



HAL
open science

Economie des matériaux lithiques en Corse pré- et protohistorique : dynamiques d'exploitations, circulation et diffusion de la rhyolite

Arthur Leck

► To cite this version:

Arthur Leck. Economie des matériaux lithiques en Corse pré- et protohistorique : dynamiques d'exploitations, circulation et diffusion de la rhyolite. Archéologie et Préhistoire. Université Michel de Montaigne - Bordeaux III, 2022. Français. NNT : 2022BOR30029 . tel-04009417

HAL Id: tel-04009417

<https://theses.hal.science/tel-04009417>

Submitted on 1 Mar 2023

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 Bordeaux Montaigne

École Doctorale Montaigne Humanités (ED 480)

THÈSE DE DOCTORAT EN SCIENCES ARCHÉOLOGIQUES

Économie des matériaux lithiques en Corse pré- et protohistorique

*Dynamiques d'exploitations, circulation et
diffusion de la rhyolite*

Volume 1

Présentée et soutenue publiquement le 08 février 2022 par

Arthur LECK

Sous la codirection de Rémy Chapoulie et François-Xavier Le Bourdonnec

Membres du jury

Adrian L. BURKE, Professeur, Université de Montréal

Carlo LUGLIÈ, Professeur, Université de Cagliari

Claire MANEN, Directrice de recherche, CNRS, TRACES UMR-5608

Hara PROCOPIOU, Professeure, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Nadia AMEZIANE-FEDERZONI, Chercheuse associée, TRACES UMR-5608

Kewin PECHE-QUILICHINI, Directeur de musée, Musée de l'Alta Rocca, ASM UMR-5140

Résumé

Les échanges et les mobilités des populations pré- et protohistoriques en Méditerranée occidentale sont étudiés depuis de nombreuses années, notamment entre la Corse, la Sardaigne et l'Italie continentale, en particulier grâce à l'analyse des artefacts en silex et en obsidienne. La circulation des groupes humains et des matières premières au sein de la Corse a cependant été peu étudiée alors qu'une roche volcanique, la rhyolite, a été exploitée et diffusée sur l'ensemble de l'île dès le début du Néolithique. Ce matériau a fait l'objet de peu d'études de provenance jusqu'à aujourd'hui, utilisant des méthodes d'analyses essentiellement macroscopiques.

Afin de rendre ce type d'étude plus efficace, nous avons donc développé une méthodologie analytique basée sur la géochimie des rhyolites, à l'image de ce qui existe depuis de nombreuses années pour les obsidiennes. Nous avons débuté la construction d'un référentiel géochimique des rhyolites corses. Notre protocole d'analyse nous permet d'étudier les artefacts de manière non destructive et de définir la provenance des matériaux utilisés par les populations néolithiques, avec parfois une grande précision géographique. Les résultats obtenus permettent également de comparer plus aisément les approvisionnements en rhyolite de différents sites et donc de mettre en évidence les spécificités de chaque occupation et les liens qui ont pu exister entre les sites.

La construction d'un référentiel s'approchant de l'exhaustivité s'inscrit sur le temps long et devra se poursuivre pendant de nombreuses années. Nous avons étudié cinq séries lithiques, ce qui nous a permis de mettre en évidence la grande mobilité des populations du Néolithique ancien, les liens qu'entretiennent certains groupes avec l'espace montagnard ou l'existence de réseaux de diffusion côtiers. Cependant, ce corpus de sites devra être augmenté pour obtenir des données comparables avec celles existant pour l'obsidienne et le silex ce qui permettra d'effectuer de véritables études de réseaux qui viendront nourrir notre connaissance des sociétés pré- et protohistoriques de Corse.

Mots-clés : Néolithique, Âge du bronze, Corse, Rhyolite, EDXRF, Étude de provenance, Matériau lithique, Géochimie.

Abstract

The exchanges and mobilities of pre- and protohistoric peoples in the western Mediterranean have been studied for many years, particularly between Corsica, Sardinia, and continental Italy, notably through the analysis of flint and obsidian artefacts. However, the circulation of human groups and raw materials within Corsica itself has been little studied, even though rhyolite, a local volcanic rock, was exploited and spread throughout the island from the beginning of the Neolithic. This raw material has been the focus of few provenance studies to date, and most essentially used macroscopic methods of analysis.

In order to make this type of study more efficient, we have developed an analytical methodology based on the geochemistry of rhyolites, similar to what has existed for many years for obsidian. We have started the construction of a geochemical database for Corsican rhyolites. Our analysis protocol allows us to study the artefacts non-destructively and to determine the origin of the materials used by the Neolithic communities, sometimes with great geographical precision. The results obtained also allow easier comparisons of rhyolite supplies at different sites and thus highlight the specificities of each occupation and the links that may have existed between them.

The construction of a repository approaching exhaustiveness is a long-term process and will have to be pursued in the future. We have studied five lithic assemblages, which has enabled us to highlight the high mobility of the Early Neolithic communities, the links that certain groups had with the mountain area, as well as the existence of coastal diffusion networks. However, this corpus of sites will have to be increased in order to obtain data comparable with those existing for obsidian and flint, which will allow us to carry out real network studies that will contribute to our knowledge of pre- and protohistoric societies in Corsica.

Keywords: Neolithic, Bronze Age, Corsica, Rhyolite, EDXRF, Provenance study, Lithic material, Geochemistry.

Riassuntu

I scambi e di mobilità di e popolazioni pre- è protostorichi di u Midditerraniu uccidintali sò studiati dapoi parechji anni, in particulari per a Corsica, a Sardegna è l'Italia cuntinentali, in per mezu di l'analisi di l'artefatti in silex è in ussidiana. A circulations di i gruppi umani è di e materie prime in Corsica hè, quantunqui, pocu studiata, mentri una roccia vulcanica, a riolite, hè stata sfruttata è distribuita in tutta l'isula da u principiu di u Neoliticu. 'Ssu materiali hè statu u sughjettu di pochi studii di provenienza sinu à oghji, utilizendu principarmenti metudi d'analisi macroscòpichi.

Per fà 'ssu tipu di studiu più efficaci, avemu dunque sviluppatu una metodulugia analitica centrata nantu à a geochimica di e rioliti, simile à ciò chì esiste dapoi parechji anni per l'ussidiana. Avemu principiatu cù a costruzioni di un catalogu geochimicu di e rioliti corse. U nosciu prutocolu d'analisi permette di studià l'artefatti in modu micca distruttivu è di definisce a provenienza di i materiali aduprati da e popolazioni di u Neoliticu, qualchì volta cù una precisione geografica ottima. I risultati ottenuti permettani ancu di paragonà più facilmente l'approvvighjamenti in riolite da diversi siti è dunque di mette in risaltu e specificità di ogni occupazioni è i ligami chì puderanu esiste trà i siti.

A costruzioni di un catalogu chì si voli esaurivu hè un prucessu longu è duverà cuntinuà per parechji anni. Avemu studiatu cinque serie litiche chì ci anu permessu di mette in risaltu l'importanti mobilità di e popolazioni di u Neoliticu anticu, i ligami chì certi gruppi mantenenu cù a zona muntagnosa o l'esistenza di reti di diffusioni custiera. Ma 'ssu corpus di siti duverà esse accrescitu per ottene dati paragonabili à quelli esistenti pè l'ussidiana è u silex, chì permetterà di fà veri studii di reti è chì alimentaranu a noscia cunniscenza di e sucetà pre- è protostorichi di a Corsica.

Parole chiavi: Neoliticu, Età di u Bronzu, Corsica, Riolite, EDXRF, Studiu di provenienza, Materiali liticu, Geochimica.

Remerciements

Ce travail de thèse a été mené au Centre de Recherche en Physique Appliquée à l'Archéologie (IRAMAT-CRPAA, UMR 5060, Univ. Bordeaux Montaigne) et a bénéficié de l'appui financier de l'Université Bordeaux Montaigne dont un PRSE a permis plusieurs déplacements sur le terrain en 2017, du Service Régional d'Archéologie de Corse qui a subventionné une prospection dans le Filosorma, du Labex Sciences Archéologiques de Bordeaux (LaScArBx, ANR-10-LABX-52) dont les fonds ont permis d'effectuer de nombreux déplacements, missions de terrain et colloques tout au long de ce travail ainsi que la région Aquitaine qui a largement participé à l'achat du spectromètre auquel je dois la majorité des résultats de cette thèse.

Cette recherche a été rendue possible par un contrat doctoral puis d'ATER accordé par l'École Doctorale Montaigne Humanité (ED 480) et l'Université Bordeaux Montaigne, grâce à une allocation du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. J'exprime donc ma profonde gratitude à l'École Doctorale, à son directeur Sandro Landi et au Conseil de l'ED de m'avoir accordé leur confiance.

Je remercie chaleureusement Adrian L. Burke et Carlo Lugliè d'avoir accepté de rapporter cette thèse. J'exprime également toute ma reconnaissance aux examinatrices Claire Manen et Hara Procopiou ainsi qu'à Nadia Ameziane-Federzoni et Kewin Peche-Quilichini d'avoir bien voulu lire, et évaluer ce travail.

Merci à Rémy Chapoulie qui a codirigé cette thèse, pour ses conseils et pour avoir toujours répondu présent lorsque j'ai eu besoin de son aide.

Je ne sais comment remercier François-Xavier Le Bourdonnec pour la codirection de ce travail, mais surtout pour avoir encadré mes recherches sur les rhyolites depuis le tout début, en première année de master en 2015. Je n'avais à l'époque aucune formation particulière en géologie, et encore moins en géochimie. Merci F.-X. de m'avoir accordé ta confiance, je te dois presque tout ce que j'ai pu apprendre sur les cailloux en général et les études de provenance de matériaux lithiques en particulier.

Je tiens à remercier tout particulièrement Nadia Ameziane-Federzoni d'avoir ouvert la voie des études de provenance de rhyolite en Corse et développé des recherches autour de l'exploitation et de la diffusion de ce matériau depuis de nombreuses années. C'est grâce à toi et aux échantillons que tu m'as confiés lorsque j'étais encore en Master que j'ai pu commencer à travailler sur la rhyolite. C'est encore grâce à toi que j'ai pu découvrir la vallée de l'Ascu et ce qu'était la prospection en Corse. Cette thèse et tout ce qu'elle contient, c'est en partie grâce à toi.

L'idée de ce sujet de thèse est certainement à mettre au crédit de Céline Bressy-Leandri, qui a depuis longtemps incité F.-X. Le Bourdonnec à tester l'utilisation des analyses géochimiques sur les rhyolites en Corse. Ce qu'il a toujours repoussé, certainement par instinct de conservation. Merci Céline pour cette idée. Merci aussi de m'avoir beaucoup aiguillé, notamment au début de ma thèse, vers les bonnes personnes, mais également vers les bonnes problématiques, dans ce monde de l'archéologie corse que je ne connaissais pas.

Je suis infiniment reconnaissant envers toutes les personnes qui m'ont donné des échantillons géologiques sans qui mon référentiel serait bien vide : Maxime Remicourt, Nadia Ameziane-Federzoni, Thomas Perrin, Sylvain Mazet, Jean-Michel Bontempi, Ghjasippina Giannesini.

Je remercie également de leur confiance les archéologues qui m'ont confié du matériel en rhyolite à analyser : Kewin Peche-Quilichini, Hélène Paolini-Saez, Thomas Perrin, André d'Anna, Pascal Tramoni, Henri Marchesi, Sylvain Mazet, Jean-Michel Bontempi, Nathalie Marini et Jean Sicurani par l'entremise de Lauriane Martinet. Je remercie tout spécialement Kewin, Hélène et Thomas avec qui j'ai eu la chance de fouiller pendant une ou plusieurs campagnes. Les nombreux échanges que nous avons pu avoir ont sans aucun doute considérablement contribué à cette thèse.

Ces cinq dernières années n'auraient pas été aussi agréables, drôles et enrichissantes sans toute ces personnes rencontrées sur les chantiers de fouilles et que j'ai eues beaucoup de plaisir à revoir plusieurs années de suites pour certains : Audrey, Annette, Sarah, Antoine, Céline, Thomas, Coralie, Clara, Annie, Sonia, Marie-Pauline, Jeanne, Pierre, Clément, Sofia, Lành, Mathilde, Lauriane, Chris, Xavier, Iacopo, Lisa, Renzo, Serena, Mélanie, Florian, Pauline, Margaux, Larry et Patrick, entre autres.

Je remercie particulièrement Thomas Terracol qui m'a accompagné durant plusieurs jours à travers le maquis du Filosorma, à la recherche de cailloux, sous un soleil de plomb. J'ai souvent eu chaud en Corse, mais rarement autant. Ta voiture n'a d'ailleurs pas supporté...

Je dois aussi beaucoup à Lauriane Martinet. Je te remercie de m'avoir permis d'analyser une partie des pièces que tu étudies et qui m'ont été particulièrement utiles. J'ai surtout apprécié nos discussions. Tu as été l'une des rares personnes avec qui j'ai pu régulièrement parler de lithique et d'archéologie en Corse et cela m'a beaucoup aidé.

J'ai également une pensée pour toute l'équipe du stage de technologie lithique de Jalès, notamment les chefs, Fred, Michel, Tony, Vincent et Jérémy, mais aussi Cécile, Julie, Valentin, Camille, Florine, Amal, Rémy, Claire, Amjad, Virginie, Élise, Valentin, Chloé, Mustafa et tous ceux que j'oublie. J'ai réussi à obtenir une Licence d'archéologie sans avoir un seul cours de technologie lithique, j'ai donc appris le peu que je sais essentiellement par la pratique, à Jalès.

J'ai vécu des moments très heureux dans ce lieu hors du temps, merci Fred.

J'ai passé beaucoup de temps au laboratoire durant ces cinq dernières années, entouré de physiciens, de chimistes et parfois même de médiévistes. Tous ces moments passés en fouille, en prospection, en stage de taille ont été une incroyable respiration. Toutes les discussions que j'ai pu avoir avec chacune des personnes que j'y ai rencontrées ont été de remarquables sources d'inspirations et de motivations.

J'ai eu la chance de bénéficier d'un environnement de travail de qualité au sein de l'IRAMAT-CRP2A. Je tiens à remercier la direction de ces cinq dernières années, Pierre Guibert, puis Philippe Lanos, directeurs de l'IRAMAT et Rémy Chapoulie, directeur du CRP2A de m'avoir accueilli au sein de leur équipe. Je remercie également l'ensemble des collègues du CRP2A, avec qui j'ai pu discuter, boire des cafés et travailler, parfois, en particulier Brigitte qui m'a aidé pour la préparation de mes échantillons, Yannick pour l'aide à l'utilisation du MEB et surtout son assistance au chevet de l'EDXRF dans les moments tragiques, Stéphan dont la collaboration m'a été indispensable pour le travail sur la diffraction, ainsi que Isabelle sans qui les mesures en RMN sur la rhyolite n'existeraient pas.

Je pense aussi à tous les doctorants et anciens-doctorants du labo, avec qui j'ai partagé de nombreux moments de joies, de désespoir, de stress, d'euphorie, mais aussi de (très) nombreuses pauses café et bières en terrasse. Je remercie donc pour la bonne ambiance : Laura, Nicolas, Alex, Brice, Emmie, Ninon, Hortense, Océane, Nicolas, Juliette, Tiffanie, Sri, Jean-Baptiste, Marie-Claire, Dante, Carole, Léna, Camille, Estelle.

Je remercie toute l'équipe d'AGLAE et particulièrement Claire Pacheco et Quentin Lemasson de m'avoir accueilli deux jours durant au C2RMF pour analyser en PIXE quelques échantillons de rhyolites corses. J'adresse également ma reconnaissance à Bernard Gratuze avec qui j'ai pu tester l'utilisation de la LA-ICP-MS à l'IRAMAT-CEB. Ces analyses mettant en œuvre des techniques que je n'avais pas l'habitude d'utiliser ont été déterminantes dans la mise en place de mon protocole d'analyse.

Je tiens à remercier les membres du comité de suivi de thèse qui, en portant un regard extérieur sur mon travail, m'ont aiguillé, recadré et accompagné durant ces cinq années de travail : Nadia Ameziane-Federzoni, Bernard Gratuze et Jean-Luc Schneider.

Je remercie également les membres du comité de suivi de secours, formé in extremis le dernier jour de dépôt des dossiers de dérogation à l'ED : Christelle Lahaye, Tiffanie Fourcade et Camille Frugier. Vous m'avez sauvé la mise tout en m'apportant des conseils précieux pour finir la rédaction.

Cette fin de thèse aurait été bien différente sans le projet MAPLA. J'ai pu découvrir qu'il existait autre chose que la rhyolite et la Corse. Un grand merci à Alain bien sûr, mais également à Vincent et Morgane, pour les cocotiers, la jungle, le rhum et le canoë. Cela aura été mon petit boost final et je l'espère aussi, le commencement d'une longue collaboration.

Mes compétences linguistiques étant limitées, les résumés de cette thèse doivent beaucoup à Marie Orange qui a révisé mon anglais parfois hasardeux et à Kewin Peche-Quilichini qui a corrigé mon corse parfaitement inexistant. Je vous remercie pour votre aide et votre incroyable réactivité.

Le doctorat a la fâcheuse tendance à prendre une place démesurée dans la vie, à déborder sur le soir et le week-end, à se déplacer en dehors du laboratoire, à occuper l'esprit, même à la maison ou pendant les vacances. C'est pourquoi j'adresse toute ma reconnaissance à mes amis, à ma famille et à ma belle-famille, pour leur soutien, leur intérêt et leurs encouragements durant toutes ces années. Je remercie tout particulièrement mes parents de m'avoir rendu curieux de tout et d'avoir permis que je poursuive de si loooongues études.

Toute ma gratitude va bien évidemment à Charline, toujours présente, (presque) toujours patiente. Un immense merci de subir au quotidien mon amour des vieux cailloux. Merci d'avoir suivi de près cette thèse, avec ses hauts et ses bas. Merci pour les gâteaux, constante source de réconfort. Merci pour les jours et les jours passés à mettre en page ce document. Cette thèse n'aurait jamais pu se faire sans toi. Merci d'être là.

Enfin, je ne remercie pas Hitachi, ses productions et son organisation, qui à force d'attaques répétées auraient pu finir par me couter la vie, ou pire, la thèse !

Sommaire

Résumés	1
Remerciements	5
Sommaire	11
Introduction	15
Partie 1 - État des connaissances	21
1. La rhyolite	23
a. Définitions	23
i. Définition géologique	23
ii. Définition archéologique historique	26
iii. Proposition de définition	27
b. Où sont les rhyolites en Corse? Cadre géologique et géographique.....	28
i. Géologie de la Corse	28
ii. Géographie de la Corse	32
2. Archéologie préhistorique en Corse	35
a. Une présence humaine au pléistocène ?	35
b. Mésolithique	35
c. Néolithique	36
i. Néolithique ancien (≈5700–5000 av. n.è.)	37
ii. Néolithique moyen (≈5000–4000 av. n.è.)	38
iii. Néolithique récent (≈4000–3000 av. n.è.)	39
iv. Néolithique final – Chalcolithique (≈3000–2000 av. n.è.)	40
d. Les âges des métaux	40
i. Le Bronze ancien (≈2000–1600 av. n.è.)	40
ii. Le Bronze moyen (≈1600–1200 av. n.è.)	41
iii. Le Bronze final (≈1200–800 av. n.è.)	41
iv. Le premier âge du fer (≈800–550 av. n.è.)	42
v. Le second âge du fer (≈550–250 av. n.è.)	42
e. Conclusion	42
3. Provenance et circulation des rhyolites	44
a. État de la recherche en Corse	44
b. Quelles sont les méthodes mises en œuvre pour retrouver l'origine d'artefacts en rhyolite en dehors de la Corse ?	49
i. Analyses macroscopiques et minéralogiques	51
ii. Analyses élémentaires	53
c. En résumé	62

Partie 2 - Méthodologie	65
1. Méthodologie analytique	67
a. Les différentes méthodes testées	68
i. Pétrographie	68
ii. La diffraction de rayons X	71
iii. LA-ICP-MS	74
iv. RMN	77
v. MEB-EDS	81
vi. PIXE	84
vii. EDXRF	89
viii L'EDXRF, méthode privilégiée pour l'analyse des artefacts en rhyolite	93
b. Protocole EDXRF	93
c. Stratégie analytique mise en place	101
i. Analyse EDXRF exhaustive	101
ii. Attribution visuelle	101
iii. ACP et groupes de compositions	103
iv. Aller-retour macroscopique-géochimique	103
v. Comparaison avec le référentiel géologique	103
vi. Comparaison avec les séries déjà étudiées	104
vii. Cortex, qualité du matériau et type de production	104
viii. Provenance et liens entre sites	105
d. Traitements statistiques et représentation graphique	105
2. Référentiel géologique	108
a. Échantillonnage	108
b. Gisements identifiés	110
i. Le massif du Cintu	110
a. La Melaja	111
b. Haute-vallée d'Ascu	111
c. La vallée du Fangu	113
ii. Les filons du centre-Corse	117
a. Monte d'Oro	117
b. Le plateau d'Alzu	117
c. Le filon des Castelli	118
iii. Les filons du Sud	119
a. Filon de Pastini	119
b. Filon de Roccapina	120
c. Filon de Sotta	120
d. La basse-vallée du Taravu	121
e. Filons de Linarellu	122
f. Filon de Bastelicaccia	123
iv. Région de Porto-Vecchio	124

v. Fleuves, rivières, plages	124
c. Les zones à prospector	129
d. Référentiel géochimique	130
Partie 3 - Application au matériel archéologique	135
1. Résultats de l'analyse des séries lithiques	137
a. Monti Barbatu	139
i. Présentation	139
ii. Résultats des analyses	143
iii. Conclusion	151
b. Basi	154
i. Présentation	155
ii. Résultats des analyses	157
iii. Conclusion	165
c. I Casteddi	169
i. Présentation	169
ii. Résultats des analyses	170
iii. Conclusion	178
d. Renaghju	180
i. Présentation	180
ii. Résultats des analyses	183
iii. Conclusion	190
e. Abri des Castelli	193
i. Présentation	193
ii. Résultats des analyses	195
iii. Conclusion	198
f. A Petra	199
i. Présentation	199
ii. Résultats des analyses	199
iii. Conclusion	201
2. Implications archéologiques et méthodologiques	203
a. Relations Nord-Sud	203
b. Mobilité des populations du Néolithique ancien	205
c. Perduration aux âges de métaux	206
d. Retour critique sur la méthodologie mise en place	207
Conclusion	211
Bibliographie	217
Liste des figures	233
Liste des tableaux	245

Introduction

La Corse est un territoire pauvre en matières premières lithiques offrant de bonnes aptitudes à la taille. C'est pourquoi durant tout le Néolithique une grande partie des matériaux utilisés par les Hommes pour la fabrication de leurs outils est importée de Sardaigne où l'on trouve des silex de bonne qualité ainsi que de l'obsidienne, un verre volcanique très apprécié des artisans de la préhistoire (Bressy et al., 2008, Bressy-Leandri, 2016, Tykot, 1997, Orange et al., 2018). En complément de ces ressources exogènes, dans de nombreux sites archéologiques un matériau local, la rhyolite, constitue néanmoins une part importante des séries lithiques (Weiss, 2007, Martinet et al., 2019). Cette roche d'origine volcanique est très riche en silice, que l'on retrouve principalement sous la forme de micro-quartz au sein du matériau, et peut donc présenter des tranchants très affûtés. La rhyolite est une roche très courante en Corse, mais les gisements fournissant des roches d'une qualité adaptée à la taille sont relativement peu nombreux, souvent situés en haute-altitude, dans des régions difficilement accessibles et dont la connaissance des sites archéologiques demeure lacunaire. On retrouve aussi de très nombreux gisements de rhyolites, généralement de moins bonne qualité mais bien plus faciles d'accès, sous la forme de filons traversant le batholite de granite ou au sein des rivières descendant des montagnes. En fonction des contextes, les rhyolites mises au jour dans les sites archéologiques peuvent aussi bien provenir de ces gisements proches que de régions éloignées de plusieurs dizaines de kilomètres.

Alors que le silex et l'obsidienne, matériaux lithiques allochtones, ont fait l'objet de nombreuses études, depuis plusieurs décennies, la rhyolite n'a pour le moment suscité que de très peu d'attention puisqu'une seule étude d'envergure n'avait jusqu'ici été menée, dans le nord de l'île (Ameziane-Federzoni, 2011). La diffusion à l'échelle locale ou régionale d'une partie de ces matériaux en fait pourtant un objet d'étude incontournable pour mieux comprendre les mobilités et les échanges intra-île au cours de la préhistoire récente.

Nous avons pu montrer lors d'une étude préliminaire conduite à l'IRAMAT-CRP2A que la géochimie était une approche efficace présentant un fort potentiel pour retracer la provenance de ce matériau, depuis les sites archéologiques jusqu'aux sources primaires (Leck et al., 2018). Nous avons donc entrepris dans ce travail de développer un protocole d'analyse géochimique strictement non destructif, adapté à l'étude de matériel archéologique ainsi qu'aux spécificités des rhyolites corses, notamment leur grande hétérogénéité inter et intra-source. Nous avons eu l'occasion de tester plusieurs méthodes analytiques (LA-ICP-MS, PIXE, SEM-EDS, DRX, Pétrographie, RMN, EDXRF). Cela nous a permis dans un premier temps de bien connaître notre matériau. Nous avons ensuite pu définir les avantages et les limites de chaque méthode et construire une stratégie analytique qui s'appuie principalement sur l'utilisation de l'EDXRF. Comme pour toute étude de provenance, la construction d'un référentiel fut une étape essentielle. De nombreux gisements de rhyolite étaient déjà connus en Corse (Mazet et al., 2016, Remicourt et Piboule, 2014, Costa et al., 2002, Ameziane-Federzoni, 2011, Ameziane-Federzoni et al., 2014) et nous avons poursuivi ce travail de terrain afin d'en découvrir de nouveaux. Le référentiel géochimique que nous avons construit comprend ces gisements nouvellement

découverts, mais également des échantillons de nombreux autres déjà échantillonnés par des archéologues.

Nous avons ensuite appliqué cette approche à l'étude de séries lithiques mises au jour sur des sites souvent en cours de fouille. Nous avons pu appliquer cette méthodologie à six assemblages lithiques en rhyolites des sites de Monti Barbatu (Olmeto, Corse-du-Sud), Basi (Serradi-Ferro, Corse-du-Sud), I Casteddi (Tavera, Corse-du-Sud), Renaghju (Sartène, Corse-du-Sud), I Castelli (Corte, Haute-Corse). Nous avons également entamé l'analyse de plusieurs autres séries dont les résultats sont encore trop partiels pour être présentés.

Partie 1 - État des connaissances

1. La rhyolite

a. Définition

Il est essentiel, comme lors de toute recherche, de définir précisément notre objet d'étude. Cependant, notre travail étant à la convergence de plusieurs disciplines, nous retrouvons plusieurs définitions de la rhyolite, en fonction de la discipline, de l'échelle d'observation, des méthodes d'analyses, ou même de la zone géographique qui nous intéresse.

i. Définitions géologiques

La rhyolite est la roche magmatique effusive la plus acide, très riche en silice ($\text{SiO}_2 > 70\%$), de teinte grise à rosée ou rouge dans les faciès paléovolcaniques. Comme dans toute roche volcanique, on ne distingue à l'œil nu que les phénocristaux, automorphes, cristallisés en profondeur, dans la chambre magmatique. Le reste de la roche est composé de microlites, beaucoup plus petits que les phénocristaux, le plus souvent en forme de baguettes et cristallisés tardivement, au cours de la remontée du magma, ainsi que de verre interstitiel figé lors d'un refroidissement rapide (Bardintzeff, 2011). La rhyolite est généralement riche en verre, à microlithes et phénocristaux rares : des quartz souvent bipyramidés et corrodés, des feldspaths surtout alcalins, ainsi que quelques amphiboles, biotites (parfois altérées en chlorite), micas et pyroxènes. La matrice (ou mésostase) de la rhyolite est aphanitique, à granulométrie fine à très fine. Dans certains cas, les minéraux sont si peu exprimés que seules des analyses chimiques permettent de classer la roche en tant que rhyolite (Foucault et al., 2014). Comme pour la plupart des roches magmatiques, la détermination de la composition en éléments majeurs suffit à classer la roche, mais il est nécessaire de déterminer la composition en éléments mineurs et traces (et parfois même certains isotopes) pour différencier les affinités génétiques (Bardintzeff, 2011).

Macroscopiquement, les rhyolites peuvent être très nuancées. Dans les coulées rhyolitiques, on observe souvent différentes bandes dont la couleur et la texture peuvent varier. Ces variations sont dues à des vitesses de refroidissement différentes ou à plusieurs différenciations à l'intérieur d'une même chambre magmatique. Il existe par exemple une dizaine de faciès différents au sein d'une même « source » de rhyolite dans la carrière de Sedillo Hill au Nouveau-Mexique (Dello-Russo, 2004). La rhyolite se présente souvent avec une texture porphyrique et une structure fluidale, avec plus ou moins de sphérolites formés lors de la dévitrification. Elle peut prendre des teintes grises à rosées, voire rouges lorsqu'il y a eu rubéfaction avec formation d'hématite (Foucault et al., 2014). La rhyolite, lorsqu'elle a été soumise à des conditions particulières lors du refroidissement de la roche, peut être entièrement vitrifiée, elle est alors désignée sous le terme d'obsidienne. Dans le cas de volcanisme explosif, le magma rhyolitique

est chargé en gaz et expulsé violemment, créant ainsi des pyroclastes, comme la pierre ponce, ou des tufs volcaniques lorsqu'il y a accumulation de grandes quantités de roches et/ou de cendres.

La rhyolite se forme le plus souvent au niveau des zones de subduction où elle y est relativement abondante mais elle peut également se former plus rarement à l'intérieur des continents. La genèse de la rhyolite est souvent liée à une différenciation à partir d'un magma basaltique (cristallisation fractionnée, contamination, convection thermique).

Classiquement, ce type de roche se forme par cristallisation fractionnée d'un magma calco-alcalin typique des zones de subduction océan-continent, pauvre en alcalin mais relativement riche en silice. Lors de la remontée du magma et du lent refroidissement qui en résulte, les premiers minéraux à se former seront riches en fer et magnésium, mais très peu en silice. Avec le temps, le magma se charge donc en silice et les laves expulsées de la chambre magmatique sont de plus en plus acides. Le cycle se finit lorsque le magma, saturé en silice, est trop visqueux pour permettre une nouvelle éruption (Bonin et Moyen, 2011). Les roches ainsi formées sont donc communément, pour les séries calco-alcaline, des basaltes suivis d'andésite, puis de dacites et enfin de rhyolites. Les séries tholéitiques, caractéristiques des dorsales volcaniques, produisent surtout des roches peu différenciées comme les basaltes mais peuvent donner ponctuellement des rhyolites. Les autres séries magmatiques (alcalines et hyper-alcalines) ne produisent presque jamais de roches aussi acides.

Les rhyolites peuvent aussi avoir pour origine la contamination, due à la fusion partielle de roches crustales, d'un magma basique par un encaissant plus acide, typiquement un pluton granitique, très riche en silice et très visqueux (Bonin et Moyen, 2011). Cette grande viscosité empêche souvent le magma d'érupter, le refroidissement est alors lent ce qui engendre des rhyolites porphyriques, à larges phénocristaux.

On peut aussi retrouver la rhyolite en blocs dans les ignimbrites (tufs volcaniques composés de cendres et de pyroclastes compactés). En effet la viscosité du magma rhyolitique est souvent à l'origine de volcanismes explosifs, ainsi une grande partie des roches pyroclastiques (comme les pierres ponces) sont de composition rhyolitique. De plus, l'altération de la rhyolite est un phénomène généralement assez lent, sauf pour les formes vitreuses et donc instables par nature. En effet, les principaux minéraux que sont la sanidine et surtout le quartz résistent relativement bien à l'altération. On en retrouve donc aujourd'hui de nombreux gisements sur une grande partie du globe. À titre d'exemple, on retrouve en France des rhyolites dans une grande partie des régions dont la géologie n'est pas sédimentaire, entre autres dans le Massif central bien sûr, dont le volcanisme est récent, mais également en marge du Massif armoricain en Vendée, ainsi que dans les Vosges, les Pyrénées, le massif de l'Estérel dans le Var et bien sûr en Corse.

Caractériser et identifier les rhyolites :

On peut donc identifier une rhyolite par son processus de formation (i.e. le terme ultime de la différenciation d'un magma sub-alkalin) mais cette information ne nous est presque jamais accessible.

Il faut alors observer la composition minéralogique de la roche afin de l'identifier. La méthode traditionnellement utilisée est la pétrographie qui consiste à observer au microscope de fines tranches de roches (environ 30µm d'épaisseur) en lumière naturelle ou polarisée afin d'identifier les minéraux qui la composent. Les minéraux caractéristiques d'une rhyolite seront le quartz, les feldspaths alcalins et quelques minéraux accessoires, entourés d'une matrice cryptocristalline composée de verre et/ou de très petits minéraux de quartz et de feldspath. Les proportions des différents minéraux pourront permettre d'identifier la nature de la roche, suivant une classification comme celle de Streckeisen (Fig. 1).

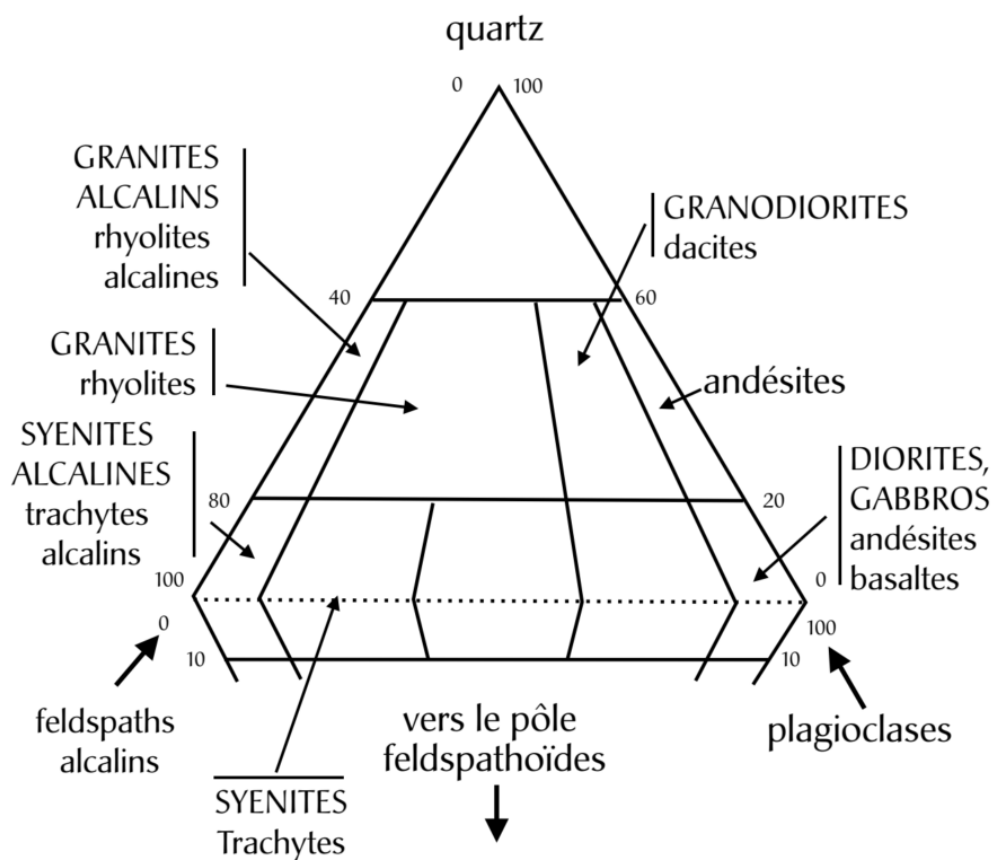


Figure 001 : Diagramme de Streckeisen, d'après Beaux et al. 2019.

Cependant les rhyolites, comme la plupart des roches volcaniques, se composent fréquemment de minéraux trop petits pour être bien observés en pétrographie. On peut alors identifier la roche grâce à sa composition chimique (Fig. 2). Il faut dans ce cas utiliser d'autres méthodes d'analyses faisant appel à des spectromètres. On identifiera la roche volcanique par sa concentration en silice, sodium et potassium, notamment à l'aide de la classification TAS (Total Alkali Silica).

