) (15) (15) (15) (15) (15) (15) (15	100 100 100 100 100 100 100 100	0.43 0.5176 0.02468 0.704846	Upper Upper CDP Lug (Elan Barl) CDP Lug (53, 36) 167 Basit, 157,A18,355,90 60,933 61,95 108 108 108 108 108 108 108 108 108 108
14 (8)	0.512273 0.7163 18437 18790 39770	Lover 100 Krezusien Patasu (Elan Bario) 5 1051173/4161128-100 -06.8333 108 [9]	0,042 0,704638 0,042 0,042 0,042 0,042 0,042 0,042 0,042 0,042	0.042 0.704839	Upper Corputation Failure and Corputation Failure and Corputation failure and statistical and the statistical and the statisti

	RECA L'Ag	LCUL e 14 I	.E A Ma	RI	ECAL L'Age	CULE / Biblio	^	CALCUL OLI	EROO	K 2017										RECA L'Ag	LCULE je 14 Ma	A RE	ECALO	CULE A Biblio	CALCUL OLIEROOK 201				
(Sm/Nd) initial recalcule	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	(14-3N07) 44N0) Initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalcule	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus)	235U/204Pb 232Th/204Pb 206Pb/204Pb initial 207Pb/204Pb initial 207Pb/204Pb initial	875r/86Sr initial 238U/204Pb	147 Sm/144Nd 143 Nd/144Nd initial	207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	87Sr/86Sr measured 206Pb/204Pb measured	Pb (ppm) Th (ppm) 143 Nd/1 44 Nd moasurod	Sr (ppm) U (ppm)	Sm (ppm) Nd (ppm)	Age Correction (Ma) Age reference	Rock Type Latitude	Province ergu Location (D10 Sample Name	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(14.5N0/144N0) Initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé	12(back/ackinitia) grzcussy, grzcussy, grzcussy, grzcuszy, grzcuszy, zzeruszy, ze	143 Nd/1 44Nd moasured 975 x/865r measured 206 P L/20.4Pb measured 207 P L/20.4Pb measured 208 P L/20.4Pb measured	Nd (com) Rb (com) Sr (com) U (com) Th (com)	Rock Type Lantitude Longitude Age Correction (Ma) Age reference Sm (pom)	# (Olierook et al 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location Samble Name
0.140	0.140 0.512945	0.703124 0.089	1.63 0.089	0.140	0.140	0.089 0.703124 0.089	1.63		0.703125	0.140	15.678 39.315	0.703126 19.669	0.512946	577.0	47 B	1.63 [29]	Basalt -51.52	eren Plateau (Miocene seamounts) ergue 9, Dredge 4 (Unnamed Seamount) (ID10 s D4-33	401	0.142 0.512448 0.142	0.056 0.706016 0.056	0.142 14	0.056	108 0.705942	0.572362 0.056 0.705942	0.512461 0.706027 17.969 15.665 39.059	26 /6 9 /3 2 7	Basalt, Transitional / Basalt 68.0933 108 [9] 6.2 6.2	Lower [15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-41R-1,3-10
0.118	0.118 0.512595	0.705602 0.116	14 0.116	0.118	0.118	0.116 0.705590 0.116	21.2		0.705595	0.118 0.512592	15.517 38.634	0.705625 18.214	0.512606	842.0	11.6 59.6	21.2 [29]	Basalt, Olivine -51.52	9, Dredge 5 (Unnamed Seamounts) ergu s D5-44A s D5-44A	393	0.136 0.512500 0.136		0.124 IO 0.136 14	0.136	108		0.512512 0.705650 18.011 15.654 38.946	29,9	Tholeille -56.69333 68.0933 108 [9] 6.7	Lower [15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137/A45R-3,57-63
0.117	0.117	0.705636 0.110	0.110	0.117	0.117	0.110 0.705625 0.110	21.2			0.117	15.527 38.658	0.705658 18.208	6.7	907.0	13.4 69.4	/ 1.13 [29]	Basalt, Olivine -51.52	<ol> <li>Dredge 5 (Unnamed Seamounts) (D100 s D5-44B</li> </ol>	394 [29]	0.141 0.512530 0.141	0.083 0.705616 0.083	0.3124444 0.141 14	0.083	108 0.705505	0.083 0.705507	0.512543 0.705633 18.006 15.5446 38.876	28.9 494.0 27	Basalt, Transitional / Basalt -56.8333 -108 	Lower [15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137/A-46R-151-56
0.121	0.121 0.512571	0.705624 0.152	14 0.152	0.121	0.121	0.152 0.705610 0.152	20.4		0.705617	0.121 0.512569 0.152	15.511 38.576	0.705654 18.179	0.512582	882.0	12.4 62.0	20.4 [29]	Basalt, Olivine -51.52	ien Hateau (Miocene Seamounts) ergue , Dredge 5 (Unnamed Seamount) 1D109 s D5-42	395 [29]	0.142 0.512533 0.142	0.120 0.705704 0.120	0.312443 0.143 14	0.121	108 0.705543	0.512446 0.120 0.705545	0.512546 0.705728 18016 15.662 38.931	29.3 47.8.0 3.0	Basalt, Transitional 68.0033 108 [9] 6.9 [9]	Lower [15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Sile 1137 s 183-1137X-46R-2,7-15
			14				21.2				15.524 38.662	0.705676 18.197				21.2 [29]	Basalt, Olivine -51.52	en Hateau (Miccere Seamounts) erguei , Dredge 5 (Unnamed Seamount) 1D109 s D5-44B	396 [29]		0.111 0.705664 0.111	14	0,111	108 0.705516	0,705518	0.512543 0.705686 18.015 15.654 38.910	18.7 489.0	Basalt -56.8333 68.0933 10.8 [9]	Lower [30] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Sile 1137 s 183-1137A-46R-2,92-95
0.126	0.126 0.512535	0.705644 0.186	14 0.186	0.126	0.126	0.186 0.705626 0.186	20.7		0.705631	0.126 0.512531	15.538 38.265	0.705681 17.872	0.512547	415.0	5.2 24.9	20.7 [29]	-51.02	en Hateau (Miocene Seamounts) erguei Dredge 6 (Unnamed Seamount) 1D109 s D6-88	391	0.149 0.512527 0.149	0.123 0.705656 0.123	0.312430 0.149 14	0.123	108 0.705492	0.6512437 0.123	0.512541 0.705680 18.911 15.658 38.915	297 4550 20	Basalt, Transilional 68.0933 108 [9] 7.3 7.3	Lower [15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-46R-3, 12-18
			14				20.7				15.531 38.266	0.705703				20.7 [29]	Picrite -51.02	en Hareau (Mocene Seamounts) ergue , Dredge 6 (Unnamed Seamount) 1D109 s D6-88	392	0.142 0.512542 0.142	0.067 0.705016 0.067	0.314493 0.142 14	0.142	108 0.704926	0.512456 0.067	0.512555 0.705029 17.997 15.617 38.617	24.6 529.0 29.0	Basalt, Transitional -56,8333 68,0633 108 [8] [8] [5]	Lower [15] Kerguelen Plateau (Elan Bank) ODP Leg 183, Site 1137 s 183-1137A-46R-1,143-146
0.120	0.120 0.512522	0.705647 0.180	14 0.180	0.120	0.120	0.180 0.705630 0.180	20.7		0.705645	0.120	15.540 38.274	0.705683 17.874	0.5.12533	409.0	26.2 26.2	20.7 [29]	-51.02	en Hateau (Miccene Seamounts) ergueien Hate , Dredge 6 (Unnamed Seamount) 10109, Dredge s D6-87	397			14		108		0.511828 0.786608 18.296 15.769 40.330		Gneiss, Garmel-Botitle - 56.8333 68.0033 108 [9]	339 [30][14] Kerguelen Plateau (Elan Bank) erguelen Plate ODP Leg 183, Sile 1137 (D109, Dredge s 183-1137/A:35R-2,44-4
0.125	0.5125 0.512515	0.705663 0.182	14 0.182	0.125	0.125	0.182 0.705645 0.182	20.7		0.705663	0.5125 0.512515	15.541 38.278	0.705699 17.876	2.4	406.0	5.1 24.8	20.7 [29]	-51.02	34 (Miocene Seamounts) ergueien Plate 9 6 (Unnamed Seamount) 1D109, Dredge s D6-89	398		0.200 0.705902 0.200	14	0.200	21.9 0.705880	0.705882	0.512525 0.705942 18.451 15.551 39.009	45.7 660.0	Basait -51.52 71.15 21.9 [29]	390 [29] aau (Miocene Seamount) s grueien Plates a 4 (Unnamed Seamount) 10109, Dredge a 4 (Unnamed Seamount) 10109, Dredge
0.118	0.118 0.512532	0.705660 0.173	14 0.173	0.118	0.118	0.173 0.705643 0.173	20.7			0.118	15.536 38.266	0.705694 17.875	0.512543	422.0	5.3 27.0 26.3	20.7 [29]	Picrite -51.02	au (Miocene Seamounts) 6 (Unnamed Seamount) s D6-85	299 129			1.63		1.63		0.512842 0.703100 19.677 15.686 39.347		Basalt -51.52 71.15 1.63 [29]	400 [29] u (Miocene Seamounts) 4 (Unnamed Seamount) s D4-33

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017	
Age 14Ma (L'Porthus) (RD/S7) measured recalculé (875/856) initial recalculé (RD/S7) initial recalculé (Sm/Vd) measured recalculé (143/Nd/141Ma) initial recalculé (Sm/Vd) initial recalculé	117 Sm (444 http: 113 Sm (444 http: BTX:058 r http: BTX:058 r http: 2250 U24Pb 2250 U	# (Olarook et al. 2017 - n.) Ceacilemistry Reteriories Samob Name Rock Traes Latitude Latitude Latitude Age ofference Samobal Age ofference Samobal Age ofference Samobal Samo	147 Sm/144ki 143 Sm/144ki 143 Sm/144ki 143 Sm/144ki 143 Sm/144ki 143 Sm/144ki 157 britisi 157 britisi 158 Sm Amesund reaciould 157 britisi 158 Sm Amesund reaciould 157 britisi 158 Sm Amesund reaciould 158 Sm Amesund reaciould	Generative Reference Province Generative Reference Location Sample Name Rock Trae Location Rock Trae Locatio
14 0.705795 0.705795 0.1259 0.12515 0.1271	0.5124727 0.5124727 0.725544 0.725544 0.205544 0.205 1.12.8126 0.2052470 0.1272 0.1272	4.28 Verputer Patera (SM 1919) COPL 103A-421 (SM 1919) s (ST 103A-421 (SM 1914) r Trachvardelle, Basafic (Basafic (B	0.51250 0.51250 0.51250 0.51250 0.151 0.15	45 Kergaelan Franceus (Scutterin) or Ligg 183, Sta 173 183, 183, 184, 183 183, 183, 184, 183, 184, 183, 183, 183, 183, 183, 183, 183, 183
14 0.245 0.245 0.245	0.242 1.352 1.352 1.352 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.1520 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200 1.25200	423 Krigguelen Parkens (Suff Back) OPP 1004 (St. Ster 11:0) St. 11:004 (St. Ster 11:0) St. 11:004 (St. St. 11:0) St. 11:004 (St. St. 11:0) St. 11:004 (St. 11:004 (St. 11:0) St. 11:004 (St. 11:004 (St. 11:004 (St. 11:0) St. 11:004 (St. 11:004 (St. 11:004 (St. 11:0) St. 11:004 (St. 1	0.61243 0.61243 0.70468 0.70468 0.70468 0.70468 0.70468 0.70678 0.70780 0.70780 0.70780 0.70780 0.70780 0.70780 0.70780000000000	4271 Kerputer Pateau (Schrift ODP Log 153, Ster fram 3183-1136, 1260-tE 508/17 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19
14 11.077 0.719270 0.11.080 0.1300 0.512218 0.1300	0 0510 0 0500 0 0500000000	430 Kenpulein Pateau (SMF 18/41) s 102-1130-4704 (19/11) s 102-1130-4704 (19/11) 1102-1130-4704 (19/11) 83 112-1130-4704 (19/11) 83 112-1130-1102 112-1130-1102 112-1130 112-1	0.512747 0.512747 0.5128600 0.7008600 0.7008600 0.7008600 0.7008600 0.7008600 0.777 0.7068600 0.777 0.7068600 0.1777 0.778600 0.1777 0.777 0.778600 0.1777 0.0778600 0.1777 0.0778600 0.1777 0.0777 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.07770 0.077700 0.077700000000	243 Kergudean Pateau (Scattern) 00P (voj 18. Staten) s 183-1194-1823_LEX-(16 -30.607) 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
4	69.3	4,11 Kensuelen Piteenu (Skif Bare) 0.09 - ung 143, Skif Bare) 8, 183-1130-A5761,137-134 80,31 83,94 83,94 83,94 83,94 83,94 83,94 84,94 85,95 85	1,66 2,911 15,875 15,682 15,862 15,962 119 119 0,000 14	457 Kerguden Parleau (Scuttern) ODP von 163, Ste 1136 182-1136A-1682.2./LEACHED 28.6835 17.066 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
r A	68 J	422 Kenzulaion Plateou (Skif Bariel) s 163-1136-5481,138 Sec. 1536-5481,138 Sec. 1536-5481,138 Sec. 153 Sec. 15	68.3	422 Kerguelen Plateau (Ski Elain) ODP Log 183, Sile 1139 s 183-1136/7383,00-111 Tachwie 6034 8234 8234 823 8235 8234 823 823 823 823 823 823 823 823 823 823
4	69.3	433 Kenzulakan Pitateaa (Satri Eare) s 193-1130A-6281-2 -50.195 63.94 68.39 (B) (C) (C) (C) (C) (C) (C) (C) (C) (C) (C	0.128 0.121 0.7020	423 (Kerguden P lateau (Skiff [14]) 00P - tog 153, Skie 1139 s 182, 1139, 4628,274-79 Trachwendeskie Baadic 6334 6334 6334 633 633 633 633 633 633
14 0.138 0.512531 0.138	0.512482 0.512482 86.650 1.512482 1.5125 1.5	4,24 Kenzuseen Plaasen (Saff Band) 2029 Lee 133, Star 139 8 185-1136-6774,127-134 80,318 -50,185 -50,1	68.3	424 (Kerguelen Plateau (Skrif 191) 00P - tog 153, Sile 1139 182-1134, 6683,16519 7 Tachwardette, Basalic 6234 8234 823 823 823 823 823 823 823 823 823 823
14 0.242 0.706889 0.242 0.242 0.242 0.128 0.128 0.128	0.128 0.121 0.706542 0.706542 0.706542 0.201	435 Konzuleen Piteenu (Skrif Barriel) zu 123-123-66423-110 s 123-123-66423-110 Trachybaselt 109 813-123-6642-10 813-12 810-12 81	0,128 0,128 0,218	425 (Rerguelen Prateau (Skiff Eank) 00P - Log 153, Sile 1139 134, 1130-6692, 105-109 53, 34, 1130-6692, 105-109 53, 34, 1130-6692, 301 63, 341 643, 341 643, 341 653, 341 654, 341 655, 351 655, 351, 351, 351, 351, 351, 351, 351, 3
4	83 2	438 Kergaolen Plateau (Self Tarris) S 185-1130-6281-2 -50.165 83.94 84.95 84.9	0.1120 0.11200 0.11200 0.11200 0.11200 0.11200 0.11200 0.11200 0.11200 0.11200 0.1120000000000	426 (Kerguelen Frateura) (Skiff Flank) 500P Leg 183, Skie 1139 5183, 1139, 46987, 15-19 50, 185 53, 30, 185 53, 30, 185 55, 30, 55 55, 55,
14	8 5	437 Korganiko Pitubau (Setti Bario) 2 (32-103) Advati 1- 3 (32-103) Advati 1- 30,34 (33) (33) (33) (33) (33) (33) (33) (3	0.128 0.12 0.12 0.12 0.12 0.12 0.12 0.12 0.12	427 Kerguelen Prateau (Sett Ent) 5 (18)-1130-6444 (10)-115 5 (18)-1130-6444 (10)-115 7 Trachhostail / Isaadi 8 (3) 8 (3)