Na₂O + K₂O (wt%)

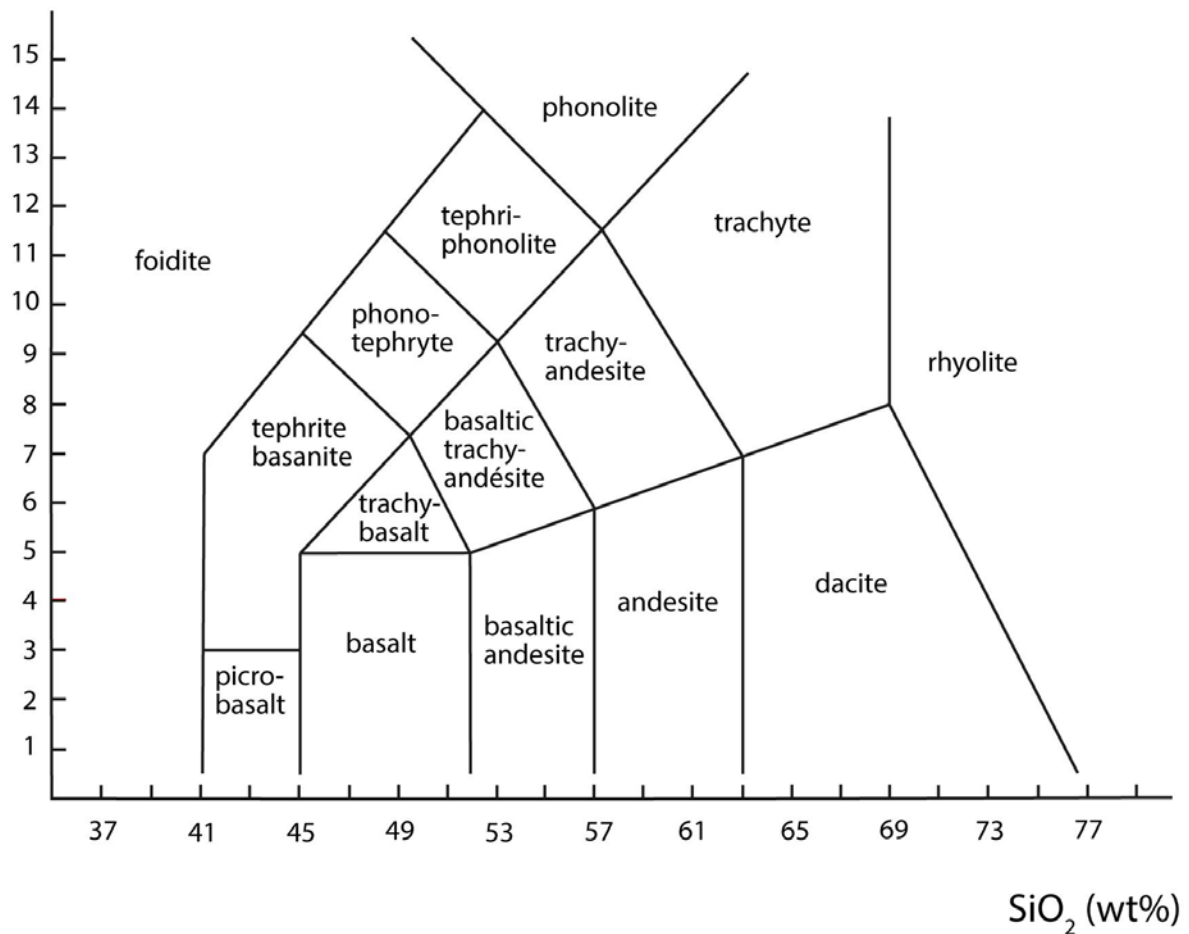


Figure 002 : Classification TAS des roches volcaniques (d'après Le Bas et al., 1986).

ii. Définition archéologique historique

Les archéologues n'ont que rarement une formation en géologie. De plus, la plupart des techniques permettant d'identifier la nature des roches ne sont pas applicables sur leurs artefacts ou bien leurs sont difficiles d'accès. Le terme rhyolite est donc souvent employé en archéologie, et notamment en Corse, pour désigner des roches utilisées pour fabriquer des outils tranchants mais ne ressemblant ni à du silex, de l'obsidienne ou du quartz, qui sont des roches plus couramment utilisées, et que la plupart des archéologues reconnaissent facilement.

Le terme pétro-silex ou petrosilex, qui semblait désigner il y a longtemps les roches à texture porphyrique, fut utilisé dès le XIX^{ème} siècle (Mattei, 1879) pour désigner les roches siliceuses à texture fine, rhyolites et jaspes confondus, que l'on trouve en Corse. À noter qu'il désigne déjà des roches provenant de gisements redécouverts plus d'un siècle plus tard à Stagnu et San Colombano. Ce terme est ensuite repris par les archéologues du XX^{ème} siècle (Passemard, 1925 ; Grosjean, 1963, parmi beaucoup d'autres). Ce terme désuet à la définition très vague a longtemps été utilisé par les archéologues en Corse, certainement par habitude, mais aussi

probablement parce qu'il permettait de nommer des roches qui sont souvent compliquées à identifier à cause de leur texture très fine. Il n'est définitivement abandonné que tardivement, au cours des années 1990 où des termes géologiques plus précis sont adoptés par tous les archéologues. Ils permettent de différencier enfin les rhyolites des jaspes, radiolarites, et autres silicites, tant qu'une identification à l'œil nu le permet bien sûr, ce qui n'est pas toujours le cas. Cependant la rhyolite des archéologues en Corse revêt une définition plus large que celle communément admise par les géologues. Toute roche présumée locale et d'origine magmatique ayant été utilisée au Mésolithique ou au Néolithique en Corse pour confectionner des outils tranchants ou perçants est dénommée rhyolite.

iii. Proposition de définition

Nous avons fait le choix, parce que notre travail s'adresse en premier lieu aux personnes s'intéressant à l'archéologie en Corse et par souci de simplicité, de clarté et de continuité, de conserver cette définition. Nous pourrions cependant y adjoindre quelques précisions d'ordre géochimique, puisque c'est sur cet aspect en particulier que nous avons porté notre attention, et ne nommer "rhyolite " que les roches dont la concentration en silice est supérieure à 68%, teneur minimale communément admise pour les rhyolites. Mais il semble que les hommes et les femmes qui ont utilisé ces roches à la préhistoire en Corse n'aient sélectionné que des matériaux respectant cette contrainte, de compositions rhyolitiques. Seulement quelques artefacts que nous avons analysés (<1% du total) contiennent légèrement moins de silice, souvent en lien avec une altération de surface des échantillons.

Nous désignerons donc dans ce travail toute roche magmatique trouvée en Corse dont la texture est suffisamment fine pour avoir été taillée afin de confectionner des outils tranchants et perçants comme une rhyolite. Cela peut recouvrir des rhyolites véritables bien sûr, mais également des roches filoniennes sub-volcaniques ou plutoniques, comme les microgranites, ayant cristallisées rapidement mais en profondeur, ainsi que des tufs volcaniques silicifiés, des ignimbrites ou même des méta-brèches resilicifiées. La plupart du temps, la différenciation entre ces différents types de roche ne peut s'effectuer que par l'observation au microscope pétrographique, ce que nous n'avons pas pris le temps de faire systématiquement bien entendu, puisque ces considérations d'ordre géologiques ne constituent en effet pas le cœur de notre réflexion.

b. Où sont les rhyolites en Corse? Cadre géologique et géographique

i. Géologie de la Corse

Ères	Systèmes	Époques	Phénomènes remarquables	Âges (en Ma)
Quaternaire		Holocène	Présence de l'Homme	0,01
		Pléistocène	- Ruptures des liaisons avec la Sardaigne - 3 épisodes glaciaires ont laissé des traces - Possibilité de liaisons momentanées avec l'Italie	2
Tertiaire	Néogène	Pliocène	Dernière transgression marine de faible amplitude	6
		Miocène	- Séries de transgressions et régressions marines - Mise en place progressive du relief actuel	25
	Nummulitique	Oligocène	Séparation avec le continent ?	37
		Éocène		
		Paléocène		65
Secondaire	Crétacé	Supérieur	Une phase de métamorphisme des ophiolites et des schistes lustrés	100
		Inférieur		
	Jurassique	Malm	Formation des ophiolites et dépôts des sédiments des futurs schistes lustrés	
		Dogger		
		Lias		
	Trias	Supérieur	Dernières phases magmatiques (mise en place de la majeure partie du système filonien)	
		Moyen		
Inférieur		200		
Primaire	Permien		- Granites alcalins et hyperalcalins - Mise en place de certaines roches volcaniques du Nord-Ouest	230
	Carbonifère		Mise en place de la majeure partie des granites	260
	Dévonien			290
	Silurien		Premiers terrains fossilifères de l'île	
	Ordovicien			
	Cambrien			435
Précambrien			Les plus anciennes roches de l'île ?	570
				1000

Tab 001 - Chronologie géologique de la Corse, modifié d'après Cesari et al. (2016).

La longue et complexe histoire géologique de la Corse explique la grande diversité des rhyolites que l'on y retrouve, mais aussi l'absence d'autres matériaux bien adaptés à taille comme le silex ou l'obsidienne. Elle est également à l'origine de la variété des paysages et des écosystèmes que l'on trouve sur l'île.

On distingue généralement trois grandes unités géologiques : la Corse hercynienne, la Corse alpine et les bassins Miocène (Fig. 3).

La Corse hercynienne est la partie la plus ancienne et caractérise les deux tiers sud de l'île. Elle est constituée très majoritairement de granite. On retrouve quelques discrets lambeaux des roches préexistantes à la mise en place de ces granites dans la région de Galéria : calcaires, grès et lydienes de l'Ordovicien et du Silurien. La période suivante, le Carbonifère, voit le début d'une intense et longue activité magmatique qui aboutira à la mise en place du batholite de granite. D'après les travaux de B. Bonin (1980), J.-B. Orsini (1980), P. Rossi (1986), P.-J. Vellutini (1977) résumé dans Orsini et al. (2010), cet immense batholite apparaît comme un ensemble composite au sein duquel on peut distinguer trois grands ensembles qui se sont succédés chronologiquement durant le Carbonifère puis le Permien :

- L'association magmatique plutonique calco-alkaline magnésio-potassique (U1).
- L'association magmatique volcano-plutonique calco-alkaline (U2) composée de plutons monzogranodioritiques et de volcanites (andésites-ignimbrites) puis d'un plutonisme leucomonzogranitique.
- L'association magmatique volcano-plutonique d'affinité alcaline à hyperalkaline (U3)
- La mise en place d'un important complexe filonien vient clôturer ce cycle magmatique.

Tous ces évènements ont produit des roches acides, mais elles sont pour la plupart très grenues (des granites) et impropres à la fabrication d'objets tranchants. Seule une petite partie de ces roches ont connu des conditions de formations favorables à la création de rhyolites (microgrenues à aphyriques), c'est-à-dire un refroidissement suffisamment rapide pour empêcher le développement de larges cristaux. Ces rhyolites se retrouvent uniquement dans les volcanites des associations U2 et U3 et dans les filons qui viennent combler les failles du batholite.

Une vingtaine de complexes annulaires ce sont mis en place dans le batholite (Caron et Bonin, 1980), pour la plupart durant le permien autour de 250 Ma. Ils sont aujourd'hui en grande partie érodés et l'on ne les identifie souvent que par la présence de filons radiaires ou annulaires remplis de volcanites ainsi que par l'appareil filonien nourricier. On y trouve donc des roches ayant subi un refroidissement relativement rapide et donc potentiellement assez fines pour avoir été utilisées par les populations préhistoriques. Ces complexes annulaires sont répartis sur l'ensemble de la Corse hercynienne.

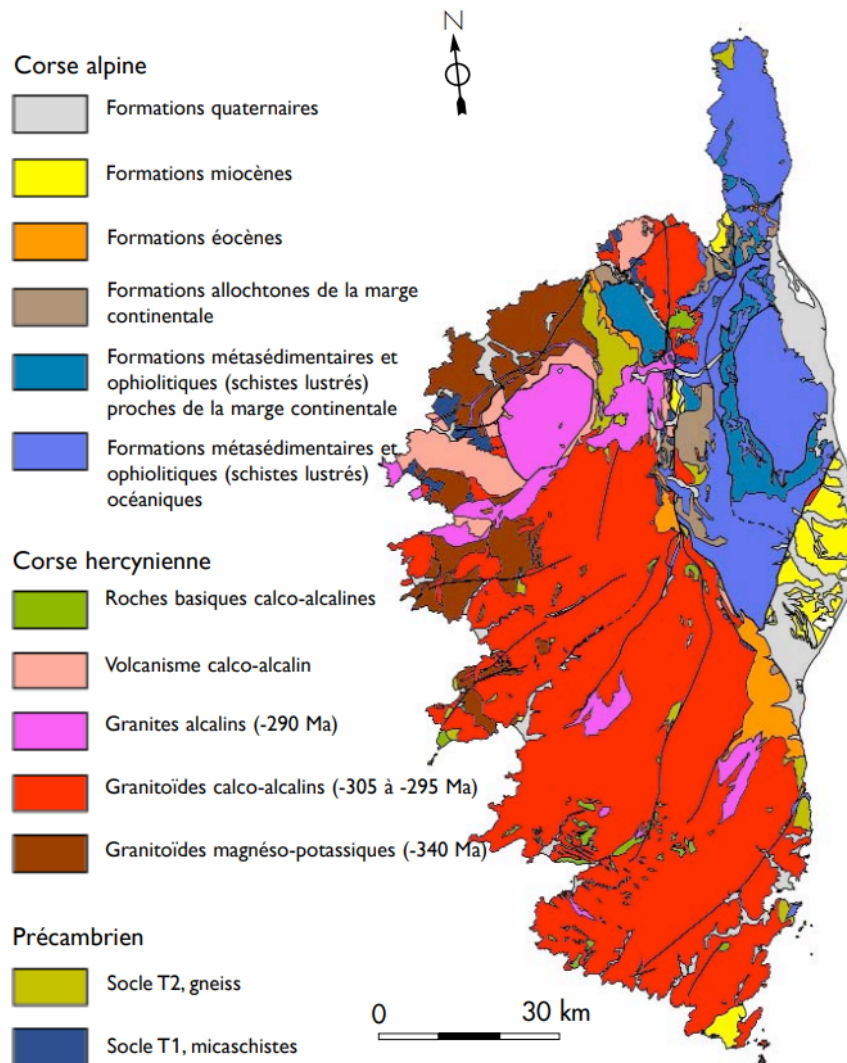


Figure 003 : Carte géologique simplifiée de la Corse (dans Ferrandini et al., 2009, d'après Rossi, 2000).

Le plus important complexe annulaire est celui du Monte Cintu (Vellutini, 1977 ; Vellutini et al., 1996), dans le nord-ouest de l'île. Il occupe une surface d'environ 250km², grossièrement elliptique, entre la Balagne au nord, le Niolu au sud, le village d'Ascu à l'est et Montestremu à l'ouest. Cette structure est essentiellement occupée par des formations volcaniques, presque exclusivement acides. On peut distinguer trois unités stratigraphiques majeures (Vellutini, 1977 ; Mercury et al. 1994) : les pyroclastites inférieures de Giunte qui forment les dépôts éruptifs les plus anciens, les ignimbrites qui constituent les formations médianes et les pyroclastites supérieures de la Muvrella formants les dépôts les plus récents. On retrouve également des filons post-caldeira liés à l'association magmatique hyper-alkaline U3. La caldeira est aujourd'hui très largement érodée et l'ensemble de ces formations sont visibles dans les différentes vallées creusées dans le massif volcanique, à l'exception notable des pyroclastites supérieures qui affleurent uniquement sur quelques-uns des sommets du centre de la caldeira. Cette région est certainement la plus riche en rhyolite de qualité adaptée pour la taille. De plus, une grande partie de ces roches présentent des caractères facilement identifiables à l'œil nu permettant de les rattacher au volcanisme permo-carbonifère que l'on ne retrouve que dans le massif du Cintu. Leur circulation dans les différents sites néolithiques de Corse a donc

été identifiées précocement. C'est en partie pour ces raisons que le travail de N. Ameziane-Federzoni s'est porté en priorité sur les rhyolites en provenance de cette région. Les questions concernant la géologie de cet ensemble et son importance archéologique sont donc traitées de manière plus détaillée et approfondies dans sa thèse portant sur les approvisionnements et les diffusions des rhyolites dans le nord de la Corse (Ameziane-Federzoni, 2011).

La mise en place de cette Corse hercynienne, granitique et volcanique, prend fin avec l'ère primaire. A cette époque la Corse et la Sardaigne ne sont pas encore des îles et sont accolées au continent au niveau de ce qui deviendra les Pyrénées au sud et le Massif de l'Estérel au nord. L'orogénèse alpine au début de l'ère tertiaire va venir bouleverser la géologie et la géographie de cet ensemble. Le bloc corso-sarde c'est alors détaché du continent tout en effectuant une lente rotation d'une trentaine de degrés (Fig. 4). Durant cette étape, les roches sous-marines qui bordaient les côtes à l'est de ce bloc sont soulevées et métamorphosées. Elles constituent aujourd'hui l'ensemble des roches que l'on trouve dans la Corse dite « alpine » dans le tiers nord-est de l'île : schistes lustrés et ophiolites notamment. Ces roches ne semblent pas contenir de matériaux intéressants pour la taille bien que quelques accidents siliceux soient mentionnés en contact avec les ophiolites, en particulier des jaspes. Ils n'ont pour le moment pas été repérés transformés en objets dans les sites archéologiques. C'est cependant dans cette région que l'on retrouve nombre de matériaux métamorphiques utilisés par les populations préhistoriques pour la fabrication de haches polies (Colonna, 2016) et peut-être d'autres objets comme des bracelets, des brassards d'archers ou même des vases en pierre.

La surrection causée par l'orogénèse alpine n'a pas seulement mis à nu ces roches d'origine sous-marines, elle a également permis de soulever le batholite de granite, rajeunissant un massif très largement érodé. C'est pourquoi on retrouve aujourd'hui en Corse des montagnes d'aspect jeune, dépassant régulièrement les 2000 mètres d'altitudes mais dont la plupart des roches se sont mises en place au permo-carbonifère.

Un nouvel épisode volcanique a ensuite lieu au cours du Miocène, dont on retrouve les volcanites notamment en Sardaigne et au large des côtes du sud-ouest de la Corse. Quelques très rares affleurements sont visibles en Corse, dans la région entre Bonifacio et Porto-Vecchio (Ottaviani-Spella et al., 2001). Il s'agit de tufs cendreux dont certains sont de compositions rhyolitiques. Ces roches sont certainement tout juste antérieures à la mise en place des calcaires que l'on retrouve actuellement à l'extrême sud de l'île et forment les paysages de falaises caractéristiques de la région de Bonifacio. On retrouve ces roches sédimentaires Miocène également au nord de Corte et dans le Nebbio dans le nord de l'île.

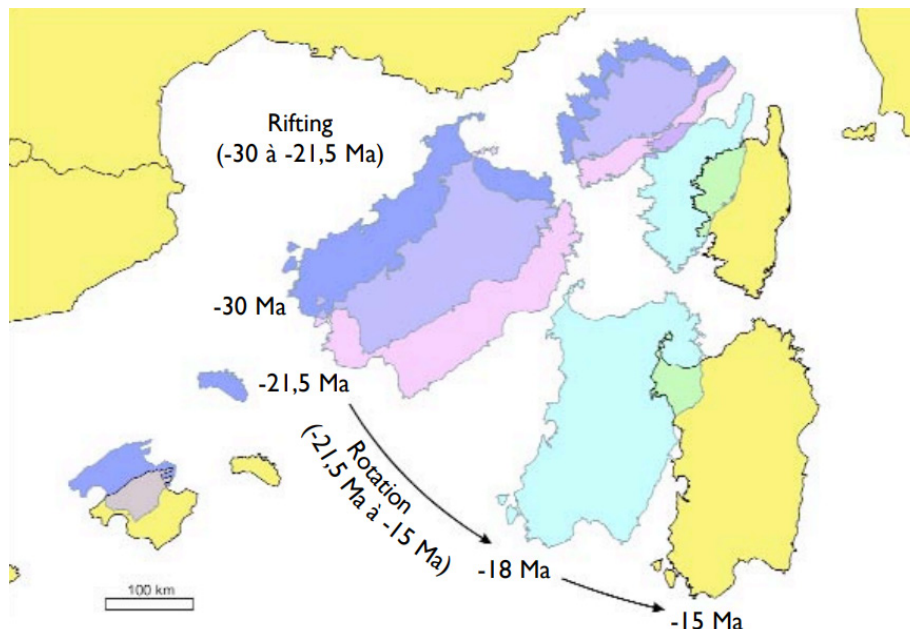


Figure 004 : Représentation schématique de la rotation du bloc Corso-Sarde entre 30 et 18 Ma (Ferrandini et al., 2009, d'après Gattaccecca et al., 2007).

Enfin, le Quaternaire, plus récent, a vu la mise en place de quelques dépôts marins et alluviaux ainsi que des formations glacières et fluvio-glacières en altitude (Caron et Bonin, 1980).

L'évolution géologique de la Corse est donc relativement lente et composite. De nombreux évènements ont donné naissance à des roches acides à travers toute la Corse hercynienne qui représente aujourd'hui les deux tiers de la surface de l'île. Cette complexité géologique implique donc l'existence d'un grand nombre de gisements potentiellement utilisables par les populations préhistoriques pour fabriquer des outils tranchants. Cependant cela induit également une très grande diversité de ces matériaux, tant sur le plan lithologique, pétrologique que géochimique. Sans oublier que ces matériaux, mis en place il y a fort longtemps, ont pour la plupart subi des phénomènes d'altérations, de métamorphisme ou de silicifications secondaires. Toutes ces roches possèdent donc des caractéristiques bien particulières qui permettent de les différencier de leurs semblables et constituent donc potentiellement un matériau de choix pour conduire des études de provenances.

ii. Géographie de la Corse

Cette succession d'évènements, orogénèse hercynienne, érosion, orogénèse alpine, séparation avec le continent puis soulèvement de l'ancien batholite et rajeunissement des reliefs, a conduit à la mise en place d'une géographie très particulière.

La Corse est aujourd'hui une île d'environ 8700km², la quatrième par sa superficie mais la plus montagneuse des grandes îles de Méditerranée. Plus de la moitié de son territoire dépasse en effet les 400 mètres d'altitude et presque un cinquième des terrains se déploie au-delà des

mille mètres. L'île s'étend sur 184km du nord au sud pour seulement 84km au maximum de sa largeur. Les plus hauts sommets, dont la plupart dépassent les 2000 mètres, s'étirent au centre de l'île sur un axe nord-sud, formant une barrière rocheuse délimitant deux ensembles, encore aujourd'hui matérialisés par le découpage administratif départemental.

La côte est de la Corse n'est qu'à 82km de la Toscane et de nombreuses îles comme l'île d'Elbe ou Pianosa facilitent le passage entre la Corse et le continent. Au sud, la Sardaigne n'est qu'à 13km et ici encore de nombreuses îles disséminées dans les bouches de Bonifacio permettent de faciliter le passage (Fig. 5).

La Corse est donc une grande masse montagneuse s'élevant au-dessus de la mer. Ce relief est propice à la formation de nuages et l'île est ainsi l'une des régions les plus arrosées de Méditerranée. Ces fortes précipitations ont façonné des reliefs très accidentés en creusant de profondes vallées qui s'étirent plus ou moins perpendiculairement à la chaîne de montagnes qui parcourt le centre de l'île du nord au sud.

L'influence simultanée de la mer et de la montagne crée de forts contrastes entre un espace intérieur aux hivers rudes et très enneigés et un littoral aux étés secs et caniculaires. L'enneigement des massifs permet cependant à la plupart des fleuves et rivières d'être en eau toute l'année, bien que les disparités régionales soient importantes. La végétation est bien sûr très diversifiée, sous l'influence du relief, des contrastes entre versants et de la géologie. D'épaisses forêts ont longtemps recouvert une grande partie du paysage, ce qui aurait amené les Anciens à y attribuer la couleur « noire » de la Corse (Cesari et al., 2016).

L'île fournit donc des paysages extrêmement divers dont les populations pré- et protohistoriques ont su tirer parti. Il semblerait pourtant que ni la mer, ni la montagne n'aient jamais constitué un obstacle infranchissable mais il est certain que la difficulté des déplacements et la spécificité des environnements au sein des nombreuses micro-régions de la Corse aient pu conduire à des identités marquées et des modes de vies spécifiques.

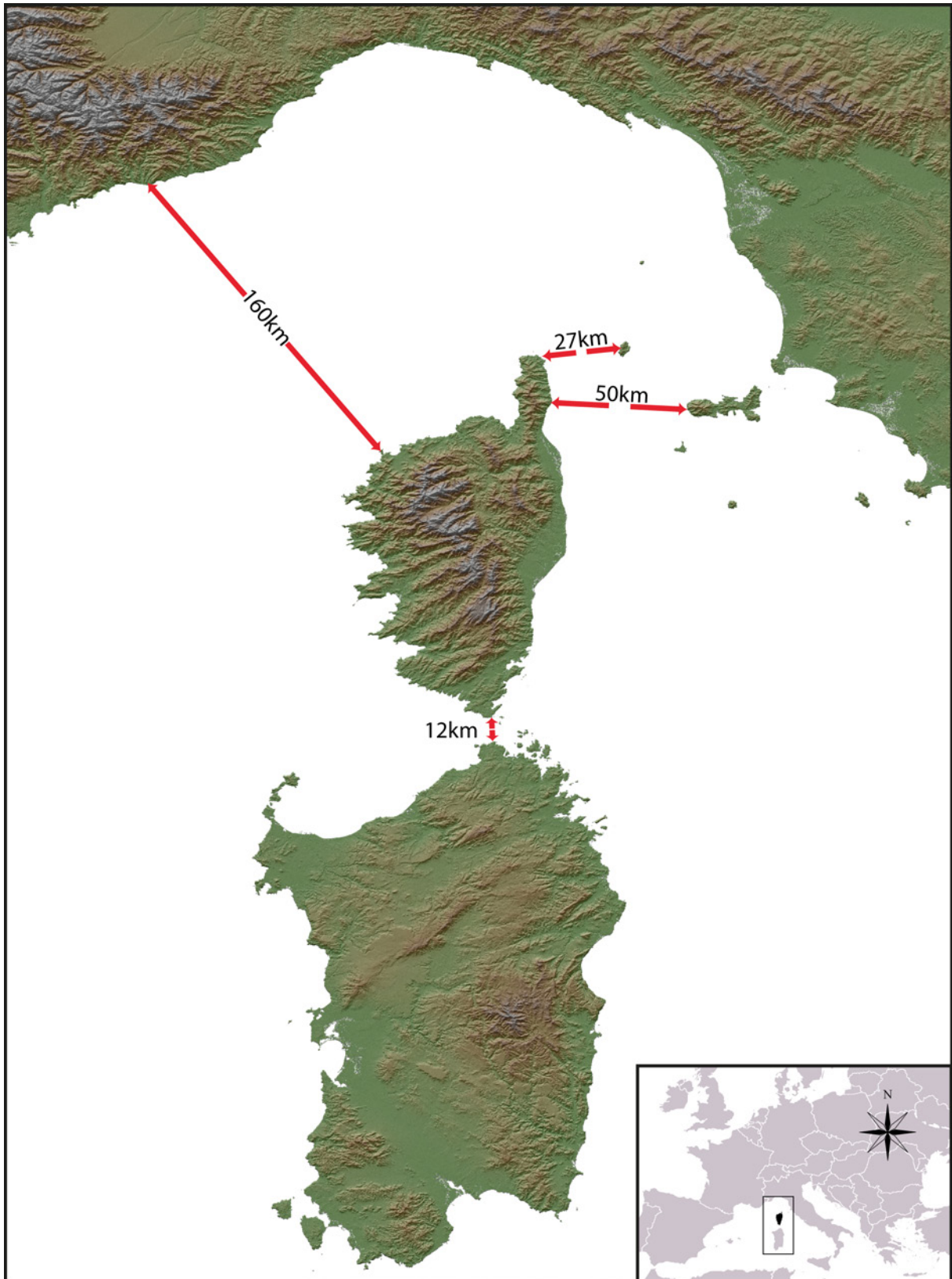


Figure 005 : Carte du bloc corso-sarde, de l'archipel toscan et du golfe de Gênes (DAO : N. Frerebeau et A. Leck).

2. Archéologie préhistorique en Corse

a. Une présence humaine au pléistocène ?

Les différentes glaciations quaternaires et les régressions marines qu'elles provoquèrent ont permis durant le dernier million d'années de relier ou de fortement rapprocher le bloc corso-sarde au reste du continent à plusieurs reprises. Le passage est donc devenu possible pour les grands mammifères, et donc probablement pour les humains, comme l'atteste la présence de canidés et de cervidés retrouvés au sein d'ensembles fauniques de la fin du pléistocène comme dans le gouffre de Castiglione à Oletta ou la grotte de La Coscia à Rogliano-Macinaggio. Cependant la présence de groupes humains sur l'île à ces époques reculées est loin de faire consensus. Si Eugène Bonifay semble persuadé de la présence de foyers dans la grotte de la Coscia ainsi que de l'origine anthropique de véritables structures en bois de cervidés, cette interprétation est loin de faire l'unanimité et d'autres n'y voient que des amoncellements naturels (Bonifay et al. 1998, Peireira et Bonifay, 1998). Quant à l'industrie lithique, son caractère anthropique est fortement discutable. Le même débat existe en Sardaigne, où la Grotta Corbeddu (Oliena, Nuoro) a fourni un ensemble faunique pléistocène mêlant restes de grands cervidés et de canidés. Une mandibule humaine a été mise au jour au sein de ces niveaux très anciens, d'abord attribuée à une nouvelle espèce humaine endémique à la Sardaigne (Sondaar et al. 1986, Spoor&Sondaar, 1986, Hofmeijer et al 1987). Cependant, des niveaux archéologiques néolithiques recouvrent ces strates très anciennes et il est fort probable qu'il s'agisse tout simplement d'une contamination stratigraphique. Les discussions sur l'existence d'une culture paléolithique en Corse et en Sardaigne semblent moins vives depuis la fin des années 1990, l'amélioration des techniques de fouilles et des méthodes de datations n'y est peut-être pas pour rien, mais de nouvelles découvertes viendront probablement bouleverser cet état de fait. Il n'y a en effet pas de raisons de penser qu'aucun être humain ne s'y soit aventuré, même occasionnellement, quand les cervidés y ont eux prospéré pendant des centaines de milliers d'années.

b. Mésolithique

Avec la mise en place du climat actuel au début de l'Holocène il y a une dizaine de milliers d'années, le bloc corso-sarde s'est un peu plus éloigné du continent. C'est pourtant au cours de cette période que les premières populations humaines vont parcourir ce territoire. Grâce au développement de la navigation, la Corse devient accessible dès le début du Mésolithique. L'industrie lithique est plus fruste que celle retrouvée sur le continent et l'existence même du Mésolithique en Corse ne fait consensus que depuis quelques décennies (DeLanfranchi 1998). Très peu de sites de cette période ont été fouillés, moins d'une quinzaine en Corse et Sardaigne. Ces rares fouilles permettent de dresser le portrait de petits groupes peu nombreux

et mobiles, s'installant dans des environnements favorables permettant la chasse, la pêche et la cueillette. On peut noter la chasse, ou plus probablement le piégeage, parfois intensif du prolagus sardus. Le site du Monte Leone (Bonifacio, Corse-du-Sud) a par exemple permis de mettre au jour un "magma d'ossements" (Vigne, 1996) indiquant la consommation de dizaines de milliers de ces petits mammifères, aujourd'hui disparus, par les occupants de l'abri.

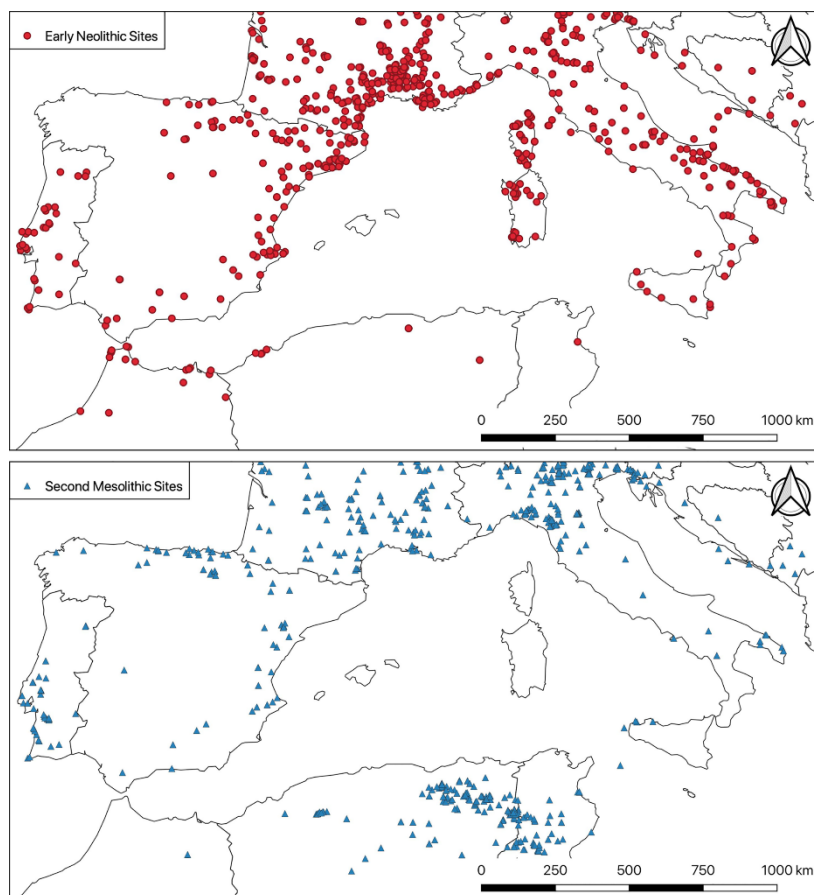


Figure 006 : Principaux sites du second Mésolithique (après ~ 6,500 av. J.-C.) et du Néolithique ancien en Méditerranée occidentale. (Perrin et Manin, 2021).

Cette brève occupation de la Corse et de la Sardaigne par des chasseurs-cueilleurs semble cesser autour du début du 7^{ème} millénaire. Les populations du « second mésolithique » en Europe continentale et en Afrique du Nord n'ont donc pas investi les îles tyrrhéniennes (Fig. 6, Perrin et Manen, 2021) et lorsque de nouveaux groupes humains s'y installent au début du 6^{ème} millénaire, les îles sont inhabitées.

c. Néolithique

Un nouveau mode de subsistance, basé sur l'agriculture et l'élevage, émerge au Proche-Orient autour 9^{ème} millénaire avant notre ère, puis dans d'autres régions à travers le monde au cours des millénaires suivants. Ces changements s'accompagnent de profondes mutations techniques, comme le développement de la céramique, du tissage ou de la pierre polie, mais également symbolique et sociale liée notamment à la sédentarisation et l'augmentation de la démographie (Cauvin, 1994).

Ce nouveau mode de vie va diffuser depuis l'Anatolie jusqu'à l'ouest de la Méditerranée durant les 7^{ème} et 6^{ème} millénaires (Fig. 7), majoritairement par migrations de populations anatoliennes mais probablement aussi par assimilation d'une partie des populations mésolithiques autochtones.



Figure 007 : Chronologie de la diffusion du Néolithique à travers l'Europe (d'après Gronenborn et al., 2020, version actualisée par les auteurs en 2021 mais non publiée).

i. Néolithique ancien (≈5700–5000 av. n.è.)

Les populations néolithiques arrivent en Corse par la mer depuis l'Italie continentale dans la première moitié du 6^{ème} millénaire (Fig. 8) et colonisent un espace alors inhabité. Une vingtaine de sites de cette période est reconnue sur l'île, environ quatre fois plus en Sardaigne (Cesari et al., 2016). Les sites les plus anciens sont datés autour de 5700-5500 avant notre ère, en léger décalage avec les premiers sites néolithiques de Ligurie et de Provence (Binder et Nonza-Micaelli, 2019). Les sites se répartissent à cette époque essentiellement sur le littoral, bien que l'intérieur des terres ne reste pas inexploré et l'on y retrouve quelques implantations, jusqu'à plus de 2000m d'altitude dans le cas de l'abri des Castelli.

Lors d'une première période du Néolithique ancien, les sites en Corse partagent de nombreuses caractéristiques avec d'autres sites contemporains de Sardaigne, de Toscane et de Ligurie. On parle de cardial tyrrhénien en référence aux techniques de décor céramique, des impressions à la coquille de cardium, et à la répartition géographique de cette culture matérielle, autour de la mer tyrrhénienne. Dans un second temps, des caractéristiques régionales

émergent et les groupes néolithiques de la région se différencient davantage. L'agriculture et l'élevage tiennent déjà une place importante sur certains sites, comme à Basi ou Torre d'Aquila par exemple, les animaux d'élevage consommés sont alors essentiellement des suinés et des caprinés. Sur d'autres sites, la chasse reste l'activité principale assurant la subsistance de ces groupes (Strette, Araguina-Sennola, entre autres) (Vigne, 1995).

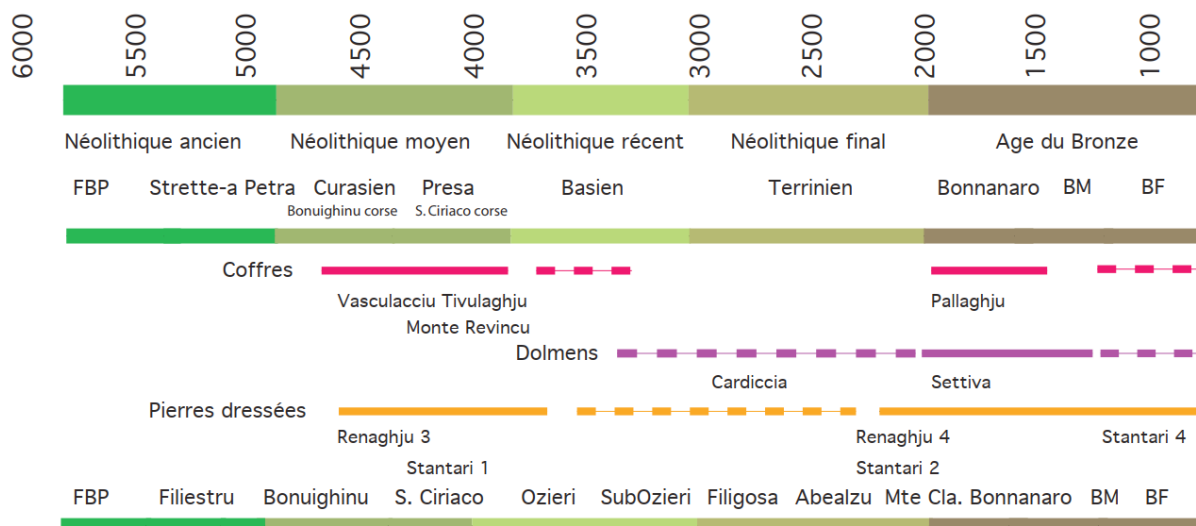


Figure 008 : Chronologie du Néolithique en Corse, mise en parallèle avec la chronologie sarde (en bas) (Tramoni et D'Anna, 2016).

Contrairement au Mésolithique, les matériaux lithiques importés de Sardaigne tiennent une place prépondérante dans l'outillage. Le silex provenant du nord de la Sardaigne est abondamment utilisé sur certains sites, notamment à Renaghju. Quant à l'obsidienne, on la retrouve désormais dans la plupart des sites, en Corse, mais également dans plusieurs occupations de la même période en Méditerranée occidentale (Vaquer, 2007). Ces matériaux allochtones ne semblent pas encore distribués via des réseaux structurés (Freund et Batist, 2014) et sont parfois introduits sur les sites corses sous forme de blocs bruts (D'Anna et al., 2001). La rhyolite est largement utilisée sur l'ensemble des sites de cette période, en particulier dans le nord de l'île et sur les sites de l'intérieur de la Corse où elle constitue fréquemment la majorité des assemblages lithiques. Le débitage est généralement orienté vers l'obtention d'éclats allongés, de lames et d'armatures de traits à tranchants transversales, outils caractéristiques de cette période.

ii. Néolithique moyen (≈5000–4000 av. n.è.)

Le Néolithique moyen de Corse a longtemps été mal défini et donc mal reconnu, cette période est donc aujourd'hui peu documentée. On observe cependant une intensification des relations avec la Sardaigne (Tramoni et D'Anna, 2016) et l'on peut considérer que dans la seconde partie du Néolithique moyen, au presien, le sud de la Corse et le nord de la Sardaigne appartiennent probablement au même ensemble culturel (Soula, 2014). Les productions céramiques entre

les deux îles sont apparentées, le phénomène mégalithique (Fig. 9) apparaît presque simultanément et les mêmes matériaux lithiques sont utilisés.



Figure 009 : Dolmen de Casa di l'Urcu sur le site du Monte Revincu (Santo-Pietro-di-Tenda, Haute-Corse) (Photo Pierre Bona, licence CC).

La démographie semble augmentée mais au sein de trois grands pôles, dans le Sartenais, le golfe de Porto-Vecchio et le Nebbiu. La société se structure et se hiérarchise comme en témoigne l'émergence du mégalithisme dont les coffres et les dolmens indiquent l'apparition, ou au moins l'affirmation, d'une élite sociale (Tramoni et al., 2002 ; Tramoni et al., 2007 ; Leandri et al., 2012). Cette structuration est également perceptible concernant l'exploitation et la diffusion des matériaux lithiques, notamment l'obsidienne. Des ateliers apparaissent au pied du Monte Arci où des nucléus à lames sont préparés, en particulier au niveau de la source SA qui fournit des modules importants. Ces nucléus sont ensuite exportés jusque dans le sud de la France, les autres sources d'obsidiennes, notamment la source SC, étant exclusivement distribuées à l'intérieur de l'aire corso-sarde (Lugliè et al, 2011 ; Vaquer, 2007 ; Freund et Batist, 2014).

iii. Néolithique récent (≈4000–3000 av. n.è.)

Au cours du 4^{ème} millénaire, les occupations se multiplient à travers la Corse, reflétant certainement une expansion démographique importante. Ce faciès, également appelé basien car identifié pour la première fois sur le site éponyme de Basi, s'inscrit dans la continuité de la fin du Néolithique moyen et se caractérise notamment par une céramique fine carénée à la panse sphéroïde et une forte prédominance de l'obsidienne dans l'industrie lithique (Cesari et al., 2016). Le parallèle avec la culture sarde contemporaine, l'Ozieri, est moins évident qu'à la période précédente, l'aire culturelle de ces populations se serait donc certainement recentrée sur la Corse au cours du 4^{ème} millénaire.

L'obsidienne est surtout utilisée pour fabriquer des lames et lamelles aux dimensions normées et obtenues par pression. Elles sont ensuite utilisées telles quelles ou retouchées, en grattoirs par exemple, et souvent tronquées certainement pour être emmanchées en faucilles. Cette nouvelle technique de débitage lamellaire par pression offre un parallèle dans le sud de la France où elle est développée par les communautés chasséennes pour produire des lames à partir de silex bédoulien chauffé. Certains auteurs y ont vu l'existence de tailleurs itinérants maîtrisant cette technologie très particulière et qui aurait alors agi dans le sud de la France ainsi qu'en Corse et en Sardaigne (Guilbeau, 2014). Le mégalithisme marque le pas durant cette période, l'organisation sociale de ces communautés a évolué.

iv. Néolithique final – Chalcolithique (≈3000–2000 av. n.è.)

Durant le 3^{ème} millénaire, le dynamisme démographique de la période précédente se confirme, les sites d'habitats sont plus nombreux et plus étendus. Ce chalcolithique corse est reconnu pour la première fois sur le site de Terrina IV (Aléria, Haute-Corse) par G. Camps qui y découvre des témoignages de métallurgie du cuivre (Camps et al., 1988).

L'ensemble de la chaîne opératoire de la métallurgie est maîtrisé par ces populations (Cesari et al., 2016, Tramoni et al., 2019, Antolini et Tramoni, 2019). L'industrie lithique opère de profonds changements. Les liens avec la Sardaigne semblent se distendre et les matériaux d'origines sardes, en particulier l'obsidienne, se font de plus en plus rares au cours de cette période. Probablement en conséquence, les lames et lamelles disparaissent de l'outillage. Les roches locales, rhyolites et quartz composent alors la quasi-totalité de la plupart des assemblages lithiques terriniens et servent notamment à la fabrication d'éclats et de nombreuses pointes de flèches. Le terrinien est encore assez mal défini chronologiquement, il couvre environ un millénaire mais sa périodisation reste à élaborer (Remicourt et Piboule, 2014). A la fin de la période, un renforcement des enceintes semble concorder avec une réduction des habitats ouverts (Cesari et al., 2016), certainement lié à des préoccupations sécuritaires plus pressantes.

d. Les âges des métaux

i. Le Bronze ancien (≈2000–1600 av. n.è.)

Le début de l'âge du bronze se confond avec la fin du terrinien. Cependant, autour de 1800 av. n.è., apparaissent dans le sud les premières torre, de petites tours d'une dizaine de mètres de diamètre, édifiées à partir de très gros blocs irréguliers. Ces constructions étaient probablement utilisées pour le stockage de biens précieux ou de denrées collectives tout en marquant ostensiblement le paysage. On retrouve son équivalent en Sardaigne avec les proto-nuraghi.

L'habitat, souvent construit en contrebas de la torra, prend une forme elliptique, au contraire des maisons néolithiques carrées. Le mégalithisme, et notamment l'érection de pierres dressées, est de nouveau d'usage en Corse, après avoir disparu durant les Néolithiques récent et final (Soula, 2014). C'est bien sûr à cette période que l'on retrouve les premiers objets en bronze, bien qu'encore très rare, accompagnés d'indices de métallurgie du bronze (creusets, scories, moules) (Cesari et al. 2016). Une forte influence toscane est perceptible dans la production des haches et de céramique, bien que les productions du sud de l'île soient également très proches de ce qui existe alors en Sardaigne.

ii. Le Bronze moyen (≈1600–1200 av. n.è.)

L'architecture développée au Bronze ancien évolue et se complexifie. Des couvertements voûtés et des étages superposés apparaissent dans les tours qui se comptent maintenant par dizaines. Les productions céramiques indiquent un affaiblissement de l'influence des répertoires sardes alors que l'inspiration toscane est toujours bien présente (Cesari et al, 2016). Les échanges à longue distance se développent en Méditerranée à cette époque et la Corse est en partie intégrée à ce phénomène puisque l'on retrouve notamment un lingot de cuivre chypriote dans le Nord, quelques rares exemples de céramiques mycénienne, et des objets de parures en provenance de Méditerranée orientale et du monde égéen (Fig. 10 , Peche-Quilichini et al., 2016).



Figure 010 : Collier de perles de verre et d'ambre en cours de dégagement, sépulture du BM de l'abri 1 de Campu Stefanu (Sollacaro, Corse-du-Sud) (Photo : J. Cesari, Peche-Quilichini et al., 2016).

iii. Le Bronze final (≈1200–800 av. n.è.)

Une rupture s'amorce avec le plein âge du bronze, préfigurant les sociétés de l'âge du fer. La construction de torra prend fin et les fortifications, bien que plus modestes qu'à la période précédente, se multiplient à travers le paysage. La plupart des statues-menhirs (Fig. 11), em-

blématiques de la protohistoire corse, datent de cette période (Cesari et al., 2016). Elles sont certainement l'expression d'une société guerrière, fortement hiérarchisée où les territoires de chaque communauté sont clairement définis et matérialisés par des monuments.



Figure 011 : Statues-menhirs de Cauria-I Stantari (Sartène, Corse-du-Sud) (D'Anna, 2011).

iv. Le premier âge du fer (≈800–550 av. n.è.)

La tendance à la régionalisation amorcée au Bronze final se confirme. Le développement de faciès aux différences très marquées entre le nord et le sud de la Corse laisse supposer un fort ralentissement des relations entre ces deux régions (Cesari et al., 2016). On peut noter par exemple l'abandon des fortifications autour des habitats dans la partie sud, alors que les habitats du nord gardent un caractère défensif. Les rites funéraires marquent également une grande influence de l'Étrurie dans le nord de l'île qui ne semble pas atteindre la partie sud.

v. Le second âge du fer (≈550–250 av. n.è.)

Le début de cette période est fixé par l'installation des Phocéens à Alalia, l'actuelle Aléria, en 565 av. n.è. Cette zone devient alors un enjeu territorial dans le contrôle de l'espace tyrrhénien par les puissances régionales de l'époque (Grecs, Carthaginois, Etrusques puis Romains). Cependant, l'influence de ce comptoir grec puis étrusco-carthaginois sur la côte orientale ne semble pas avoir eu un grand impact sur les communautés indigènes (Cesari et al., 2016).

e. Conclusion

Depuis l'arrivée des premiers colons néolithiques, les populations de Corse ont donc connu des évolutions cycliques d'ouvertures et de replis, de concentrations et de fractionnements,

d'uniformités et de contrastes tout en suivant invariablement un processus de complexification et de structuration. Ces groupes humains ont souvent été fortement influencés par leurs voisins de Sardaigne et d'Italie continentale, peut-être même de l'espace provençal à certaines périodes, les bras de mer étant tout à fait perméables aux diverses innovations techniques et sociétales. Cependant, ils ont toujours conservé une identité insulaire propre.

3. Provenance et circulation des rhyolites

a. État de la recherche en Corse

L'intérêt des archéologues s'est longtemps porté en priorité sur les objets lithiques en matériaux exogènes. En effet, les études typo-technologiques sont plus aisées à mener sur le silex et l'obsidienne, la plupart des stigmates de tailles étant plus compliqués à déceler sur les matériaux plus grenus. De plus, il existe depuis des décennies des méthodes d'analyses mises au point dans d'autres contextes que l'on peut réadapter facilement aux matériaux issus des sites corses pour effectuer des études de provenances. Surtout, les matériaux locaux, ou imaginés comme tels, ne sont souvent pas jugés dignes d'intérêt, parce qu'ils ne porteraient pas ou peu d'informations archéologiques.

Les rhyolites ont été très tôt reconnues comme étant des matériaux endogènes et les questions de leur provenance et leur diffusion au sein de l'île n'ont suscité que peu d'intérêt pendant longtemps. M.-C. Weiss fut l'une des premières personnes à se pencher sur ces problématiques. Il discutait déjà dans les années 1980 des apports en rhyolite sur les sites du Néolithique ancien, notamment sur les choix d'implantations des sites en fonction des disponibilités en ressources minérales (Weiss, 1983). Son attention s'est surtout portée sur les rhyolites du nord-ouest de la Corse. Le massif du Cintu et plus particulièrement le Filosorma, le Niolu et la vallée de l'Ascu était déjà identifié comme les régions abritant les gisements de meilleure qualité.

Dans le sud, un filon de rhyolite exploité au cours du Néolithique a été identifié au lieu-dit Calavu, en bordure du plateau de Pastini, dans le Sartenais. Surtout, la rhyolite issue de cette exploitation a été reconnue dans les différents sites de la région, dès le Néolithique ancien, sur « les stations de Pastini et sur plusieurs sites de la Punta du Murtuli (La Figue, Murtuli, Sapara d'Acquedda) » (D'Anna et al., 2006). Cependant, la diversité des faciès présents sur ce filon n'a été que très partiellement appréhendée et la caractéristique principale retenue pour identifier cette variété de rhyolite est la présence de sphérolites lui donnant un aspect « ocellé » (D'Anna et al., 2001).

L.-J. Costa, qui a longtemps travaillé sur l'industrie lithique du Néolithique en Corse, s'est également intéressé aux origines des rhyolites. Il a notamment pu mettre en évidence l'existence de gisements exploités anciennement dans les montagnes du centre de la Corse, sur les flancs du Monte d'Oro (Costa et al., 2002).

Cette région montagneuse du centre de l'île a également livré un autre gisement de rhyolite exploité anciennement, entre les vallées du Tavignanu et de la Restonica dans le Cortenais. Ce gisement affleure notamment sur le plateau d'Alzu et au niveau de la Punta du Castelli. Un abri situé légèrement en contrebas de cette dernière a été fouillé à la fin des années 2000 par S. Mazet, N. Marini et J.-M. Bontempi (Mazet et al., 2016). Durant cette opération, l'attractivité

du filon de rhyolite dans le choix d'implantation du site a été démontrée puisque l'exploitation et la transformation de ce matériau semblent avoir constitué la principale activité artisanale des occupants de l'abri. Cependant, ces questions n'ont été traitées que secondairement, la problématique de la fouille étant plutôt focalisée sur des questionnements paléoenvironnementaux. Toutefois, N. Federzoni a entrepris au cours de la même période l'étude de l'exploitation du filon de rhyolite situé 2-3 km plus à l'est, sur le plateau d'Alzu (Ameziane-Federzoni, 2014, 2017). Elle a pu y mettre en évidence l'importance de l'exploitation, que l'on peut qualifier de carrière, active certainement autour du Néolithique final, ainsi que les modalités d'exploitation de ce gisement d'altitude. Étrangement, la présence de ces rhyolites, pourtant débitées en masse, n'est mise en évidence sur aucun site en dehors du Cortenais (Ameziane-Federzoni, 2010).

Avant de se porter sur l'étude du plateau d'Alzu, le travail de N. Ameziane-Federzoni s'est focalisé sur le nord de la Corse, en particulier dans le cadre de sa thèse, conduite sous la direction de M.-C. Weiss, intitulé « Approvisionnement et diffusion de la rhyolite dans le nord de la Corse au Néolithique ancien et moyen » (Ameziane-Federzoni, 2011). Cette thèse est le premier travail d'envergure portant sur la provenance et la circulation des rhyolites en Corse. Cette étude s'est focalisée sur le nord de l'île, avec des sites étudiés en Balagne, dans le Nebbiu et dans le Cap Corse.

La méthodologie utilisée par N. Ameziane-Federzoni consiste à coupler des analyses pétrographiques et technologiques des pièces archéologiques. L'objectif étant de déterminer les différents types de matériaux utilisés ainsi que la forme sous laquelle ils ont été introduits sur le site. La caractérisation pétrographique des artefacts s'effectue à l'œil nu ou à la loupe bino-culaire. Elle peut s'appuyer sur des critères définis à partir de l'observation de lames minces lorsque le gisement correspondant a pu être identifié. Pour chaque artefact, les informations suivantes sont relevées :

- La couleur des minéraux
- La forme des minéraux
- La proportion des minéraux
- La couleur de la mésostase

Cette classification a certainement produit des données trop complexes à manipuler et difficilement comparables entre elles. Les rhyolites ont finalement été catégorisées en 4 grands ensembles A, B, C et D en fonction de la couleur principale de la mésostase (respectivement noire, grise, brune et verte) (Fig. 12). Cette simplification permet de comparer les rhyolites de différents sites mais éclipse de nombreuses informations qui sont utiles pour déterminer précisément leur provenance.



Figure 012 : Exemples d'artefacts en rhyolite des catégories A et C provenant des niveaux du Néolithique ancien de Strette (Ameziane-Federzoni, 2011).

Cette étude a permis de déterminer que la plupart des rhyolites utilisées dans les sites du nord de la Corse au Néolithique ancien et moyen proviennent de la caldeira du Cintu, au nord-ouest de l'île. Plus les sites sont éloignés de cette région et moins la rhyolite tient une part importante dans leur industrie lithique. De plus, les modalités d'approvisionnement évoluent en fonction de cette distance. Les rhyolites sont introduites sous forme de bloc brut ou semi-préparé sur les sites les plus proches de la caldeira du Cintu, alors qu'elles arrivent déjà sous la forme de produits finis ou semi-finis dans les sites du Cap Corse, bien plus éloignés. La principale évolution observée entre le Néolithique ancien et moyen est la diminution généralisée de l'utilisation de la rhyolite au profit d'autres matériaux. Tout d'abord, l'obsidienne est bien plus présente en Corse au Néolithique moyen, notamment à la fin de période. Néanmoins, la part du quartz, très certainement local et présentant des qualités de taille souvent inférieures aux rhyolites, augmente significativement sur la plupart des sites. Cela semble indiquer que les rhyolites ne sont pas simplement remplacées par de meilleurs matériaux mais que « l'exploitation de l'environnement minéral régional a évolué entre le Néolithique ancien et le Néolithique moyen » (Ameziane-Federzoni, 2011). Il est également possible que les populations soient moins mobiles et parcourent moins intensément les régions montagneuses d'où proviennent la majorité des rhyolites de bonne qualité.

En parallèle de l'étude des séries archéologiques, le travail de N. Ameziane-Federzoni a permis de découvrir des zones d'approvisionnements potentielles, en position secondaire dans certaines rivières de Balagne notamment, mais aussi en position primaire ou sub-primaire sur les

flancs du massif du Cintu. En particulier le plateau de Stagnu, dans la haute vallée de l'Ascu, où l'on retrouve de nombreux blocs de très bonnes rhyolites en position sub-primaire, jusque-là sans équivalents dans la région (Fig. 13). L'endroit n'a pas livré de traces d'exploitations mais le lieu a subi des transformations importantes pour aménager une station et des pistes de ski, faisant peut-être disparaître les indices d'une exploitation préhistorique. Un vaste travail de prospection a donc été engagé, en particulier dans le nord-ouest de la Corse, et demande encore aujourd'hui à être poursuivi. La caldeira du Cintu couvre plusieurs centaines de kilomètres carrés de montagnes, de forêts et de falaises abruptes, il faudra donc encore de nombreuses années de travail avant d'avoir pu en examiner les moindres recoins.



Figure 013 : Bloc de rhyolite en position sub-primaire sur le plateau de Stagnu (photo : N. Ameziane-Federzoni, Ameziane-Federzoni, 2011).

Plus récemment, M. Remicourt a été chargé de conduire l'étude de l'industrie lithique du site terrinien d'I Calanchi dans la basse vallée du Taravu, fouillé de 1986 à 2001 par J. Cesari (Remicourt et Piboule, 2014, Remicourt et al., 2014). Son étude s'est focalisée sur le matériel issu des fouilles de la couche B, terrasse nord, qui comporte déjà plus de 1500 pièces. Les rhyolites, présentant une grande diversité de faciès, constituent la majorité de la série. L'étude typologique a permis d'identifier les matériaux introduits sous la forme de blocs, de galets, de produits finis ou semi-finis. Il est ainsi possible de distinguer trois ensembles : les matériaux exogènes provenant de Sardaigne (silex et obsidienne), les rhyolites du massif du Cintu d'origine lointaine et les rhyolites locales issues de la basse vallée du Taravu et du fleuve à proximité du site. Pour ce travail, il a été nécessaire de repérer et d'échantillonner des gisements de matière première autour du site. Des prélèvements ont ainsi été effectués dans les alluvions autour d'I Calanchi et sur de nombreux filons indiqués sur les cartes géologiques dans la basse vallée du Taravu.

Le mobilier lithique a été observé macroscopiquement à la binoculaire. 32 types et sous-types

ont été reconnus (Fig. 14).

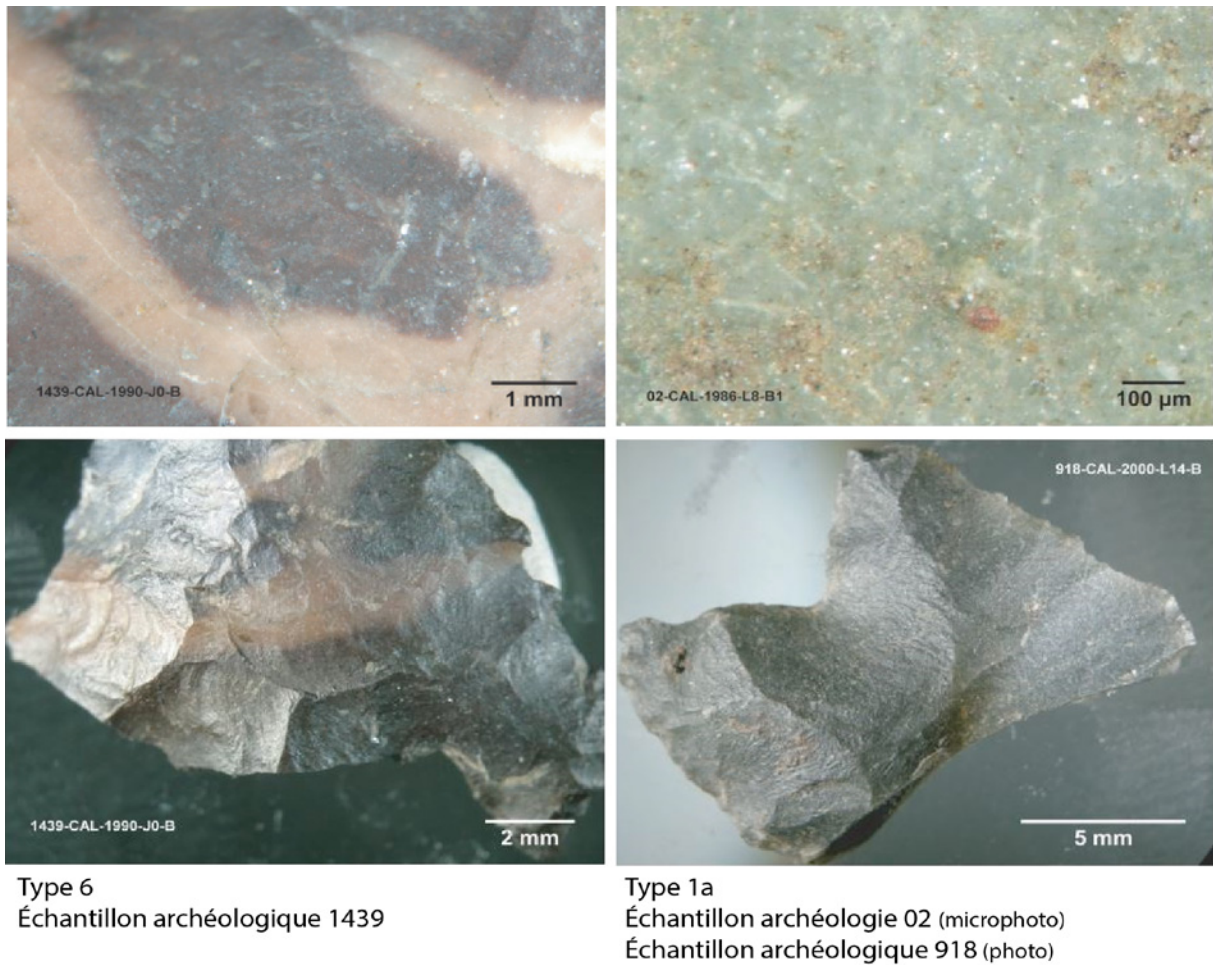


Figure 014 : Exemple d'observations de rhyolites d'I Calanchi (photo et microphoto : M. Remicourt, d'après Remicourt et Piboule, 2014).

Une comparaison avec des séries lithiques de sites contemporains a également été l'occasion de s'intéresser aux matériaux disponibles dans le Sartenais et donc d'effectuer des prélèvements sur le filon de rhyolite de Pastini.

La problématique de provenance et de diffusion des rhyolites en Corse a donc été abordée de nombreuses fois au cours des dernières décennies, autour de quelques sites archéologiques particuliers et de quelques gisements exploités anciennement. Cependant, seul le travail de N. Ameziane-Federzoni a permis d'étendre ces questionnements à l'échelle régionale et à suivre leur évolution sur plusieurs millénaires. Néanmoins, les méthodes de caractérisation de ces matériaux ne semblent pas tout à fait adaptées à la diversité des rhyolites corses et elles montrent rapidement leurs limites, en particulier lorsque l'on cherche à comparer les approvisionnements de plusieurs sites.

b. Quelles sont les méthodes mises en œuvre pour retrouver l'origine d'artefacts en rhyolite en dehors de la Corse ?

Les études de provenance d'obsidienne, la variété entièrement vitreuse de rhyolite, font partie des grandes réussites de l'archéométrie. Depuis les travaux pionniers de Cann et Renfrew (1964) la provenance de plus de 100.000 artefacts a été déterminée (Poupeau et al., 2014), et ce chiffre a probablement plus que doublé ces dix dernières années, notamment grâce à la démocratisation des méthodes portables. Cependant les rhyolites classiques, non vitreuses, ont fait l'objet de bien moins d'attention. En effet, ces rhyolites sont plus hétérogènes et il peut s'avérer compliqué d'isoler des signatures chimiques propres à chaque source. Les timides avancées de la recherche dans ce domaine accomplies depuis les années 1990 tendent cependant à montrer qu'il est tout à fait possible d'établir la provenance d'artefacts en rhyolite dans plusieurs régions du globe (Pollock et al., 2008 ; Hermes et Ritchie, 1997b ; Hermes et al., 2001 ; Brady et Coleman, 2000 ; Scharlotta, 2010 ; Bevins et al., 2014). Néanmoins les protocoles analytiques mis au point sont rarement transposables à d'autres contextes et ne sont la plupart du temps pas adaptés à des études à grandes échelles.

Avant de débiter nos analyses sur les rhyolites corses, nous avons passé en revue la littérature existante concernant les études de provenance de la rhyolite en archéométrie. Nous proposons donc de dresser ici un inventaire le plus exhaustif possible des différentes méthodes utilisées à ce jour pour mener des études de provenance d'artefacts en rhyolite. Le but étant d'identifier les avantages et les limites de chacune d'entre elles, de mettre en lumière les apports de ces études et de guider notre propre stratégie analytique.

La présence, la quantité et la variabilité des phénocristaux peuvent rendre inopérantes une grande partie des méthodes de caractérisations géochimiques couramment utilisées. Il est donc souvent nécessaire d'adapter la méthode d'analyse au type de rhyolite que l'on souhaite étudier.

Deux approches analytiques peuvent être distinguées. La roche est soit considérée dans son ensemble (observation macroscopique ou pétrographique, INAA, XRF), soit comme la somme de différentes entités, la matrice et les différents phénocristaux. Dans ce second cas, des techniques de micro-échantillonnage (microsonde électronique, ablation laser) sont utilisées.

Les différentes méthodes utilisées pour caractériser la rhyolite sont résumées dans le tableau suivant (Tab. 2) :

Technique	Préparation	Résultats	Zone analysée	Études
Observation macroscopique	Aucune	Couleurs, textures, minéralogie	Totalité	Zeigler <i>et al.</i> , 2011 Coffman et Rasic, 2015
Pétrographie	Destructif 400 mm & minimum	Minéralogie, distribution des minéraux, altération	Totalité	Pollock <i>et al.</i> , 2008 Rebmann, 2005 Daniel et Butler, 1996 Mahmoud et Bard, 1993
XRD	Poudre : 15-50 g	Minéralogie, semi-quantitatif	Totalité	Pollock <i>et al.</i> , 2008
pXRF	Aucune 1cm ² min	Nombreux éléments à partir du Si, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ga, Th, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Cu, Zn, Pb	Ensemble	Coffman et Rasic, 2015 Williams-Thorpe <i>et al.</i> , 1999
WDXRF	Poudre Environ 10g	Éléments majeurs, mineurs et traces	Ensemble, moins altération et carbonate si besoin	Williams-Thorpe <i>et al.</i> , 1999 Dello-Russo, 2004 Bevins <i>et al.</i> , 2012
WDXRF	Non Destructif	Éléments majeurs, mineurs et traces	Totalité	Dello-Russo, 2004
Low-diffusion fusion WDXRF	Poudre : 2.5g	Éléments majeurs, mineurs et 15 traces	Totalité	Williams-Thorpe, 1988 Williams-Thorpe et Thorpe, 1989
EDXRF	Poudre : 2.5g Ou vitrification	Éléments majeurs, mineurs et quelques traces	Totalité	Hermes et Ritchie, 1997a
EDXRF	Aucune 1cm ² min	Éléments majeurs, mineurs et quelques traces, Semi-quantitatif	Totalité	Hermes et Ritchie, 1997b
ID-TIMS (rapports isotopiques)	Poudre : 50 mg	Rapports isotopiques du Pb, Sr, Nd, O...	Totalité	Brady et Coleman, 2000 Siebel <i>et al.</i> , 2011
LA-ICP-MS	Destructif Section mince polie	42 éléments du Na à l'U	Microéchantillon (Zircon)	Bevins <i>et al.</i> , 2011
LA-TOF-ICP-MS	Très peu destructif	Idem LA-ICP-MS	Microéchantillon (Mésostase)	Fraser-Shapiro, 2007 Scharlotta, 2010
INAA	Poudre : de 250g à 5mg minimum si fraction vitreuse	Une trentaine d'éléments, du Na au Th	Totalité ou fraction vitreuse	Steinhauser <i>et al.</i> , 2006 Siebet <i>et al.</i> , 2011 Williams-Thorpe et Thorpe, 1984
MEB-EDS	Non destructif	Qualitatif, éléments majeurs et mineurs	Totalité ou inclusion vitreuse	Dachary <i>et al.</i> , 2012
EMP	Destructif, fragment milli ou micrométrique à surface polie	Quantitatif, éléments majeurs, mineurs	Microéchantillons (fraction vitreuse, clinopyroxènes)	Barone <i>et al.</i> , 2010 Dachary <i>et al.</i> , 2012

Tab 002 : Tableau récapitulatif des méthodes utilisées pour les études de provenance de rhyolites.

i. Analyses macroscopiques et minéralogiques

L'**observation à l'œil nu** est bien sûr toujours utilisée en première analyse mais constitue parfois l'outil principal d'une étude de provenance de rhyolite (Zeigler et al., 2011). Les couleurs, les textures, les phénocristaux ou bien les diverses inclusions peuvent être très variables d'une rhyolite à une autre et parfois constituer des éléments caractéristiques d'un gisement. Malheureusement, cette diversité peut être trompeuse puisque des variations très importantes peuvent exister au sein du même filon ou de la même coulée (Pollock et al., 2008). Inversement, certaines formations s'étendent sur des dizaines de kilomètres carrés sans que les faciès n'évoluent fondamentalement.

Si une observation à l'œil nu est toujours la première étape d'une étude de provenance de rhyolites, les tests visant à évaluer la pertinence de ces analyses macroscopiques ont pourtant bien souvent démontré que les matériaux ont été mal identifiés (Hermes et Ritchie, 1997a). Il convient donc de s'orienter vers d'autres méthodes, microscopiques et de préférence quantitatives, qui apporteront des informations complémentaires et souvent plus précises.

La **pétrographie** est une technique permettant d'obtenir des informations minéralogiques. Elle est généralement facile à mettre en œuvre car le matériel nécessaire est très largement répandu dans les laboratoires de géologie et/ou d'archéologie. Cependant, elle se heurte souvent à deux grands problèmes : la grande variabilité intra-formation de la rhyolite et le caractère destructif de la préparation des échantillons. Il est effectivement nécessaire de pouvoir fabriquer des lames minces d'au moins 400 mm² afin d'obtenir des données quantitatives représentatives et surtout comparables entre elles (Williams-Thorpe et Thorpe, 1984).

Les roches étudiées sont parfois trop riches en verre, avec des minéraux trop peu exprimés pour être correctement identifiés par une étude pétrographique (Foucault et al., 2014 ; Pollock et al., 2008). Si les minéraux sont suffisamment exprimés, la pétrographie peut permettre de déterminer avec précision la nature de la roche, ce qui peut s'avérer très utile pour guider l'échantillonnage géologique par exemple (Bevins et al., 2012). C'est pourquoi cette technique est souvent utilisée en première approche.

Lorsque les roches analysées présentent des textures et/ou des inclusions particulières, la pétrographie peut être adaptée pour conduire une étude de provenance (Hermes et Ritchie, 1997a ; Rebmann, 2005). Il est également préférable d'avoir peu de sources potentielles et que celles-ci présentent des caractéristiques bien différentes. Lors d'une étude de Pollock, Hamilton et Boisvert (Pollock et al., 2008) en Nouvelle-Angleterre, il a par exemple été possible de différencier les deux sources de rhyolites potentielles (identifiée par une texture fluidale de la roche) par leurs inclusions de sphérules (différences de tailles, de densité, de distribution et d'altération) (Fig. 15). Les travaux de N. Federzoni en Corse s'inscrivent dans ce même cas de figure (Ameziane-Federzoni, 2011). Il faut cependant noter que les sources potentielles sont assez mal connues et très nombreuses en Corse, ce qui peut rapidement limiter les apports de la pétrographie.

Une approche similaire, couplant études pétrographiques des gisements et observations à l'œil nu des artefacts, a également été menée sur des séries lithiques moustériennes de l'arc liguro-provençal ainsi que sur les sources potentielles de rhyolites dans le massif de l'Estérel (Var, France) (Marzin, 2015). Ces rhyolites sont issues du même ensemble volcanique que celles du massif du Cintu en Corse, elles partagent donc de nombreuses caractéristiques. On peut regretter que les rhyolites corses n'aient pas été envisagées comme sources potentielles dans cette étude, cela aurait permis de comparer les caractéristiques de ces deux ensembles de gisements.

L'analyse pétrographique peut également permettre dans de rares cas de discriminer des sources que l'analyse élémentaire (éléments majeurs et traces) n'a pas réussi à différencier (Bevins et al., 2012). Williams-Thorpe et Thorpe (1984) ont ainsi pu distinguer quatre sources différentes, utilisées pour extraire de la résinite ou pitchstone, une rhyolite très vitreuse proche de l'obsidienne. Ces roches, issues du même complexe volcanique, ont la même composition mais présentent des inclusions différentes, dues à une dévitrification plus ou moins avancée, qui sont facilement observables par la pétrographie.

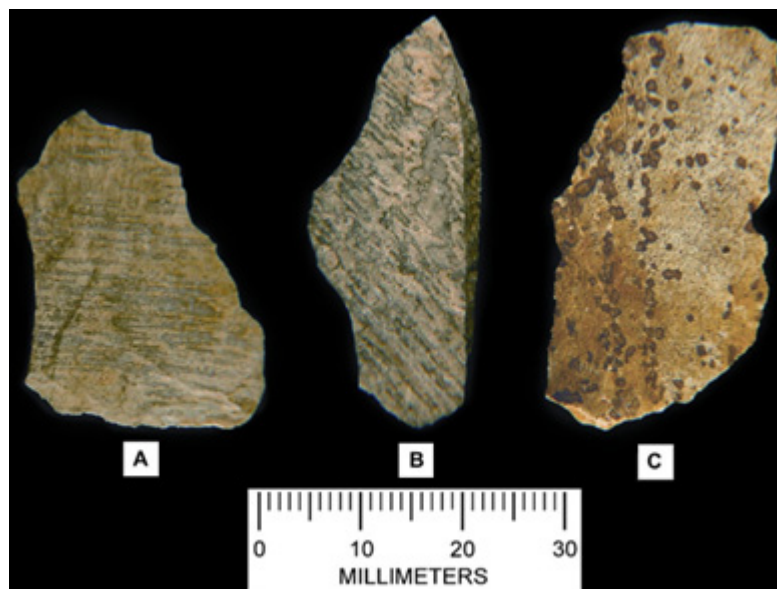


Figure 015 : Artefacts provenant du site paléoindien de Neponset (Massachusetts). La structure fluidale et les sphérulites sont ici très marquées et peuvent être utilisées pour retrouver le gisement géologique correspondant (Pollock et al., 2008).

La **diffraction de rayons X (DRX)** est peu utilisée mais elle permet d'apporter des informations minéralogiques en complément de la pétrographie, notamment lorsque les minéraux ne sont pas suffisamment exprimés, ce qui est souvent le cas des rhyolites aphyriques. En Nouvelle-Angleterre (Pollock et al., 2008) la DRX a permis d'identifier deux sous-groupes à l'intérieur de l'une des sources, non différenciables à l'œil nu ou au microscope. En effet, la diffraction a permis de mettre en évidence la surabondance de feldspaths potassiques dans certains échantillons probablement due à des conditions d'altérations particulières. La DRX pourrait donc s'avérer utile pour évaluer l'altération et distinguer les sources primaires des sources secondaires.

ii. Analyses élémentaires

Les méthodes d'analyses visuelles (macroscopiques ou microscopiques) s'avèrent très souvent insuffisantes pour discriminer différentes sources de rhyolite, elles sont donc généralement couplées avec des méthodes d'analyses élémentaires qui permettent d'obtenir la composition chimique des échantillons. Il est pour cela possible d'utiliser de nombreuses techniques, plus ou moins quantitatives et précises, dont le choix dépend de la problématique archéologique, des contextes géologiques et de la variabilité des roches prises en compte dans l'étude.

Les rhyolites ont été sélectionnées par les populations préhistoriques pour la fabrication d'outils car elles pouvaient offrir des tranchants très efficaces. Cette propriété du matériau est directement liée à sa teneur en silice et la présence de quartz dans la roche. Les rhyolites qui nous intéressent ont donc toutes de fortes teneurs en silice. Les autres éléments majeurs ou mineurs comme le sodium, le potassium et le calcium sont quant à eux relativement sensibles à l'altération et les concentrations de ces éléments dans les artefacts en rhyolite sont souvent liées à des phénomènes taphonomiques complexes. Ce sont donc surtout les éléments traces qui présenteront des variations importantes d'une rhyolite à l'autre sans pour autant être trop affectés par les phénomènes d'altérations. En effet, la différenciation à l'intérieur de la chambre magmatique avant l'éruption impacte fortement ces concentrations en éléments traces. On retrouve par exemple deux à trois fois moins de Cs, Rb, Th, Y, Yb, Ta et U dans les dernières séries éruptives. À l'inverse, les premières séries éruptives comportent de deux à cinquante fois plus de Ba, Sr, Ce, Eu, Zr et Ni. Les analyses élémentaires vont donc souvent cibler ces éléments afin d'observer des différences caractéristiques entre les roches étudiées. De plus, certains de ces composants se montrent très stables même lorsque les altérations sont très importantes, comme le Zr ou le Nb, et peuvent ainsi dans certains cas conserver leur rôle de marqueurs (Christidis, 1998).