RECAL L'Age	LCULE A e 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	
(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) Initial recalculé (Sm/Nd) Initial recalculé	Ace 14Ma (L.Ponthus) (Rb/St) measured recalculé (875/866A initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	Age ref. (L.Porthus) (RUS/S) measured recalculé ( <b>87S/86S6) Initial recalculé</b> ( <b>87S/86S7) Initial recalculé</b> ( <b>143/6/1/41/6) Initial recalculé</b> ( <b>143/6/1/41/6) Initial recalculé</b> ( <b>143/6/1/41/6) Initial recalculé</b>	147 Sm1444d http: 143 Sm1444d http: 147 Mol 444d http: 157 Mol 55 http: 258 U/204 Pb 258 D/204 P	Partisetter of April 44 (1997) Partisetter of April 44 (1997)	# (Olenook et al., 2017 - n.) Geochemistary Reference Larounce Roak Yoan Roak Yoan Laritude Laritude Laritude Laritude Laritude Laritude	Age 14Ma (L. Ponthus) (RD:S) massured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (SmVch massured recalculé (SmVch massured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Ad) initial recalculé	Age of (I. Ponthus) (67 Sredisch Initial recalculé (78 VSR) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143 Md/144/10 initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	1475/m144/htta 1436/m144/htta 1436/m144/htta 1876/b65/mhta 1876/b65/mhta 2250/024/Pb 2050/024/Pb 2050/	# f Ollerook et al. 2017 - n.) Geschenster Location Sanubi Mane Rock Tree Rock Tree Ro
	14	89. 23		0.710758	448 Korgueler Petersu (Suff Fill) 183-1130A-62R12.71_L6C/HTE 83-1 Rovente 50.168 63.94 83.3 193	14 4243 0.709639 0.1224 0.1229 0.512547 0.129	68.3 4.243 0.726366 4.247 0.129 0.51250 0.129 0.129	0 1 1 22 4 2 43 3 35 17 5 5 1 2 17 5 5 1 2 38 0 7 4 38 0 7 4 38 0 7 4	43 Kroguelen Fellenau (Staff Enk) OOP Lug 183, Stafe 113 183, 1139A-7184,40-9 8 183, 1139A-7184,40-9 83, 9 1020 1020 1020 1020 1020 1020 1020 102
	14	8		0.728904	449 Kegupelan Parana (Suf 119) Kogupelan (Suf 119) (36A-57R1 127 134 LEACHATE -50.16 63.9 (63.9 (63.9) (63.	14 34 655 0.754032 34.666 0.1260 0.512549 0.120	68.3 34.659 0.727292 34.693 34.693 0.512506 0.120	0.51220 34.659 10.54 0.234 0.234 17.75540 15.540 15.540	Keguelon Parenau (Skill Savo) Scope Log 152, Skill Savo) s 153-1136,72782,25-5 s 153-1136,72782,25-5 63,94 83,3 177,0 177,0 2,6 177,70 177,70 177,70 15,5 15,5 15,5 15,5 15,5 15,5 15,5 15,
	14	86 3		0.91886 17.874 15.510 98.231	450 Kenuesen Pateau (Skr F [15]) Statute (15) s 163-1130.4574.127-134 -50.165 -50.165 -63.94 (63.34 (63.34) (6	14 0.183 0.512556 0.183	68.3 81.662 81.731 0.183 0.512491 0.183	0.51283 0.512849 1.652 1.96285 0.195 0.195 0.195 17.4584 15.514 15.514	Kerpusken Patewa (Ski Elavi) Kerpusken Patewa (Ski Elavi) s 183-1139A-6261(27 -80.165 -80.165 -80.165 -80.165 -80.165 -80.165 -80.165 -80.165 -80.165 -80.177 -17.711 -17.711 -17.711 -15.54 -30.6555 -30.655
	14	68 3		1.01517.5	451 Kenucien Plateau (SMI 1 15) 8 182-1130A5/11159 8 182-1130A5/11159 -50.165 63.94 88.3 91	14 37.652 0.759505 0.759505 0.119 0.512575 0.119	68.3 7.750.45 0.730.456 37.689 0.119 0.51253 0.119	37 652 37 652 16.20 0.12 49.03 17.73 17.73 15.54 17.73 15.54 17.73	(Kenjueken Piekees (SME 1849) ODP Log 163, Sier 1139 a 163-1130A61762,30-97 - 50-185 - 62-19 - 62-19 - 62-19 - 62-19 - 62-19 - 78-19 -
	14	68.3 28.245 2.6271 0.097	26.245 9.61 0.07 63.94 17.624 15.549 15.549	24110 115.0 11.8 2.1 13.2 13.2 17.727 15.554 17.727 15.554	422 Kenzuleen Plateau (SMT 8 119) 8 183-1133 100-111 9 183-1133A7313-100-111 -50 185 -50 185 -50 185 -50 185 -50 185 -50 185 -51 183A7313-100-111 -51 183A -51 183A -	14 0.185 0.512577 0.185	68.3 70.943 70.912 0.512512 0.185 0.185	70.843 70.843 13.14 10.53 17.752 17.7	Kenjuden Plateau (SM 5145 ODP Jug 162, Ser 139 s 162-1130A-5111, 15 s 182-1130A-5111, 15 s 182-1130A-5111, 15 s 18 s 18 s 18 s 18 s 18 s 18 s 18 s 18
	14	68.3		17.756 15.756 38.442	43 Kenusien Plateau (Skill B 11) s 165-1130-7272.25-5 -50.165 -50.165 83.94 88.3	14 32.701 0.769309 0.2.708 0.2.708 0.512610 0.512610 0.123	68.3 3.2.701 0.744.080 3.2.733 3.2.733 0.51256 0.123	0.123 0.51256 0.741080 11.480 0.01 50.61 17.775 50.61 17.775 14.556 14.556 14.556	Kenjuden Plateau (Sett Bave) ODP Leg 163, Stat 139 9 (SDP Leg 163, Stat 139 9 (SD-143, Stat 139 1 (SD-143, Stat 139) 1 (SD
0.215 0.513005 0.215	14 0.703423 0.729	34 0.029 0.703415 0.029 0.512877 0.215	0.515 0.629 0.629 0.629 0.08 0.08 50.36 50.36 50.36 15.49 36.219 36.219	8.5 130.0 0.1 0.5 130.0 0.5 130.0 0.7 15.20 15.20 15.20 15.20 2 38.450 2 38.450	402 (Korguelan Palasa) (NcH164) 0021-403-153 (Staf 1-14) 8 153-1140/ASR-6-51-49 Theelite / Basit / Theelite 40.26 Theelite / Basit / Theelite 84.4917 84.19 19	14 0.380 0.705756 0.380 0.512619 0.124	68.3 0.7643 0.7643 0.381 0.381 0.51254 0.124	0.5124 0.51257 0.380 0.705463 0.00 3.472 17.419 15.499 15.499 15.499 15.499	444 Kenjusien Plateau (Sett Fahre) 002 Log 163, Sief 153 9 (15) 1130A-6462.76.87 Trachyanidetti Basaff 63.3 12 8 13 8 14 40.0 0.3 0.5 1.5 0.5 1.7 0.5 1.7 0.5 1.7 0.5 1.7 0.5 1.7 0.5 1.5 0.5 1.7 0.5 1.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0
	14 0.793 0.794	34 0.193 0.703341 0.194	0.703341	9.5 (42.0 0.7(344) 0.7(344) 15.55( 15.55) 38.280	403 Korguelan Pakau (Nc1164) 000 Los 163, 50, 51, 164 1640, 2681, 7, 164 Thoelite / Basel Thoelite -40, 26 176, 164 164, 164 164, 164 164 164 193 193	14 0.786 0.706447 0.788 0.129 0.512751 0.129	68.3 0.705839 0.78839 0.785 0.785 0.725 0.129	0.5129 0.512705 0.788 4.50 0.05 0.03 0.05 17.515 17.515	445 Kerguuden Prateniu (Sett Tahin) 0000 Log 163, Si at 133 a 193,139,4,274,35,41 Trachosaan 118 129 129 129 129 129 129 129 129
	14 0.703397 0.018	34 0.70398 0.018 0.018	0.7 03.992	0.8 1200 0.513013 0.713401 15.552 15.552 36.360	404 (Gg) John Paysan (No.11), 81 ODD Log 163, 51, 81 1140A/27R-20-45 Theelile / Rasal: Theelite -40.25 (84.917 84.917 (91	14 0.328 0.705790 0.329	68.3 0.705328 0.329 0.329 0.110 0.110	0.110 0.328 0.525 0.52 0.52 0.52 0.52 17.417 17.417 17.417 17.417 17.417	440 Kernaneken Framena (Sett Tanio) 0.002 Log 153, 53 ka 1130 5 (13), 130, 4441, 127, 135 10, 130, 4441, 127, 135 50, 34 50, 34 50, 3 43, 0 50, 4 50, 3 43, 0 17, 50, 1 15, 50, 1 38, 641 38, 641 50, 1 50, 1 50
	14 0.022 0.703384 0.022	0.022 0.703377 0.022	0.022 0.703377	10 132.0 0.513008 0.703588 0.703588 18.5540 18.5540 18.5540 18.5540	405 Korgusten Pareau (korfinen) 002-ver 153, Ste 1140 s 153, 1140, 285, 202-02 Tholeite / Basatt Tholeite 65,497 (9)		. 88 20		447 Kerganian Prawau (Self Bani) 0.00P-0e9.183, Set 139 9.183-1138A-6442.78-6 -20.186 63.94 83.9 [9] [9] [9]

RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age B	ULE A CALCUL OLIEROOK 2017	7		RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017		
Constant and a second and a second	(EXSec)     (1 - Portun)     (2 - Sec)	Adde Correction (Ma) Adde Correction (Ma) Mater efficiency Strippin Fictopi	# (Olencole et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Sambe Name Rock Trobo Rock Trobo	Age 1414.( Ponthus) (Rb:S) measured recalculé (875/865/1 initial recalculé (875/865/1 initial recalculé (SmN4) measured recalculé (143/0/141/0/181al recalculé (143/0/141/0/181al recalculé	Age ref. (L. Ponthas) (bb:S): nneasured recalculé (87:57:865/n1nkla1 recalculé (87:87:805/n1nkla1 recalculé (97:87:80): Inkla1 recalculé (14:340/n4:14:04): Inkla1 recalculé (41:340/n4:14:04): Inkla1 recalculé	1475m14444	Sactoremented Sign (com) Rd (com) Si (com) Si (com) Pi (com) Pi (com) r431Nd/r44Nd measured 20/Pi 2/204/b measured 20/Pi 2/204/b measured 20/Pi 2/204/b measured	# Clarook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Location Samba Name Rock To Samba Name Rock To Samba Name Rock To Samba Name Action (Ma) Ale Correction (Ma) Ale Correction (Ma)
0.019 0.219 0.2210 0.22405 0.22405 0.2240 0.019 0.019 0.210 0.210	19.120.0 19.000.0 19.120.0 19.100.000.0000000000000000000000000	900000 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91 91	4.16 Kegualen Piataai (Korthen) OOP Log 153, Sile 1140 5.152, Sile 1140, 323, Sile 1140, 323, 516, 24 7.150 (Sile / Baset Trobellik Tholeille / Baset Trobellik 4.66 (Sile - 4.66 (Sile - 4	14 0.069 0.704267 0.069 0.163 0.512814 0.152814	34 0.704248 0.704248 0.069 0.163 0.512793 0.153	0.183 0.51 <b>2793</b> 0.068 0.70 <b>4248</b> 15.37 10.11 70.21 18.483 15.571 38.782 38.782	55 2014 2262 52 52 52 52 52 52 52 52 52 52 52 52 52	406 [84] COP Leg 183, Sile 1140 5 165,1140,0154,157-61 Tholeille / Basati, Tholeille - 46,26 68,4917 [9]
0.013 0.201 0.201 0.21204 0.2201 14 0.201 0.201 0.201 0.201 0.201	0.615/2000 1.2000 1.2000 5.100 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.0000 5.00000 5.00000 5.00000 5.00000000	0000000 19 19 10 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12	417 Keguséen Pilaeau (Korthern) ODP Leg 153, Sile 1140 5 (153-1140A;94:6-53-29 Tholeille / Basalt, Tholeille Face 45 20 6 4 6 20	14 0.121 0.704233 0.121	34 0.121 0.724199 0.121	0.704199	10 10 2590 0.5128 0.7028 0.7028 10 528 16 5564 38.870	407 [84] Kerguelen Plateau (Northern) 9 193-11404 ST - 153-57 Thoteilte / Basalt, Thoteilte 46.28 94 94 94
0.031 14 0.031 0.703693 0.031	6000.0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 100	0.00000 (8) 1.5 1.380 0.512842 0.703765 0.703765 0.703765 0.703765 0.512842 0.703765 0.512842 0.5128442 0.5128442 0.5128442 0.5128442 0.5128442 0.5128444444	418 Kergusien Paleau (Kortiern) ODP Leg 158 Sile 1140 5 (85:140A/SR-450-52 Tholeilte / Basat, T-folgiet e 4:07	14 0.037 0.770422 0.154 0.154 0.1580 0.150	34 0.7 <b>704218</b> 0.154 0.154 0.154 0.154	0.51276 0.51276 0.0230 0.704218 16.16 0.12 73.77 18.425 15.551 39.705	52 52 27 22 22 22 22 22 10 4 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	408 (84) Kerguelen Plateau (Northern) ODP Leg 183, Sile 1140 s 183-1140A-SIR-165-106 Tholeille / Basalt, Tholeille 46.28 94 94
0.016 0.2311 0.211 0.211 0.211 0.211 0.211 0.211 0.211 0.211	0.512301 0.70040 0.70040 0.000 0.00700000000	900-191 31 31 32 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32	419 Kerpuleen Pieteau (Northern) ODP Leg 183 Ste 1140 a 183-140A-3613-357-118 Tholeite / Basal, Tholeite Basatz	14 0.0075 0.72 <b>0451</b> 0.075 0.51269 0.5154	34 0.0075 0.72 <b>0439</b> 0.075 0.5124 0.154	0.5127.4 0.5127.4 0.075 0.770.4430 18.830 0.14 81.97 18.490 15.571 38.837	7 - 4 29 - 4 25 - 6 25 - 6 25 - 6 2 - 4 2 - 4 0.512783 0.512783 0.512783 0.512783 0.724466 0.724466 0.724466 0.7556 18.5506 18.5576 38.6770	409 Kerguelen Plateau (Northern) s 183-11400-5182-20-24 Tholeille / Basalt, Tholeille -46.26 88.411 -31 -68.491 -31 -31
0.243 0.243 0.743 0.743 0.743 0.243	0.243 0.703649 0.703649 0.703649 0.703649	600-014 11 11.5 137.0 0.0512507 0.0702766 18.447 18.447 18.45561 18.475	420 (84) Kerguseen Paesas (Northern) 0DE Leg 183, Ster 1440 1340,378-3-104-108 Tholesite / Basatt Tholesite Tholesite / Basatt Tholesite es 4077	14 0.043 0.704402 0.043	34 0.043 0.704330 0.043	0.043 0.704390	9 39 282 20 282 20 282 20 27 28 20 18 20 18 20 18 20 18 20 18 20 19 18 20 19 19 20 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	410 [64] Kerguelen Plateau (Northern) s. 183-140-0.224-1-55-21 183-140-0.224-1-55-21 Tholeille / Basalt Tholeille -46.26 68.4517 34 [3]
0.001 0.2013 0.2014 0.2015 0.2015 0.2015 0.2015 0.2015 0.2015 0.2015 0.2015	0,51286 0,72085 0,72085 0,75085 0,75085 0,75085 0,75085 0,720863 0,720863 0,720863	00-23 34 31 31 31 32 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32	421 (84) Kergusen Palaau (Northern) ODP Leg 163, Ster 140 5 163-140A/378-422-42 Tholesile / Basalt Tojesile 6 407	14 0.085 0.704452 0.087 0.156 0.156	34 0.0087 0.704427 0.087 0.156 0.512756 0.1156	0.51276 0.51276 0.087 1531 0.11 68.75 18.527 18.527 18.523 38.563	284 284 284 051278 051278 051278 051278 18608 18608 18608 38000	411 Kerguelen Plateau (Northern) s 183-1140-A254-1-126-130 Tholeille / Basalt, Tholeille Basalt, Tholeille 88,4917 31 81
0.115 0.1262 0.1262 0.1262 0.115 0.115 0.115 0.115 0.115 0.115 0.115 0.115 0.115 0.115	0511980 0.0115 0.0015 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	Winitechurch 1992 111 111 2280 1281 1280 1280 1280 1280	482 (111 Kerguteen Plateau (Southern) ODP Lea 120 Site 749 S 207:452-158-4,364-0 Thole (Basat 7472 74075	14 0.050 0.704416 0.050 0.159 0.159 0.159	34 0.704.002 0.050 0.159 0.512750 0.159 0.159	0.512769 0.512769 0.704020 18.94 19.44 79.66 18.516 15.586 38.886	7,4 2,8 4,5 0,6 1,9 1,5 2,3 0,5,42,78 0,7,04426 1,8,640 1,8,659 3,90,020 3,90,020	412 Kerguelen Plateau (Northern) s 163-1140/s2R2-45-90 Tholeille / Baselt, Tholeille 68.4917 31
0.187 0.200 0.200 0.200 0.200 0.200 0.200 0.200 0.200	0.100.00 110 110 000 000 1281 1281 000 000 000 000 0000000000	Whitechurch 1992 113 113 2150 12100 12150	483 [11] Keguléan Pateau (Scuthern) ODP Leg 120 Ste 749 5 127-142-1285-767-9 Thole-66, 1742 74-07-85-772 74-075	14 0.155 0.155 0.213 0.213 0.51225 0.213	34 0.155 0.155 0.155 0.212 0.512 0.512 0.213 0.213	0.5128 0.5128 0.145 0.703700 89.66 0.4 88.34 18.824 18.824 15.569 38.675	3.1 7.0 1310 0.6 0.512945 0.732945 0.73275 0.732945 0.73275 18.5804 18.5804 18.5804 38.710	413 Kerguelen Piateau (Northern) ODP Leg 163, Site 1140 s 163,1140,32R-40-6 Tholeille / Basalt, Tholeilic 
0.182 0.182 0.182 0.182 0.182 0.182 0.2059 0.2059 0.188 0.188 0.188	21960-20 1011 110 111 121-281 121-	Whiteshuch 1992 136 236 236 236 236 236 237 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12	494 [11] Kerguden Piateau (Seuffren) ODP Log (20, Sile, 749 5, 120-7462-(56)-1222.9 Thole-se, 1222.9 Thole-se, 1272 7 source	14 0.380 0.7027 05 0.390 0.2036 0.51293 0.206	34 0.706892 0.330 0.330 0.512204 0.206	0.512206 0.5320 0.705832 0.705852 0.847 0.852 0.847 0.847 0.847 0.852 0.847 0.852 0.852 0.852 0.857 0.	3.1 3.1 14.5 127.0 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0	414 Kerguelen Pateau (Northern) s 153-1140A-351-1120-2 Tholeille / Basalt, Tholeilte -49.26 864-91 34
0.033 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203 0.203	0,517200 0,717200 0,7151 0,715 17,707 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 15,472 16,472	Whitechurch 1912 5 2.7 2.37 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	485 [11] Kergusten Piataau (Scuthern) ODP Log 120, Ster, 74 \$120-746C-456-52027 541712 	14 0.007 0.007 0.007	34 0.007 0.70 <b>5726</b> 0.007	0,007 0,703726	17 0.5 128.0 0.5 128.0 0.7 0.7 0.7 18.38 18.589 18.589 18.589 18.589 18.589 18.589	415 Kerguelen Plateau (Northern) 0.09 Lug 183, Sile 1140 s 183,1140,03.78,278–81 Tholeille / Basati, Tholeillo Tholeille / Basati, Tholeillo 84,917 34

RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio		RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017	
to Start And Initial     to Start And Initial     Second Start     Se	# (Olianok et al., 2017 - n.) Geochamistry Reference Droxino Samubi kann Samubi kann Samub	142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-144bd 142/Bort-142 14	Globrook et al. 2017 - n.)     Geochimistry Reference     Province     Location     Sampis Hame     Rock Trans     Location     Sampis Hame     Since Trans     Since Tra
0.272 0.072 8.72 0.072 0.72 0.72 0.72 0.72 0.72 0.72	Kergaelen Prateau (Southrith)           ODP Legaelen Prateau (Southrith)           ODP Legaelen Prateau (Southrith)           St 20:7508 148-32 Ste 750           s 120:7508 148-32 Ste 750           112           112           113           114           115           113           114           115           117           118           119           113           113           114           115           0.1 </td <td>0.026 0.026</td> <td>488 Kergaelan Pratabau (Southerran 00P kag 120, Star 740 120, 7462, 729, 120, 120 48, 1712 48, 1712 48, 1712 72, 1405 72, 1405 72, 1405 72, 1405 72, 1405 73, 1405 74, 1405</td>	0.026 0.026	488 Kergaelan Pratabau (Southerran 00P kag 120, Star 740 120, 7462, 729, 120, 120 48, 1712 48, 1712 48, 1712 72, 1405 72, 1405 72, 1405 72, 1405 72, 1405 73, 1405 74, 1405
0.6171/25 0.700/05 0.700/05 0.65 0.65 17.422 0.65 17.422 0.65 0.712 0.65 0.712 0.65 0.712 0.65 0.712 0.65 0.712 0.05 0.725 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.	4 82 4 82 4 82 4 92 4 92 5 0 20 5 km 5 50 5 1 20 750 25 km 5 50 5 1 20 750 25 km 5 50 5 7 75 22 5 7 75 25 5 7 7	14 10	487 Kenguelen Pateau (Scuthen) ODP Leg 120, Still 748 120746C-19R-6, 90-66 -95.777 74-4075 74-4075 Whitechurch 1952 0.512205
0.61/02/20 0.70/04/20 0.70/04/20 0.70/04/20 0.70/04/20 11/2 0.70/04/27 0.70/04/2 0.22/2 0.70/04/2 0.22/2 0.00/27 0.70/04/2 0.02/2	463 1111 Kerguelen Pateau (Southern) s 120-750: 48750 s 120-750: 48750 f 120-750: 48750 f 120-750: 49750 112-59	0.197 0.512759 0.030 5.14 2.01 10 0.0300 0.0300 0.0300 0.0300 0.0300000000	Kergueten Pateau (Scuthern) ODP Les 120, Sulte 749 8 120, 740-128, 3556 Thorefue / Staat 8 120, 740-128, 3556 Wither / Staat 8 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0.512224 0.2724 0.27346 1.2446 1.244 1.244 1.244 0.25 0.224 0.225 0.2246 0.224 0.244 0.244 0.244 0.244 0.244 0.244 0.244 0.244 0.244 0.244	464 (Fill) Kenpuelen Pateau (Southern) s 120-7664-561-103-108 8 122-7664-561-103-108 8 1236 112 8 1236 112 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15	0.001 0.001 0.006 0.703543 8.87 8.87 8.87 8.87 8.87 8.87 8.87 8.8	Kerpuelen Pateau (Southern) 00P Les 120, Ste 74 120, Ste 74120, Ste 74 120, Ste 74 120, Ste 74120, Ste 74 120, Ste 74140, Ste 74 120, Ste 74140, Ste 74 120, Ste 74140, Ste 74 120, Ste 74140, Ste 74 140, Ste 74140, Ste 74140, Ste 74 140, Ste 74140, S
0.5112220 0.704855 0.704855 140455 140455 140455 154412 0.257 0.704855 0.704855 0.226 0.227 0.226 0.227 0.226 0.227 0.226 0.227 0.226 0.226 0.226 0.226 0.027 0.00	465 (Finite Conternational Conternation of Conternation C	110 0.704237 0.000	460 Kerguden Parkau (Southern) 00P Leg 120 Sub 719 s 120 7490-1972 - 355 77 490-1972 - 355 10 4075 10 4075 100
112 0705012 14	460 (225) (225) (2000 kot 10.0 (2000 kot 10.0 (2000 kot 20.0 (2000 kot 20.0) (2000 ko	0.000 110 0.000 14	441 Kergueken Plateau (Southern) OOP Lea 120, Site 749 s 120-7496-1974-100 -887172 70-4075 110 110 110 110 110 110 110 110 110 11
0.705300 0.200 0.705300 0.705300 0.156 0.156 0.156 0.166 0.7053000 0.7053000 0.7053000 0.2000	46 Kerguelen Pateau (Southern) s 120-750-1773,26-30 et -57,772 112,255 112 211 7.3 162,0 172,0 112,255 112 211 7.3 152,0 0,705,300	0,703,506 0,200,506 0,200,0	400 Kerguden Plateau (Southern) 00P Leg 20, Ste 740 9 120-746-1687,707-109 5-87772 76 4075 10 110 110 110 110 110 110 110 110 110
0.100 0.009 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.100 0.000 0.100 0.000 0.100 0.000 0.100 0.000 0.100 0.000 0.100 0.000 0.100	472 Krsgurien Pieteau (Southern) 19-736C-119-736C-384,140-144 42.766 112 14-77 14-7 14-7 14-7 14-7 14-7 14-7 14-	0.1155 0.000 0.700501 0.110 0.115 0.115 0.115 0.115 0.000 0.115	491 Korgusten Pitetau (Southern) 0DP Leg 120 Site 74 120-746C-687-75-7 75-4075 70-405 10 10 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20
112 0702210 0702210 051200 0512007 0140 0140 0700010 0210 070010 0210 0210 0210 021	473 Kerguden Pateau (Scuthern) 119.736C-34R-303 (EAOHED 42.708 21.787 21.2 21.2 21.2 21.2 21.2 21.2 21.2 21.	0.173 0.000 0.704268 0.100 0.724268 0.173 0.173 0.173 0.173 0.173 0.173 0.173 0.000 0.173	422 Korgusten Pitebau (Sourtern) ODP Leg 120, Ste 740 120, 7480-148-144-148 -82, 7172 -78-44716 -190 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -286.0 -170-288 -170-2
0.142 0.120 0.142 0.147 0.	474 Kargudeen Prateur (Southern) 119-736C-58R-2414-14. Thodes 28-785 112 112 112 112 112 112 112 112 112 11	0.212 0.212 0.212 0.122 0.	Kergudeen Praeeu (Sourtern) 00P test 20, Star 26 00P test 20, Star 26 17506tr 178, 33, 32 17506tr 178, 33, 32 17506tr 178, 33, 32 17506tr 178, 33, 32 1750 1750 1750, 33 1750, 35 1750, 3

RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio CALCUL OLIEROO	DK 2017	RECALCULE A L'Age 14 Ma	CALCUL OLIEROOK 2017	,
SPSr65 initial     Security in the     Se	Lucition Lucition And Forderence And Courselon (Ma) And Forderence Material	Ave 1 Mar (L Ponthus) (RUS7) measured recalcule (RUS7) measured recalcule (13/3/m41/measured recalcule (13/3/m14/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/m1/	to construct the last of	Geocher # Cláncole et al. 2017 - n.) Geocheriatry Reference Location Sample Name Rock Trans Location Rock Trans Rock Tra
0,70,438 110 110 110 110 110 110 110 110 110 11	0.51258 0.51270 0.1026 0.1026 0.1026 0.1026 0.1026 0.102 0.102 0.102 0.102 0.102 0.012 0.012 0.012	4 0.188 0.709800 0.189 0.1900 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.151 0.158 0.158 0.158 0.1888 0.188 0.1888 0.1888 0.1888 0.1888 0.1888 0.1880	112 0.709548 0.709548 0.188 0.57212 0.151	Kerguelen Prateur (Scort Ferri 19, 7380-398-1-794 (LSA) Ferri 19, 7380-398-1-794 (LSA) Ferri 19, 7380-398-1-794 (LSA) Ferri 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10,
128 0.77.287 0.27.287 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250 0.250	Avdesse 1-(3,6,8) 1-(3,6,9) 1-(3,6,9) 1-(3,6,7) 1-(3,7) 2-(3,7	0.14 0.386 0.709/31 0.377204 0.151 0.471204 0.151 0.15	112 0.709396 0.51210 0.51210 0.1511	476 Kerguelen Pratseu (Scatterin) 00P-tog 119, Star 78 577805-386-51721_LEAOHED 842.708 842.708 141 5.2 273 274 273 273 273 273 273 273 273 273 273 273
0,712885 1128 0,71438 0,51456 0,514666 0,514666 0,514666 0,5146666 0,514666666666666666666666666666666666666	1100ellis 1100ellis 1100ellis 1281 1281 1281 1518 1518 1518 1518 1518	0.114     0.709195     0.122     0.125     0.125     0.125     0.12214     0.155     0.155     0.155     0.155     0.165     0.165     0.165     0.165	112 0,709020 0,128 0,128 0,1214 0,115	477 Keguelen Pateau (Souftern) 00P-Leg 119. Ste 78 100P-Leg 119. Ste 78 102708 402708 113 103 103 103 103 103 103 103 103 103
0.7203881 0.7212 0.121 0	1.102816 1102.916 12.2.916 12.2.916 12.3.9 0.1.2.916 0.5.0.0 0.0	114 0.001 0.799710 0.010 0.101 0.512214 0.155 0.	112 0.70860 0.100 0.101 0.101 0.101 0.101 0.1015	478 Grapaten Pattaau (S.cultern) 80:344:-148-92_LEACHED Theelite 82:2709 82:1795 82:1795 10:5
128 0.70198 0.70198 0.2200 0.2200 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260 0.2260	1/22.04 11/22.04 11/22.04 12.8 12.8 14.6 14.6 14.6 14.6 14.6 14.6 14.6 14.6	14 408 409 409 400 400 400 400 400 400 400 400	0.000 0.000	473 erguden Pideau (Southern) ODP Leg 120, Ste 74 Baadt Alwaine Baadt Alwaine Baadt Alwaine Baadt Alwaine 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10
128 0.2000 0.2000 0.2000 0.200000000	1. Totellie 1. 102.95 1. 12.0.95 1. 12.9 0. 1. 12.9 0. 1. 12.9 1. 1. 10 1. 1. 10 1.	0.466 0.704067 0.466 0.466 0.466 0.466 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465 0.465	0.466 9.50 10.77 17.370 14.450 31.4450 31.450 31.450 11.75 1	487 487 487 487 497 497 497 497 497 497 497 49
970 970 970 970 970 970 970 970	1.1100818 1.102818 1.10281 1.1281 1.128 1.13.3 0.2 0.5.12942 0.7043 1.5.510 0.5.12942 0.7043 1.5.510 0.169 0.199	0.400 0.705065 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400 0.400	0.480 0.704.430 0.704.430 0.704.430 0.704.430 0.440 0.440 0.440 #DN/00 #DN/00 #DN/00	460 MD4, Surfager 1 MD4, Desge 5 Basati, Transferoat 76,917 H1 28,7 (13,1 0,1 28,7 (13,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,512790 0,1 0,512790 0,1 0,512790 0,1 0,512790 0,1 0,512790 0,1 15,506 16,506 16,506 16,506 16,506 16,506 16,507 16,507 16,507 17,517
0.7 05 826 0.7 05 826 0.7 05 826 0.7 05 826 0.1200 0.1200 0.1200 0.120000000000	1100818 1100818 1010815 1010815 10181	0.067 0.704223 0.067 0.067 0.067 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.0	0.087 0.744134 0.004 0.004 16.053 16.554 36.277 36.277 0.067 110 0.704134 0.067 410/001 #DI/V01	471 Kenguréén Pitekau (Skuthern) MD48, Drespe Basalt, Transferan 78, 807 10,0 301,5 0,1 10,0 0,512710 0,51270 15,579 38,277
28	1100008 110108 110109 1281 1281 128 128 128 128 128 2.4 17.800 15.600 15.600 15.600	14 0.705976 0.15976 0.1546 0.1146 0.1	0,170 0,531 0,551 0,705,551 0,705,551 0,5510 0,551 0,5	Kargueken Palasau (Sauth En) a MO48 Desbe 2 MO48 Desbe 2 MO48 Desbe 2 77.0 197.3 22.1 23.8 0 0.7100082 0.710082 0.71008
128	11 Alberte 14 22.86 11 128 00erook.20 77 13 5.8 13 5.8 2.7 15 5.9 15 5.9 16 5.9 38 4 77 16 4 7 16 2 4 16 5.9 38 4 77	4 0.152 0.152 0.152 0.152 0.152 0.152 0.152 504 805 12.040 flyeration 8.61.55-12.7_1.E.62;HE0 90500 12.040 flyeration	0.192 0.192 0.192	48 (F) MO45, Dresps MO45, Dresps MO48, Dresps MO48, Dresps 107 79, 63 117 117 117 117 117 117 117 117 117 11