Parmi les méthodes d'analyses élémentaires, l'utilisation de la fluorescence X est la plus répandue dans les études de provenance de rhyolite. Les outils nécessaires sont souvent présents dans les laboratoires de géologie ou d'archéométrie, certaines utilisations autorisent des analyses non-destructives et le développement d'appareils portables facilite leur mise en œuvre.

L'**analyse dispersive en longueur d'onde** (WDXRF) permet de déterminer la composition élémentaire d'un échantillon grâce au phénomène de fluorescence X. Les seuils de détections de la WDXRF se situent entre 1 et 10 ppm en fonction des éléments. Les données obtenues, à la fois qualitatives et quantitatives, ont une bonne précision, les écarts-types sont généralement inférieurs à 1% pour les éléments majeurs et entre 1% et 6% pour les éléments traces (Dello-Russo, 2004 ; Williams-Thorpe et al., 1999).

Cette méthode peut être utilisée de manière non destructive pour des objets de quelques centimètres de diamètre pouvant loger dans la chambre d'analyse. Il est plus courant de l'utiliser de manière destructive, en réduisant l'échantillon en poudre. L'analyse sur poudre fournit théoriquement de meilleurs résultats en s'affranchissant des effets de surface. En outre, elle

permet d'homogénéiser l'échantillon en éliminant « l'effet nugget » de certains minéraux, ce qui peut s'avérer utile pour des rhyolites très hétérogènes. Il est aussi possible d'éliminer, si besoin, la couche blanchâtre et le carbonate de calcium dus à l'altération avant de fabriquer les pastilles de poudre (Bevins et al., 2012). L'homogénéité de l'échantillon peut être améliorée par fusion, couplée à une diffusion lente pour ne pas perdre en précision lors de la mesure des éléments traces (Williams-Thorpe, 1988). Cependant, des mesures effectuées sur des échantillons de rhyolites entières et mises en poudre ont révélé que les deux méthodes fournissaient des données comparables (Dello-Russo, 2004).

La WDXRF s'est révélée adaptée pour discriminer différentes sources de rhyolites au Nouveau-Mexique grâce à d'importantes variations de concentrations en Pb, TiO₂, Ga, Zr et Nb, et ce malgré la grande hétérogénéité des roches étudiées (Dello-Russo, 2004). La méthode s'est aussi montrée utile pour déterminer la source des meules romaines en ignimbrite rhyolitique (Williams-Thorpe et Thorpe, 1989), même si les évidences archéologiques ne laissaient que peu de doutes sur leur origine.

L'analyse dispersive en énergie (EDXRF) est la seconde méthode utilisant le principe de fluorescence des rayons X. La résolution spectrale est moins importante qu'en WDXRF mais les temps d'acquisition sont beaucoup plus courts ce qui représente un avantage appréciable lorsque l'échantillonnage est conséquent. Les échantillons sont traditionnellement analysés vitrifiés ou sous forme de poudre.

Dans une étude d'Hermes et Ritchie en Nouvelle-Angleterre, l'EDXRF permet de distinguer chimiquement la plupart des sources par leur concentration en éléments traces, en utilisant simplement des graphiques bivariés. Cependant trois d'entre elles sont mal identifiées, les résultats obtenus sont alors couplés avec des données pétrographiques, permettant une discrimination satisfaisante de toutes les sources (Hermes et Ritchie, 1997a). Le même type d'analyse par EDXRF permet également de distinguer sans difficulté les différentes roches vertes à grains fins retrouvées sur des sites archéologiques de la région de Boston (Hermes et al., 2001). Certaines sont de l'argilite, sédimentaire et bien identifiée au microscope. D'autres sont des rhyolites ou des dacites dont seules les concentrations en éléments traces permettent d'attribuer aux sources de Melrose ou de Lynn-Mattapan, distantes d'une trentaine de kilomètres.

L'EDXRF peut également être utilisée en mode non destructif par cette même équipe et fournir des données semi-quantitatives sur un groupe d'éléments traces sans perte importante de justesse et de précision. La méthode consiste à utiliser le pic de diffusion Compton comme un standard interne. La concentration de chaque élément est alors déterminée relativement à ce pic. Cette approche a l'avantage de compenser une partie des différences liées aux variations de densité et de composition de la matrice (Hermes et Ritchie, 1997b). Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux recueillis en mode destructif grâce à l'utilisation de courbes de calibration obtenues par des mesures effectuées sur des échantillons standards. Les données fournies par l'analyse non destructive présentent une variation de 20% maximum, souvent moins de 10%, comparé à celles obtenues par l'analyse sur poudre. Les irrégularités de surface

des échantillons en sont certainement la cause. Ces faibles écarts sont sans conséquences s'ils sont moins importants que les variations intra-source ou si les sources sont bien différenciées. Cependant ils pourraient s'avérer problématiques pour distinguer des gisements chimiquement proches. C'est en tout cas ce que semblent suggérer les résultats mitigés des analyses effectuées par Hermes sur quelques échantillons géologiques et archéologiques de rhyolite provenant de Nouvelle-Écosse (Kristmanson, 2004). Les équipements récents permettent en théorie d'obtenir ce type de résultats de manière automatisée.

Ces rhyolites du nord-est des États-Unis se retrouvent également dans certains sites du Québec, par exemple sur le site de Cliche-Rancourt. Si l'observation macroscopique est traditionnellement utilisée pour définir la provenance des matériaux lithiques (silex, jaspes et volcanites, dont des rhyolites) sur les sites paleoindiens de la région, Burke et al. (2014) ont mené une série d'analyses par EDXRF sur les artefacts mis au jour sur le site, notamment lors de la fouille de 2009. Les analyses ont encore une fois été conduites de manière totalement non destructive selon un protocole précédemment mis en place (Gauthier et Burke, 2011). Cependant, une surface polie est préparée sur les échantillons géologiques afin de minimiser notamment les problèmes pouvant provenir des altérations de surface. L'étude a permis de revoir certaines assignations de provenances émises après l'analyse macroscopique, en particulier à des sources de rhyolite du Maine et du New Hampshire, ainsi que de découvrir une possible utilisation de gisement de la Montagne de Marbre (Fig. 16). Les analyses par EDXRF des rhyolites semblent ici très bien adaptées pour apporter des éléments de réponse aux problématiques archéologiques liées à la mobilité des populations paléoindiennes (Burke et al., 2014).

Beaucoup plus récemment, une étude de Finestone et al. (2020) conduite de manière non destructive sur des artefacts en rhyolites de la péninsule d'Homa au Kenya s'est intéressé à l'efficacité et l'inter-comparabilité de deux appareils différents. Cette étude a montré que les résultats des analyses pouvaient être très dispersés mais que cela était surtout dû à l'hétérogénéité des rhyolites, les mesures étant relativement bien reproductibles malgré l'état de surface des échantillons. Cependant le cadre de cette étude était restreint à une petite région au sein de laquelle très peu de sources de rhyolites ont été échantillonnées. Malgré cela, une partie des compositions chimiques des gisements étudiés se recoupaient.

L'analyse par fluorescence X portable (pXRF) s'effectue avec des appareils compacts et légers qui fonctionnent sur le principe de la fluorescence en dispersion d'énergie. Depuis quelques années, son utilisation se répand dans les laboratoires de géologie et d'archéométrie mais également d'archéologie. Cette méthode nécessite des pièces assez larges et épaisses pour obtenir une couverture suffisante par le détecteur et une bonne absorption des rayons X. Par exemple, Coffman et Rasic (2015) n'ont sélectionné que des objets de plus de 1cm de longueur et 3mm d'épaisseur au minimum. La pXRF a l'avantage d'être entièrement non destructive mais elle ne peut pas différencier matrice et phénocristaux. En effet la résolution des détecteurs sur la plupart des XRF portables est de l'ordre de quelques millimètres (7 mm² dans l'étude de Coffman et Rasic (2015), 4.9 cm² dans celle de Williams-Thorpe et al. (1999)). La

portabilité, la rapidité et le caractère non destructif du pXRF permettent d'analyser une grande quantité d'échantillons.

La sensibilité des appareils permet de détecter des concentrations de 6-14ppm pour certains éléments clés comme le Rb, Sr, Y, Nb et Zr (Williams-Thorpe et al., 1999). Cependant, cet outil est généralement moins juste et précis qu'un EDXRF de paillasse. Il est également souvent moins modulable et de nombreux éléments dont la concentration est généralement très faible (notamment le Cr, Co, Ni, Zn, V) ne sont pas toujours détectés correctement. Cela peut pourtant s'avérer déterminant pour discriminer les groupes de rhyolites dont la composition est trop proche (Coffman et Rasic, 2015). L'obtention de résultats justes et précis passe par une bonne calibration de l'appareil. Il est possible d'utiliser des calibrations mises au point pour l'analyse d'obsidiennes, dont les compositions sont identiques. Scharlotta et Quach (2015) ont fait ce choix lors d'une étude des matériaux volcaniques dans le comté de San Diego en Californie. Cependant, il est difficile d'estimer la justesse des résultats comparés à ceux déjà obtenus en ICP-MS et extrêmement dispersés (Scharlotta, 2010).

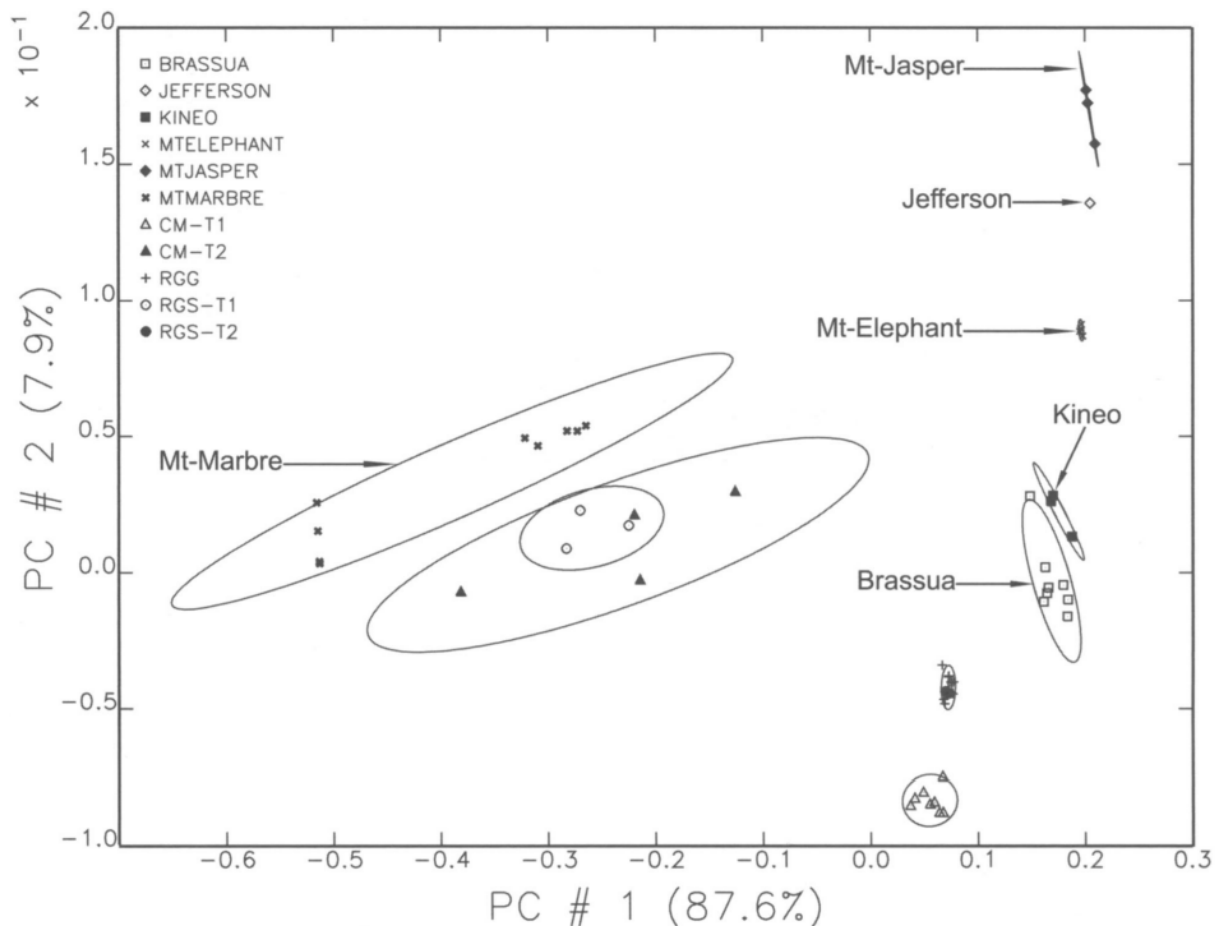


Figure 016 : Analyse en Composante Principale basée sur les résultats en Rb, Sr, Y, Zr, Nb et Ba de l'analyse des rhyolites du locus 5 de Cliche-Rancourt (CM, N=12 ; RGG, N=15 ; RGS, N=6) et des gisements de rhyolites potentiels (Lac Brassua N=5 ; Mont Kineo N=3 ; Mont Jasper N=3 ; Jefferson N=1 ; Montagne de Marbre N=5 ; Mont Elephant N=2) (Reproduit de Burke et al., 2014).

L'altération due aux intempéries ou aux conditions d'enfouissement des échantillons ont une grande influence sur les résultats obtenus par pXRF puisque les pièces sont analysées brutes (Fig. 17). On peut observer des concentrations très différentes en K, Ca, Ti et Fe entre les surfaces exposées aux effets météorologiques et les cassures fraîches (Williams-Thorpe et al., 1999). L'analyse peut aussi mettre en évidence un enrichissement en Pb et en Zn de la surface des roches dû à la pollution automobile qui peut s'avérer problématique en zone urbaine, notamment lorsque la rhyolite a été utilisée en architecture comme à Cuzco (Ogburn et al., 2013). Ces modifications de la composition chimique dépendent des roches et du type d'intempéries auxquelles elles ont été exposées. Il est donc impossible d'en prévoir ni d'en quantifier précisément les effets, mais la compréhension de ce phénomène peut permettre de mieux appréhender les erreurs possibles (Potts et al., 2006). Il est en outre possible de contourner cette difficulté, soit en effectuant les mesures sur des cassures fraîches, ce qui est problématique lorsque l'on souhaite conserver le caractère non-destructif de la méthode, soit en se concentrant uniquement sur l'étude des éléments qui sont les moins affectés par ces problèmes.

Les sources d'erreurs sont nombreuses lors de l'utilisation de ce type d'appareil : irrégularité de la surface des échantillons, seuils de détections différents pour chaque élément (fonctions de la pénétration en profondeur et en volume des rayons-X), granulométrie et minéralogie des échantillons, érosion de surface due aux intempéries. La plupart des erreurs possibles et les solutions pour les corriger ont été bien détaillées par Williams-Thorpe et al. (1999).

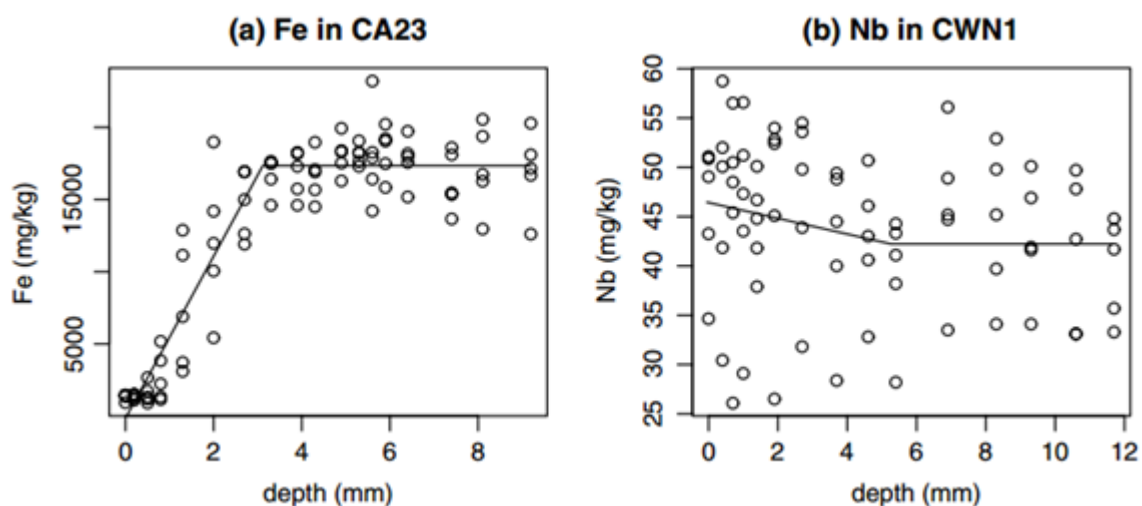


Figure 017 – Graphiques présentant la variation des concentrations en Fe et Nb en fonction de la profondeur de l'analyse que l'on peut observer sur des échantillons altérés en surface (Potts et al., 2006).

Une étude sur des haches en rhyolite et dolérite (Williams-Thorpe et al., 1999) a montré que les mesures de concentrations en éléments majeurs et traces obtenues par pXRF (sur cassures fraîches) étaient comparables avec celles obtenues par WDXRF (sur poudre). Le pXRF semble donc bien adapté pour caractériser la rhyolite et a d'ailleurs permis dans cette étude de modi-

fier des assignations de provenance effectuées précédemment par la pétrographie. Cependant cette étude a été effectuée sur peu d'échantillons et sur un type de rhyolite spécifique du Pays de Galles, à phénocristaux peu ou pas exprimés. Il est donc difficile de transposer ces résultats à d'autres régions.

La pXRF a également été utilisée par Coffman et Rasic (2015) sur des rhyolites d'Alaska. Leur étude a porté sur plusieurs centaines d'artefacts au sein desquelles ils ont pu identifier au moins une dizaine de sources potentielles. Avec un corpus de cette taille, ils ont rencontré le même type de problèmes que nous pouvons avoir en étudiant des séries de rhyolites en Corse : chaque gisement a bien une composition qui lui est propre mais ils sont pour la plupart très proches les uns des autres et la dispersion des résultats engendre des recouvrements qui empêchent de les distinguer correctement. Dans cette situation, il est préférable d'utiliser une méthode d'analyse qui donnera les résultats les plus justes possible afin de ne pas rajouter une nouvelle source de dispersion des données. La solution pourrait être d'utiliser préférentiellement un appareil de paillasse plutôt que portable ou bien de se focaliser sur la mesure de la concentration de quelques éléments traces seulement.

L'analyse par LA-ICP-MS (ablation laser associée à un plasma induit couplé à un spectromètre de masse) permet d'effectuer un micro-échantillon par ablation laser en creusant un cratère de quelques dizaines de micromètres. La matière pulvérisée est ionisée par un plasma puis analysée par un spectromètre de masse permettant d'y détecter un grand nombre d'éléments, à des concentrations parfois inférieures à la dizaine de ppm.

Des analyses très fines sont donc possibles, ne ciblant qu'un minéral (Bevins et al., 2011) ou bien la mésostase de la roche et ne nécessitant donc pas d'homogénéisation ni de destruction de l'artefact (Scharlotta, 2010). Lors de leur formation, les phénocristaux absorbent un mélange d'éléments en fonction des conditions magmatiques (composition, pression, température). On peut donc observer pour des rhyolites de même origine, des compositions en éléments traces très proches à l'intérieur d'un type de minéral donné. Ces variations caractéristiques peuvent se retrouver diluées dans l'hétérogénéité intrinsèque d'une source si la roche est analysée dans son ensemble. Il peut donc être intéressant d'effectuer des micro-échantillonnages sur un minéral précisément. Quant à la matrice vitreuse, sa genèse à partir du magma encore liquide lors de l'éruption et de composition théoriquement homogène la rend très intéressante pour l'étude de formations puissantes et/ou étendues qui présentent souvent des cristallisations très variées. Les différences de composition entre mésostase et minéraux ainsi qu'entre les différents types de minéraux eux-mêmes permettent de facilement distinguer les micro-échantillonnages ayant ratés leur cible afin de les écarter des données analysées.

Afin de réduire davantage la taille des cratères sans perdre de précision, il est possible de coupler l'appareil avec un TOF (Time Of Flight). Cette méthode demande moins de matière ablatée pour obtenir un résultat équivalent, elle donc très bien adaptée à l'étude d'objets archéologiques. Les analyses sont aussi plus rapides, 10s d'ablation continue (avec un faisceau

de 4µm de large) peuvent être suffisantes, ce qui peut permettre d'analyser de très nombreux échantillons (Scharlotta, 2010).

Seules deux études de provenance de la rhyolite se sont tournées vers la LA-ICP-MS. La première, menée par Fraser-Shapiro (2007) et Scharlotta (2010) au Nouveau-Mexique s'est focalisée sur l'analyse de la mésostase des échantillons. Les résultats ont été concluants et ont permis de revoir l'attribution des sources de nombreux objets archéologiques. La seconde étude, menée par Bevins et al. (2011) visait à exclure ou retenir la source de Pont Saeson (Pays de Galles), précédemment retenue sur des critères lithologiques, comme origine de certaines rhyolites de Stonehenge. Les échantillons géologiques et archéologiques présentaient tous deux de nombreux zircon. Ce minéral est très résistant à l'altération et inclut généralement des éléments traces relativement lourds, à faible diffusivité et dont les concentrations sont conservées pendant la cristallisation. L'étude s'est donc penchée sur leur analyse. Il n'a pas été possible de profiter du caractère quasi non-destructif de la méthode dans le cas présent étant donné la nécessité de bien observer les minéraux et donc de travailler sur des sections minces polies. La LA-ICP-MS s'est montrée bien adaptée pour mener ces investigations grâce à sa bonne résolution d'analyse (plus fine que la taille d'un zircon) et sa capacité à détecter un grand nombre d'éléments, même à faible concentration. Les résultats montrent clairement que les échantillons archéologiques ont des compositions similaires aux échantillons provenant de Pont Saeson, alors que les échantillons provenant d'autres sources potentielles ont des compositions notablement différentes (Fig. 18).

La LA-ICP-MS peut donc permettre d'échantillonner la matrice ou un minéral particulier, ainsi qu'être utilisée comme une microsonde et possiblement de vérifier les hétérogénéités de compositions.

L'analyse des rapports isotopiques est une technique de haute précision ayant montré de bons résultats en géologie. La composition isotopique d'une roche volcanique dépend de la composition du magma dans la chambre magmatique. Les rapports isotopiques mesurés dans un échantillon permettent donc d'associer une roche à un événement volcanique. La méthode s'applique sur des isotopes stables ou radiogéniques (nécessite un calcul simple pour déterminer le rapport initial) comme le Pb ou les terres rares qui ne subissent pas d'évolution différentielle lors de la cristallisation. L'oxygène par exemple (deux isotopes stables) subit un fractionnement isotopique lors de la cristallisation. On retrouve dans certains minéraux comme le zircon des $\delta^{18}\text{O}$ différents de ceux que l'on connaît pour le manteau terrestre (Siebel et al., 2011). Certains isotopes peuvent renseigner sur des conditions post-éruption ou d'altération, comme le Sr qui peut s'introduire dans les roches pendant leur hydratation. La composition isotopique peut donc constituer un bon marqueur qui peut permettre de différencier la chambre magmatique d'origine et/ou la date de l'éruption, tout en étant peu influencé par l'hétérogénéité apparente de certaines roches.

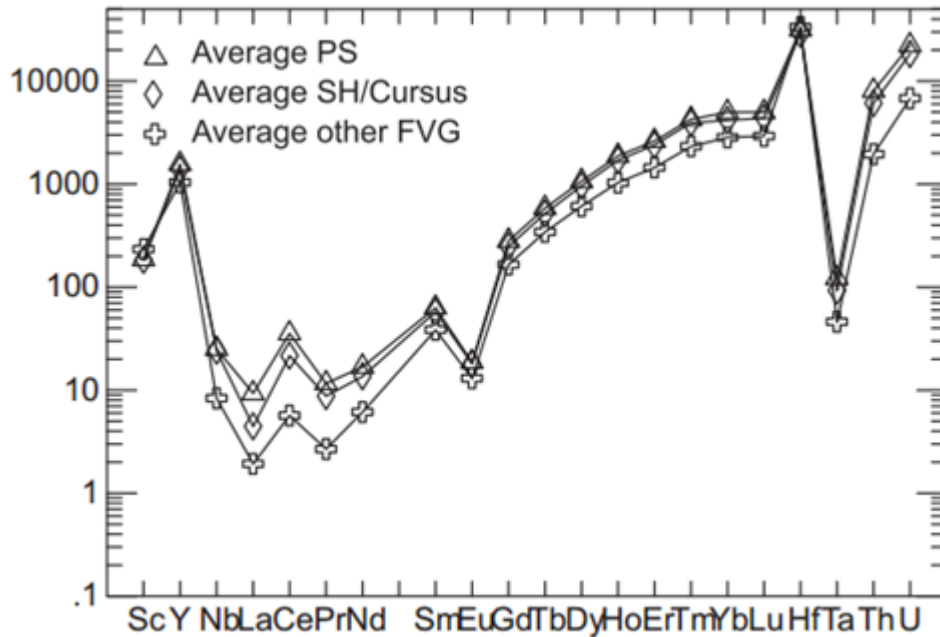


Figure 018 - Compositions moyennes des zircons analysées par LA-ICP-MS provenant de Stonehenge/Cursus (SH/Cursus) ainsi que des sources de Pont Saeson (PS) et du complexe volcanique de Fishguard (FVG). Les compositions sont très proches car ces roches proviennent certainement de la même chambre magmatique cependant la similarité entre Pont Saeson et Stonehenge est évidente. (d'après Bevins et al., 2011).

Cette méthode est destructive et s'effectue par dilution isotopique (dilution des poudres dans un acide très puissant) couplée à un spectromètre de masse à ionisation thermique (ID-TIMS). Elle peut être utile si les compositions élémentaires de deux roches sont très proches. C'est le cas notamment des roches issues d'un même complexe volcanique, comme par exemple pour une partie des rhyolites étudiées en Nouvelle Angleterre par exemple (Brady et Coleman, 2000). Une première étude avait permis d'y distinguer des signatures particulières pour différents gisements de rhyolite, grâce à l'analyse pétrographique et des éléments traces (Hermes et Ritchie, 1997a). Cependant il est difficile de discriminer plusieurs sources au sein d'un groupe de roches issues d'une unique chambre magmatique. Or, le degré de résolution est essentiel dans les études de provenance en Nouvelle-Angleterre, où les distances séparant les carrières dans un même complexe peuvent être plus grandes que les distances entre les complexes eux-mêmes (Brady et Coleman, 2000). C'est pourquoi la détermination des rapports isotopiques a été utilisée comme méthode complémentaire. Les résultats obtenus permettent de réattribuer certaines sources aux artefacts analysés. L'étude montre que l'analyse des rapports isotopiques couplée aux analyses pétrographiques et élémentaires accroît fortement la précision des attributions.

L'analyse par activation neutronique (INAA) est l'une des méthodes les plus sensibles d'analyses élémentaires. Elle présente l'avantage de fournir des données quantitatives sur la présence de très nombreux éléments dans un échantillon (plus de trente possibles, en fonction du temps d'analyse), avec des seuils de détection très bas. L'activation neutronique est bien plus précise que les techniques de fluorescence X. Par exemple, les concentrations en thorium des

échantillons analysés par activation neutronique par Bevins et al. (2012) sont données avec deux chiffres significatifs de plus que ceux analysés par WDXRF. La méthode est destructive et demande généralement des prélèvements de quelques milligrammes. Pour des matériaux hétérogènes comme la rhyolite il est cependant nécessaire de broyer une quantité beaucoup plus importante, environ 250g, afin d'obtenir une poudre à la composition plus homogène (Steinhauser et al., 2006). Ce problème peut être contourné s'il est possible de prélever uniquement une partie vitreuse présente dans la roche, auquel cas 5mg de matière suffisent.

L'INAA est la méthode de référence utilisée dans le « Thera Ashes Project » qui regroupe plusieurs équipes internationales afin d'étudier les dépôts de cendres et la présence des pierres ponce dans l'est de la Méditerranée (Steinhauser et al., 2006 ; Sterba et al., 2009). Ces roches, souvent issues de l'éruption plinienne du Santorin (milieu du second millénaire avant notre ère), sont généralement de composition rhyolitique. Elles ont été transportées par les airs (cendres), par la mer (flottaison des pierres ponce) ou par les hommes (utilisation des ponce comme abrasif). Leur présence est signalée à travers tout l'Est méditerranéen, dans la stratigraphie ou les dépôts anthropiques. Le but de ce projet est d'obtenir un terminus *post quem* commun à toute la région, afin de synchroniser les différentes chronologies. La zone géographique étudiée est très vaste et le nombre d'échantillons à analyser est considérable. Le travail est alors réparti entre plusieurs équipes, c'est pourquoi l'INAA est ici une méthode bien adaptée. En effet, elle est très précise et peu dépendante du type d'appareillage utilisé, les résultats obtenus sont donc facilement comparables entre eux.

Malgré sa très grande précision, l'activation neutronique ne permet pas toujours à elle seule de différencier des roches issues d'un même complexe volcanique (Williams-Thorpe et Thorpe, 1984). L'INAA nécessite une source de neutrons, c'est-à-dire un réacteur nucléaire. C'est pourquoi cette méthode est aujourd'hui progressivement abandonnée en archéométrie au profit de techniques moins lourdes et plus faciles d'accès comme la LA-ICP-MS.

L'utilisation du **MEB-EDS** (microscope électronique à balayage couplé à un spectromètre de rayon X en énergie dispersive) dans la recherche de provenance d'objets en rhyolite n'est mentionnée qu'une fois dans la littérature, pour l'étude d'une pierre ponce retrouvée sur un site magdalénien des Landes (Dachary et al., 2012). Les informations obtenues ne sont que qualitatives et ne permettent que de confirmer une composition rhyolitique de la roche. Cette méthode semble peu adaptée pour ce type d'étude. La possibilité d'effectuer de l'imagerie de qualité en parallèle (Fig. 19) peut permettre cependant de mieux orienter d'autres types d'analyses.

La **microsonde de Castaing (EMP)** permet d'obtenir des résultats quantitatifs et plus précis que le MEB-EDS. Une utilisation non destructive est possible mais il est préférable de travailler sur des sections polies, à partir d'échantillons millimétriques voire micrométriques (Dachary et al., 2012). Cependant cette méthode n'est pas la mieux adaptée pour la recherche des éléments traces. Son utilisation a pourtant permis d'obtenir des résultats intéressants dans quelques cas. Par exemple, l'analyse par EMP de la pierre ponce découverte sur un site magdalénien

des Landes a permis d'exclure une origine française ou espagnole (Dachary et al., 2012). Elle proviendrait d'une éruption plinienne sur une île volcanique de l'océan Atlantique. L'intérêt de cette étude est lié à la présence de pierres ponces comparables sur plusieurs sites magdaléniens de la façade atlantique qui pourraient constituer des outils pour synchroniser les chronostratigraphies. L'EMP a également été utilisée dans le sud de l'Italie pour caractériser des inclusions volcaniques dans des céramiques et ainsi retrouver leur région de fabrication (Barone et al., 2010). La bonne résolution d'analyse de la microsonde a permis de n'étudier que la composition des pyroxènes, qui ne sont pas altérés lors de la cuisson. Les seules concentrations en éléments majeurs et mineurs permettent de différencier les grandes régions volcaniques et sont ici suffisantes pour éclairer les réseaux d'échanges à travers le sud de l'Italie à diverses périodes.

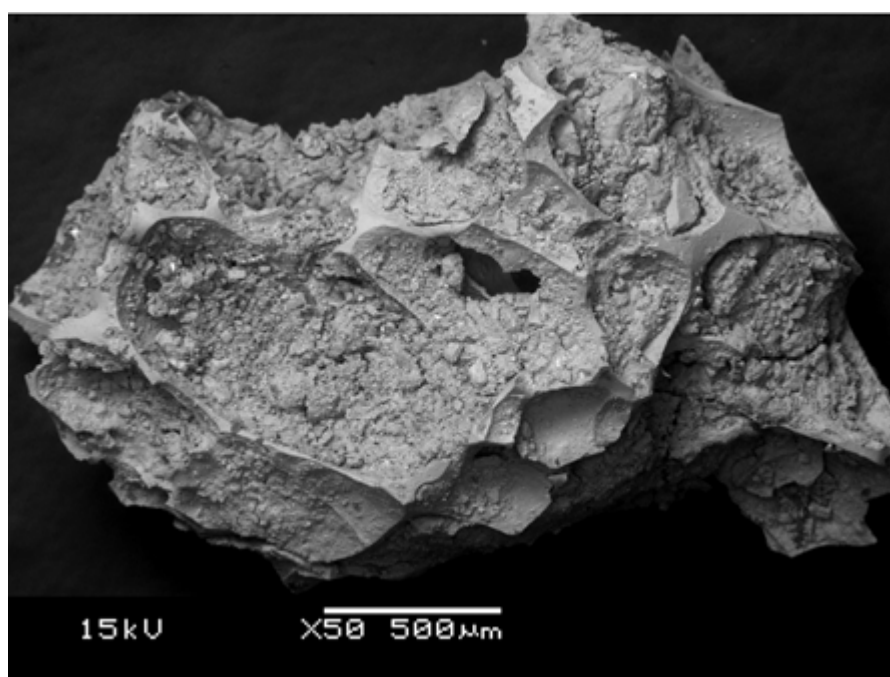


Figure 019 - Fragment de pierre ponce retrouvé sur le site de Duruthy (Landes, France) observé au MEB. Les parties vitreuses entourant les vésicules sont bien visibles (d'après Dachary et al., 2012).

c. En résumé

Les études de provenances de rhyolite sont donc relativement peu nombreuses malgré la présence et l'utilisation ancestrale de ce matériau dans une très large partie du globe. Les artefacts en rhyolite représentent souvent une part minoritaire des séries lithiques et leur hétérogénéité visuelle est perçue comme un obstacle à leur analyse. Les études se sont donc concentrées sur d'autres types de matériaux, comme l'obsidienne, bien plus homogène, ou le silex, très massivement utilisé dans un grand nombre de sites préhistoriques. Or, la plupart des études menées jusqu'à aujourd'hui sur des rhyolites, qu'elles privilégient des analyses visuelles, minéralogiques ou élémentaires, révèlent le fort potentiel de ce type de recherches.

Dans la plupart des cas, le référentiel géologique est très restreint, souvent parce que l'étude en question ne vise qu'à discriminer deux ou trois sources de matériaux potentiels. De manière générale, les études de provenance d'artefacts en rhyolite ont été peu ambitieuses car ce type de recherche est extrêmement chronophage alors que les méthodes d'analyse ne semblent pas toujours bien éprouvées, parfois à tort. Nous avons pourtant vu qu'une très grande variété de méthodes a pu être testée sur ce type de matériaux au cours des dernières décennies. Elles sont souvent complémentaires entre elles et apportent habituellement des informations très utiles pour l'archéologie. Nous avons aussi pu remarquer que les méthodes d'analyse non destructives, ou quasiment non destructives, ont montré de très bons résultats. Il ne semble donc pas possible aujourd'hui de justifier des analyses qui nécessiteraient la destruction totale ou partielle d'artefacts préhistoriques.

Partie 2 - Méthodologie

1. Méthodologie analytique

L'approche traditionnellement utilisée jusqu'alors pour les études de provenance des rhyolites corses était basée sur une étude principalement visuelle, appuyée par des analyses pétrographiques du matériel géologique (Ameziane-Federzoni, 2011). La principale limite des analyses pétrographiques est la nécessité de détruire une partie de l'échantillon pour fabriquer des lames minces. Ce type de préparation n'est absolument pas adapté à l'analyse d'objets archéologiques, surtout pour des séries qui peuvent comporter des centaines de pièces. De plus, même s'il est techniquement possible d'effectuer des lames minces sur de petits échantillons millimétriques, ce qui sur certains sites représente la majorité des pièces en rhyolites, cela ne permet pas de faire des identifications satisfaisantes. C'est pourquoi les séries archéologiques étaient principalement étudiées à l'œil nu ou à la binoculaire.

Cette identification macroscopique des rhyolites peut présenter de nombreux désavantages. Les artefacts sont souvent altérés en surface et peuvent avoir changé de couleur et/ou de texture pendant leur enfouissement. Il est souvent compliqué d'identifier des éléments diagnostiques sur les petites pièces, comme la présence d'un certain type de phénocristaux ou d'une texture fluidale par exemple. Surtout, cette méthode demande un apprentissage assez long pour être efficace et nécessite de "se faire l'œil" sur un très grand nombre de pièces. Enfin, de nombreux gisements ne peuvent tout simplement pas être différenciés visuellement.

Notre objectif a été d'identifier de nouvelles méthodes d'analyses, notamment en appliquant et en adaptant les protocoles d'analyses qui ont déjà fait leurs preuves pour l'étude des obsidiennes. En effet, les obsidiennes sont des rhyolites qui ont bénéficié de conditions de formations particulières et sont presque entièrement vitreuses. Ce verre naturel présente des caractéristiques très appréciées des artisans tailleurs de la préhistoire et est également un matériau de choix pour conduire des études de provenance. C'est effectivement un matériau dont les gisements sont relativement peu nombreux, issus d'événements volcaniques discrets et présentant une composition chimique potentiellement unique. Enfin le caractère vitreux de cette roche la rend très homogène. C'est pourquoi les obsidiennes font l'objet de nombreuses études depuis les années 1960 (Cann et Renfrew, 1964) ce qui a permis de multiples développements méthodologiques. Nous avons donc essayé d'adapter ces méthodes à un matériau de même composition mais dont les sources sont beaucoup plus nombreuses, l'hétérogénéité intra-source bien plus importante et surtout dont les échantillons eux-mêmes sont parfois très hétérogènes à l'échelle millimétrique. Nous avons donc testé plusieurs méthodes d'analyses déjà couramment utilisées pour l'étude des obsidiennes et souvent déjà expérimentées sur des rhyolites comme la LA-ICP-MS, l'EDXRF, le PIXE ou le MEB-EDS, mais également des méthodes moins courantes comme la DRX ou la RMN.