RECALC L'Age 1	ULE A 4 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			RECALCULE A L'Age 14 Ma	CULE A Biblio CALCUL OLIEROOK 2017	
(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	Age 14Ma (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (87Sr/86Sr) initial recalculé	Age ers. (L-Porthus) (RDS/S) measured recalculé (RDS/S) measured recalculé (RDS/S) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (Sm/Nd) mitial recalculé (Sm/Nd) mitial recalculé	1475 mr 144 http: 143 Mort 44 http: 157 br 1555 157 br 1555 157 br 1555 157 br 1555 157 br 1555 1555 br 1555 br 1555 1555 br 1555 br 155	Sin (conn) Sin (conn) R4 (conn) S (conn) S (conn) T (S)Nd/r 44Nd meaured 206/F2/S/R5S meaured 206/F2/S/R5S meaured 206/F2/S/R5S meaured	# (Olerook et al. 2017 - n.) Devorinee Province Samole Name Rock Troe Rock Troe Rock Troe Aue Carrockio (Ma) Aue Carrockio	CSmN40 measured reaction     CSmN40 measured reaction     CSmN40 measured reaction     CSmN40 measured reaction     CSSN40 measured reaction     CSSN40 measured reaction     CSN404 measured reaction     CSN404 measured     CSN404 measured     CSN404 measured     CSN404 measured	147 Smr144hd 143 Mort 44kd 143 Mort 44kd 187 boss 287 boss 287 boss 287 boss 282 bos	# (Olarook et al. 2017 - n) Geochemiary Reterence Lucation Sambe Name Bock Yea Rock
	14	ğ		0.5128229 18.080 38.5561	523 Ninetyesst Ridge DSDP edg 22, Ste 276 5, 11652, 277 1, 4572 50, 200 81 81	0.178 0.178 0.178 0.441 0.710943 0.441 0.710943 0.441 0.411 0.178 0.512179 0.512179	0.0178 0.0178 0.019879 0.019879 1.22 0.0411 0.0411	498 Dredge 12 (Nethwatten 5 Schreidy 7 / s EL55-127_UNLEXCHED L5512.8 / s 32.85 110.81 110.81 113.9 11
	14	g	2	18.132 15.541 38.669	520 DSDP Log 22, Sile 24 1464-381 14972 90 290 81 81 81	0.183 0.186 0.186 0.186 0.316 0.316 0.710207 0.3183 0.183 0.183	0.5120 0.5120 0.3166 0.7096995 122 0.3165 0.2126 0.3155 0.3155	Nuburinistis Politica 172 (Nethinstein Scholler) EL65-128 (ULE Co-Tell Throading Clienced 2012 142.7 142.7 142.7 142.7 3.1 0.012120 0.01220 17.0220 15.620 33.510
	14	4 6	5	0.512873 18.709 15.552 38.549	552 DSDP Lag 25 5.58 z23 5.25324-1 Basil: Over 5.4576 40 41	0.5182 0.1182 14 14 0.134 0.134 0.51182 0.134	0.154 0.259 0.259 0.259	403 bite 264 (Subtradiation Section SUSPREHISC SUSPREHI
	14	4 2		0. 51 278 7 15. 708 15. 508 30. 659	553 Ninevyeart R(d) DSDP Log 26, 5ie 223 s 11404-580C Basel Colwine -24,678 49 41	0.51257 0.153 0.153 14 0.705442 0.705442 0.042 0.042 0.153 0.153 0.155	0.5125 0.512541 0.512541 0.525 0.525 0.525 0.525 0.525 0.555	510 510 DSDP Log 22.5 in 216 221637-280 / 4 2221637 6221637-280 / 4 2221637 6221637-280 / 4 2221637 6221637 620 / 4 2221637 621 621 1637 163 163 163 163 163 163 1636 1536 1536
	14	ŝ		0.512789 0.70460 18.600 18.601 38.601	560 Minetyessal (Rdge DSD PLed 25, Star 25, Star 1066-31-1 5 1066-31-1 87, 80-6 87,	0.168 0.512653 0.168 0.165 0.165 0.165 0.165 0.168 0.168	0.812563 0.721263 0.70 0.155 0.16 127.741 15.575 36.526 0.81 0.756475 0.756475	531 167 167 167 168 168 168 168 168 168 168 168
	14	3	2	0.512785 18.079 15.511 38.663	570 Ninetyeast Ridge DSDP log 25, Sta 224 \$ 1069-38: 1 \$ 069-38: 1 \$ 20.069 87.865 87.865 37 [81]	0.212 0.212 14 0.0085 0.00758 0.00758 0.00758 0.00759 0.0212	0.213 0.005 0.005 0.05 0.05 18.560 18.560 38.700 38.700 38.700 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.	554 Ninetywasi Ridga DSD Leg 25 Ste 253 9 26-254 9 26-254-25 9 26-254-25 9 26-254-2 14 4 14 14 15 903 16 503 38 700 38 700 15 503 38 700 38 700 39 700 30 7
	14	40		93828 0.774180 0.774180 19.516 3.8212	555 ODP Log 121, Ster 756C 17127-101N-2 77554 67, 525 45 (81)	0.51277 0.764 0.764 1.74 0.764 0.704489 0.704489 0.764 0.512742 0.764	0.5124 0.51271 0.0023 0.704.42 11.51 0.000 11.51 0.000 17.593 38.593 38.593 38.593 38.593 38.593 38.593 39.004 39.004 39.004 300	571 Ninetynati FRdya 1-10860 / 5243-116860 8-2043-116860 8-2069 8-2069 16.0 16.0 16.0 15.0 15.0 15.0 15.0 15.0 15.0 15.0 15
	14	ð		0.704.170 18.754 15.2521 38.905	557 ODP Log 121, Sile 756D s 11724-48-1 Thodie: 27.305 27.597 845 1901	0.172 0.172 0.172 0.172 0.148 0.70387 0.1887 0.51287 0.51287	0.5/12/05 0.5/12/05 0.7/12/05 0.7/05/05 0.7/05/05 0.7/05/05 0.7/05/05 0.7/05 0.7/25 0.7/25 0.7/25 0.7/25 0.7/25 0.7/25 0.7/25 0.5/21 0.	502 ODP Leg 217, Site 7560 s 121-7560-44-35-59 s 121-7560-44-35-59 s 121-7560-44-3 587 s 10 16 16 16 16 16 16 15 16 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15
	14	ð	;	18.603 15.504 38.863	538 ODP Log 12, 587 750 917356750 91735675 91735675 917567 9180 817597 919	ž	8	52 Ninelyeat Rege DSDF Leg 22, Site 4 Hand 11, 137 8 9 9 11, 137 8 9 11, 137 8 11, 137 11, 137 11, 137 11, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10,
	14	8	,	0.512829 0.704170 15.521 15.521	550 ODP Log 121: Sec 750 1172: Sec 750 1172: Sec 750 1172: File 1172: File 11	14	8	5:3 Ninekwast Ridge DSSD Log 22, Size 3:4 11:327 89:78 89:78 89:78 89:78 89:78 93:72 39:72

	RECA L'Ag	LCU je 14	LE A Ma	REC L'#	ALCU	JLE A iblio	CAL	CULC	DLIER	DOK 2	2017										RECALCULE A L'Age 14 Ma	Ą	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLI	EROOK 201					
(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) Initial recalcule (Rb/Sr) initial recalculé	Age 14Ma (L. Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	(143Nd/14Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé (R7Sr86Sr) initial recalculé	207 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial	232Th/204Pb 206Pb/204Pb initial	238 U/204 Pb 235 U/204 Pb	87R b/86Sr 87Sr/86 Sr initial	147 Sm/144Nd 143Nd/144Nd 143Nd/144Nd	20 or 0 20 4F 0 measured 20 7P b/20 4P b measured	143 Nd/1 44 Nd measured 87Sr/86Sr measured	Pb (ppm) Th (ppm)	Kb (ppm) Sr (ppm)	Sim (bbm)	Age Correction (Ma) Age reference	Rock Tvbe Latitude Longitude	Sample Name 214	# (Ullerook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	(FbVS) measured recalculé (875/865/1 initial recalculé (871/885/5) initial recalculé (871/40) measured recalculé (143/40/1/41/40) initial recalculé (5m/4d) initial recalculé	Age 14 Ma (L. Ponthus)	Age ref. (L.Porthus) (RUS9) measured recalculé (875/86Sn1 initial recalculé (875/85Sn1) initial recalculé (57/1/4) measured recalculé (143/4/1/41/4) initial recalculé (143/4/1/41/4) initial recalculé	235U/204Pb 232TIV304Pb 206Pb/204Pb initial 207Pb/204Pb initial 208Pb/204Pb initial	147 Sill/ H4NG 143 Nd/1 44 Nd initial 87 Rb/96Sr 87 Sr/86 Sr initial 238 U/204 Pb	206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	Rb (com) Sr (com) U (com) Pb (com) Th (com) Th (com) Th (com)	Sm (ppm) Nd (ppm)	Samble Name Rock Type Lattude Longitude Age Correction (Ma) Age roference	# (Olierook et al. 2017 - n.) Geochemistry Reference Province Location
		0.047	0.047	A	0.047	0.047 0.704031	15.576 38.440	0.00 18.238	8.91 0.07	0.047 0.704031	001440	15.580 38.440	0.512896 0.704070	0.3	220.0	2	59 [8 1]	Isasan, Pyroxene / Isasan -11,337 88.718	DSDP Leg 22, Site 214 -53-1(30-35) / s 22-214-53-130-35	934 [69][47] Ninetyeast Ridge		14	8			18.662 15.561 38.876		[see]	s 11755-9R-2 Tholeithe, C0lvine -177.023 -88.03 56	535 [66] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 757C
0.202	0.202 0.512862	0.018	0.018	0.512771	0.018	0.704859	15.574 38.654	33.12 18.463	12.59	0.018	0.512771	15.582 38.790	0.512880 0.704880	0.3	148.0 0.1	6.3	180	5.384 90.361	ODP Leg 121, Sile 758A s 121-758A-54R-2,73-76	0 10 [71] Ninetyeast Ridge	:	14	8			0.708000	0.512737	[seed	s 117.65-9R-6 Tholeiite, Olivine -17.023 88.03 56 1801	536 I66J Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Sile 7 57C
		0.010	0.010	0,145	0.010	0.010 0.704818	15.575 38.604	66.98 18.282	20.37 0.15	0.010 0.704818	0.145	15,588 38,880	0.704830	0.3	115.0	0.00	[80]	5.384 90.361	ODP Leg 121, Sile 758A s 121-758A-73R-3,50-54	0.20 [71] Ninetyeast Ridge		14	8			0.705400 18.968 15.574 38.930	0 4 0 5 8 8 9 0	Tanat	s 11765-10R-3 Tholeitke, Olivine -177.023 88.03 56 56	537 [66] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 757C
0.164	0.164 0.512887	0.100	0.100	0.512854 0.164	0.100	0,100 0.703804	15.544 38.698	126.02 18.595	10.70 0.08	0.703804	0.164 0.512854	15.548 38.979	0.512902 0.703868	0.6	188.0 0.1	4.7	45	5asan - 27, 354 87, 598	ODP Leg 121, Sile 756C s 121-756C-10N-1,32-36	[71][61] Ninetyeast Ridge	:	14	56			0.704444 18.820 39.029	0.512765	teel	s 11773-12R-1 Tholeiite, Olivine -17.023 88.03 56 [801	538 [66] Ninetyeast Ridge ODP Leg 12 1, Sile 757C
0.174	0.174 0.512874	0.297	0.297	0.512839	0.297	0.297 0.703701	15.542 38.882	50.08 18.569	17.62 0.13	0.297	0.174 0.512839	15.548 38.004	0.512890 0.703891	0.9	156.0	13.5	[80] 200	1586811 -27.355 87.597	ODP Leg 121, Sile 756D s 121-756D-10R-1,99-103 s	[71][61] Ninetyeast Ridge	:	14	5 0			0.704850 15.554 38.990	0 12	Innel	5 11775-12R-3 Tholeilte, Olivine -17.023 -88.03 -56 	539 [66] ODP Leg 121, Site 757C
0,190	0.190 0.512833	0.034	0.034	0.512794	0.034	0.703791	15.540 38.817	56.11 18.567	13.57	0.034	0.512794	15.544 38.942	0.512850 0.703813	0.8	163.0 0.2	13.4	[80]	Basant -27.355 87.597	ODP Leg 121, Site 756D 121-756D-12R-3,139-143	71][61] Ninetyeast Ridge	:	14	83			0.704740 18.778 15.521 38.879	0.512881	[ and	s 11790-55R-5 Thoteliite, Olivine 5.384 90.361 83 [80]	505 [66] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A
0.184	0.184 0.512885	0.240	0.240	0.512848 0.184	0.240	0.240 0.703746	15.542 38.623	154.92 18.613	11.27 0.08	0.240	0.512848	10.09± 15.546 38.968	0.512902 0.703899	1.3	181.0	16.8	[80]	5asan -27.355 87.597	ODP Leg 121, Site 756D s 121-756D-4R-1,85-89	70.3 [71][61] Ninetyeast Ridge	:	14	oo G			0.704960 18.269 15.528 38.484	0.5.12831	Innel	s 11788-58R-5 Thotelilte, Olivine 90.361 83 183	506 [66] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A
0,175	0.175 0.512877	0.331	0.331	0.512842	0.331	0.703683	15.540 38.346	277.10 18.574	12.62 0.09	0.331	0.512842	15.544 38.964	0.512893 0.703895	0.4	166.0 0.1	18.7	[80]	вазал -27.355 87.597	ODP Leg 121, Site 756D s 121-756D-6R-1,6-10	300+ [71][61] Ninetyeast Ridge	:	14	8			0.704730 18.842 15.589 38.862	0.512800	Itani	s 11797-60R-7 Tholeiite, Olivine 5.384 90.361 83 180	507 [66] Ninetyeast Rkdge ODP Leg 121, Site 758 A
		0.018	0.018	0.159	0.018	0.018 0.703878	15.545 38.753	123.52 18.588	15.37 0.11	0.018 0.703878	0,159	15,551 39 028	0.703890	0.4	174.0	14.0	[80]	ызвал -27.355 87.597	ODP Leg 121, Site 756D s 121-756D-6R-2,13-17	7 1]6 1] Ninetyeast Ridge	:	14	8			0.704000	0.5.12765	[and	s 11804-63R-1 Tholeille, Olivine 5.384 90.361 83 1801	508 [66] Ninetyeast Rkige ODP Leg 121, Site 758 A
0.186	0.186 0.512869	0.558	0.558	0.512831 0.186	0.559	45 0.558 0.703542	15.548 38.793	113.10 18.604	13.87	0.558	0.512831	15.552	0.512886	0.4	33.0 171.0 0.1	4.0	45	53 54 55 55 55 55 55 55 55 55 55 55 55 55	ODP Leg 121, Site 756D s 121-756D-6R-2,9-13	7 1][6 1] Ninetyeast Ridge		14	8			0.704030 18.478 15.547 38.705	0.512852	To all	s 11830-73R-1 Tholeille, Oli vine 90.361 83 IB01	509 [66] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A

RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CALCUL OLIEROOK 201	7	RECALCULE A L/Age 14 Ma L/Age Biblio CALCUL OLIEROOK 2017
tabled Auto Initial transfer Auto Initial transfer Auto Initial transfer zerunzate	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemister Reference Provine Sample Name Sample Name Sample Name Correction Ma) Aus of erecto Mas Correction Ma) Aus of erecto Mas Correction Ma) Aus of erecto Mas Software Mas Software Mas Software Mas Software Mas Software Mas Software Mas Software Mas Software Mas Software Mas	# f Oliveroxik et al., 2017 - n.) Geochemistry Relevance Location Sample Mann Rock Twans Rock Twa
0.1612722 0.70444 2.22.2 0.70444 2.2.2 0.16 1.15.5 0.15.5	(7) 548 ODP Log 12, 546 (7) 770-596-53-97 (7) 780-596-53-97 (7) 780-596-53-97 (7) 780-596-53-97 (7) 780-596-53-97 (7) 780-596-53 (7) 780-596-53 (7) 790-595 (7) 700-595 (7) 70	Biological States State
0.179 0.794279 19004279 0.144 0.144 0.14555 18555 18555 18555 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166 0.166	549 ODPL Nineyesti Ridge 3 121-78C-0943 (132-165 -17.023 -17.023 -17.023 -17.023 -18.05 -17.023 -18.05 -17.023 -1.02 -1.	F         568           CODE         Lega (21, 158, 187, 1560)           st 121-7560-561, 120-25         -5           st 121-7560-561, 120-25         -5           st 22, 158, 187, 120         -5           st 23, 558         -6           st 21-7560-561, 120-25         -5           st 21-7560-561, 120-25         -13, 20           st 21-75         -13, 20           st 21-75         -13, 20           st 21-75         -13, 12           st 21-75         -14, 22           st 21-75         -14, 22           st 21-75         -14, 22           st 21-76         -14, 22           st 21-76         -14, 22           st 21-76         -14, 22           st 21-76         -
0.51271 0.228 0.70222 2.429 2.429 7.365 15.571 3.551 15.571 0.1717 0.612721 0.1717 0.612721 0.1717 0.512718 0.1717 0.512718	550 Ninetyessi 71(81) OOP Los 121. Sile 757C 51227/57C-82 Basis -17.023 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16	Nime Normal Nume Network         17         16-10           ODP Leng 121, Sam 5757         88.33         88.5757           St21-7575-100-2, 26-50         17.10,23         86.33           17.10,23         86.33         18.10,20           17.10,23         18.13         19.10,20           17.10,23         19.10,20         19.10,20           18.11         17.10,20         24.70           19.11         17.10,20         24.70           19.11         17.10,20         24.70           19.11         17.10,20         24.70           19.11         19.10,10         24.70           19.11         19.10,10         24.70           19.11         19.10,10         24.70           19.12         17.10,20         24.70           19.12         19.10,10         24.70           19.12         19.10,10         24.70           19.12         19.10,10         24.70           19.12         19.13,10         24.95           20.19         0.19,10         19.13,10           19.13,10         19.13,10         19.13,10           19.14         0.11,10         0.11,10           19.15         0.11,10         <
0.51277 0.76278 0.76278 0.76278 0.755 0.75 0.755 0.755 0.766 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0.2466 0	00P Log 121, St 1 00P Log 121, St 1757C 5 122/757C 444 - 17.023 8 102 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 2	CODE Lege 121, Sea 87572 CODE Lege 121, Sea 87572 s 121, 75772-108-32, 6 56 0 121, 58 0 121, 58 0 121, 58 0 121, 58 0 121, 58 0 120, 59 0 120, 50 0 120, 5
0.6427762 33.75 33.75 64.75 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 15.604 0.0022 0.025 0.055 0.055 0.055	111 Ninetyvesii 71564 ODP Len 121: Sile 7564 9 121-7564-556-62.82-85 9 121-7564-556-62.82-85 9 121-7564-556-62.82-85 9 121-7564-556-62.82-85 121-7564-556-62.82-85 122-02-25-256 122-02-25-256 12-64-85 12-64	Ninelynead Ridge ODP Lag 121, Sar 7572 s 121, 757, 718, 2, 10, 14 Basat -17,023
0.612731 27.9478 27.9478 27.9478 27.9478 27.9478 27.9478 27.9478 27.9477 2.9479 2.9479 2.94798 2.94798 2.949978 2.9497878 2.9497878 2.94978 2.94978 2.94978 2.94978 2.94978 2.949	112 112 113 114 114 114 114 114 114 114	Ninelynear Ridge ODP Fung 121, Sea 121, 757, 757, 717, 23 121, 757, 757, 757, 757, 757, 757, 757, 75
0.412811 20060 20060 20060 20060 20060 20060 20060 20060 20070 20000 20000 20000 200000000	PT 1513 ODP Let 127: Ster 755A 8 121-756A-5646-21-55 90:381 12-756A-5646-21-55 90:381 12-754A-5646-21-55 90:381 12-754A-2646-21-55 90:381 14-2 14-2 14-2 14-3 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5	Ninelynear Right ODP Flag 121, Set 121, 257, 223, 1200 121, 257, 223, 223, 223, 223, 223, 223, 223, 22
0.000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.00000 0.000000	0 State 0 S	CDP Log 12, 1995 CDP Log 12, 1995 CDP Log 12, 1995 12, 1, 25, 5 12, 1, 25, 5 12, 1, 25, 5 12, 1, 25, 5 12, 1, 25, 5 13, 15, 15, 15 14, 15, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15, 15 14, 15
0.517762 27.646 27.6466 27.6466 27.6466 27.6466 27.6466 18.527 19.5580 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175 0.0175	1217780-0071122115 1217780-0071122115 1217780-0071122115 13191 13191 13192	CDP Los 121, 546 CDP Los 121, 546 CDP Los 121, 546 S 121-757C-128-4,24-5 S 121-757C-128
0,000 0,0000 0,0000 0,000000	516 Ninelyeast Filefi CODP- Ninelyeast Filefi Status Statu	01401 0140 0140 0140 0140 0140 0140 014

1	RECA	ALCL ge 14	JLE A 4 Ma	R	ECAI L'Ag	LCULE e Bibli	E A o	CALC	UL C	LIERO	OK 201	17									RECA L'Ag	LCULE / e 14 Ma	A F	ECALCU	LE A olio	CALCU	IL OLIER	OOK 201	,					
(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) initial recalculé	Age 14 Ma (L.Pontrus) (Rb/Sr) measured recalculé (875e868ch initial recalculé	(Sm/Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	(R7Sr/86Sr) initial recalculé (R5/Sr) initial recalculé	Age ref. (L. Ponthus)	207 Pb/204 Pb initial 208 Pb/204 Pb initial	232 Th/204Pb 206Ph/204Ph initial	87Sr/86Sr Initial 238U/204Pb 235U/204Pb	143Nd/144Nd initial 87R b/86Sr	208Pb/204Pb measured 147 Sm/144Nd	8757865r measured 2066Pt/204Pb measured	Pb (ppm) Th (ppm)	Rb (ppm) Sr (ppm) U (ronm)	Age reference Sm (ppm) Nd (ppm)	Latitude Longitude Age Correction (Ma)	Sample Name	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemistry Reference Province	DUDARDO I IDUUT (DAMITO)	(Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé (Sm/Nd) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé (87 Sr/86Sr) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé	(Sm/Nd) initial recalculé Age 14Ma (L.Ponthus)	(87 Sr/86S r) initial recalculé (Rb/Sr) initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/144Nd) initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (Rb/Sr) measured recalculé	206 Pb /204 Pb initial 207 Pb /204 Pb initial 208 Pb /204 Pb initial	238 U/204 Pb 235 U/204 Pb 232 Th/204 Pb	147 SIIN (444Kd initia) 87R b/86Sr 87Sr/86Sr initial	206Pb/204Pb measured 207Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured 208Pb/204Pb measured	U (ppm) Pb (ppm) Th (ppm) 143Nd/144Nd measured	Sm (ppm) Nd (ppm) Sr (ppm)	Latitude Longitude Age Correction (Ma) Age reference	Geochemistry Reference Province Location Sample Name Rock Type	# (Olierook et al., 2017 - n.)
0.182	0.182 0.512773	0.044	0.044	0.182	0.182	0.706596 0.044	118	15.5.87 38.465	47.65	9.33	0.512650 0.044	38.744	0.706570 18.350 15.595	0 5127en	5.1 334.0 0.2	[4][18] 4.1 13.6	25500 92.1 118	Sylhet Traps CH-1 Basalt	595 [12] Ralmahal-Bengal-Sylhet Traps	\$11190	0.189 0.512848 0.189	0.013 0.704499 0.013	0.189 14	0.704487 0.013 0.512763	0.013	18.3.12 15.557 38.752	24.72 0.18 34.48	0.512763 0.013 0.704487	0.704502 18.633 15.573 38.894	0.2 0.5 0.5 12865	3.4 10.9 157.0	5.384 90.361 83 [80]	Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Sile 756A s 121-758A-62R-3,80-84 Basat	517
0.186	0.186 0.512543	0.032	0.032 0.706294	0.187	0.186	0.706247 0.032	118	15.625 38.538	33.58 17.900	4.16	0.512416 0.032	38.735	0.706300 17.977 15.629	0.512560	2.9 261.0 0.2	[4][18] 4.5 14.6	200000 92.1 118	Sylhet Traps CH-2 Basatt	596 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps	61170	0.175 0.512855 0.175	0.007 0.704424 0.007	0.175 14	0.704416 0.007 0.175 0.512776	0.007	18.2.53 15.5.48 38.5.77	25.19 0.18 71.57	0.512776 0.007 0.704416	0.704425 18.580 15.564 38.871	0.1 0.3 0.512871	2.5 9.0 157.0	90.364 83 [80]	Vinetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A s 121-758A-65R-1,51-55 Basat East	518
0.188	0.188 0.512673	0.019	0.019 0.704786	0.189	0.188	0.704758 0.019	118	15.608 38.006	32.61	4.61	0.512545 0.019	38,197	0.704790 17.709 15.612	0.512860	1.3 196.0 0.1	[4][18] 4.3 13.9	25.2 92.1 118	Sylhet Traps CH-3 Basalt	597 [12] Raimahal-Bengal-Svilhet Traps		33.106 0.509839 33.109	0.004 0.704439 0.004	33.124 14	0.704435 0.004 33.106	0.004	18.355 15.547 37.837	10.89 0.08 233.70	0.494901 0.2044901 0.204435	0,704440 18.497 38.799	0.1 0.8 2.7 0.512870	10.4 0.2 144.0	90.364 83 [80]	Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Stle 786A s 121-758A-67R-4,31-35 g aat £ 35	519
0.135	0.135 0.512308	0.075	0.075 0.709755	0.135	0.135	0.709644 0.775	118	15.70.4	40,46	0.709644 5.57 0.04	0.512216	39.359	0.709770 18.048	7.8	12.2 470.0 0.7	[4][18] 7.6 34.0	25.27 92.1 118	Sylhet Traps CH4 Basalt	598 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps	4114	0.175 0.512855 0.175	0.018 0.704386 0.018	0.175	0.704369 0.018 0.175 0.512776	0.018	18.186 15.541 38.445	29.95 0.22 86.66	0.512776 0.018 0.704369	0,704390 18,575 38,560 38,802	0.1 0.2 0.512871	2:4 8:3 114:0	5.394 90.361 [80]	[/1]01] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A s 121-758A-69R-3,53-57 East f sat	520
0.193	0.193 0.512722	0.005	0.005	0.193	0.193	0.704561 0.005	118 0.005	15.555	37.83 17.914	0.704561 7.73 0.06	0.512591	38.121 0.193	0.704570 18.057 15.562	0.512740	0.4 243.0 0.2	[4][18] 3.3 10.3	25.22 92.1 118	Sylhet Traps CH-5 Basalt	599 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps			0.704425 0.002	0.147	0.704423 0.002 0.147	0.002	18.287 15.550 38.692	18.41 0.14 34.87	0.704423	0.704425 18.526 15.562 38.836	0.1 0.2	2.3 8.3 140.0	5.384 90.361 83 [80]	Vinetyeast Rdge ODP Leg 121, Sile 758A s 121-758A-70R-1,71-75 Basalt	521
0.191	0.191 0.512452	0.040	0.040 0.704892	0.192	0.191	0.704833 0.040	118	15.572 38.091	46.33	0.704833 6.15 0.05	0.040	38.362	0.704900 17.910 15.578	0.512470	3.3 242.0 0.1	[4][18] 5.0 15.7	25.2 92.1 118	Sylhet Traps CH-6 Basalt	600 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps	V(1)	0.171 0.512754 0.171	0.012 0.704349 0.012	0.171	0.704337 0.012 0.171 0.512677	0.012	18.185 15.551 38.591	22.84 0.17 49.17	0.512677 0.512677 0.704337	0,704351 18.482 15.565 38.794	0.1 0.3 0.512770	7.8 0.5 125.0	5.,594 90.361 [80]	Vinetyeast Ridge ODP Leg 121, Ste 758A s 121-758A-70R-2,129-130 Basalt £ 29	522
0.196	0.196 0.512662	0.008	0.704508	0.196	0.196	0.704496 0.008	118 0.008	15.537	34.80 17.815	0.704496 4.94 0.04	0.008	38,194	0.704510 17.907 15.541	0.5126R0	0.7 228.0 0.2	[4][18] 5.6 17.3	25.2 92.1 118	Sylhet Traps CH-7 Basalt	601 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps	V.101	0.512852 0.512852	0.018 0.704341 0.018	0.161	0.704324 0.018 0.512780	0.018	18.225 15.558 38.571	23.05 0.17 58.47	0.512780 0.512780 0.704324	0,704345 18.524 38.811	0.1 0.3 0.512867	2:1 7.9 130.0	5.384 90.361 83 [80]	Uneryeast Ridge ODP Leg 121, Site 788A s 121-758A-71R-1,127-131 Basat £ 284	523
0.198	0.198 0.512792	0.040	0.040 0.704262	0,198	0.198 0.512657	0.704204 0.040	118	15.549	34.62 17.780	0.704204 6.28 0.05	0.040	38.345	0.7.04.270 17.896 15.555	0.512810	3.1 224.0 0.2	[4][18] 5.5 16.8	25-22 92.1 118	Sylhet Traps CH-7A Basalt	602 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps	V(10)	0.512869 0.512869	0.002 0.704335 0.002	0.191 14	0.704332 0.002 0.512783	0.002	18.252 15.554 38.614	18.69 0.14 57.95	0.512783 0.704332	0,704335 18.495 15.566 38.853	0.1 0.4 0.512896	2.3 7.3 122.0	5.,394 90,361 (80)	Unetyeast Ridge ODP Leg 121, StRe 758A s 121-758A-71R-3,64-68 Basalt £ 298t	524
0.182	0.182 0.512763	0.074	0.074 0.704595	0.182	0.182	0.704485 0.074	118	15.565	18 089	0.704485 10.75 0.08	0.074	38.683	0.704610 18.288 15.575	0.512780	5.5 214.0	[4][18] 2.3 7.5	255-041 92.1 118	Sylhet Traps CH-8 Basalt	603 [12] Raimahal-Bengal-Sylhet Traps	51 F 100	0.199 0.512868 0.199	0.000 0.704318 0.000	0.199 14	0.704318 0.000 0.512778	0.000	18.311 15.553 38.524	16.07 0.12 61.91	0.512778 0.704318	0.704318 18.520 15.563 38.779	0.1 0.4 0.512886	2.3 7.0 121.0	9.394 90.361 [80]	Ir 1]to 1] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A s 121-758A-73R-1,82-86 Basalt Basalt	525 17 418 41
0.184	0.184 0.512753	0.032	0.032 0.704584	0.184	0.184	0.704537 0.032	118	15.555 37.772	29.95 17 678	0.704537 6.10 0.04	0.032	37.965	0.704590 17.803	0.512770	2.5 229.0 0.1	[4][18] 2.4 8.0	25.2 92.1 118	Sylhet Traps CH-8A Basalt	604 [12] Raimahal-Bendal-Svihet Traos	V.1V4	0.182 0.512859 0.182	0.038 0.704335 0.038	0.182	0.704298 0.038 0.182 0.512777	0.038	18.533 15.556 38.759	4.74 0.03 11.58	0.102 0.512777 0.038 0.704298	0.704343 18.594 38.509 38.800	0.1 1.5 0.3 0.512876	2.5 8.3 1.5 113.0	5.344 90.361 [80]	[/ 1][01] Ninetyeast Ridge ODP Leg 121, Site 758A s 121-758A-73R-4,105-109 Basalt	527

RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017			RECALCULE A L'Age 14 Ma	RECALCULE A L'Age Biblio	CALCUL OLIEROOK 2017	
Ace 14Ma (_ Ponthus) (RSUS) measured recalculé (875/8655) httal recalculé (877/8655) httal recalculé (87N/0) measured recalculé (143/kd/14/kd/ httal recalculé (5mN/d) intilal recalculé	Age ref. (L. Porthus) (RUS/S) measured recalculé (RTS/R655) Initial recalculé (Sm/Nd) measured recalculé (143Nd/14/Nd) Initial recalculé (143Nd/14/Nd) Initial recalculé	141/Smr/1444antital 143/Smr/1444antital 875/s685 entral 258U/204Pb 228U/204Pb 2005/P2/04Pb ninal 2005/P2/04Pb ninal 2005/P2/04Pb ninal	Nd Ionni Nd Ionni Sr Ionni U Ionni 143,Nd) 141Nd maaured 2069-2021 2077-2024 Ponsaured 2077-2024 Ponsaured 2077-2024 Ponsaured	# (Olierook et al., 2017 - n.) Geochemiatry Reference Province Second Marme Samoth Marme Samoth Marme Landaude Alao Correction (Ma) Alao reference Alao reference San total	Ade 114/ki (L. Ponthus) (RUSS) measured recalculé (RUSS) Initial recalculé (RSVR) Initial recalculé (Sm/Vc) measured recalculé (143Wd/144/Vd) Initial recalculé (GM/Vc) McMich Initial recalculé	Age ref. (L.Ponthus) (RUS2) massured recalculé (RUS2) massured recalculé (RUS2) hitkal recalculé (RUS2) hitkal recalculé (RUS2) hitkal recalculé (RUS2) hitkal recalculé (RUS2) hitkal recalculé (RUS2) hitkal recalculé	147 Smr 144 Hui 147 Smr 144 Hui 875 MSS - Inhia 287 LVSSS - Inhia 228 LV2AFb 228 LV2AFb 228 LV2AFb 228 LV2AFb 228 LV2AFb 228 LV2AFb 208 Fb 224 Hb 208	Genchar (Clarootk et al. 2017 - n.) Genchar Lication Sampb Hame Rock Tree Rock Tree Ro
4	11		0.708210	6ajmabi Senga Syna 100 100 100 100 100 100 100 100 100 10	14 0.087 0.705723 0.087 0.183 0.512852 0.193	118 0.087 0.705595 0.193 0.193 0.512521 0.193	0.51250 0.51259 0.087 0.705595 5.40 0.04 2.981 17.988 17.988 15.571 38.598	605 Rajmatai-Sengai-Spine Trags Spine Trags Based CH3 Based 252 102 1103 61 61 1103 61 61 1103 61 61 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01
0.212 0.704968 0.212 0.212 0.212 0.512658 0.154	0.212 0.2704655 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154	0.51253 0.51253 0.212 0.704655	265 2050 2050 107.180 0.17.180 0.17.180 17.180 0.17.180 0.17.180 17.180 0.17.180 17.18	575 Rajmaha-Bengal-Sylfver Trans Rajmaha Trans Deferte 24:25 87:35 118 118 118 118	14 0.040 0.704532 0.041 0.041 0.185 0.512773 0.185 0.185	0.744 0.744 0.74472 0.041 0.185 0.5126477 0.186	0.5126 0.512647 0.04472 9.32 9.007 48.47 18.088 18.088 15.561 38.4541	Rajmubu Bengai Sylvet Trans Sylvet Trans Stort Trans S
14 0.306 0.707829 0.306 0.1306 0.512291 0.149	0.306 0.306 0.107477 0.306 0.149 0.512190 0.149	0.51219 0.51219 0.306 0.707477	22.9 25.0 3.310 0.517200 0.707950 0.707950 0.707950 17.9700 17.97000 17.97000 17.97000 17.97000 17.97000 17.97000 17.9700000000000000000000000000000000000	578 Rajmaha-Bengal-Sofrei Tarao Rajmaha-Tarao 8 2.7.78 Basat Basat 118 118 5.6	14 0.092 0.70528 0.188 0.512723 0.188 0.512723	118 0.092 0.705146 0.092 0.188 0.512595 0.189	0.188 0.092 4.003 0.03 0.03 3.640 17.860 15.583 38.125	Rajmaha-Bengai-SylverTrans SylverTrans CH-11 Basait 92.2 92.1 92.1 14.6 14.1 254.0 0.1 254.0 0.1 254.0 0.1 1.7 255.0 0.0 1.7 2.5 0.0 0.0 1.7 2.5 0.0 0.0 1.7 2.5 0.0 0.0 1.7 2.5 0.0 0.0 1.7 2.5 0.0 0.0 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 1.7 0.0 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5
14 0.291 0.707872 0.291 0.291 0.291 0.417 0.512293 0.147	0.291 0.291 0.70745 0.292 0.147 0.512197 0.147	0.51219 0.51219 0.707442	22.4 23.0 328.0 0.512211 0.77980 0.77980 17.580 54.00	577 Rajmaha Bengal Sylfret Trato Rajmaha Trato Rajmaha Trato Basel 24-5 87-35	14 0.707129 0.707129 0.104 0.221 0.512200 0.221	0.118 0.706976 0.104 0.221 0.512049 0.221	0.5221 0.512049 0.1044 0.706976 3.80 0.03 21.22 17.556 15.454 38.1484 38.1484	Rajmatuki-Bengak-Syllivet Trans Syllivet Trans Syllivet Trans 2.8.1 9.1.7 9.1.7 9.1.7 9.1.7 2.860 9.1.
14 0.234 0.708263 0.234 0.234 0.234 0.149 0.149	0.234 0.235 0.235 0.235 0.235 0.149 0.51220 0.149	0.51220 0.51220 0.234 0.707917	2225 2800 35500 0.512316 0.759310 17.590 17.590 15500 55500	578 Rajmaha Bengal Sytheti Targo Rajmaha Targo Sorta Basel 87.3 87.3 118 118 5.6	14 0.421 0.713556 0.421 0.145 0.51222 0.146	118 0.421 0.421 0.421 0.421 0.421 0.146 0.51217 0.146	0.5121 0.51212 0.421 0.712894 0.03 0.03 40.92 18.073 15.695 38.679 38.6795	Rajmabit-Bengal-Sylfreet Trans Sylfreet Trans Sylfreet Trans 2.8 2.8 2.1 2.1 2.1 2.1 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5
14 0.256 0.707679 0.256 0.128 0.512351 0.512351 0.148	118 0.256 0.707301 0.256 0.148 0.512250 0.148	0.512.25 0.512.25 0.707.301	216 216 216 217 217 217 217 217 217 216 217 216 216 216 216 216 216 216 216 216 216	570 Fajimaha Benga Sylver Trave Rajimaha Trave Baset 2045 8735 8735 118 53	14 0.370 0.370 0.370 0.370 0.370 0.161 0.161	0.370 0.703360 0.370 0.370 0.370 0.161 0.161	0.512006 0.370 0.370 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 36.18 17.886 15.663 38.957	Flagmath al-Benergial-Sylver [12] Sylver Traces Sylver Traces M43- Busal 1118
14 0.726 0.706556 0.120 0.512382 0.512382 0.154	0.720 0.720 0.720 0.120 0.120 0.154 0.154	0.512 0.512 0.706 0.706 378	1450 1400 337.0 0.512.200 0.705580	580 Rajmaha Bergak Sylver Travo Rajmaha Travo Basel 2142 8723 8725 8723 118 118 4119	14 0.300 0.706880 0.300 0.300 0.512328 0.512328 0.135	0.706436 0.706436 0.301 0.301 0.51226 0.135	0.5122 0.5122 0.300 0.706486 7.648 0.06 47.40 47.40 17.754 15.510 37.537	Rajmahai-Borogak-Sylver [12] Sylver 17020 Busal 222 217 1118 4119 413 413 413 413 413 413 413 413 413 415 415 415 415 415 415 415 415 415 415
14 0.765 0.705376 0.166 0.512470 0.512470 0.156	0.705126 0.705126 0.169 0.169 0.5126 0.512364 0.156	0.512364 0.512364 0.705128 0.705128	217.3 210 389.0 0.5.12.464 0.7.56410 0.7.7.560 1.7.560 1.7.560 3.6.50	SS1 Rajmaha-Bengal-Sylter Trans Rajmaha 27.5 Baset Baset 118 419 419 419	14 0.304 0.715450 0.304 0.304 0.161 0.512225 0.161	118 0.7150004 0.304 0.304 0.304 0.512146 0.161	0.51210 0.324 0.304 0.715000 3.50 0.03 37.85 17.871 15.671 38.828 38.828	Flagmath al-Springer Sylfwer Trans Sylfwer Trans Sylfwer Trans Basel Basel 1110 1110 1110 1110 1110 1110 1110 11
0.058 0.705078 0.058 0.058 0.153 0.512504 0.153	0.058 0.704992 0.058 0.153 0.153 0.153	0.51240 0.51240 0.058 0.704992	15.0 7.8 387.3 18 0.5.12518 0.7.15560 0.7.15560 18.5590 38.510	52 Rajmaba-Bengai-Schinel Targo Rajmaba-Targo Rajmaba-Targo Rajmaba-Targo Rajmaba-Rajmaba- 21,2 118 118 118 118 118	14 0.282 0.707582 0.282 0.282 0.141 0.51233 0.141	118 0.707200 0.283 0.141 0.141 0.141	0.5123 0.51232 0.282 0.707200	Rajmuba-Bengai Syltret Trati Rajmuba-Bengai Syltret Trati Rajmuba 2, 2, 3 Basat 27, 33 87, 33 87, 33 87, 33 87, 33 87, 33 10 1118 41118 42, 3 2, 4 33, 10 33, 10 17, 260 17, 260 17, 260 15, 600 38, 600
14 0.042 0.705042 0.152 0.1512 0.1512 0.152 0.152	118 0.042 0.704379 0.042 0.152 0.512410 0.152	0.152 0.512410 0.042 0.704979	14.7 5.7 390.7 0.705027 0.705020 18.0000 18.550 18.550 18.550 38.550 38.550	563 Rajmabi-Bengai-Sylined Tupo Rajmabi-Tupo Rajmabi Tupo Ramabi Tupo Ramabi Ra	14 0.2011 0.708390 0.201 0.201 0.187 0.512820 0.187	118 0.2018 0.707992 0.202 0.187 0.187	0.187 0.57.2493 0.201 0.707992	Figuration Sector 1 Figuration 1 Fagmatian Trajes Ramania Trajes 24.25 Figuration 1 Figuration 1