Nous reportons ici les différents résultats obtenus, qu'ils aient été positifs ou non, sur de grands corpus ou sur quelques échantillons. L'intention première est de fournir une documentation concernant les apports, les limites ou simplement le type de résultats que l'on peut attendre

en analysant des rhyolites suivant ces différentes méthodes. Ces explorations méthodologiques nous ont également permis de définir des protocoles d'analyses adaptés à notre sujet d'étude, ainsi qu'une stratégie analytique, plus globale, que nous avons ensuite pu mettre en œuvre sur l'ensemble de nos échantillons.

a. Les différentes méthodes testées

i. Pétrographie

La pétrographie est l'une des méthodes d'analyse des roches la plus ancienne et la plus largement utilisée, d'abord en géologie, puis en archéologie pour l'étude des artefacts en pierre ou des matériaux de construction par exemple. Il s'agit de la méthode de référence permettant de définir les caractéristiques lithologiques d'une roche. Elle nécessite l'utilisation d'un microscope polarisant qui équipe de nombreux laboratoires et a donc l'avantage d'être facilement accessible. Les échantillons nécessitent d'être préparés en lames minces afin d'être observés au microscope pétrographique. Une lame mince est une fine couche de roche de 30 μ m d'épaisseur collée sur une lame de verre transparente de 27mm sur 46mm. Cette très faible épaisseur permet à la lumière de traverser la roche. En fonction du type de cristallisation, la lumière peut être déviée, comme à travers un prisme, provoquant l'apparition de couleurs caractéristiques.

La fabrication nécessite le prélèvement d'une partie de l'échantillon à l'aide d'une scie à roche ce qui constitue certainement la principale limite de cette méthode lorsque l'on étudie des objets archéologiques. Les échantillons que nous avons analysés ont été préparés en lames minces par nos soins au sein de l'atelier de litho-préparation de l'IRAMAT-CRP2A puis observés sur un microscope LEICA DM2500P.

Nous avons réalisé 25 lames minces sur des échantillons géologiques uniquement, provenant de l'ensemble des régions que nous avons échantillonnées. L'objectif n'était pas ici de construire une base de données pétrographique que nous pourrions comparer avec les échantillons archéologiques. Nous recherchions simplement à obtenir des informations concernant la genèse de ces rhyolites, ainsi que la distribution et la nature des différents minéraux au sein de la matrice qui peuvent expliquer la dispersion des compositions géochimiques que l'on observe parfois. Les observations pétrographiques ont donc permis d'orienter la façon dont nous utilisons les résultats des analyses EDXRF par exemple.

Tout d'abord, nous avons pu voir que la plupart des rhyolites que nous avons échantillonnées ont une matrice microcristalline constituée d'un enchevêtrement de quartz et de feldspaths (Fig. 20). Un refroidissement brusque a rapidement stoppé la croissance des minéraux lors de la formation de la roche. Cette caractéristique joue bien sûr un rôle essentiel dans l'aptitude à la taille de ces rhyolites mais elle rend compliqué la lecture des lames minces. Nous avons

cependant pu dresser quelques observations.

Les rhyolites filoniennes présentent souvent des sphérolites bien plus grandes que celles que l'on peut voir dans les rhyolites du Cintu. La chloritisation est souvent assez avancée le long des fissures et présente la première source de variabilité entre les échantillons de ce type de rhyolite. Les roches ignimbritiques du massif du Cintu présentent quant à elles des inclusions, des enclaves et des ponces dévitrifiées (Fig. 20, F) qui sont autant d'éléments pouvant venir perturber les résultats d'analyses géochimiques. Ces roches présentent généralement une séricitisation importante le long des fissures mais que l'on retrouve également sur la plupart des feldspaths.

On peut retrouver de nombreuses informations sur les rhyolites grâce à la pétrographie : la texture de la mésostase, la taille des sphérolites, la présence de phénocristaux, la nature des feldspaths, la présence de minéraux accessoires comme les zircons ou les épidotes, la nature des inclusions (ponces, autres rhyolites), la présence de minéraux liés à l'altération (séricites, chlorites, muscovites). Cependant ces critères ne permettent pas à eux seuls de définir les caractères d'un gisement qui font son unicité. Si dans le massif du Cintu cela peut servir à relier une roche à un évènement particulier et donc à un ensemble de roches dont la position géographique est connue bien que parfois très étendue, cela semble d'une utilité toute relative pour étudier les rhyolites filoniennes du sud de l'île.

Ces observations en lames minces nous ont cependant été utiles pour mieux comprendre les résultats obtenus par d'autres méthodes, notamment géochimiques. Par exemple, on peut voir avec l'échantillon BDX20952 que l'on trouve dans cette rhyolite des cristaux de calcites et des feldspaths plagioclases, potentiellement riches en calcium. La présence de ces minéraux est probablement responsable de la forte dispersion des teneurs en calcium mesurées en EDXRF, que l'on n'observe pas sur la plupart des autres échantillons. Cependant les teneurs en strontium, un élément qui se substitue souvent au calcium et que l'on retrouve donc préférentiellement au sein des mêmes minéraux ne sont pas affectées de la même manière et sont au contraire peu dispersées. Dans ce cas, le calcium n'est donc pas un très bon marqueur, contrairement au strontium. On peut donc voir que la présence de phénocristaux, même de faible taille, peut influencer sur les teneurs en éléments majeurs et mineurs mesurées notamment en EDXRF. Cependant les teneurs en éléments traces sont moins impactées par ces problèmes d'hétérogénéités.

Ce que nous avons retenu de ces observations est la très grande diversité de rhyolites examinées. Les minéraux accessoires, les minéraux liés à l'altération ainsi que la texture de la matrice peuvent aussi fortement varier au sein des rhyolites d'une même région ou d'un même gisement. Si cette méthode peut s'avérer fort utile pour déterminer des grands types de rhyolites, elle est certainement limitée lorsque l'on cherche à différencier des gisements à la lithologie souvent voisine et parfois proche géographiquement.

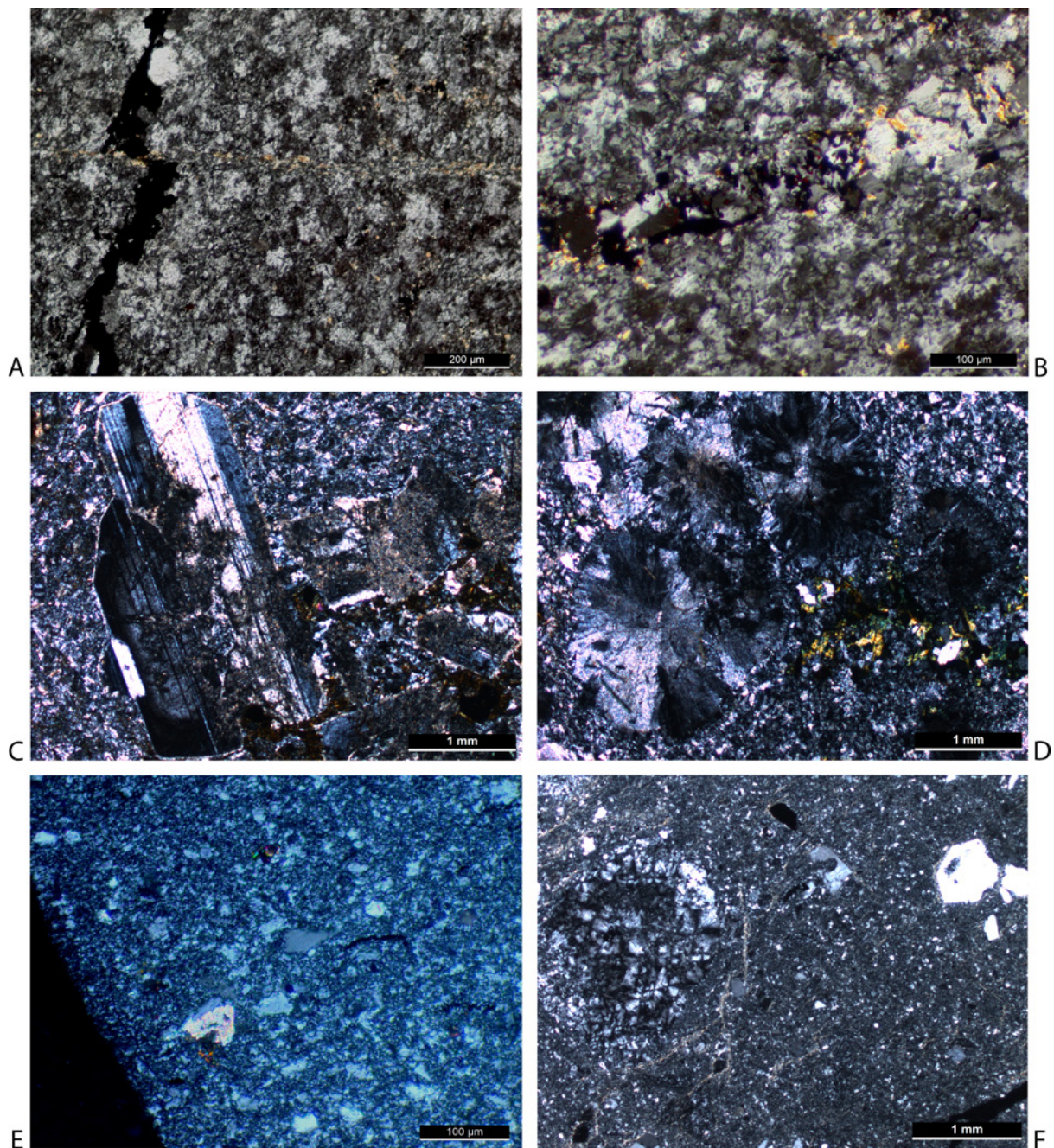


Figure 020 : Observation sous microscope polarisant en lumière polarisée analysée. A : BDX19514, Giunte, Matrice microcristalline et microfille ; B : BDX19524, Giunte, Oxydes de fer (hématite ?) et altération (chlorite ou sericite ?); C : BDX 19306, Potezu, phénocristaux de plagioclase altérés ; D : BDX 19290, Pastini, sphérolites et chlorites ; E : BDX20952, Fangu, présence exceptionnelle de calcite F : BDX 20928, Stagnu, ponce dévitrifiée, quartz présentant des golfes de corrosions.

ii. La diffraction de rayons X

La diffraction des rayons X (DRX) est une méthode d'analyse structurale qui nous permet d'obtenir des informations sur la minéralogie des roches étudiées. Les minéraux possèdent tous une structure cristalline caractéristique. Cette structure se compose d'un schéma cristallin assez simple, une maille élémentaire, qui se répète dans les trois dimensions pour former des cristaux plus ou moins volumineux. Les cristaux peuvent ainsi avoir uniquement 14 formes différentes, appelées réseaux de Bravais (Fig. 21). La composition chimique de ces cristaux va également avoir un impact en jouant notamment sur la distance séparant les différents plans des cristaux. La DRX va nous permettre de connaître la forme des cristaux ainsi que l'espacement entre les plans cristallins qui sont théoriquement deux informations suffisantes pour caractériser chaque minéral. Les rayons X ont la particularité d'avoir une longueur d'onde autour du nanomètre ce qui correspond à l'ordre de grandeur de l'espace séparant la plupart des plans cristallins. Ainsi lorsque les rayons X traversent un cristal ils sont déviés suivant un angle bien précis, qui dépend de la longueur d'onde du rayonnement X et de l'espacement des plans cristallins. Lors de l'analyse DRX nous contrôlons donc la source d'émissions de rayon X ainsi que les angles entre la source et le détecteur. Grâce à la loi de Bragg qui s'énonce ainsi :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

où θ est l'angle de diffraction, n l'ordre de diffraction, λ la longueur d'onde du faisceau de rayons X et d la distance entre les plans des différents minéraux, nous pouvons déterminer la distance séparant les plans.

	Triclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Monoclinique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ et $\gamma \neq 90^\circ$	Hexagonal $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$	Rhomboédrique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Orthorhombique $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Quadratique $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Cubique $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Primitif P							
Maille centrée I							
Deux faces centrées C							
Faces centrées F							

Fig 021 : Réseaux de Bravais (Auteurs : Natan Capobianco et Gauthier Roisine CC-BY-NC-ND).

La DRX a été utilisée sur 34 échantillons géologiques réduits en poudre. L'appareil utilisé est un diffractomètre Bruker D8 Advance (irradiation Cu $K\alpha$) (voir Pradeau et al. (2016), pour un autre exemple d'utilisation de cet appareil). L'utilisation de cette méthode sur des rhyolites ne présente pas de problèmes particuliers étant donné la forte cristallinité de la roche, comme l'a montré l'étude de Pollock et al. (2008). Cependant, les conditions et le temps de mesure

ont dû être spécifiquement choisis pour notre matériau. En effet, il s'est avéré compliqué de distinguer les pics de diffractions des minéraux accessoires étant donné que le quartz et les différents feldspaths occupent à eux seuls la quasi-totalité des diffractogrammes. Il est donc apparu comme indispensable de réduire au minimum le rapport signal sur bruit et d'augmenter au maximum la résolution des pics. Nous avons donc mesuré pour chaque échantillon la diffraction des rayons X de 5° à 60°, avec un pas de 0,01° à raison de 5 secondes par pas. Malgré cela quelques pics de faibles intensités, repérés sur la plupart des diffractogrammes, n'ont pas pu être attribués avec certitude à une espèce cristalline particulière. De plus, étant donné la forte prévalence du quartz et des feldspaths, il est probable que certains minéraux existant dans ces roches n'ont pas pu être détectés.

Nous avons analysé 31 échantillons géologiques provenant du plateau de Stagnu, du Monte d'Oro, du plateau d'Alzu et du filon des Castelli. L'analyse en DRX de ces échantillons a permis de déterminer un grand nombre de phases minéralogiques présentes dans les rhyolites. Un tableau récapitulatif des minéraux identifiés et les différents diffractogrammes obtenus sont présentés en annexes. Parmi les minéraux identifiés, le quartz est très largement majoritaire, suivi des feldspaths, puis des minéraux annexes (muscovites, biotites, épidotes, chlorites...). On observe quelques différences entre les sources. Les feldspaths des rhyolites du plateau de Stagnu sont en majorité des orthoclases et des albites très pauvres en calcium. Nous avons également noté la présence discrète de microcline. Dans les roches des autres sources étudiées, les feldspaths potassiques sont représentés par la sanidine, bien que celle-ci soit souvent difficile à distinguer de l'orthoclase. Les feldspaths plagioclases sont quant à eux des albites contenant de faibles quantités de calcium.

On observe des différences plus importantes en ce qui concerne les minéraux accessoires. Dans les roches du plateau de Stagnu, ils se répartissent essentiellement entre muscovites (deux polytypes) et hématites. Dans le cas des autres sources, on retrouve également deux polytypes de muscovites mais l'un d'eux est différent. L'hématite est absente, le fer est alors concentré dans d'autres minéraux que l'on ne retrouve pas dans les roches de Stagnu : la biotite et l'épidote. Les roches du filon d'Alzu et du Monte d'Oro contiennent également des chlorites (nimite, clinochlore), probablement issus de l'altération ou du métamorphisme d'autres minéraux comme les feldspaths ou les biotites, ainsi que de la cronstedtite qui peut se former, comme le clinochlore, en lien avec une activité hydrothermale de basse température. Des cristaux de pyrites ont été observés au MEB-EDS dans la plupart des roches étudiées, mais seules celles en provenance du Monte d'Oro en contiennent suffisamment pour qu'ils puissent être détectés en DRX. Les diffractogrammes recueillis ont apporté des informations minéralogiques essentielles à la compréhension des conditions de formations des roches et de l'altération subie par les minéraux. Ces données ont été utiles pour mieux comprendre les données de compositions obtenues par les autres méthodes d'analyses.

Cependant, la DRX ne permet pas d'obtenir d'informations permettant de discriminer convenablement les sources de rhyolites. La trop faible représentativité des minéraux accessoires,

potentiellement caractéristiques, ne permet pas de les détecter correctement. Enfin, le caractère destructif de cette méthode nous empêche de l'utiliser en routine sur les artefacts.

Il existe néanmoins la possibilité d'obtenir des diffractogrammes en analysant un échantillon brut mais les réglages sont relativement compliqués et il est difficile d'obtenir une très bonne calibration permettant de comparer les diffractogrammes obtenus sur différents échantillons. Nous avons eu l'occasion d'utiliser la DRX une seule fois sous cette configuration pour régler une question très précise. H. Paolini-Saez nous a confié l'analyse d'une armature à la typologie atypique qui aurait été retrouvée en surface à proximité du site de Monti di a Torra (Cuttoli-Corticchiato, Corse-du-Sud) il y a plusieurs années. Il s'agit d'une petite armature à base concave, identique aux pointes « tour Eiffel » du Néolithique du Sahara central (Fig. 22). Le matériau est une roche noire très fine, presque translucide, que l'on pourrait identifier à l'œil nu comme de l'obsidienne fortement patinée. Cette typologie d'armature n'a pas d'équivalent en Corse, de plus, l'objet a été trouvé il y a plusieurs décennies et conservé depuis chez un particulier. Il pourrait donc tout à fait s'agir d'une erreur, la pièce ayant été confondue avec un objet provenant d'Afrique du Nord, ces armatures étant très nombreuses dans les collections de particuliers. Cependant, les armatures à base concave existent en Europe, notamment à la fin du Néolithique et au Chalcolithique et les armatures en obsidienne sont nombreuses en Corse mais inconnues dans le Néolithique saharien. Nous avons donc analysé cet objet en EDXRF et en DRX. L'analyse élémentaire a confirmé la nature rhyolitique de la roche mais celle-ci ne correspondait à aucune source d'obsidienne connue en Méditerranée, ou en Europe. Nous avons donc dû utiliser la DRX pour mener des analyses minéralogiques complémentaires, de manière totalement non destructive.

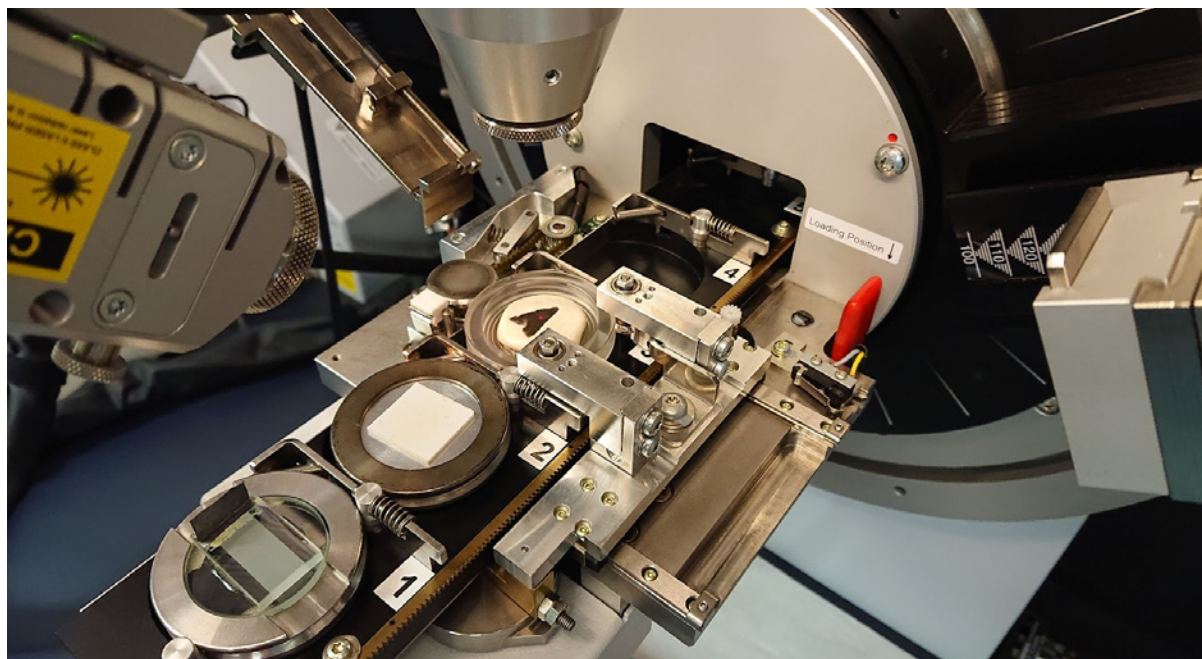


Figure 022 : Pointe "tour Eiffel" prête à l'analyse DRX.

Les diffractogrammes (Fig. 23) obtenus nous permettent d'affirmer sans hésitation qu'il s'agit bien d'une rhyolite pleinement cristallisée et non d'une obsidienne. Ce résultat a confirmé

notre première intuition, cette armature est très probablement d'origine nord-africaine et est très certainement arrivée en Corse au cours du XX^{ème} siècle au sein de la collection d'un particulier.

Armature Tour Eiffel

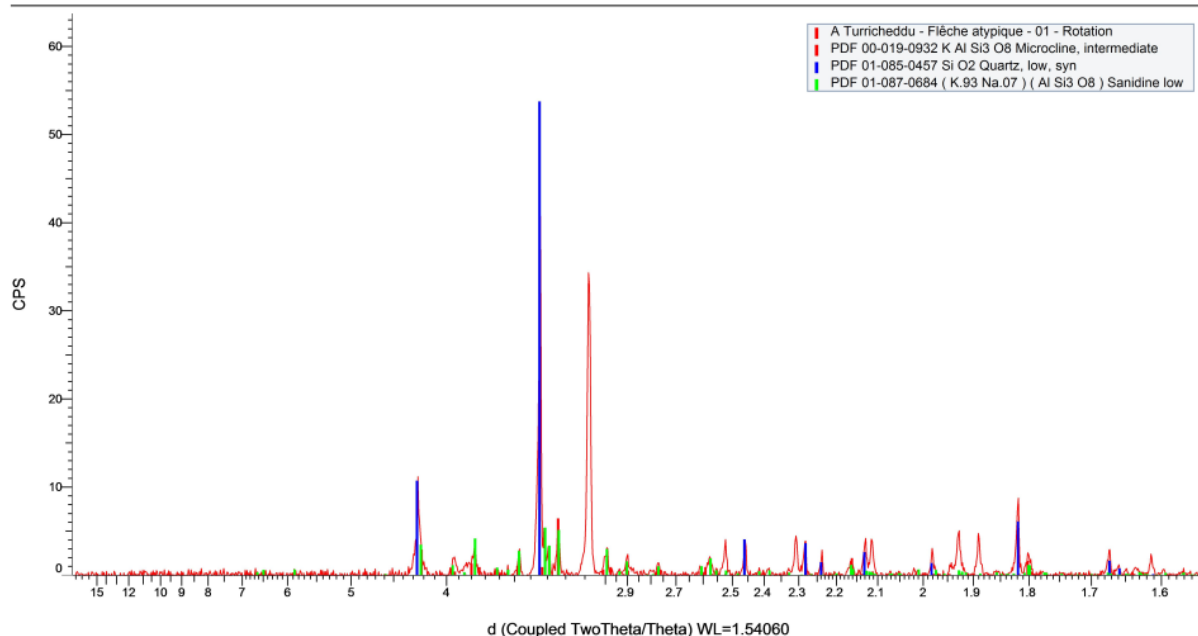


Figure 023 : Diffractogramme de l'armature "tour Eiffel". Echantillon analysé en rotation. Les pics sont bien définis et l'on n'observe pas de bosse caractéristique des matériaux amorphes. Seuls les quartz et les feldspaths potassiques ont pu être identifiés.

iii. LA-ICP-MS

Les analyses par LA-ICP-MS (ablation laser associée à un plasma induit couplé à un spectromètre de masse) permettent d'effectuer un micro-échantillon par ablation laser en creusant un cratère de quelques dizaines de micromètres dans les échantillons. La matière pulvérisée est ionisée par un plasma puis analysée par un spectromètre de masse permettant d'y détecter un grand nombre d'éléments, à des concentrations très faibles, parfois de l'ordre du ppb. Cette méthode nous renseigne donc sur la composition élémentaire de nos échantillons, avec une sensibilité très importante, mais également sur les minéraux présents dans la roche. Il est en effet possible d'obtenir pour chaque mesure des diagrammes de concentration en fonction du temps et donc de la profondeur d'analyse. On peut ensuite isoler une partie de ces diagrammes afin d'extraire les profils élémentaires de minéraux particuliers. Nos analyses par LA-ICP-MS ont été conduites à l'IRAMAT-CEB d'Orléans avec l'aide de B. Gratuze, sur une machine spécifiquement dédiée à l'étude des roches et des matériaux archéologiques et régulièrement utilisée par les chercheurs de l'ISTO (Institut des Sciences de la Terre d'Orléans) et de l'IRAMAT.

Ces analyses ont eu lieu en 2016 et ont concerné l'intégralité des échantillons géologiques

qui étaient alors à notre disposition, ainsi que six échantillons archéologiques provenant du plateau d'Alzu et de l'abri des Castelli (BDX 17898-17902-17904-17935-17943-17946). Les échantillons géologiques étaient préparés en petits cubes à raison de deux prélèvements par échantillon. Les échantillons archéologiques ont été placés entiers dans la chambre d'analyse, à l'exception des échantillons BDX17898 et BDX17943 sur lesquels un prélèvement a été effectué. Chaque prélèvement et échantillon placé dans la cellule d'analyse a fait l'objet d'une mesure. Lors d'une seconde série d'analyses, les échantillons BDX17880, BDX17895 et BDX17912, provenant respectivement du plateau de Stagnu, du plateau d'Alzu et du Monte d'Oro, ont fait l'objet de dix mesures chacun (Tab. 3). Nous avons ainsi pu apprécier la dispersion des résultats au sein d'un même échantillon de 5mm³. Le menu d'analyse utilisé a permis de doser trente-huit éléments. Le temps d'analyse a été fixé à deux minutes par mesure avec une largeur de faisceau laser de 100µm. Les douze premières secondes d'ablation ne sont pas comptabilisées et permettent d'éviter tout problème lié à l'altération de surface ou à la pollution extérieure. Le protocole et la méthode de calcul utilisés sont détaillés par Gratuze et al. (2001).

Les résultats de ces analyses permettent difficilement de discriminer correctement les sources. La largeur de faisceau utilisée (100µm) est à peu près du même ordre de grandeur que la plupart des minéraux. Elle est donc trop importante pour ablater un seul minéral à la fois, et trop faible pour englober une grande quantité de minéraux, représentative de la composition globale. Les résultats sont donc très dispersés et il est compliqué de savoir s'ils sont représentatifs de la composition de quelques minéraux ou de la roche globale.

Pour pallier ce problème, deux solutions sont envisageables : ne s'intéresser qu'aux éléments dont la concentration reste stable ou bien multiplier le nombre d'analyses par échantillon. Certains éléments comme le baryum, le strontium ou l'yttrium ne s'associent que rarement avec d'autres atomes pour former des minéraux, ils sont donc répartis de manière assez homogène dans la roche. Cependant, au sein des échantillons analysés, les concentrations de ces éléments ne permettent que de différencier le plateau de Stagnu des autres sources (Fig. 24). Nous avons donc traité les spectres indiquant la présence d'un ou plusieurs minéraux lors de la mesure (pic de zirconium, de Terres Rares ou inversion du rapport Na/K par exemple) afin de ne conserver que les parties que nous considérons comme représentatives de la composition globale de la roche (concentrations constantes pour tous les éléments). Une fois ce traitement effectué, nous avons pu utiliser les concentrations en lutécium comme élément discriminant supplémentaire. Le lutécium est toujours associé aux autres lanthanides mais en concentration extrêmement faible, il est donc moins affecté que les autres Terres Rares lors de l'agrégation de ces dernières dans certains minéraux. Nous avons donc pu distinguer les roches du plateau d'Alzu et du Monte d'Oro grâce à leurs concentrations en strontium et lutécium. Les roches provenant des gisements proches de l'abri des Castelli sont quant à elles bien discriminées par leurs forts taux de manganèse (Fig. 24). Si cette solution semble ici efficace, elle n'est possible que sur un petit échantillonnage car elle n'est probablement pas automatisable.

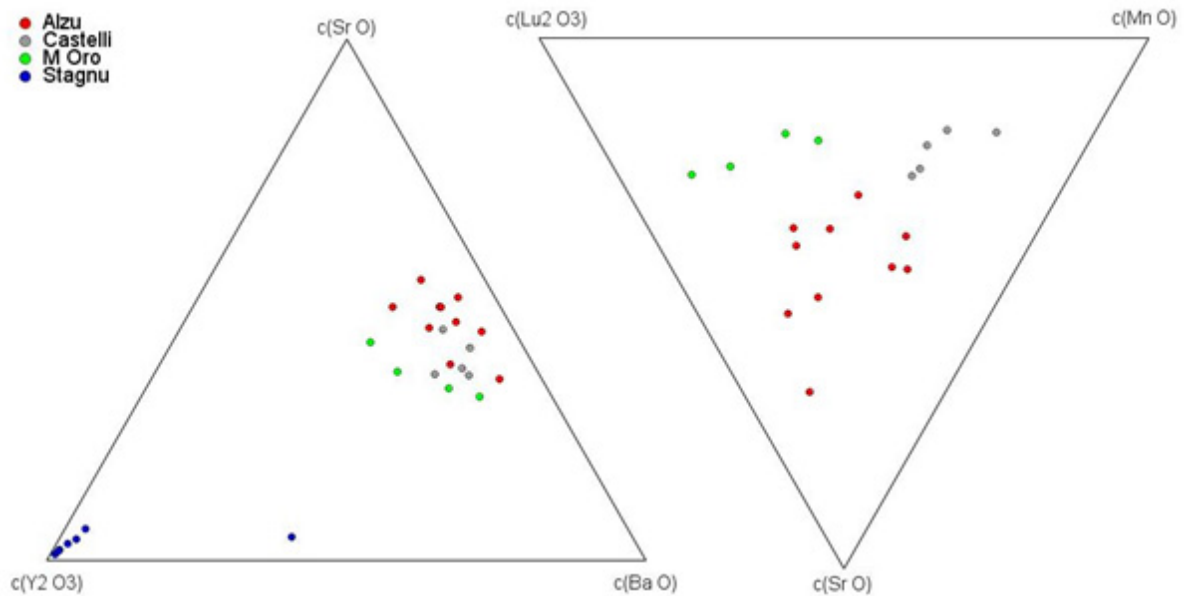


Figure 024 - Diagrammes ternaires basés sur les concentrations mesurées en LA-ICP-MS sur les échantillons géologiques. $SrO-Y_2O_3-BaO$ (centrés) permet de distinguer le plateau de Stagnu des autres sources. $SrO-MnO-Lu_2O_3$ (centrés) permet de distinguer les trois autres sources entre elles.

Afin de tester si la multiplication du nombre d'analyses par échantillon résoudrait les problèmes de dispersion des résultats, nous avons effectué un test sur trois échantillons (BDX17880, 17895 et 17912) comme expliqué précédemment (Tab. 3). Les résultats sont compliqués à interpréter étant donné le peu d'échantillons que nous avons pu analyser pour ce test. Nous pouvons cependant nous rendre compte que la variabilité des résultats au sein d'un même échantillon peut être importante. Les plus grandes dispersions s'expliquent par la présence d'un ou deux *outliers* dans les résultats de BDX17880 et 17912. En effet, deux mesures sur BDX17880 ont rencontré un minéral très riche en Terres Rares légères, probablement une monazite. Le même scénario s'est produit sur BDX17912 avec un zircon, très riche en Terres Rares lourdes. Il pourrait paraître aisé de simplement éliminer ces *outliers* mais il s'avère qu'avec 38 éléments dosés, quasiment toutes les mesures correspondent à un *outlier* si l'on considère chaque concentration.

La LA-ICP-MS ne nous a pas semblé être la meilleure méthode pour étudier un grand nombre de rhyolites corses. L'hétérogénéité des roches que nous analysons est bien trop importante pour que les résultats soient facilement exploitables. Cependant, cette méthode d'analyse possède des atouts indéniables comme sa forte sensibilité, la possibilité d'effectuer des profils de concentration et d'isoler la composition d'un minéral particulier ainsi que l'ablation des produits d'altérations éventuelles que l'on pourrait trouver en surface des échantillons. Il est certain que si nous avions eu un accès plus aisé à cet équipement nous l'aurions utilisé ponctuellement par la suite sur des problématiques particulières.

Bdx :	17880			17895			17912		
	Moy.	E-T	Co.Var.	Moy.	E-T	Co.Var.	Moy.	E-T	Co.Var.
Na2 O	2.58%	0.87%	34%	3.53%	0.30%	9%	4.57%	0.70%	15%
Mg O	0.34%	0.25%	75%	0.24%	0.13%	56%	0.22%	0.18%	84%
Al2 O3	12.51%	3.36%	27%	14.86%	1.31%	9%	13.61%	1.07%	8%
Si O2	74.45%	7.03%	9%	73.06%	2.13%	3%	76.06%	1.57%	2%
K2 O	6.68%	4.17%	62%	4.83%	0.45%	9%	3.61%	0.97%	27%
Ca O	0.09%	0.02%	25%	1.49%	0.78%	52%	0.66%	0.19%	29%
Ti O2	0.12%	0.03%	29%	0.19%	0.04%	23%	0.09%	0.08%	90%
Mn O	0.02%	0.01%	44%	0.03%	0.01%	25%	0.03%	0.01%	44%
Fe2 O3	3.00%	0.95%	32%	1.60%	0.64%	40%	1.05%	0.39%	37%
Li	12.8	8.5	66%	52.5	23.3	44%	4.2	2.9	69%
B	7.6	3.5	45%	2.1	0.6	28%	1.4	0.3	22%
Sc	8.4	1.8	22%	10.0	2.2	22%	8.0	1.5	19%
Zn	86.3	34.6	40%	27.1	16.1	59%	30.3	12.9	42%
Rb	389.8	196.4	50%	178.5	29.2	16%	128.0	30.4	24%
Sr	2.8	0.7	26%	111.6	47.3	42%	52.5	14.2	27%
Y	75.3	39.8	53%	19.9	5.0	25%	19.5	26.1	133%
Zr	635.7	330.7	52%	151.5	23.5	16%	115.3	229.2	199%
Nb	49.5	13.3	27%	14.7	2.5	17%	8.4	6.3	74%
Cs	9.8	5.2	53%	2.3	0.9	39%	0.7	0.2	29%
Ba	7.4	4.7	63%	610.7	50.0	8%	344.6	114.6	33%
La	64.8	144.8	224%	44.3	15.2	34%	21.8	35.3	162%
Ce	147.1	332.9	226%	87.4	33.0	38%	42.9	72.5	169%
Pr	18.3	41.9	229%	8.6	3.3	38%	4.1	7.1	171%
Nd	77.8	180.3	232%	31.9	12.0	38%	14.8	24.8	167%
Sm	19.0	43.4	228%	5.7	2.1	38%	2.6	4.0	152%
Eu	0.1	0.1	198%	0.7	0.3	44%	0.5	0.4	84%
Gd	15.4	29.4	191%	4.4	1.6	36%	2.1	2.4	115%
Tb	2.1	2.1	100%	0.6	0.2	34%	0.4	0.4	92%
Dy	12.8	7.2	56%	3.7	1.0	28%	2.8	2.7	97%
Ho	2.6	1.4	52%	0.7	0.2	25%	0.6	0.8	118%
Er	7.9	4.2	53%	2.0	0.4	20%	2.1	3.0	140%
Tm	1.2	0.6	53%	0.3	0.0	16%	0.3	0.5	157%
Yb	8.7	4.6	53%	2.1	0.3	14%	2.8	4.7	169%
Lu	1.1	0.6	53%	0.3	0.0	14%	0.4	0.7	182%
Hf	17.0	8.2	48%	4.6	0.7	15%	4.0	7.4	185%
Ta	3.0	0.9	29%	1.1	0.2	15%	0.8	0.4	56%
Th	30.5	16.6	55%	18.3	2.4	13%	14.2	23.1	162%
U	8.7	4.2	48%	4.9	0.8	16%	3.9	7.0	178%

Tab 003 : Résultats des analyses LA-ICP-MS menées sur BDX17880, 17895 et 17912. Chaque échantillon a fait l'objet de 12 analyses. Sont représentés ici : la moyenne des ces analyses (Moy.), l'écart-type (E-T) et la dispersion ou coefficient de variation (Co.Var.). Les éléments majeurs et mineurs sont exprimés en pourcentage d'oxyde, les traces sont données en ppm.

iv. RMN

La Résonance Paramagnétique Nucléaire (RMN) est une méthode d'analyse qui s'intéresse aux propriétés magnétiques de certains noyaux atomiques. L'échantillon est soumis à un rayonnement électromagnétique, certains atomes vont absorber ces rayonnements puis les relâcher. C'est la relaxation des noyaux qui est observée, celle-ci dépend des espèces atomiques étudiées et de leur environnement immédiat. Cette méthode nous apporte donc des informations structurales sur le matériau au niveau moléculaire (Pianet et al., 2020), elle a déjà été éprouvée pour l'identification de provenances de silex (Pianet et al., 2019) et de marbres (Guitierrez-

Garcia et al., 2019) mais à notre connaissance elle n'a jamais été utilisée pour la provenance de rhyolites. La rhyolite est essentiellement composée de différentes espèces de silicates et aluminosilicates, or le silicium et l'aluminium sont deux atomes sensibles en RMN, en particulier l'isotope 29 du silicium (^{29}Si) et l'isotope 27 de l'aluminium (^{27}Al) (MacKenzie et Smith, 2002). La RMN du silicium permettra d'obtenir des informations sur la diversité des espèces de silicates présentes dans le matériau brut et leur proportion relative. La RMN de l'aluminium donnera principalement des informations sur les proportions des états de coordination des aluminosilicates (IV ou VI).

Pour évaluer le potentiel de la RMN dans son utilisation à des fins de caractérisation du minéral et d'étude de provenance, quatre échantillons issus de lieux géographiques différents, ont été étudiés : BDX17884, BDX17890, BDX17910 et BDX17924. Cette technique nécessite le broyage des échantillons, nous avons donc réutilisé des poudres précédemment analysées en DRX. Les acquisitions, ainsi que l'interprétation des résultats, ont été intégralement effectuées par Isabelle Pianet sur un appareil Bruker Avance II 400 (Champ magnétique de 9.4T) équipé d'une sonde CP-MAS de 4mm de diamètre (CESAMO, Bordeaux, France) sur une quantité d'environ 170 mg de rhyolite réduite en poudre à l'aide d'un mortier en agate. Les spectres RMN du ^{29}Si (fréquence de résonance 79,51 MHz) ont été enregistrés en utilisant une séquence d'impulsion impliquant un découplage des protons (hpdec), et les paramètres utilisés sont les suivants : temps d'impulsion, 4 μs , fenêtre spectrale, 375 ppm centré à 0 ppm -30000 Hz-, délai de relaxation 50s, nombre de répétition, ns 512, pour un temps total d'acquisition de 7h. La vitesse de rotation était de 8 KHz. Les spectres RMN de ^{27}Al (fréquence de résonance 104,3 MHz) ont été enregistrés à partir d'une séquence hpdec également, et les paramètres utilisés sont les suivants : temps d'impulsion, 11 μs , fenêtre spectrale, 600 ppm centré à 0 ppm -60000 Hz-, délai de relaxation 0,5s, nombre de répétition, ns, 1256, pour un temps total d'acquisition de 10 mn. La vitesse de rotation était de 10 KHz.

La figure 25 présente les spectres ^{29}Si obtenus pour les 4 échantillons. On observe un grand nombre de résonances s'étalant entre -90 et -120 ppm, montrant la richesse des espèces de silicates présentes dans ces matériaux, contrairement aux silex ne présentant qu'une seule résonance autour de -110 ppm, spécifique de liaisons de type Q4 et attribuée au quartz (Fig. 26). Le massif de résonance, entre 90 et 100 ppm, est attribué à des espèces de type Q3, pour lesquelles l'atome de silicium est remplacé par un autre atome, comme l'aluminium, le calcium, le strontium (Fig. 27).

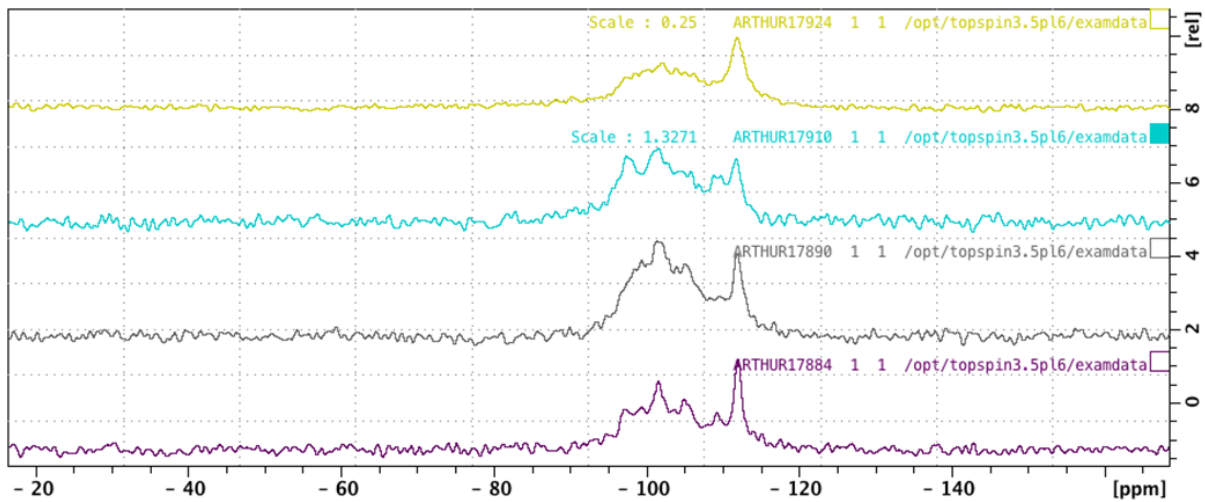


Figure 025 : RMN ^{29}Si des échantillons BDX17884, 17890, 17910 et 17924 montrant la présence des différentes espèces chimiques.

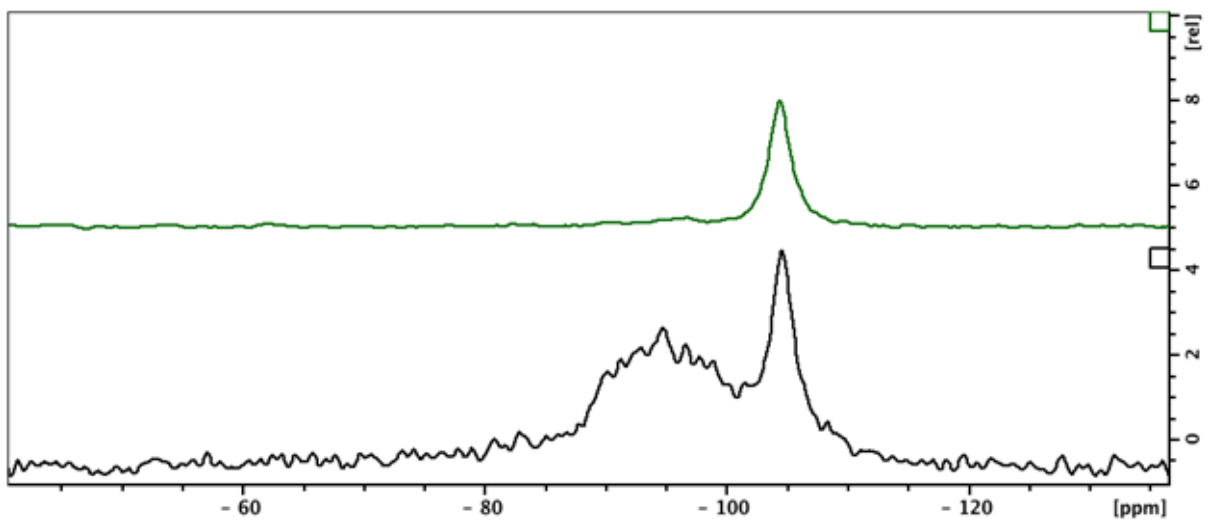


Figure 026 : Spectre ^{29}Si de rhyolite (BDX17924, en noir) et de silex (en vert, provenance Montgaillard).

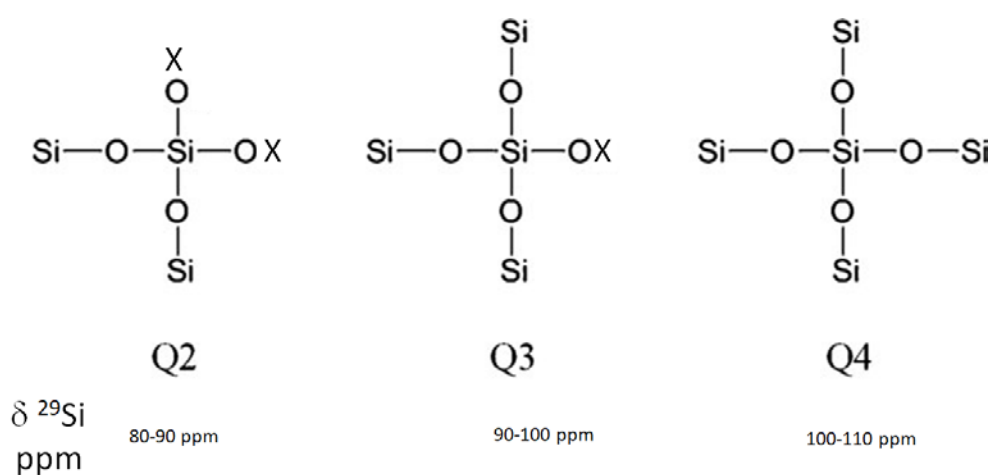


Figure 027 : Schéma représentant les différentes structures de silicates, X correspond à un atome différent du silicium (Al, Ca, Sr ...), et la quantité théorique d'isotopes 29 du silicium correspondant à chaque structure.

L'intégration totale des aires de chacun des spectres ^{29}Si est présentée dans le tableau 5. Compte

tenu des conditions d'acquisition utilisées pour obtenir les spectres en RMN du ^{29}Si (acquisition du signal avec un délai entre deux impulsions inférieur au temps de relaxation du ^{29}Si), les différences observées d'un échantillon à l'autre peuvent avoir deux origines distinctes:

- La présence d'espèces paramagnétiques comme Fe^{2+} ou Fe^{3+} qui amplifie le signal en induisant une relaxation plus rapide du signal RMN (Sherriff et Hartman, 1985).
- La quantité totale d'espèces de silicates.

Bien que des expériences complémentaires auraient pu permettre de trancher entre ces deux origines, les différences observées qui traduisent des espèces minérales différentes et/ou dans des proportions différentes peuvent représenter des marqueurs de site.

Échantillon	Aire Si totale	Q3/Q4	Aire Al IV
BDX17884	1	0.73/0.27	1
BDX17890	1.4	1.2/0.2	3
BDX17910	1.3	1.1/0.2	0.2
BDX17924	1	0.67/0.33	0.6

Tab 004 : Données quantitatives extraites des spectres RMN.

La RMN de ^{27}Al va permettre de répondre à plusieurs questions d'intérêt (Fig. 28): sa coordination (tetra, penta ou octa-coordiné) et à quel élément (Smith, 1993) à partir de son seul déplacement chimique. Une deuxième information d'ordre quantitatif peut être obtenue, par la seule intégration des résonances, car contrairement au ^{29}Si , le temps de relaxation longitudinal de ^{27}Al est suffisamment rapide pour que l'aire des résonances ne dépende pas de ce phénomène.

Dans les quatre échantillons, on trouve principalement une seule résonance autour de 50 ppm correspondant à un aluminosilicate tetra-coordiné. Par contre, les aires varient considérablement d'un échantillon à l'autre, reflétant une proportion dans ce type de minéral potentiellement discriminante d'une source à une autre (Tab. 4). Cette résonance se retrouve dans les quatre échantillons analysés, et représente l'espèce minérale majoritaire.

Bien que les analyses par RMN aient été très peu nombreuses, le potentiel de la méthode pour les études de provenance de rhyolites nous semble certain. Si cette technique ne peut se suffire à elle-même, surtout à cause du caractère destructif de la préparation des échantillons, elle peut éventuellement débloquent une situation où d'autres méthodes ne permettent pas de discriminer certaines sources de rhyolites, au même titre que la DRX par exemple.

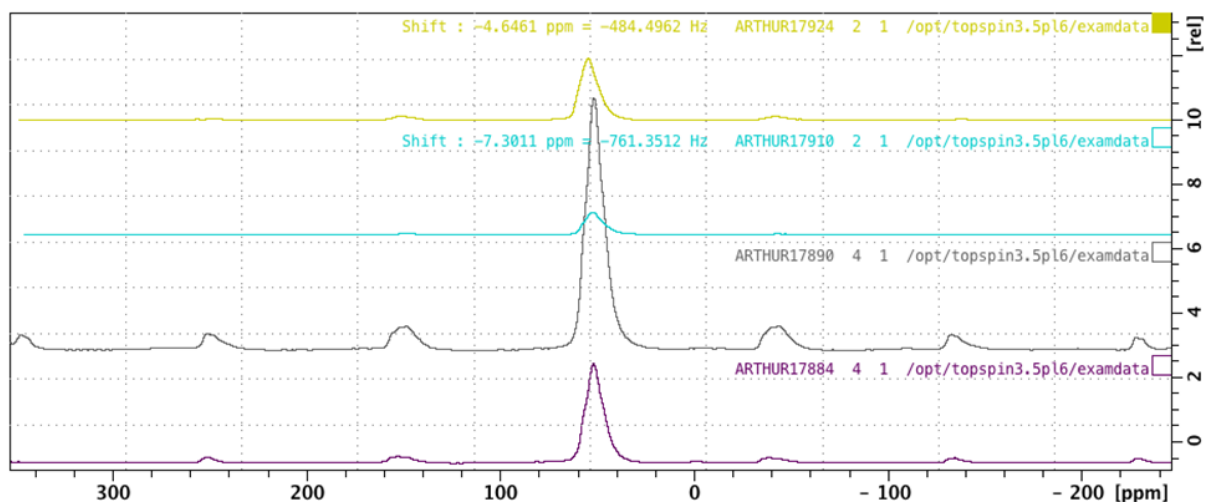


Figure 028 : RMN ^{27}Al des échantillons BDX17884, 17890, 17910 et 17924 montrant la présence des différentes espèces chimiques.

v. MEB-EDS

L'efficacité des analyses MEB-EDS pour la caractérisation géochimique des roches de composition rhyolitique est bien établie (Le Bourdonnec et al., 2006 et 2010 ; Dachary et al., 2012). De plus ce type d'appareil est disponible dans de nombreux laboratoires d'analyse de matériaux et est donc relativement accessible.

Le microscope électronique à balayage, couplé à un détecteur de rayons X en énergie dispersive (MEB-EDS) permet d'obtenir une image en très fort grossissement associée à une analyse élémentaire. La microscopie électronique rend possible des observations à des résolutions bien plus importantes que la microscopie optique, limitée autour de $0.2\mu\text{m}$ par le phénomène de diffraction de la lumière visible. Le détecteur EDS permet d'associer aux images une analyse élémentaire ciblée sur une zone très précise de l'échantillon analysé.

Afin d'obtenir des images de qualité ainsi que des caractérisations géochimiques fiables les échantillons doivent être préparés sous forme de lames épaisses polies. L'étape du polissage ne doit pas être négligée car les rayures microscopiques viendront perturber les observations à fort grossissement. C'est pourquoi nous avons utilisé des solutions diamantées de différentes granulométries pour le polissage de $1/4\mu\text{m}$ pour les plus fines. Il est néanmoins possible d'observer et d'analyser des échantillons bruts mais cela dégrade la qualité des observations et des résultats.

L'une des particularités du MEB est de pouvoir fournir des images de nos échantillons non pas en couleurs mais en contraste chimique, les éléments chimiques les plus lourds apparaissant plus clairs. Cette fonctionnalité en fait un bon outil pour rechercher des minéraux spécifiques, en particulier lorsque ceux-ci se font rares, car ils sont souvent plus concentrés en éléments lourds que le reste de la matrice.

Nos mesures ont été effectuées à l'IRAMAT-CRP2A avec le MEB à pression variable JSM 6460LV fabriqué par JEOL. Le faisceau d'électrons est produit à partir d'un filament de tungstène et est accéléré sous une tension de 20 kV. Nos analyses ont été menées en mode Low Vacuum (LV), c'est-à-dire en vide partiel, afin d'éviter la métallisation de nos échantillons.

L'appareillage et le protocole d'acquisition utilisés sont détaillés dans Le Bourdonnec et al. (2010). Nous avons cependant procédé à quelques ajustements afin d'adapter ce protocole à l'étude de notre matériau. Dix spectres par échantillon ont été acquis sur une surface d'environ $500\mu\text{m}^2$, en prenant soin de choisir des sites d'analyses exempts de macrocristaux. La silice représentant plus de 75% du matériau, le temps de mesure par spectre a dû être fixé autour de deux minutes afin de doser correctement les éléments moins présents. Nous avons ensuite moyenné ces résultats pour obtenir la composition globale de la roche et s'affranchir des variations liées à la répartition hétérogène des minéraux. Au vu des résultats obtenus par LA-ICP-MS puis par EDXRF nous avons choisi de doser systématiquement une dizaine d'éléments (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe). Seuls les éléments Na, Al, Si, K et Fe sont systématiquement au-dessus des limites de détection. La détection ou la non-détection des autres éléments peut néanmoins fournir des clés de discrimination entre les sources.

La préparation des échantillons étant contraignante nous avons mené une étude test sur 34 échantillons, dont deux prélèvements effectués sur des artefacts. Ces échantillons ont tous fait l'objet d'une analyse élémentaire suivant le protocole défini plus haut. Le détecteur EDS associé au MEB est bien adapté à la mesure des éléments majeurs et mineurs pour les numéros atomiques supérieurs à 8. Cependant, de nombreux éléments se trouvent dans nos rhyolites à des concentrations proches des limites de détection de l'appareil, en particulier les éléments traces qui permettent souvent de discriminer les sources entre elles. Les résultats obtenus, reportés en annexe, nous ont néanmoins permis de distinguer les quatre sources que nous avons sélectionnées en fonction de leur géochimie suivant les critères suivant :

- Stagnu = Fe > 1% et Ca < 0.03% (hors détection)
- Monte d'Oro = Ti < 1% (comme Stagnu)
- Alzu et Castelli = Ti > 1%
- Castelli = Mn > 0.03%

Les concentrations des éléments utilisés ici ainsi que leurs différences entre chaque échantillon sont très faibles compte tenu des caractéristiques du détecteur. Cependant ces résultats sont tout à fait cohérents avec les mesures effectuées en EDXRF, LA-ICP-MS et PIXE. Le MEB-EDS peut donc être un outil très utile pour la recherche de provenance de rhyolites lorsque les sources potentielles sont peu nombreuses. Mais au cours de l'avancement de notre travail notre référentiel géologique s'est considérablement étoffé et complexifié, rendant totalement inefficace l'utilisation des compositions géochimiques obtenues par MEB-EDS.

Le MEB-EDS nous a cependant permis de mettre en évidence la présence d'une couche d'altération pouvant modifier les résultats obtenus sur certains échantillons archéologiques. En effet, nous avons réalisé des cartographies de rayons X pour dix éléments (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe) sur deux prélèvements que nous avons effectués sur les échantillons archéologiques BDX17943 et BDX17898. Nous avons sélectionné une zone d'environ un millimètre carré située en bordure de chaque prélèvement afin d'identifier d'éventuels enrichissement ou appauvrissement en éléments à proximité de la surface de l'échantillon. Sur la cartographie de l'échantillon BDX17898 on peut ainsi observer la présence d'une couche riche en calcium en surface (visible à l'œil nu) (Fig. 29), ce qui explique en partie les fortes concentrations en calcium mesurées sur certains échantillons archéologiques. Les concentrations des autres éléments dosés sont homogènes sur la profondeur analysée. Pour l'échantillon BDX17943, tous les éléments semblent répartis de manière homogène, indifféremment de l'éloignement à la surface. Les rhyolites analysées ne sont donc probablement pas ou peu sujettes à l'altération sur les échelles de temps qui nous intéressent (du néolithique à nos jours). Il faut cependant vérifier qu'un encroustement ne s'est pas formé en surface.

En complément des analyses élémentaires globales (moyenne des analyses d'une surface de $500\mu\text{m}^2$), le MEB-EDS, puisqu'il permet de coupler microscopie et analyse élémentaire, nous a servi à analyser spécifiquement la composition de quelques minéraux particuliers au sein de nos échantillons. Ces analyses ont notamment permis de préciser les résultats de la DRX et de la pétrographie.

Nous avons ainsi pu nous rendre compte de la grande hétérogénéité des feldspaths dont les compositions sont bien plus variables que ce que les diffractogrammes de rayons X peuvent laisser penser. Les perthites, enchevêtrement d'orthose et d'albite, ne sont pas rares. Les plagioclases ont des teneurs variables en calcium, allant de l'albite à la labradorite. Nous avons également repéré, dans les échantillons du Monte d'Oro, du plateau d'Alzu et de Castelli, quelques feldspaths potassiques contenant des quantités non négligeables de baryum. Nous avons aussi pu voir sur les images en électrons rétrodiffusées que les sphérolites sont généralement composées uniquement de feldspaths, ce qui n'était pas évident à déterminer en pétrographie. Ces sphérolites sont moins souvent composées d'un cœur en quartz entouré de feldspaths fibroradiés. Il ne s'agit donc pas de sphérolites de dévitrifications.

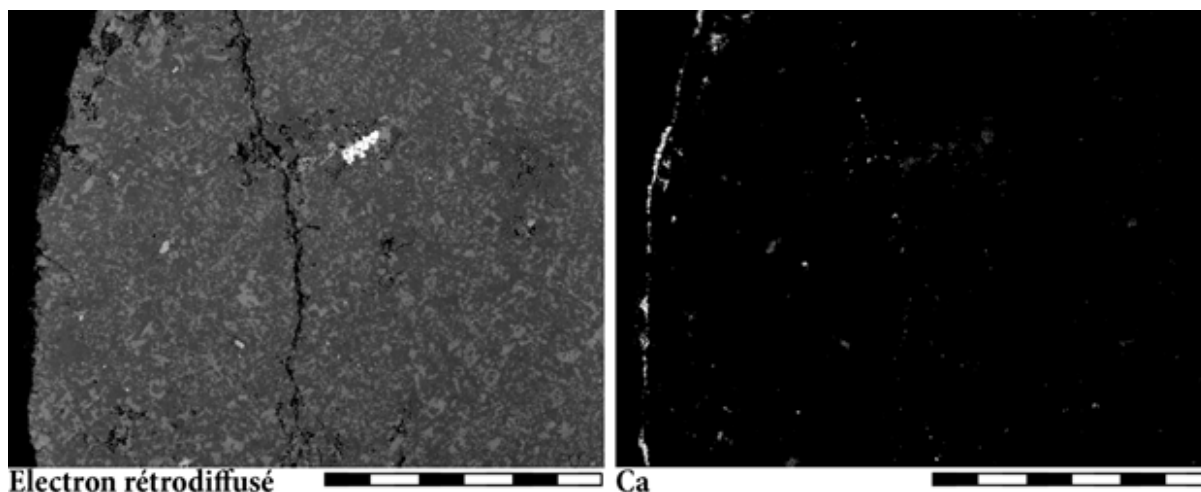


Figure 029 : Image et analyse MEB-EDS de l'échantillon BDX17898. On observe en cartographie X la présence d'un encroûtement riche en calcium à la surface de l'échantillon. Echelle : 600 μ m.

Les minéraux accessoires sont quant à eux beaucoup plus petits et les résultats des analyses, même ponctuelles, sont toujours contaminés par la composition des minéraux périphériques. Les compositions mesurées ne sont donc souvent qu'indicatives. On retrouve notamment des minéraux ferrotitanés assez nombreux, souvent automorphes et aux compositions variées où se concentre une grande partie du fer et du titane présents dans ces roches. Les zircons, généralement automorphes, sont assez courants et bien plus faciles à repérer qu'au microscope optique. On retrouve aussi de nombreux minéraux calciques comme l'apatite ou la monazite, souvent très riche en Terres Rares : lantane, cérium et niobium pouvant représenter jusqu'à 50% du minéral. Les profils de Terres Rares de ces minéraux pourraient constituer des marqueurs intéressants, suivant les principes développés par Bevins et al. (2011). Nous avons également pu observer la présence de très rares minéraux « exotiques » comme la thorite ((Th, U) SiO₄), la samarskite ou l'euxenite ((Y, U)₂(Nb)₂O₈) témoins de forts déséquilibres chimiques dans la chambre magmatique. Ce qui confirme que les magmas à l'origine des matériaux étudiés sont issus d'une longue différenciation à partir d'un magma plus basique (Jambon et Thomas, 2009). Ces minéraux sont potentiellement de très bons marqueurs caractéristiques d'un événement volcanique mais ils sont trop peu nombreux pour que l'on puisse réellement faire des comparaisons entre les sources. De plus, ils sont presque inexistantes dans les rhyolites filoniennes que nous avons analysées.

vi. PIXE

Nous avons déposé en 2017 le projet d'expérimentation CiRCoN (Circulation des Rhyolites en Corse Néolithique) afin d'utiliser l'Accélérateur Grand Louvre pour l'Analyse Élémentaire (AGLAE) du C2RMF. Cela nous a permis de tester durant deux jours en février 2018 l'utilisation de cet appareil pour l'analyse des rhyolites en PIXE (Particle-Induced X-Ray Emission). Cette méthode repose sur l'interaction entre un faisceau d'ions légers, ici des protons, et la matière.

Le proton, fortement accéléré et très énergétique, peut provoquer l'éjection d'un électron de cœur d'un atome de la cible, provoquant l'émission de rayons X caractéristiques (Fig. 32, Calligaro et Pacheco, 2019). Cette méthode est très proche de la fluorescence X qui utilise un rayonnement X comme source excitatrice. Comme en XRF, il est possible de conduire des analyses totalement non destructives permettant d'obtenir la composition chimique de notre matériau avec une précision souvent de l'ordre du ppm. Cependant, l'utilisation d'un faisceau de protons implique certaines spécificités propres à la méthode PIXE. Les ions pénètrent peu profondément dans le matériau, environ 50 μm , les analyses PIXE sont donc essentiellement des analyses de surface. Le faisceau d'ions est en partie pilotable, il peut donc balayer l'échantillon, ce qui permet de créer des cartographies élémentaires. Enfin, il est possible d'étudier des objets de toute taille puisqu'il n'existe pas de chambre d'analyse, l'objet à étudier est directement placé face à la sortie de l'accélérateur de particules où se trouvent également les détecteurs (Fig. 30 et 31).



Figure 030 : Extrémité du dispositif AGLAE lors de l'analyse d'une rhyolite géologique (Photo F.-X. Le Bourdonnec).

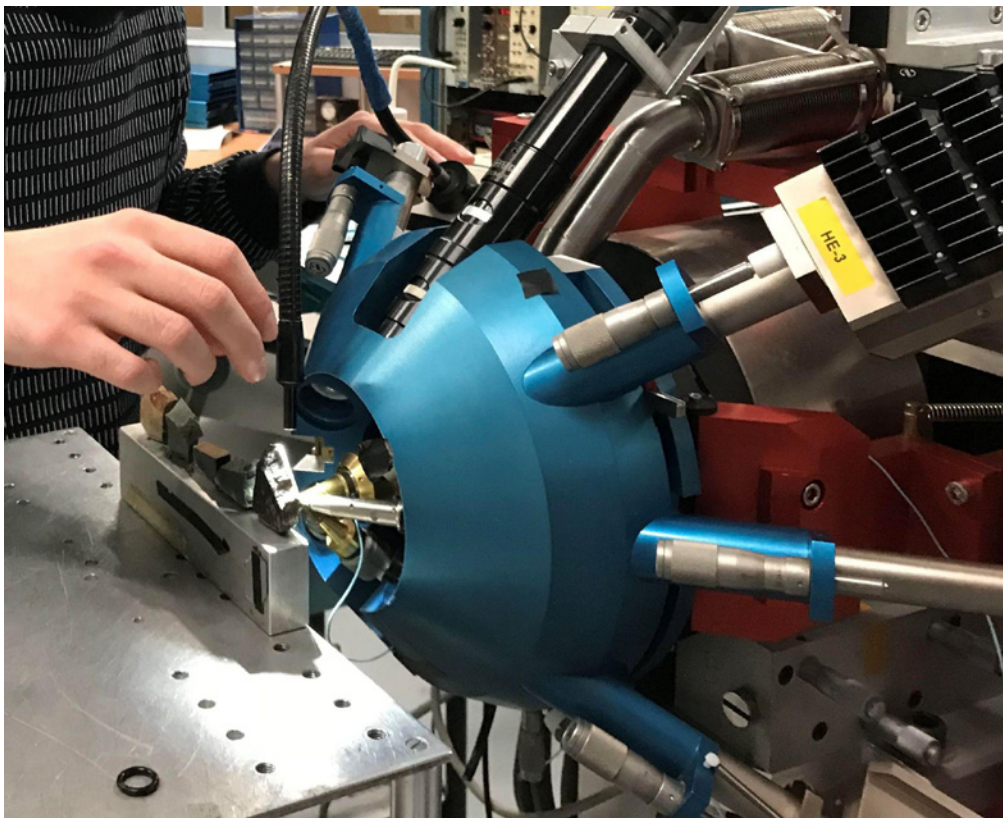


Figure 031 : Disposition des sections polies de rhyolites géologiques en vue de l'analyse PIXE. On aperçoit ici l'extrémité de l'accélérateur de particules où se regroupent la sortie du faisceau d'ions et les différents détecteurs (Photo F.-X. Le Bourdonnec).

AGLAE est un instrument spécifiquement conçu pour les objets patrimoniaux qui intéressent l'archéologie, l'histoire de l'art et la conservation. Les protons sont accélérés par un accélérateur de particules jusqu'à 3 MeV. Quatre détecteurs de rayons X réceptionnent le rayonnement en provenance de l'échantillon. Un détecteur non filtré utilisant un flux d'hélium est spécialisé dans la détection des éléments les plus légers. Trois autres détecteurs filtrés avec 50 μ m d'aluminium sont spécialisés dans les éléments lourds. Multiplier les détecteurs permet une meilleure sensibilité de l'appareil et rend possible l'analyse d'échantillons aux surfaces accidentées.

Les éléments dosés lors de ces analyses sont nombreux (Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, S, Cl, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Sn, Sb, Ba, W, Au, Pb) mais seulement quelques-uns étaient régulièrement dosés à des valeurs dépassant suffisamment les limites de détections de l'appareil (Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, Cl, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, Zn, Ga, Rb, Sr, Zr). L'ensemble des concentrations mesurés est reportée en annexes.

Étant dans une phase de tests, nous avons varié les temps d'analyses, ainsi que les surfaces balayées par le faisceau.

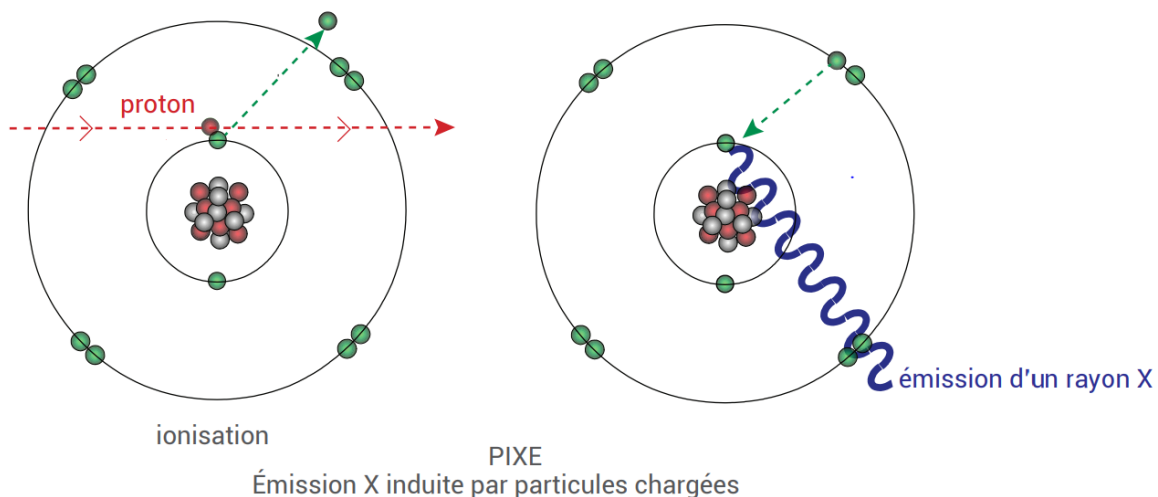


Figure 032 : Principe de l'analyse PIXE. Expulsion d'un électron de cœur puis réarrangement électronique accompagné de l'émission d'un rayon X caractéristique (Calligaro et Pacheco, 2019).

Grâce à l'outil de cartographie nous avons pu nous rendre compte de l'hétérogénéité des concentrations élémentaires au sein de nos échantillons (Fig. 33 et 34). Chaque pixel de la cartographie correspond à une analyse élémentaire. On calcule la moyenne de toutes ces analyses pour déterminer la concentration élémentaire globale de la rhyolite analysée. La méthode PIXE semble donc a priori particulièrement adaptée pour l'analyse des rhyolites car il est possible de retirer les *outliers*, c'est-à-dire les concentrations atypiques correspondant à un minéral chargé en un élément spécifique. Nous pourrions donc théoriquement ne retenir que les analyses effectuées dans la matrice de la roche et nous affranchir des problèmes d'hétérogénéité. Néanmoins, cela nécessite d'effectuer des cartographies suffisamment larges et donc que l'échantillon présente une surface plane d'une superficie suffisante. Surtout, ces larges cartographies sont extrêmement chronophages, car il faut plus d'une demi-heure pour produire une image de 5x5mm alors même que le temps d'analyse était souvent sous-dimensionné compte tenu de la faible concentration de certains éléments traces. Or, il est évidemment impossible de mobiliser un tel appareil à plein temps durant des mois simplement pour construire un référentiel géochimique de rhyolites corses.

La méthode PIXE semble donc très efficace pour étudier les rhyolites. Elle est non destructive, permet de quantifier la plupart des éléments diagnostiques et offre un outil qui devrait autoriser la neutralisation des *outliers*. Cependant, le coût et la disponibilité de ce type d'instrument rendent impossibles ces analyses sur un très grand nombre d'échantillons. Si le PIXE ne peut être notre méthode principale d'analyse, nous pouvons envisager de l'utiliser ponctuellement, notamment pour des échantillons dont les dimensions interdisent l'utilisation de l'EDXRF.

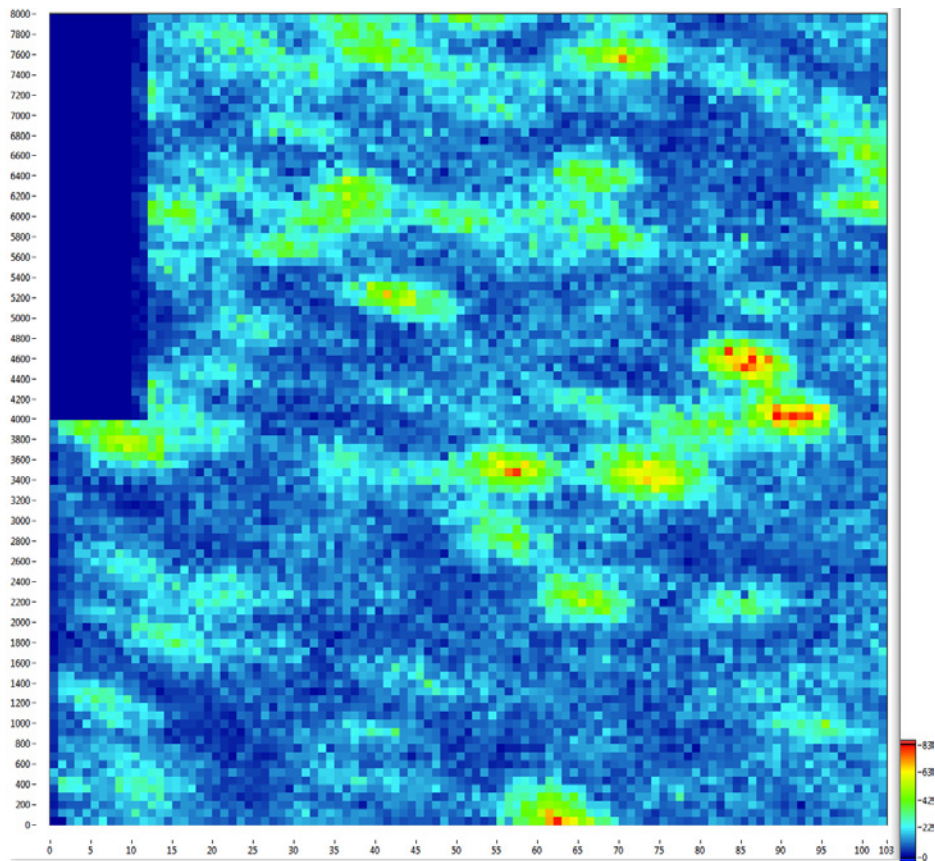


Figure 033 : Cartographie PIXE des concentrations en Fe de BDX19378 sur 5x5mm

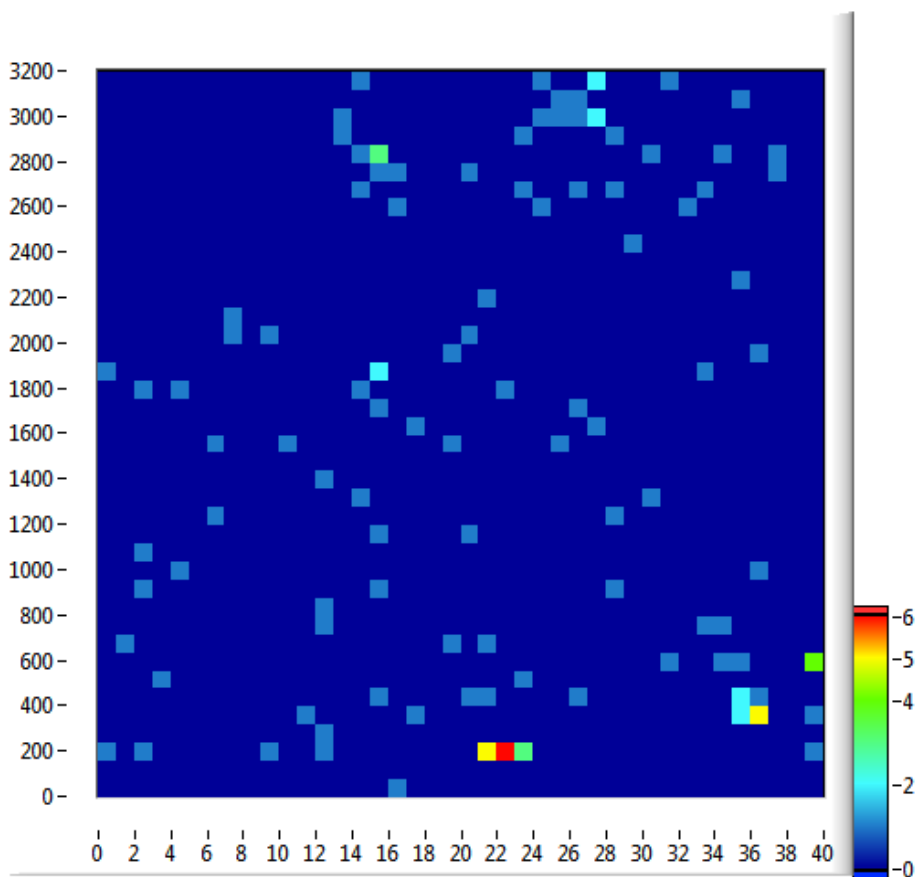


Figure 034 : Cartographie PIXE des concentrations en Zr de BDX19371 sur 2x2mm.

vii. EDXRF

La spectrométrie de fluorescence X (XRF) est une méthode d'analyse élémentaire permettant d'identifier et de quantifier les différents éléments présents dans un matériau. Sous certaines conditions elle permet d'analyser une très grande gamme d'éléments chimiques, qu'ils soient présents sous forme de traces (quelques ppm) ou qu'ils soient le constituant majeur du matériau (Shackley, 2011). Lors de l'analyse, l'échantillon est soumis à rayonnement X qui a pour effet d'exciter les atomes du matériau analysé. Devenus instables, ces atomes se désexcitent en émettant une petite quantité d'énergie, sous forme de photons, de rayonnement X secondaire. Chaque atome possède des caractéristiques électroniques propres qui conditionnent l'énergie de ces photons. En mesurant ce rayonnement secondaire on peut donc retrouver par quel atome il a été émis (Fig. 35).