RECALCULE A L'Age 14 Ma RECALCULE A L'Age Biblio CALC	CUL OLIEROOK 2017		RECALCULE A L'Age 14 Ma L'Age Biblio CA	LCUL OLIEROOK 2017	
2017-62/247b Initial 2018-62/247b Initial Age to (L. Forthus) (RDS) measured recalcule (RDS) measured recalcule	447Sm/14Ald 143Ch/14Ald initial 87RU885 87S/858 initial 238U/204Pb 228U/204Pb 228U/204Pb 228TV/204Pb 228TV/204Pb	# (Olerook et al., 2017 - n.) Geochemister Reference Province Samuels kanne Samuels kanne Samuels kanne Samuels kanne Lahitude La	Age of L. Pormai Age of L. Pormai (TSVS) measured resolution (TSVS) measured resolu	**X3M2**X3M2**X4%*X4%*X4%*X4%*X4%*X4%*X4%*X4%*X4%*X4	# (Olerook et al. 2017 - n.) Geochamistry Reference Location Standak Name Samak Name Location Auer of erence Longitude Longitude Longitude Samak Samak Longitude Longi
118 0.762740 0.167 0.167 0.167 0.167 0.167 0.120 0.120	0.187 0.120 0.09 0.09 0.42	594 Raymathal Bengali Sylheet Tras Raymathal Tras Throkelite, Cuartz / Basalt [41]18 [41]18 [51] 151 152 102 102 102 102 102 102 102 102 102 10	0.157 0.1500	0.708100 11.12.00 11.12.00 0.12.14 0.14.14.14 0.14.14.14 0.14.14.14 0.14.14.14.14.14.14.14.14.14.14.14.14.14.	584 Rajmaba Bengal Sejner Trans Rejenada Transformesite 24.25 87.33 (111) 118 (111) 25.25 87.3 87.3 97.04.0 704.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5.0 5
124 0.726585 0.443 0.444 0.4214 0.4214 0.4214 0.4214 0.434 0.434 0.434 0.434 0.434 0.434	0.134 0.443 0.19 0.00 0.00	613 Wallaby Plane Gower Rise Basat 24.365 107.8172 20 20 20 20 107.8172 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20	0.187 0.000700000000	0.724.420 0.725.00 0.657.260 0.657.260 0.037 0.726.00 0.7276.00 0.7776.0000000000	580 Rajmaha Geopa Spiner Trans Rajmaha Trans 51305 8733 8733 8718 1118 1118 129 233.0 233.0 30 233.0
124 0.70654 0.528 0.528 0.528 0.528 0.5128 0.77280 0.5124 0.5124 0.168	0.168 0.528 0.144 0.000 0.56	614 Watabby Pieten Coviet Ree 5585004 -2415 107,8172 173 1231 1231 1231 1231 1231 1231 12	0.13 0.125 0.125 0.127 0.128 0.127 0.128 0.1	0.708898 16.520 0.134 0.134 0.130 0.134 0.130 0.134	689         769           Ragarata Trays         8-1131           Ragarata Trays         5-1131           Tholelie / Barsa         8-133           Tholelie / Sata         8-733           87.53         87.53           1116         1116           17.6         17.6           17.5         372.9
124 0.70697 0.463 0.463 0.463 0.463 0.463 0.463 0.463 0.463 0.463	0.483 0.463 0.08 0.00 0.52	615 Wallaby Pattern Sorre R40e 57067640e 57067640e 57067640e 109.6871167 123 123 123 123 123 123 123 123 123 123	118 0.008 0.7204025 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008	0.652 0.0086 0.0086	531 531 Rajma Rajmabal Targe 8,228.7 / 15.027 Thoele / 53.25 14.3 14.3 14.3 14.3 237.4 237.4
0.702444 0.702444 0.1642 0.1642 0.1642 0.1642 0.1642 0.164 0.164 0.164 0.164 0.164 0.162 0.162 0.162	0.142 0.164 0.06 1.06	617 Walleby Part Some Hole Seamount -24 0198657 100,1985 112 112 1142 1142 1142 1142 1142 1142	118 0.704 824 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1124 0.1125 0.1124	0.122501 171560 151560 15156 0.1159 0.1248 0.1248	802 802 Regiments Tires Regiments Trans Regiments 1:12:1 Doent 1:12:1 Doent 1:12:1 Doent 1:12:1
00 072016 072016 0.0912 0.0912 0.144 0.144 0.144 0.144	0.144 0.512.604 0.092 0.705116 0.00 0.00 0.26	618 Wallaby Pateral Some Redge Samount Spickovar 409 19885 100 19885 114 5 144 5 141	118 0.008 0.009 0.125 0.125 0.125 0.008 0.008 0.008 0.008 0.008	0.764390 0.125 0.086 0.704228 0.206 0.300 0.30	885 ahuk-Bengak-Sythet Trac SuBcatt Baset, Advanter / 52,68 83,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52 84,52,52,52 84,52,52,52,52,52,52,52,52,52,52,52,52,52,
0704516 0704516 0.57145 0.57145 0.57145 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146 0.57146	0.512618 0.521618 0.221 0.704516 0.00 0.00 0.84	611 Wateby P 661 567226 109.1097 109.1987 109.1977 109.1987 109.1997 109.1977 109.1977 109.1977 100.1977 100.10	118 070584 0.105 0.117 0.116 0.117 0.116 0.105 0.105	0.785440 0.117 0.70520 0.70520 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07	587 1900 1900 1900 1900 1900 1900 1900 1000 1
0.160 0.704422 0.1442 0.142 0.172 0.172 0.172 0.172 0.172 0.172 0.172	0.512688 0.512688 0.704422 0.22 0.00 0.00 0.00	620 Wallaby Patena Some Redge Seamount -24.026 Seamount -24.026 123 105.1980 123 123 123 123 123 123 123 123 123 123	118 0.708207 0.007 0.007 0.154 0.007 0.007 0.007 0.007 0.007	0.708280 0.154 0.708251 0.031 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.	888 Rajjining Trip Rajjining Trip Rajjining Raj SALAVRI Thotellik, Olivine / Basis SALAVRI 840 118 118 13.5 35.0 0.5 0.5
124 0.7 0.220 0.220 0.210 0.220 0.210 0.220 0.220 0.210 0.220 0.220 0.220 0.210 0.220 0.210 0.220 0.210 0.2000 0.2000 0.2000 0.200000000	0.182 0.230 0.15 0.000 0.74	616 Walluby Paten 610 Zore Scap -05 Archivesat -25 S4453 108 S445 144 184 184 184 184 184 184 184 184 184	116 0.7064007 0.148 0.148 0.148 0.248 0.2607 0.2007	0.705430 0.146 0.007 0.008 0.008 0.008	580 mata-bengai Spine Tice Regarded Torge Thodelb, Count? / SNADA Thodelb, Count? / Stat 88,5 (11)18 (11)18 (11)18 (26,2 26,2 28,0 28,0 3,3 2,2 2,2
005 005 005 005 005 005 005 005 005 005	0.0776 0.55842	Avtarcita Gausseers voicano 0.066 15.77 122.9 1716.7 1716.7 0.7169 0.7169	118 0.750054 0.125 0.174 0.174 0.0174 0.025 0.024 0.024	0.706060 0.174 0.024 0.03 0.03 0.20	503 504 505 506 507 507 507 507 507 507 507 507

R	E	CA Ag	LC Ie	CU 14	LE Ma	A	1	RE L	CA 'Ag	Je I	:UL Bib	E / lio	A.	C/	AL C	cu	LO	ILIE	ERO	DOC	K 2	201	7																						
(Sm/Nd) initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé	(Rb/Sr) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalcule	Age 14Ma (L.Ponthus)	(Sm/Nd) initial recalculé	(143Nd/144Nd) initial recalculé	(Sm/Nd) measured recalculé	(Rb/Sr) initial recalculé	(87 Sr/86Sr) initial recalculé	(Rb/Sr) measured recalculé	Age ref. (L. Ponthus)	208 Pb/204 Pb initial	207 Pb/204 Pb initial	206 Pb/204 Pb initial	232 Th/204Pb	235U/204Pb	238U/204Pb	87Sr/86 Sr initial	870 h/86Cr	143 Nd/144 Nd initial	147 Sm/14 ANH	208Pb/204Pb measured	207Pb/204Pb measured	206Pb/204Pb measured	87Sr/86Sr measured	143Nd/144Nd measured	Th (ppm)	Pb (ppm)	(ppm)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Age reference	Age Correction (Ma)	Longitude	Latitude	Rock Type	Sample Name	Location	Province	Geochemistry Reference	# (Olierook et al. 2017 - n.)
0.079	0.511911	0.079	0.494	0.709294	0.494	0.056														0.49400	0 40499	0001000	0.07803				0.709294	0.511911				1767.4	301.9	121.5	15.87		0.056				457	Gaussberg volcano	Antarctica		
0.079	0.511867	0.079	0.562	0.709718	0.562	0.056														0.001100	0 66176	0.01941	0.02011				0.709718	0.511867				1686.5	327.3	127.1	16.7		0.056				470	Gaussberg volcano	Antarctica		
0.078	0.511906	0.078	0.500	0.709405	0.500	0.056														0.2002.0	0 50052	0.0111	0.0777				0.709405	0.511906				1750.4	302.7	122	15.68		0.056				477	Gaussberg volcano	Antarctica		
0.080	0.511937	0.080	1.303	0.706914	1.303	0.056														1 2002-1	4 20077	0.0000.0	2 UUSU U				0.706915	0.511937				694.1	312.5	121.7	16.12		0.056				472	Gaussberg volcano	Antarctica		
0.101	0.511954	0.101	1.644	0.709002	1.644	0.056														1:09400	1 84488	0,1007.0	0 40073				0.709003	0.511954				583.9	331.8	100	16,66		0.056				468	Gaussberg volcano	Antarctica		
0.086	0.511913	0.086	0.546	0.709816	0.546	0.056														0.0400	0 54 65 1	1000.0	0.0857				0.709816	0.511913				1689.7	319	109.4	15.5		0.056				479	Gaussberg volcano	Antarctica		
																				0.705200		0.512559														Loftus2011	12.955			~	~	Mount Ballons	Kerguelen Archipelago	Loftus2011	

Annexe n°15: Compilation des données isotopiques (suite) - Olerook et al. 2017 Suppl. data - references

100 147-173

AUTEUR :	Léandre Ponthus
TITRE :	Origine, évolution et mise en place d'un pluton récent en contexte intraplaque océanique. Exemple du complexe sud de Rallier du Baty, Kerguelen (T.A.A.F.)
DIRECTEURS DE THESE :	Michel Grégoire ; Damien Guillaume, Michel de Saint Blanquat
LABORATOIRE :	Géosciences Environnement Toulouse – UMR 5563
SOUTENANCE :	Toulouse, le 20 mars 2018

## RESUME

L'étude de ce complexe plutonique alcalin fut multidisciplinaire mêlant, observations et mesures sur le terrain, ASM, pétrographie, minéralogie, géochimie (majeur et traces), géochimie isotopique Rb/Sr et Sm/Nd et géochronologie U-Pb sur zircons. La synthèse des résultats démontre la participation minoritaire de plusieurs sources (manteau métasomatisé et fragments continental) en plus de la source prédominante qui est le manteau typique du panache de Kerguelen. Dans un environnement magmatique ouvert, les magmas contaminés ont formé la plus ancienne série magmatique calcique du complexe. La seconde et plus jeune série magmatique a produit (dans un environnement clos) des roches de plus en plus agpaïtique au cours de la différenciation. La mise en place progressive mais diachrone des intrusions s'est faite entre 11,7 (au sud) et 7,9 Ma (au nord). Enfin, le mode de construction de ce pluton en fait un exemple unique connu de laccolithe en contexte intraplaque océanique.

MOTS-CLÉS : plateau océanique, série sursaturée, syénite, point chaud

## ABSTRACT

The study of this alkaline plutonic complex was multidisciplinary, mixing field observations and measurements, ASM, petrography, mineralogy, geochemistry (major and traces), isotopic geochemistry Rb / Sr and Sm / Nd and geochronology U-Pb on zircons. The synthesis of the results shows the minor participation of several sources (metasomatised mantle and continental fragments) in addition to the predominant source which is the typical asthenospheric mantle of the Kerguelen plume. In a dynamic and open magmatic system, the contaminated magmas formed the oldest magmatic and calcic series of the complex. The second and younger magmatic series produced (in a closed environment) more and more agpaitic rocks during differentiation. The incremental emplacement of the intrusions occurred between 11.7 (in the south) and 7.9 Ma (in the north). Finally, the type of construction of this pluton makes it a unique known example of laccolith in oceanic within-plate settings.

KEYWORDS: oceanic plateau, over-saturated series, syenites, hot spot