Deux types d'appareils permettent de séparer, identifier et mesurer l'intensité du spectre de fluorescence X : les spectromètres à dispersion en longueur d'onde (WDXRF, Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry) et les spectromètres à dispersion en énergie (EDXRF, Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry).

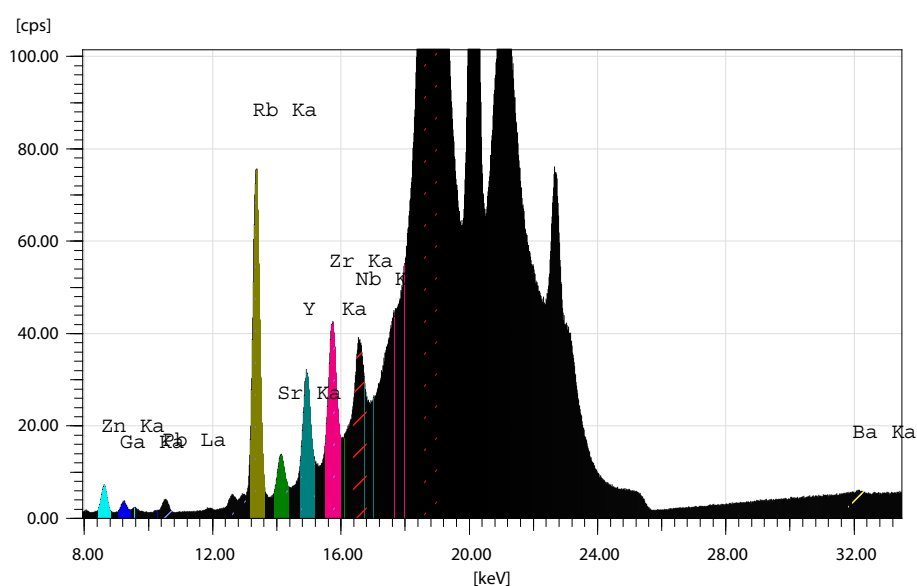


Figure 035 : Spectre de fluorescence X d'un échantillon d'obsidienne sarde. Le rayonnement secondaire émis par l'échantillon entre 8 et 17 keV contient les raies caractéristiques du Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba et Pb. Le bruit de fond qui apparaît ici en noir est causé par le rayonnement de la source de rayons X, une anode au rhodium dans notre cas.

En WDXRF, un système optique diffracte le rayonnement X provenant de l'échantillon avant de le détecter ce qui améliore grandement la résolution de la mesure. On peut ainsi mieux distinguer les raies et mieux doser les éléments les plus légers par exemple. En contrepartie, l'appareillage est plus lourd, plus complexe, les mesures plus longues et la préparation des échantillons plus contraignante.

En EDXRF, le rayonnement est directement conduit vers un détecteur de type semi-conducteur. Schématiquement, le détecteur transforme l'énergie des photons issus de la fluorescence en charge électrique, un amplificateur les convertit ensuite en impulsions électriques. L'amplitude des impulsions est directement proportionnelle à l'énergie du photon X pénétrant dans le détecteur (Thirion-Merle, 2014), la quantité d'impulsion est liée quant à elle à la concentration des atomes qui fluorescent. Pour connaître la quantité d'un type d'atome présent dans l'échantillon, il faut compter le nombre d'impulsions de l'énergie correspondant spécifiquement à la fluorescence de cet atome.

Les analyses en fluorescence X ont été les plus couramment utilisées pour les études de provenances de rhyolites (cf supra). Pourtant, de nombreux problèmes se sont posés en lien avec l'analyse d'échantillons aux surfaces parfois trop accidentées, à des roches trop hétérogènes ou bien des altérations de surface faussant les résultats.

Nous avons donc, dans un premier temps, mené une étude test en analysant quelques échantillons géologiques et archéologiques de rhyolites corses afin de nous assurer que cette méthode était bien adaptée à l'analyse de ces rhyolites et qu'elle permettait notamment d'analyser les artefacts de manière complètement non destructive. Les détails et les conclusions de cette petite étude préliminaire sont plus spécifiquement détaillés dans un article publié en 2018 que nous reportons en annexe (Leck et al., 2018).

Les résultats obtenus permettaient tout d'abord de discriminer les gisements géologiques, même ceux proches géographiquement (Fig. 36).

Nous avons ensuite vérifié la reproductibilité des résultats sur échantillon brut et poli et nous avons contrôlé si les concentrations mesurées pouvaient varier en fonction de l'état de surface de l'échantillon (Tab. 6). Il s'avère que la reproductibilité est excellente, hormis les mesures des concentrations en éléments très légers, aussi bien sur échantillon brut que poli. Quant à un éventuel impact de la topographie des échantillons sur la qualité des résultats nous n'avons tout simplement pas pu le mettre en évidence puisqu'il semble occulté par les problèmes liés à l'hétérogénéité des rhyolites. Autrement dit, la disparité des concentrations mesurée est avant tout la conséquence du caractère microporphyrrique des rhyolites, les effets de surface étant très certainement négligeables.

Enfin, nous avons montré qu'il est également possible d'attribuer à ces gisements la provenance des artefacts retrouvés sur les sites de production et dont la provenance est déjà attestée archéologiquement (Fig. 37).

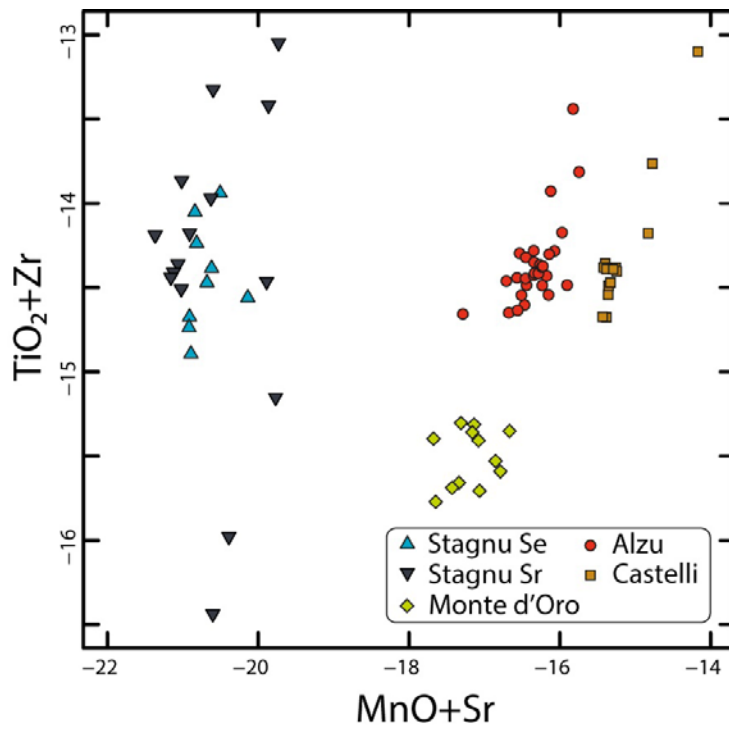


Figure 036 : Graphique bivarié comparant les teneurs en $TiO_2 + Zr$ et $MnO + Sr$ mesurées en EDXRF sur la totalité des échantillons géologiques. Chaque prélèvement (deux cubes millimétriques et une section polie par échantillon) a fait l'objet d'une mesure (Leck et al., 2018).

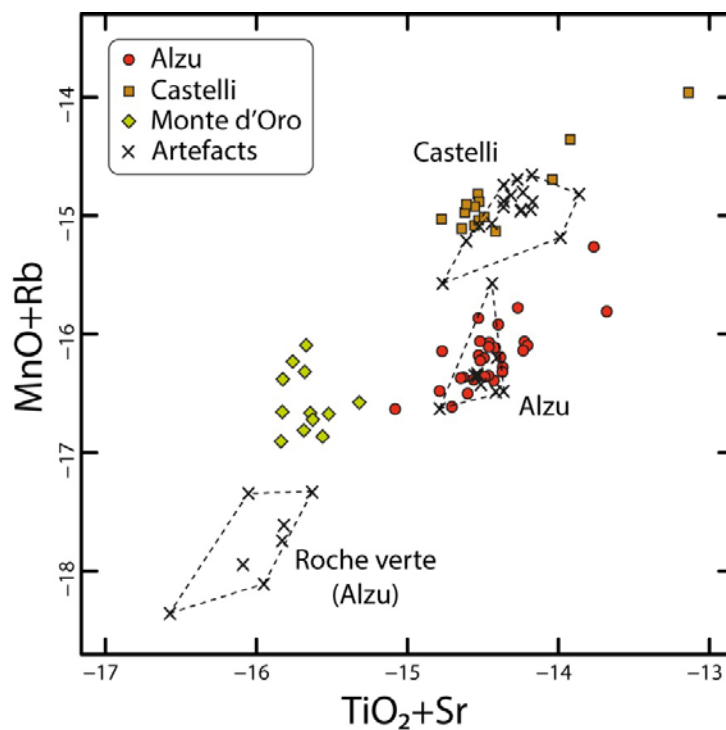


Figure 037 : Graphique bivarié comparant les teneurs en $TiO_2 + Sr$ et $MnO + Rb$ mesurées en EDXRF sur les échantillons géologiques d'Alzu, Castelli et Monte d'Oro et sur les échantillons archéologiques mis au jour sur le plateau d'Alzu et dans l'abri des Castelli (Leck et al., 2018).

BDX17943 – Poli (5 mesures sur 1 zone)																	
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
Moyenne	35 771	967	129 409	758 488	870	47 284	11 015	2383	862	12 304	32	16	213	157	28	169	32
Écart-type	1393	24	310	1274	8	128	82	18	10	36	1	1	2	1	1	0	1
Dispersion	4 %	2 %	0 %	0 %	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	0 %	2 %	3 %	1 %	0 %	2 %	0 %	2 %
BDX17943 – Sans préparation (5 mesures sur 3 zones)																	
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
<i>Zone 1</i>																	
Moyenne	30 679	949	12 6958	759 230	821	48 427	14 010	2350	887	14 978	37	18	232	171	28	187	37
Écart-type	2276	45	211	2144	10	155	131	44	12	131	1	1	2	1	1	2	1
Dispersion	7 %	5 %	0 %	0 %	1 %	0 %	1 %	2 %	1 %	1 %	2 %	6 %	1 %	1 %	3 %	1 %	1 %
<i>Zone 2</i>																	
Moyenne	30 206	969	12 5938	757 495	807	55 085	11 913	2600	821	13 462	35	17	258	143	27	190	34
Écart-type	3342	47	231	2908	21	309	129	38	9	122	1	0	3	1	1	2	1
Dispersion	11 %	5 %	0 %	0 %	3 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	3 %	3 %	1 %	1 %	5 %	1 %	2 %
<i>Zone 3</i>																	
Moyenne	34 177	1011	12 8312	753 587	799	49 179	14 298	2193	925	14 839	37	17	239	159	27	166	34
Écart-type	2004	16	296	2339	20	130	42	27	14	35	1	0	1	1	1	1	0
Dispersion	6 %	2 %	0 %	0 %	2 %	0 %	0 %	1 %	2 %	0 %	2 %	3 %	0 %	1 %	2 %	1 %	1 %

Tab 005 : Données EDXRF de mesures répétées 5 fois en un même point de l'échantillon BDX17943 (une zone pour l'échantillon poli, trois zones pour l'échantillon non préparé). Les concentrations sont données en ppm. (d'après LECK et al., 2018)

viii L'EDXRF, méthode privilégiée pour l'analyse des artefacts en rhyolite.

L'utilisation de ces différentes méthodes nous a permis d'identifier les avantages et les inconvénients de chacune d'entre elles. Ces explorations méthodologiques ont montré que toutes les méthodes d'analyses permettent d'apporter un type d'information spécifique sur la nature des matériaux étudiés et qu'elles peuvent toutes s'avérer utiles lorsqu'elles sont correctement utilisées. Il faut pour cela bien connaître le type de résultats qu'une méthode peut fournir, ses avantages et ses limites, et s'assurer que cela est bien en adéquation avec la question que l'on se pose.

Nous avons donc pu déterminer que l'EDXRF de paillasse était la méthode la plus efficace pour caractériser géochimiquement les rhyolites, géologiques ou archéologiques, polies ou brutes, et discriminer les sources de matériaux.

Les analyses par EDXRF présentent de nombreux avantages. Tout d'abord l'appareil de mesure est disponible dans notre laboratoire et facilement accessible. La partie de l'échantillon analysé constitue un petit volume défini par la pénétration des rayons X dans les rhyolites. Cela permet d'analyser plusieurs phases (phénocristaux et matrice) et donc d'englober les hétérogénéités du matériau. Nous analysons pour chaque mesure une surface de 3x3mm sur une profondeur de l'ordre du millimètre (variable selon les éléments mesurés), ce qui est légèrement supérieur à la taille de la plupart des phases présentes (du micromètre jusqu'à environ un millimètre pour les phénocristaux). Nous avons bien vu lors des analyses par MEB-EDS, PIXE ou LA-ICP-MS qu'analyser une surface ou un volume plus restreint posait problème.

De plus, cette méthode est particulièrement adaptée à la mesure des concentrations en éléments de numéro atomique moyen (Shackley, 2011), notamment du manganèse au niobium. Or, ces éléments sont souvent les plus discriminants entre les sources de matériaux.

Cette méthode est aussi bien adaptée à l'analyse d'objets archéologiques, sans préparations spécifiques des échantillons ni prélèvements (Leck et al., 2018).

Enfin, les échantillons peuvent être analysés en routines préprogrammées contenant jusqu'à plusieurs dizaines de pièces sur l'appareil que nous avons utilisé, ce qui a permis d'étudier des séries de plusieurs centaines d'échantillons en quelques semaines.

b. Protocole EDXRF

L'appareil que nous avons utilisé est un spectromètre de fluorescence X en dispersion d'énergie SEA 6000vx de la marque Seiko (Fig. 38). Il est aujourd'hui toujours en vente mais distribué par la marque Hitachi sous le nom de EA 6000vx. Cet appareil est particulièrement adapté à la cartographie de composant électronique et à la mesure de l'épaisseur des revêtements de surface ultrafins utilisés dans les industries de hautes technologies. Au sein de notre laboratoire, son usage est détourné à des fins d'analyses d'objets archéologiques car il présente plusieurs avantages comparés aux autres EDXRF de paillasse. La platine porte-échantillon est mobile dans les trois dimensions de l'espace (330(X) × 250(Y) × 150(Z) mm) ce qui permet d'y placer

de larges échantillons ou bien de nombreux petits échantillons qui pourront être caractérisés en une seule série d'analyse préprogrammée. De plus, la chambre d'analyse est suffisamment volumineuse (580(W) × 450(D) × 150(H) mm) pour que l'on puisse y placer de grands objets. Dans notre cas, cela nous a permis d'analyser des nucléus entiers sans avoir à effectuer de prélèvements.

L'appareil est équipé d'une source au rhodium (50kV/1ma) et d'un détecteur SDD Vortex. Un flux d'hélium peut être dirigé vers la chambre d'analyse afin de permettre la mesure des concentrations en éléments légers dans les échantillons.

Nous avons construit une calibration spécifique pour l'analyse des rhyolites afin d'obtenir des résultats justes et précis en priorité sur les éléments diagnostiques qui nous intéressent. Les concentrations en éléments majeurs et mineurs fournissent une information essentielle pour déterminer la nature de la roche, cependant, elles ne sont que rarement d'une grande utilité pour discriminer différentes sources de matériaux. Nous avons donc concentré notre attention sur les éléments traces, du manganèse au niobium, qui sont également les éléments pour lesquels l'EDXRF se montre particulièrement efficace (Shackley, 2011).



Figure 038 : Spectromètre de fluorescence X SEA 6000vx de l'IRAMAT CRP2A, vue générale et exemple d'échantillons archéologiques positionnés sur la platine.

Nous avons donc calibré le spectromètre en mesurant les concentrations de quatre standards dont les compositions géochimiques sont connues. Nous avons utilisé le module "paramètres fondamentaux" du logiciel de l'appareil et non une régression linéaire classique pour effectuer cette calibration. D'après le constructeur, la calibration selon les "paramètres fondamentaux" tient compte des effets de matrices des matériaux et doit donc fournir de meilleurs résultats. La calibration du SEA 6000vx fut néanmoins particulièrement capricieuse, notamment car l'ensemble des paramètres de la machine ne nous sont pas connus (géométries de la source et des détecteurs, épaisseurs et compositions des filtres) et volontairement gardés secrets par le constructeur. Cela nous empêche d'exporter les données brutes pour les traiter sur un autre logiciel au sein duquel nous contrôlerions l'ensemble des traitements appliqués aux données. Étant donné le caractère particulièrement erratique du module de calibration du constructeur,

nous avons dû limiter les standards utilisés pour la calibration et les choisir consciencieusement.

Standards de calibration :

Nous avons choisi trois standards internationaux de roches magmatiques acides aux compositions proches de celles que l'on peut retrouver dans les rhyolites en Corse et qui présentent au maximum la grande diversité des concentrations en éléments traces que nous pourrions rencontrer :

- Le SRM 278, une obsidienne certifiée par le National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Le SARM1 (NIM-G), un granite préparé par MINTEK en Afrique du Sud.
- Le GSP-2, un granodiorite du U.S. Geological Survey.

Ces standards internationaux se présentent sous forme de poudre. Pour créer des pastilles prêtes à l'analyse nous avons compressé 950 mg de poudre de roche non calcinée avec 5mg de cire dans un moule de 13 mm de diamètre à une pression de 17000lbs pendant 15min ce qui permet de considérer que les pastilles analysées ne présentent pas de porosités.

Nous avons également complété la calibration par l'utilisation d'un standard interne à notre laboratoire (ARC-URS), un échantillon d'obsidienne sarde (SA) en lame épaisse polie analysée de très nombreuses fois sur différent type d'instruments (Bellot-Gurlet, 1998 ; Lugliè et al., 2007).

Paramètres d'analyses

Nous avons eu recours à trois conditions d'analyses, chacune adaptée à une gamme d'éléments particuliers (Tab. 6) :

Tension	Filtre	Gaz	Durée	Éléments dosés
15 kV	off	He (2 L/min)	300 s	Na, Mg, Al, Si, P, K
15 kV	for Cr	Air	300 s	Ca, Ti, Mn, Fe
50 kV	for Pb	Air	300 s	Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Pb

Tab 006 : Paramètres expérimentaux des analyses EDXRF.

Chaque analyse s'effectue donc en 3x300s soit 15min, auxquelles il faut ajouter environ deux minutes liées au changement de filtres, d'environnement gazeux et de tensions. Ces analyses sont relativement longues, mais cela permet d'obtenir des spectres ayant une bonne résolution et donc une meilleure précision dans les mesures. De plus, étant donné les fonctionnalités de notre appareil, nous pouvons préparer en avance des séries de plusieurs dizaines de points d'analyses (un maximum de 50 en théorie) ce qui rend les analyses nettement moins chronophages. Dans la pratique, il s'est avéré que de nombreuses sources de dysfonctionnement possibles pouvaient causer l'interruption des séries d'analyses. Des temps d'analyses inférieurs auraient donc été certainement plus efficaces sans que cela n'affecte notablement

les résultats.

Le collimateur délimitant la zone irradiée de nos échantillons a été fixé à 3x3mm, le maximum permis sur notre équipement. Pour l'étude de matériaux hétérogène comme les rhyolites, cela permet d'analyser un volume plus important et donc plus représentatif de la composition globale de l'échantillon.

Contrôle quotidien par des standards internes :

Nous avons quotidiennement vérifié la justesse de la calibration et une éventuelle dérive des résultats en analysant régulièrement les échantillons ARC-URS et JAP-STD (obsidienne japonaise utilisée pour vérifier l'inter comparabilité des résultats entre différents laboratoires d'archéométrie). Ce contrôle nous a également permis de nous assurer que nos résultats n'avaient pas été affectés lors du renouvellement d'une partie du matériel. Le tube à rayons X ainsi que le détecteur ont dû être remplacés conjointement en 2017. On peut voir que les résultats varient légèrement au cours du temps en suivant les mêmes oscillations (Fig. 39). Nous pensons que cela est dû à des fluctuations sur la mesure des éléments légers, très sensibles aux variations de flux d'hélium mais également de pression et de température ambiante, et qui se reportent mécaniquement sur les concentrations en éléments traces. Cependant, ces variations affectant de la même manière toutes les concentrations en éléments traces, elles sont neutralisées par l'utilisation des traitements statistiques appropriés (cf infra).

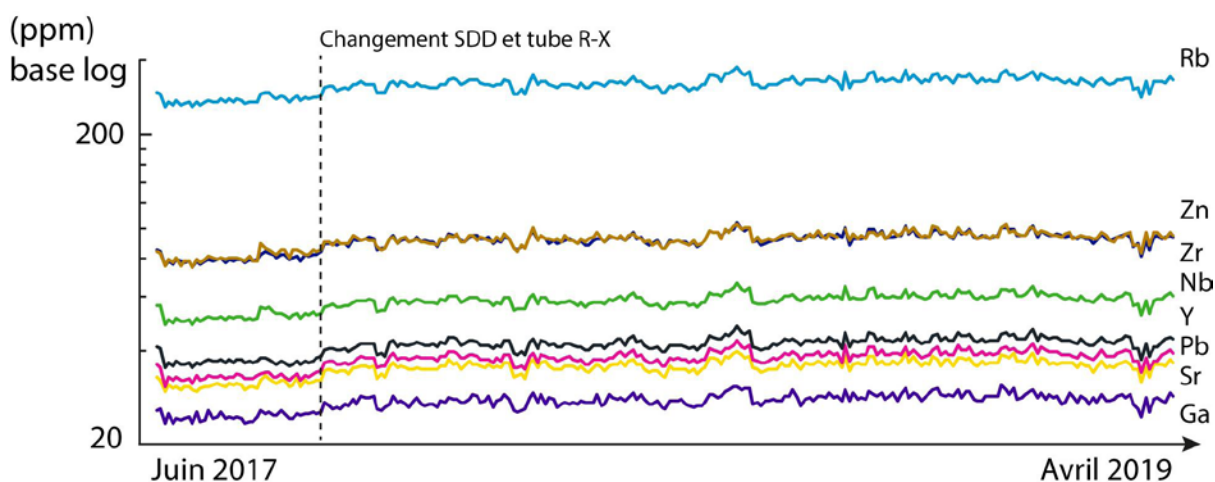


Figure 039 : Concentration en éléments traces de l'échantillon Arc-Urs analysé lors de chaque routine (255) entre juin 2017 et avril 2019.

Calibration et inter comparabilité des résultats

L'objectif de la calibration de l'appareil est de permettre une bonne inter comparabilité des résultats entre laboratoires. Cela rend théoriquement possible la réutilisation de tout ou partie des résultats que nous aurions obtenue par d'autres équipes de chercheurs au sein de leurs propres études. Afin de vérifier la justesse de nos résultats nous avons analysé un échantillon d'une obsidienne japonaise (JAP-STD) également analysée par plusieurs laboratoires d'archéométrie dans le monde. Les concentrations que nous avons mesurées sont bien dans la moyenne de celles obtenues par des collègues en France et à l'étranger (Tab.7, Données

Néanmoins, quelques éléments ne sont pas dosés correctement. La méthode et l'appareil que nous utilisons comportent des limites et tous les éléments ne peuvent être mesurés avec précision. Ces concentrations, même imprécises, sont cependant parfois des alliés de taille pour attribuer ou non une source à un artefact. C'est pourquoi nous reportons l'ensemble des résultats obtenus en annexes. Nous tenons toutefois à préciser que seules les concentrations en Al_2O_3 , SiO_2 , K_2O , CaO , MnO , Fe_2O_3 , Zn , Ga , Rb , Sr , Y , Zr , et Nb sont justes et précises. La qualité des mesures des concentrations en TiO_2 et Ba ont été fortement dégradées suite au changement du tube à rayons X, du détecteur et de la mise à jour du logiciel de traitement en 2017, sans que nous n'ayons réussi à en déterminer l'origine ni à apporter de solution à ce problème. La quantification du P_2O_5 et du MgO n'est pas satisfaisante car les pics d'émissions principaux de ses éléments sont en partie masqués par ceux, bien plus imposants, du silicium et de l'aluminium. Les concentrations en Na_2O sont-elles très affectées par les irrégularités de surface des échantillons (Leck et al., 2018). Quant à la mesure de la concentration en Pb , elle manque de justesse mais elle est relativement précise puisque que bien reproductible.

Préparation des échantillons

Les échantillons archéologiques sont analysés bruts, nous nous contentons donc de nettoyer consciencieusement les pièces. Pour cela nous frottons les artefacts à la brosse afin de détacher les résidus de sédiments et nous les plongeons ensuite 15min dans un bain à ultrasons afin de décoller les plus petites particules inatteignables à la brosse. Les échantillons sont ensuite rincés à l'eau distillée puis à l'éthanol et enfin séchés grâce à un flux d'air comprimé. Cette étape est essentielle car l'analyse EDXRF ne s'intéresse qu'aux premiers millimètres sous la surface des échantillons. Des sédiments encore incrustés sur les pièces pourraient donc fausser le résultat des analyses.

Les échantillons géologiques ont quant à eux fait l'objet de préparations mécaniques afin d'être analysés en EDXRF dans les conditions les plus optimales possibles. Nous avons donc réalisé des sections de roches d'épaisseurs centimétriques à la scie diamantée que nous avons ensuite polies afin d'obtenir des surfaces planes. À partir de 2018, dès que cela était possible, nous avons produit directement sur le terrain de gros éclats plats qui étaient ensuite polis à notre arrivée au laboratoire. Cela a permis d'économiser l'étape du sciage et également de ne pas transporter de matériaux inutiles. Le polissage a été effectué manuellement sur une polisseuse PRESI Mecatech 334 à l'aide d'une grille résinoïde puis de papiers abrasifs (60 μm , 35 μm puis 26 μm).

Nous avons fait le choix de ne pas réduire en poudre les échantillons géologiques, ce qui aurait théoriquement permis de réduire les problèmes liés à l'hétérogénéité des échantillons. Cependant les échantillons géologiques et archéologiques auraient alors présenté des types

EDXRF (IRAMAT-CRP2A)

	Na2O	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	(TiO2)	MnO	Fe2O3	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	(Ba)	(Pb)
AVE (N=139)	3,73	13,79	76,04	4,60	0,62	0,00	0,052	0,970	44	18	183	47	26	66	20	162	35
SD	0,43	0,89	1,22	0,10	0,02	0,00	0,001	0,024	1	1	5	1	1	2	1	14	1
RSD	11%	6%	2%	2%	3%	0%	3%	2%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	4%	9%	3%

ICP-MS (Univ. de Bretagne Occidentale)

	K2O	CaO	TiO2	MnO	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Pb
AVE (N=5)	4,46	0,64	0,033	0,046	40,4	17,3	175,5	41,7	24,6	63,1	16,9	221,8	21,0
SD	0,27	0,03	0,001	0,002	1,0	0,6	8,2	1,1	0,4	1,2	0,3	3,2	0,7
RSD	6%	4%	2%	4%	2%	3%	5%	3%	2%	2%	2%	1%	3%

MED-EDS (IRAMAT-CRP2A)

	Na2O	(MgO)	Al2O3	SiO2	K2O	CaO	(TiO2)	(MnO)	Fe2O3
AVE (N=10)	4,58	0,05	13,92	74,73	4,37	0,62	0,02	0,04	0,78
SD	0,068	0,016	0,041	0,128	0,034	0,012	0,015	0,010	0,064
RSD	1%	35%	0%	0%	1%	2%	79%	26%	8%

IBA PIXE (AGLAE - C2RMF)

	Na2O	(MgO)	Al2O3	SiO2	(P2O5)	(Cl)	K2O	CaO	TiO2	MnO	Fe2O3	Zn	Ga	As	Rb	Sr	(Y)	Zr	(Nb)	(Ba)	(Pb)
AVE (N=7)	3,05	0,05	13,21	77,33	0,04	0,06	4,39	0,65	0,037	0,051	1,08	45	18	9	185	45	18	64	15	227	23
SD	0,07	0,02	0,08	0,11	0,01	0,01	0,08	0,02	0,007	0,003	0,02	4	2	4	7	12	10	15	10	76	10
RSD	0,02	0,36	0,01	0,00	82%	10%	0,02	4%	20%	5%	2%	8%	11%	41%	4%	27%	53%	24%	65%	33%	44%

Tab 007 : Résultats des analyses que nous avons menées sur l'échantillon JAP-STD en EDXRF et au MEB-EDS à l'IRAMAT-CRP2A, en PIXE au C2RMF, ainsi que les mesures obtenues par J.-A. Barat en ICP-MS à l'Univ. de Bretagne Occidentale. Les Oxydes et le Chlore sont donnés en wt% et les éléments traces en ppm. AVE = moyenne; SD = écart-type; RSD =écart-type relatif; N = nombre de mesures; en rouge = valeurs indicatives.

de matrices différentes et les résultats des analyses XRF de ces deux groupes d'échantillons n'auraient probablement pas été tout à fait comparables.

Quels sont les échantillons analysables en EDXRF?

Tous les types d'échantillons ne sont malheureusement pas analysables en EDXRF. Le principal problème que nous pouvons rencontrer lorsque nous analysons des artefacts bruts, non réduits en poudre et non polis, est lié à la topographie de la surface des échantillons. En effet, l'angle entre la source de rayons X et l'échantillon mais surtout l'angle entre l'échantillon et le détecteur sont des paramètres prédéfinis dont les éventuelles variations ne sont pas prévues dans le fonctionnement normal de l'appareil. Nous avons donc effectué un prélèvement sur un échantillon archéologique afin de réaliser une section polie, dans le but de vérifier empiriquement si les irrégularités de surface des pièces archéologiques entravaient le bon fonctionnement des analyses (Tab. 8). Il s'avère que les potentiels écarts de résultats que l'on pourrait observer entre échantillon brut et poli sont négligeables face aux effets de l'hétérogénéité des rhyolites. Nous pouvons donc analyser des échantillons à la texture grenue sans que cela n'affecte d'éventuelles attributions géochimiques à des sources analysées précédemment (Leck et al., 2018).

BDX17943 – Sans préparation (30 mesures)

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
Moyenne	32479	998	129970	756508	813	48875	12697	2288	852	13851	35	16	229	154	26	174	34
Ecart-type	2637	47	3723	4805	27	3634	1477	204	72	1098	2	1	19	12	2	12	2
Err. Std.	481.5	8.5	679.6	877.2	4.9	663.4	269.6	37.3	13.1	200.4	0.4	0.2	3.6	2.1	0.4	2.3	0.4
Dispersion	8%	5%	3%	1%	3%	7%	12%	9%	8%	8%	6%	8%	9%	8%	9%	7%	7%

BDX17943 – Poli (10 mesures)

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
Moyenne	35471	989	130936	757885	856	46737	11112	2388	841	12155	31	16	209	150	27	165	31
Ecart-type	2333	55	2726	2231	36	1614	638	477	66	473	1	1	11	9	2	10	2
Err. Std.	737.6	17.5	861.9	705.4	11.4	510.3	201.7	150.8	21.0	149.7	0.4	0.3	3.5	2.8	0.6	3.0	0.6
Dispersion	7%	6%	2%	0%	4%	3%	6%	20%	8%	4%	4%	6%	5%	6%	7%	6%	6%

Tab 008 : Données EDXRF pour l'échantillon archéologique BDX17943 (échantillon sans préparation et section polie) montrant la reproductibilité des mesures sur les éléments dosés. Les concentrations sont données en ppm (Leck et al., 2018).

Nous nous sommes cependant attachés à présenter les échantillons le plus horizontalement possible dans la chambre d'analyse. Nous y avons également été contraints par la faible différence de hauteur permise par notre appareil entre les différents points d'analyses d'une même série. Si les échantillons présentant des surfaces rugueuses sont admis, il faut néanmoins qu'ils présentent une surface plane couvrant au minimum la taille du collimateur, soit 3x3mm. Une partie des petits débris et éclats ne remplissent pas ce critère.

Enfin, les rayons X pénètrent en profondeur dans l'échantillon, or, l'analyse XRF n'étant pas une analyse de surface, les échantillons doivent donc présenter une épaisseur minimale. Cette

question a déjà été traitée par Davis et al. (2011) concernant l'analyse EDXRF d'obsidiennes. Ils préconisaient d'analyser des échantillons de plus de 2.5mm d'épaisseur, mais montraient toutefois que la plupart des concentrations en éléments les plus intéressants pour la provenance des roches n'étaient que peu affectées au-dessus de 1.5mm d'épaisseur. Afin de déterminer si ces préconisations s'appliquent également pour les rhyolites nous avons conduit notre propre expérimentation. Nous avons préparé une lame épaisse d'une rhyolite de la vallée de l'Ascu (BDX19517) que nous avons choisie car elle ne présentait pas de phénocristaux visibles. Cette lame épaisse de 1.5x1.5 cm a été collée à l'araldite à un support en plastique avant d'être abrassée puis polie jusqu'à atteindre 15 mm d'épaisseur avant d'être analysée en 5 points différents en EDXRF. Nous avons répété cette opération 26 fois, afin d'analyser l'échantillon à différentes épaisseurs prédéfinies. Les résultats des analyses nous indiquent que jusqu'à 1.5 mm, l'épaisseur de l'échantillon n'a pas d'effet sur la mesure des concentrations en éléments traces (Fig. 40). Nous avons donc défini cette épaisseur comme l'épaisseur minimale des échantillons que nous analysons en EDXRF. Cela a conduit à écarter quelques artefacts, notamment venant des sites sur lesquels un tamisage minutieux à l'eau avait été effectué.

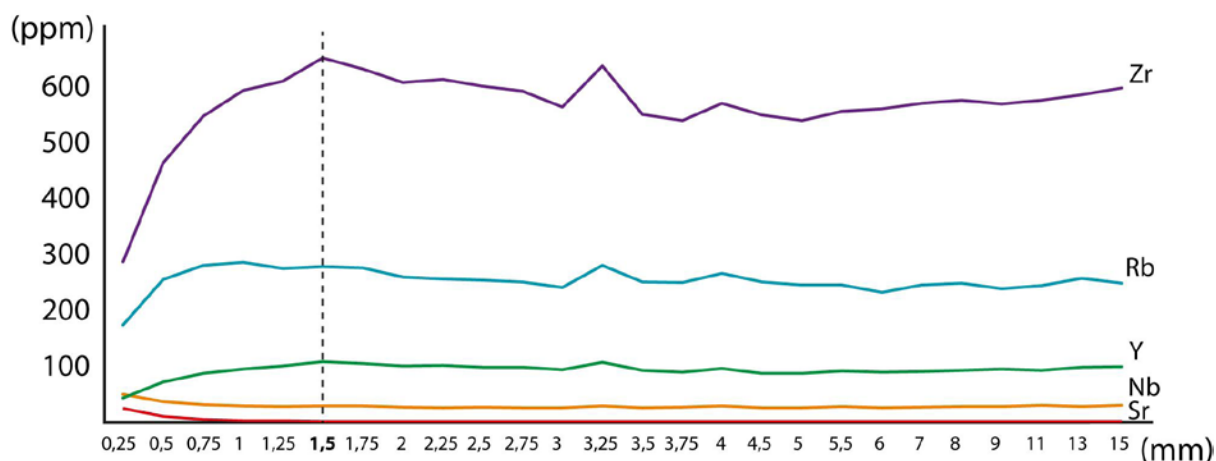


Figure 040 : Concentrations en éléments traces de l'échantillon BDX19517 en fonction de son épaisseur.

Ces critères de sélection sont relativement peu restrictifs. Cela nous a permis d'analyser en EDXRF la quasi-totalité des artefacts en rhyolite que nous souhaitions étudier.

Fixation des échantillons

Le choix de la méthode de fixation des échantillons, en particulier des échantillons archéologiques, sur la platine d'analyse peut sembler a priori anecdotique. Cependant, la Plastiline, une pâte à modeler traditionnellement utilisée dans notre laboratoire et dans de nombreux autres pour tenir en place les échantillons s'est avérée inadaptée à notre matériau. Il est parfois très difficile de l'enlever correctement et elle laisse des traces grasses et sombres sur les artefacts. Nous avons également analysé en EDXRF la Plastiline suivant notre protocole et il s'avère que le matériau est très chargé en calcium et contient aussi par conséquent des quantités non négligeables de strontium, l'un des éléments diagnostiques les plus essentiels dans les études que nous menons. Cette pâte à modeler peut donc représenter une source importante

de contamination.

Nous avons donc préparé de petites boîtes remplies de Plastiline que nous avons recouvert de film plastique transparent. Nous pouvons ensuite poser plusieurs échantillons dessus, en fonction de leur taille, et presser délicatement à l'aide d'une plaque en plastique légèrement plus large que la boîte. Nous obtenons ainsi des échantillons stables, présentant tous leur plus grande surface horizontalement et à la même hauteur sans qu'aucun échantillon ne soit en contact direct avec la Plastiline (Fig. 38).

c. Stratégie analytique mise en place

i. Analyse EDXRF exhaustive

Les rhyolites que l'on retrouve dans les séries lithiques peuvent présenter des faciès très divers, parfois facilement discernables à l'œil nu à partir de quelques critères : couleur de la matrice, texture, types de phénocristaux. Cependant, l'expérience nous a montré que des roches provenant d'un même gisement peuvent présenter des faciès très diversifiés. Se baser sur des éléments macroscopiques sans avoir bien défini les éléments caractéristiques de chaque gisement potentiellement exploité au sein d'une série est donc relativement hasardeux. Cela risque en effet de conduire à la création de nombreux groupes de rhyolites correspondant dans la réalité à un seul et unique gisement. Ou bien, à l'inverse, à regrouper des rhyolites de gisements différents, car elles partagent certaines caractéristiques macroscopiques. Etant donné le caractère largement lacunaire de notre référentiel, nous ne connaissons presque jamais l'ensemble des caractéristiques macroscopiques pouvant définir les gisements des rhyolites que nous étudions. Lorsque cela est possible nous analysons donc l'ensemble des pièces à étudier en EDXRF en première approche.

ii. Attribution visuelle

Il est exceptionnellement possible de se passer de l'analyse exhaustive des échantillons en EDXRF. Si la série lithique à étudier comprend trop d'échantillons à analyser en un temps restreint il peut s'avérer indispensable d'ajuster notre stratégie analytique. Il est alors possible de n'analyser qu'un sous-ensemble cohérent de la série, comme un niveau d'occupation, un ensemble défini chronologiquement ou bien en rapport avec une structure. Il sera en effet plus intéressant d'interpréter des résultats complets sur un sous-ensemble cohérent plutôt que des résultats incomplets sur l'ensemble d'un site.

On peut également justifier une analyse partielle de la série lorsqu'un ou plusieurs types de rhyolites sont surreprésentés au sein de la série tout en étant identifiables macroscopiquement.

Ce cas s'est notamment présenté lorsque nous avons voulu étudier les rhyolites mises au jour sur le site de Renaghju (cf infra). La très grande majorité des plus de 500 pièces ne semblaient

provenir que de deux gisements locaux dont l'un était connu et formellement identifié. Ces pièces étaient distinguables à l'œil nu : une rhyolite grise sphérolitique typique du filon de Pastini et une rhyolite verte très fine à cortex beige (RVF). Il nous a donc semblé inutile d'analyser des centaines de pièces en EDXRF alors qu'une simple observation à l'œil nu permettait d'identifier formellement la nature du matériau. Nous avons cependant jugé indispensable de vérifier l'efficacité de nos identifications visuelles en analysant en EDXRF un groupe test d'une cinquantaine de pièces choisies aléatoirement dans la série, représentant environ 10% de l'assemblage. Nous avons donc classé visuellement ces pièces en différents groupes : Pastini, RVF, rhyolite aphanitique noire et non-identifié. Nous avons ensuite analysé ces rhyolites en EDXRF puis nous avons déterminé les différents groupes géochimiques présents afin de les comparer avec nos attributions visuelles. Cela nous a permis de confirmer la justesse des attributions visuelles à l'exception de deux pièces à la texture fluidale (Fig. 41). Nous avons donc décidé par la suite d'analyser en EDXRF l'ensemble des pièces présentant ce type de texture.

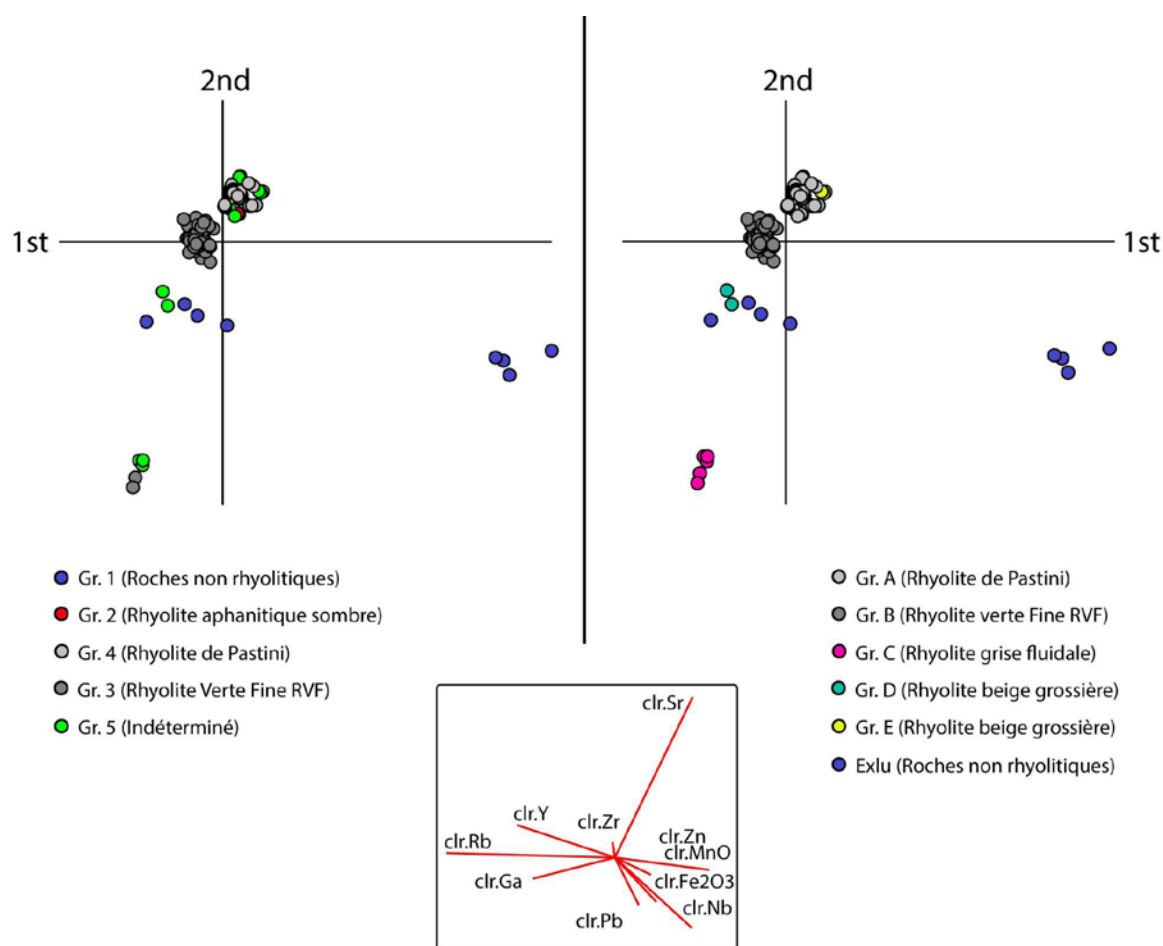


Figure 041 : Résultats des analyses EDXRF menées sur 50 pièces sélectionnées aléatoirement dans la série des rhyolites de Renaghju (phase 1). Les groupes ont été définis visuellement (graphique de gauche) puis géochimiquement (graphique de droite).

Il est donc possible de distinguer certaines rhyolites selon leurs caractéristiques visuelles et même d'effectuer ainsi des attributions de provenance lorsque le gisement d'origine est bien

connu. Néanmoins, les séries lithiques étant très différentes d'un site à l'autre, cette approche ne peut être généralisée sans préalablement confronter les observations macroscopiques aux compositions chimiques comme nous l'avons fait pour l'étude des rhyolites de Renaghju.

iii. ACP et groupes de compositions

Les résultats des analyses EDXRF de l'ensemble d'une série nous permettent de définir des groupes de compositions géochimiques. Pour cela nous comparons les teneurs en éléments traces, moins sujettes à l'altération que la plupart des éléments majeurs et mineurs et qui sont souvent les plus utiles pour discriminer les gisements. En nous basant sur la qualité des différentes données EDXRF ainsi que sur les nombreuses données acquises en pétrographie, MEB-EDS, LA-ICP-MS, DRX et PIXE nous avons choisi de retenir les teneurs en MnO, Fe₂O₃, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb et Pb. Ces données sont ensuite représentées sous la forme d'une ACP en trois dimensions à l'aide du logiciel CoDaPack (cf infra). Ce type de représentation nous permet d'explorer nos données et d'y observer des regroupements d'échantillons basés sur leurs compositions chimiques. La diversité des rhyolites étant importante et les compositions de chaque gisement très dispersées, il existe de nombreux recoupements et fausses corrélations. Nous ne pouvons donc pas utiliser uniquement les données géochimiques pour identifier les différents types de rhyolites présents dans une série.

iv. Aller-retour macroscopique-géochimique

Il est donc indispensable de revenir sur les objets pour vérifier si les groupes identifiés grâce à la géochimie sont cohérents avec les faciès que l'on peut observer macroscopiquement. Bien qu'il nous soit impossible de le quantifier, la diversité macroscopique et chimique des rhyolites en Corse est tellement importante, qu'il nous semble très improbable que des roches puissent présenter une géochimie et un faciès quasi-identique sans provenir d'un même gisement. On peut donc facilement lever les doutes concernant de fausses corrélations avec une simple étude visuelle. Nous avons ainsi souvent retrouvé des roches de compositions chimiques proches, voire quasiment identiques, mais présentant des faciès complètement différents. Il est souvent nécessaire d'effectuer de nombreux aller-retour entre les données géochimiques et l'observation visuelle afin d'affiner le périmètre des groupes de rhyolites présents dans la série.

v. Comparaison avec le référentiel géologique

Les différents groupes ainsi définis sont comparés à notre référentiel géologique à l'aide d'une nouvelle ACP. Afin de rendre cette étape la plus efficace possible, nous comparons chaque groupe de notre série avec les échantillons géologiques dont les compositions en strontium en

sont proches. Cet élément est en effet très discriminant entre les gisements tout en montrant généralement une faible dispersion. Nous pouvons alors observer s'il existe des correspondances entre les échantillons géologiques et archéologiques. Encore une fois, il est souvent indispensable de vérifier macroscopiquement que les éventuelles corrélations des données géochimiques correspondent bien à des roches partageant les mêmes caractéristiques macroscopiques.

Cette étape peut être rendue particulièrement difficile lorsque les groupes de rhyolites sont définis par trop peu de pièces. Il est en effet plus efficace de comparer des ensembles de données de tailles comparables, les gisements étant généralement représentés par une dizaine à quelques dizaines d'analyses. C'est pourquoi il est important d'analyser les séries le plus exhaustivement possible.

vi. Comparaison avec les séries déjà étudiées

De la même manière, nous pouvons comparer nos données avec celles acquises précédemment sur d'autres séries lithiques. On peut ainsi reconnaître l'utilisation de gisements communs à plusieurs sites archéologiques même si ceux-ci nous sont totalement inconnus.

vii. Cortex, qualité du matériau et type de production

Il est bien sûr très utile d'observer les pièces archéologiques afin d'identifier des cortex porteurs d'informations sur les lieux de dépôts et de collecte des roches. On peut ainsi distinguer les rhyolites ramassées dans le lit des rivières et des fleuves grâce à la présence de cortex fluviaux d'aspect roulé, très lisse ou présentant de nombreux écrasements. Les rhyolites filoniennes provenant d'un gisement primaire se présentent souvent sous la forme de blocs prismatiques dont on peut retrouver certaines parties sur les pièces corticales.

La qualité du matériau peut aussi être un indice important pour identifier la provenance des rhyolites. En effet, les rhyolites sont ubiquistes dans le paysage autour de la plupart des sites que nous avons étudiés. Les matériaux de faibles qualités sont donc souvent facilement disponibles. On peut donc supposer, en première approche, qu'il existe un lien entre la qualité du matériau et l'éloignement de la source. Ce postulat s'est cependant révélé très contestable à plusieurs reprises. Il semblerait que cela ne s'applique correctement que lorsque nous considérons les matériaux de provenance locale et de faible qualité.

Enfin, le type de produits que l'on retrouve au sein de la série peut fournir des indications quant aux modes d'introductions des matériaux sur le site. Nous avons donc essayé d'identifier au maximum les différents produits par type de rhyolite pour différencier les matériaux introduits sous forme de bloc entier (présence de nombreux éclats corticaux), de préformes (peu ou pas

d'éclats corticaux mais nombreuses esquilles, débris et déchets de tailles) ou d'objets finis (outils uniquement ou présence de quelques esquilles et éclats liés à la retouche des objets).

viii. Provenance et liens entre sites

En recoupant les différentes informations ainsi obtenues, nous pouvons définir la provenance de la plupart des groupes de rhyolites identifiés dans les séries. Lorsque le gisement a été identifié il est possible d'attribuer avec précision la provenance des matériaux. Nous pouvons aussi identifier la présence d'une matière au sein de plusieurs sites, même lorsque le gisement d'origine ne nous est pas connu. Bien que la plupart des gisements nous soient encore inconnus, nous pouvons néanmoins définir des zones d'approvisionnements probables grâce aux renseignements apportés par les compositions géochimiques, aux caractéristiques macroscopiques des pièces, à la présence d'éclats corticaux, aux types de pièces introduites sur le site ainsi que l'emplacement des autres sites sur lesquels on retrouve éventuellement ce matériau. Cela nous permet aussi d'orienter de futures prospections au cours desquelles nous pourrions retrouver de nouveaux gisements à intégrer dans notre référentiel.

d. Traitements statistiques et représentation graphique

Les analyses en composantes principales (ACP) sont notre outil principal de traitement statistique des données de compositions obtenues par EDXRF mais également notre principal outil de représentation de ces données.

L'ACP permet de représenter en seulement deux (ou trois) dimensions l'ensemble des variables que sont les différentes concentrations géochimiques de nos échantillons. Nos variables initiales sont en effet transformées afin de créer de nouvelles variables nommées « composantes principales » maximisant la variance des données.

Cela permet de traiter un grand volume de données, comprenant de nombreux échantillons auxquels sont associées de nombreuses variables et dont l'organisation est indécélable sans traitement statistique approprié.

Avant toute représentation graphique, les données ont subi une transformation par ratio-logarithmique centré (clr) (Aitchison, 1986 ; Aitchison et Greenacre, 2002). Cette transformation permet de casser l'interdépendance des données, les résultats fournis par les appareils de mesures étant bouclés à 100 %. Elle est décrite par l'équation suivante :

$$clr(x) = \left[\ln\left(\frac{x_1}{g(x)}\right), \ln\left(\frac{x_2}{g(x)}\right), \dots, \ln\left(\frac{x_D}{g(x)}\right) \right]$$

où $g(x)$ est la moyenne géométrique d'un ensemble de D parties.

Les ACP ont été produites grâce au logiciel CoDaPack (Comas-Cufí et Thió-Henestrosa, 2011). Ce logiciel, créé au sein du Département d'Informatique, de Mathématique appliquée et de Statistique de l'Université de Gérone, permet de rapidement manipuler les données de compositions, d'effectuer automatiquement les transformations appropriées (le ratio logarithmique centré dans notre cas), et de les représenter sous forme d'ACP en trois dimensions. Ces représentations tridimensionnelles ont été extrêmement utiles pour explorer les données, comprendre leur organisation, et distinguer des groupes de compositions souvent très difficilement discernables sur les représentations en deux dimensions.

Nous avons également, à de rares occasions et toujours à l'aide du logiciel CoDaPack, représenté nos résultats sous la forme de diagrammes ternaires. Ces derniers nous ont permis d'observer plus en détail les relations existantes entre différents échantillons de compositions très proches, typiquement pour des gisements proches, voire même situés sur un même filon.

Dans l'exemple suivant (Fig. 42), nous avons comparé trois zones échantillonnées sur le filon de Pastini, un filon proche de ce dernier situé à Roccapina et un groupe d'artefacts mis au jour sur le site de Monti Barbatu.

Le filon de Roccapina est difficilement accessible et la rhyolite qu'on n'y trouve n'est pas de très bonne qualité pour la taille. Les compositions des rhyolites du Monti Barbatu semblent plus proches de celles rhyolites prélevées sur la partie centrale du filon (Sapara Ventosa, Calavu), qui est la zone où des traces d'exploitations anciennes ont été identifiées.

Ce type de représentation est donc utilisé ponctuellement pour réaliser des attributions de provenance plus précises quand les représentations sous forme d'ACP ne permettent pas de différencier des gisements chimiquement très semblables.

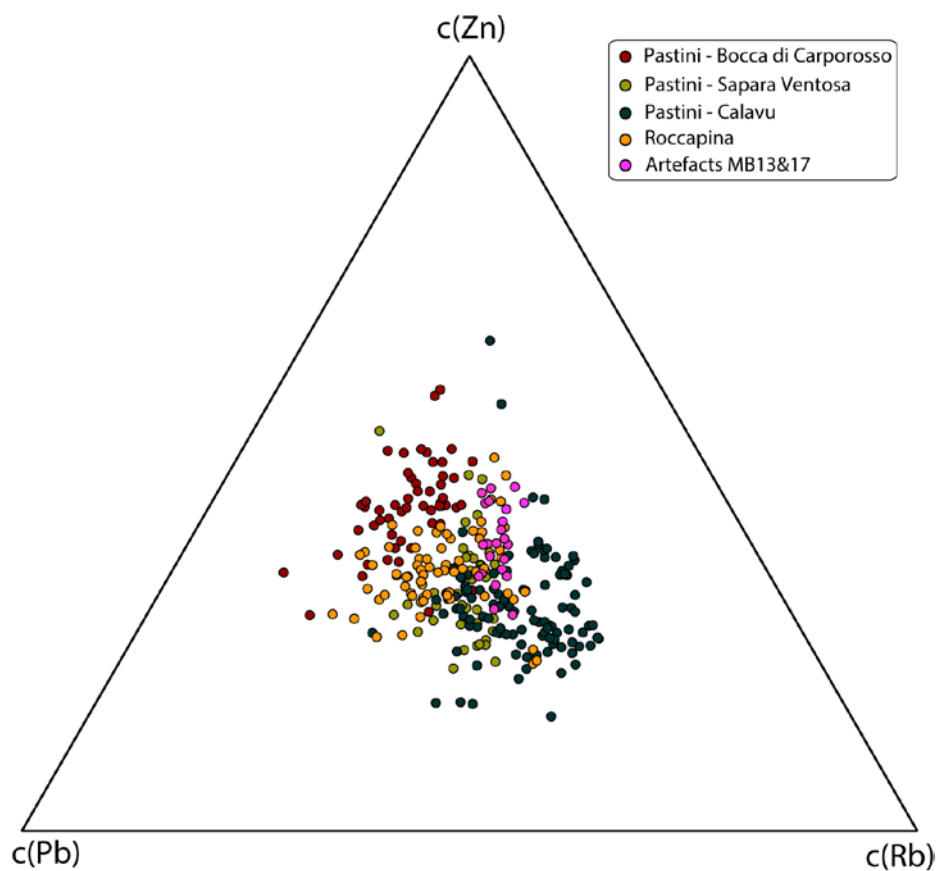


Figure 042 : Diagramme ternaire centré comparant les concentrations en Zn, Pb et Rb de trois affleurements du plateau de Pastini, du filon de Roccapina et des artefacts du groupe B de Monti Barbatu.

2. Référentiel géologique

a. Échantillonnage

Notre référentiel géologique est en construction permanente. L'ensemble des gisements corses de rhyolites aptes à être taillées ne sera probablement jamais connu. Le territoire à parcourir pour les rechercher est bien trop grand, les sources sont certainement très nombreuses, souvent difficiles d'accès, parfois peut-être même certainement immergées suite à l'élévation du niveau marin. Le référentiel est donc en perpétuelle évolution, s'affinant à chaque nouvelle étude de série lithique, à chaque nouvelle mission de terrain.

Nous élaborons donc ce référentiel de manière opportuniste, en y ajoutant chaque échantillon, quelle que soit sa provenance, tant que le lieu de ramassage est connu. Les premiers échantillons nous ont été fournis par Nadia Ameziane-Federzoni et provenaient de ses propres prospections sur le plateau de Stagnu (Ascu, Haute-Corse) et sur le plateau d'Alzu (Corte, Haute-Corse) (Ameziane-Federzoni, 2011). D'autres échantillons nous ont été envoyés par Jean-Michel Bontempi et avaient été prélevés durant les premières campagnes de fouilles de l'abri des Castelli (Corte, Haute-Corse) sur le filon jouxtant le site (Mazet et al., 2016). Thomas Perrin nous a aussi fourni des échantillons de plusieurs gisements prélevés sur les flancs du Monte d'Oro lors de l'opération archéologique qu'il a menée à l'abri Southwell (Vivario, Haute-Corse) (Perrin, 2015b). Maxime Remicourt nous a quant à lui fait profiter de la grande quantité de matériel qu'il avait échantillonné dans la basse vallée du Taravu et également à proximité du plateau de Cauria (Sartène, Corse-du-Sud) à l'occasion de l'étude du matériel lithique d'I Calanchi (Sollacaro, Corse-du-Sud) (Remicourt et Piboule, 2014). Nous avons ensuite prélevé du matériel géologique en accompagnant Nadia Ameziane-Federzoni lors de la prospection qu'elle a menée dans la haute-vallée de l'Ascu en 2017 (Ameziane-Federzoni, 2011, 2017). Nous avons aussi prospecté de l'autre côté du massif du Cintu lors d'une prospection thématique que nous avons conduite dans la vallée du Fangu en 2019. Nous avons profité de nos nombreux séjours en Corse ces dernières années, dans le cadre de fouilles archéologiques, de colloques, de réunions de travail ou même de vacances, pour enrichir notre référentiel en échantillonnant des gisements trouvés parfois par hasard. Enfin, de nombreuses personnes, plus ou moins au fait de nos recherches, nous ont gentiment apporté un, deux ou trois échantillons de rhyolite qu'elles pensaient pouvoir nous intéresser.

Nous avons ainsi récolté un peu plus de 370 échantillons de rhyolite, provenant d'une soixantaine de gisements primaires ou secondaires, du nord au sud de la Corse hercynienne (Fig. 43). Lorsque cela était possible, nous avons prélevé plusieurs échantillons sur chaque gisement afin de couvrir au mieux les hétérogénéités de faciès. Notre but étant d'obtenir la meilleure représentation géochimique du gisement, nous avons privilégié le prélèvement de plusieurs

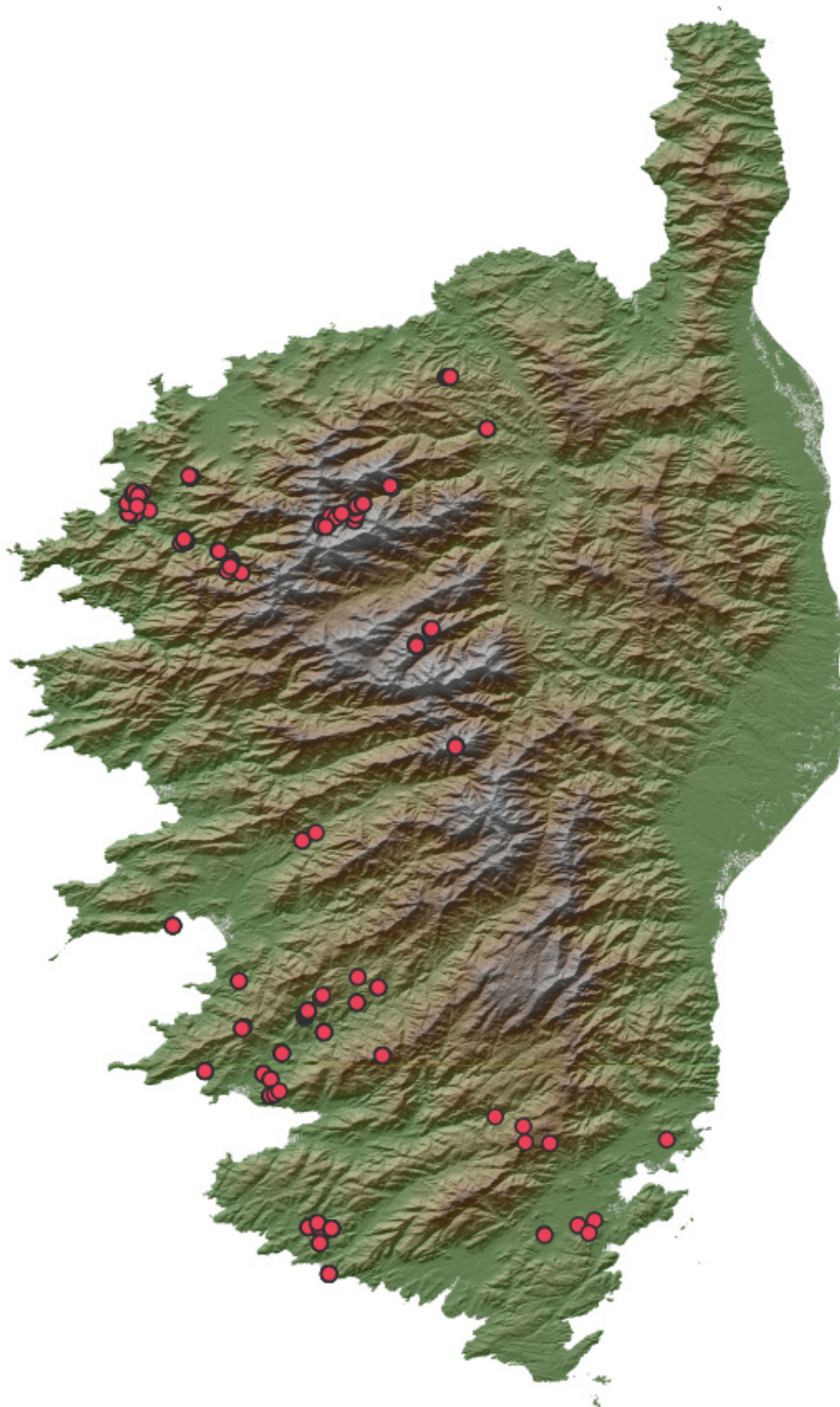


Figure 043 : Carte de l'ensemble des gisements échantillonnés.

petits échantillons plutôt que l'extraction d'un bloc important que nous aurions par la suite partitionné.

Contrairement aux artefacts, les échantillons géologiques ont fait l'objet des préparations mécaniques sous la forme de lames épaisses polies afin d'être analysées en EDXRF dans les meilleures conditions. Nous conserverons ces lames épaisses afin de pouvoir reconstruire notre référentiel géochimique, si nous venions à travailler sur un autre type d'instrument par exemple. Les restes des blocs prélevés sur les gisements n'ont quant à eux pas vocation à être conservés au laboratoire et ils devront rejoindre une lithothèque dans un avenir proche, probablement au SRA de Corse à Ajaccio.

b. Les gisements identifiés

La liste des échantillons composant notre référentiel ainsi que les emplacements géoréférencés de leurs prélèvements est reportée en annexes. Quelques photographies d'échantillons géologiques polis sont présentées à titre d'illustration (Fig. 58 à 61) .

i. Le massif du Cintu

Ce massif occupe le centre d'un complexe volcanique qui s'étend sur plusieurs centaines de km² dans le nord-ouest de la Corse. On y trouve des roches issues de deux cycles volcaniques. Le cycle du Permien inférieur a notamment vu la formation de vastes coulées ignimbritiques d'affinités calco-alcalines, généralement associées à des projections pyroclastiques, constituant une douzaine de séries différentes identifiées par P. Vellutini (1977). Le cycle du Permien inférieur aboutit à la formation de roches volcaniques et plutoniques d'affinités plus alcalines. Il est responsable de la formation de la plupart des dykes et filons rhyolitiques et microgranitiques, venue remplir les failles et cicatriser les conduits d'alimentation du volcanisme calco-alcalins (Vellutini, 1977). Les différentes formations, complexes et très diversifiées, que l'on retrouve dans ce massif volcanique sont précisément décrites et accompagnées de nombreuses analyses géochimiques dans la thèse de P. Vellutini (1977). N. Ameziane-Federzoni (2011) a produit un résumé de ce travail, plus accessible et davantage tourné vers les problématiques archéologiques.

Le massif du Monte Cintu est certainement la région de Corse où se trouve le plus grand nombre de gisements de rhyolite de qualité. Il s'agit également de la zone la plus montagneuse. Plusieurs sommets dépassent les 2300m, le Monte Cintu lui-même culminant à 2706m. Les accès sont souvent difficiles et la région est particulièrement inhospitalière en hiver. Cette région a été en grande partie prospectée par N. Ameziane-Federzoni, notamment dans le cadre de son travail de doctorat (Ameziane-Federzoni, 2011), qui a identifié deux zones particulièrement intéressantes : la vallée de la Melaja et la haute vallée de l'Ascu.

a. La Melaja

Cette petite vallée est la plus au nord du massif du Cintu et donc la plus proche des sites archéologiques de Balagne. La rivière s'écoule depuis le Monte Grosso sur quelques kilomètres avant de rejoindre la Tartagina. N. Ameziane-Federzoni (2011) a découvert dans le lit de la rivière des blocs de rhyolites correspondant à des rhyolites de la catégorie A identifiées dans des séries archéologiques. Le matériau présentait de bonnes qualités de taille (Fig. 44) mais aucun gisement primaire n'a pu être trouvé.



Figure 044 : Armature expérimentale (à gauche) taillée dans une rhyolite de la Melaja et armature du Monte Revincu (à droite) (taille et photo : N. Ameziane-Federzoni, Ameziane-Federzoni, 2011).

b. Haute-vallée d'Ascu

L'Ascu prend naissance au pied des plus grands sommets de du massif, dans un cirque formé lors des dernières glaciations. Des formations très ont été érodées par les glaciers et charriées sous la forme des très gros blocs dans une moraine que l'on retrouve au fond de la vallée. Cette zone a fait l'objet de prospection par N. Ameziane-Federzoni dans les années 2000, puis en 2017 sous la forme d'une prospection thématique à laquelle nous avons participé (Ameziane-Federzoni, 2017). On y retrouve de nombreuses zones d'intérêt (Fig. 45).

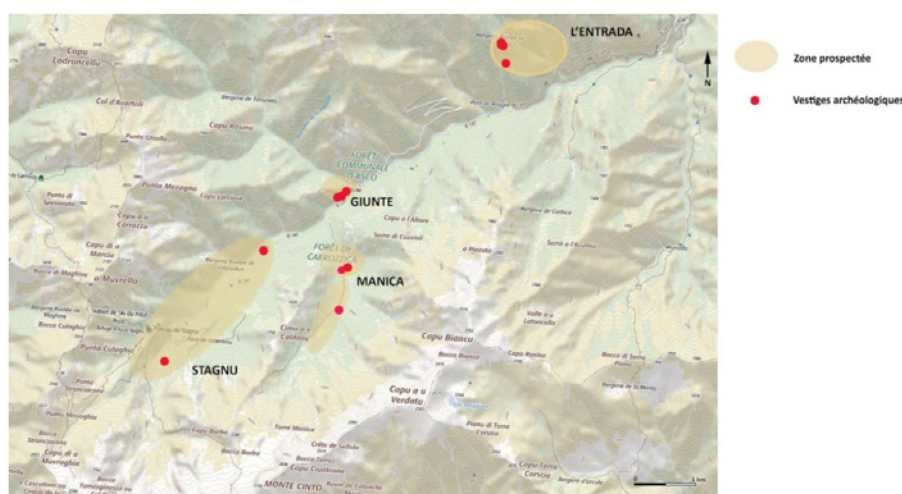


Figure 045 : Zones prospectées en 2017 dans la vallée de l'Ascu et positions des vestiges archéologiques découverts en surface (Ameziane-Federzoni, 2017).

Tout d'abord, le plateau de Stagnu, un replat en fond de vallée où l'érosion a transporté des blocs plurimétriques de rhyolite de très bonne qualité (Fig. 46). La gélifraction détache naturellement de ces blocs de très gros éclats directement utilisables comme nucléus. Aucun indice d'exploitation n'a été relevé sur le plateau, mais la construction de la station de ski d'Ascu et l'aménagement des pistes aurait probablement détruit les potentiels sites archéologiques.



Figure 046 : Vu sur les falaises abruptes du Capu di a Marcia depuis le plateau de Stagnu. Blocs de rhyolites au premier plan, les chalets de la station de ski sont visibles au second plan.

Un filon de rhyolite violette foncée a quant à lui été découvert au lieu-dit Giunte (Fig. 47). Il présente des traces d'exploitation mais celles-ci sont certainement contemporaines. Le lieu a été aménagé récemment pour créer une « maison du mouflon », des clôtures délimitant la réserve de mouflons et une piste pour accéder à l'intérieur du massif. Ces constructions ont probablement en partie détruit un site archéologique dont on retrouve la trace quelques dizaines de mètres à l'ouest du filon, le long de l'Ascu. Un abri sous roche, des structures empierrées de plein air et de nombreux vestiges lithiques en surface indiquent la présence d'un site probablement néolithique à proximité immédiate de ce filon.

Au voisinage des bergeries de Manica, où l'on retrouve des restes d'architecture probablement pré- ou protohistorique, des blocs de rhyolite plurimétriques détachés des sommets ceinturant la petite vallée fournissent des matériaux de très bonne qualité, comparable à ce que l'on peut observer sur le plateau de Stagnu. Quelques vestiges lithiques ont été retrouvés dans cette zone mais rien n'indiquant une exploitation des rhyolites sur place.



Figure 047 : Abri et filon du Giunte. Les traces d'exploitations visibles sur le filon sont certainement contemporaines.

c. La vallée du Fangu

La vallée du Fangu se situe au nord-ouest de la Corse. Le Fangu prend naissance au pied des sommets de l'ouest du massif du Monte Cintu et se jette dans la Méditerranée près de Galéria sur la façade ouest de la Corse. Nous y avons mené une opération de prospection durant une semaine en juin 2019, avec l'aide de Thomas Terracol et le soutien financier de du SRA de Corse.

Nous avons choisi d'explorer cette région car plusieurs personnes nous avaient transmis des échantillons de rhyolites d'excellente qualité provenant de cette vallée et l'on nous avait rapporté l'existence de gisements probablement exploités à la préhistoire. Ghjasippina Giannesini nous a remis un bloc de rhyolite verte qu'elle avait ramassé dans la vallée. La taillabilité s'est avérée excellente, il a même été possible de débiter quelques petites lames très rectilignes à la pression debout lors d'une expérimentation menée par J. Vosges. N. Ameziane-Federzoni nous a fourni un échantillon de rhyolite qu'elle avait également prélevé dans la vallée, noire et aphanitique et toujours d'une très grande qualité de taille.

De plus, N. Ameziane-Federzoni nous a aussi confié un galet d'une roche noire très fine, alors identifié comme une rhyolite, prélevé près de l'embouchure du Fangu. Nous avons échan-

tillonné ce galet pour effectuer des analyses et elles ont révélé qu'il s'agissait d'un jasper ou d'une lydienne et non d'une roche volcanique (Fig. 48). Or, nous avons déjà identifié ce type de roches parmi la série lithique mis au jour au Monti Barbatu dans le sud de l'île sans avoir pu émettre quelques hypothèses que ce soit concernant sa provenance (Peche-Quilichini et al., 2018).

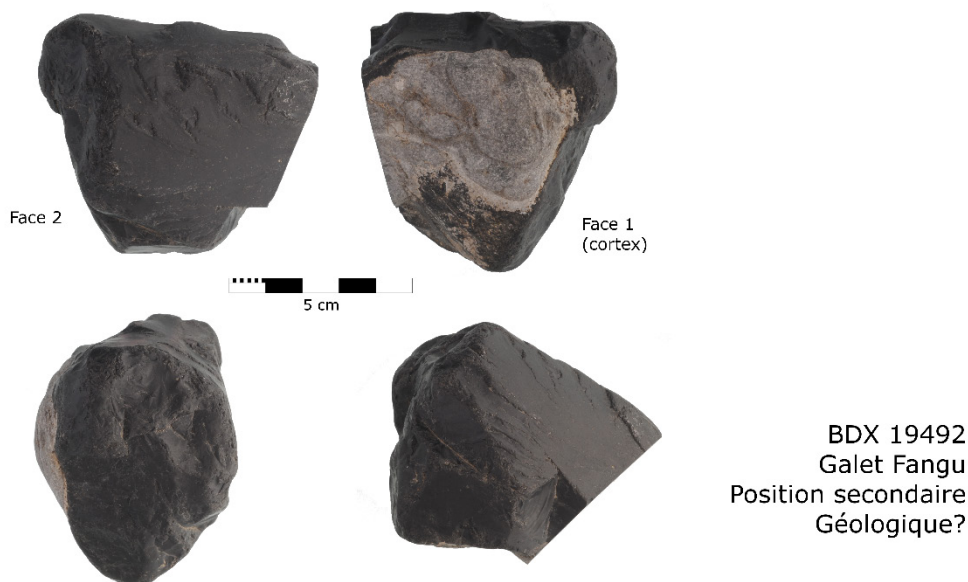


Figure 048 : Galet de jasper ou lydienne prélevée dans le lit du Fangu par N. Ameziane-Federzoni.

Il s'avère qu'une petite zone au nord de l'embouchure du Fangu conserve quelques terrains paléozoïques antérieurs à l'orogénèse hercynienne et la mise en place des granites et vulcanites. Une formation de lydienne massive recouvre ces roches siluriennes au sommet du Capu Russellu (Fig. 49). Cette région est la seule indiquant l'existence de lydiennes massives, cet étage des formations paléozoïques n'étant conservé nul par ailleurs sur l'île. Nous avons donc bon espoir d'y trouver le gisement primaire du galet ramassé au niveau du fleuve.

Malheureusement, la roche que nous avons trouvée est de très mauvaise qualité (Fig. 50, A). La matrice n'est pas particulièrement fine mais surtout le matériau est extrêmement faillé ce qui le rend totalement impropre à la taille. Les analyses menées au laboratoire confirment que les lydiennes du Capu Russellu ne correspondent pas aux matériaux retrouvés dans le Fangu et aux artefacts du Monti Barbatu. Nous pensons aujourd'hui que ce matériau est plutôt à rechercher dans les conglomérats polygéniques, dans les roches ante-ordoviciennes du compartiment du Fangu. Il est indiqué par Vellutini et al. (1996) qu'on y retrouverait quelques débris noirs siliceux correspondant certainement à des blocs issus des lydiennes du silurien que l'on retrouve dans la triade du Capu Russellu. Néanmoins, il est tout à fait possible qu'au sein des conglomérats ces blocs n'aient pas été tectonisés comme les lydiennes en place du Capu Russellu et fournissent donc peut-être un matériau tout à fait adapté à la taille. Il faudra vérifier cette hypothèse lors d'un prochain passage dans la région.

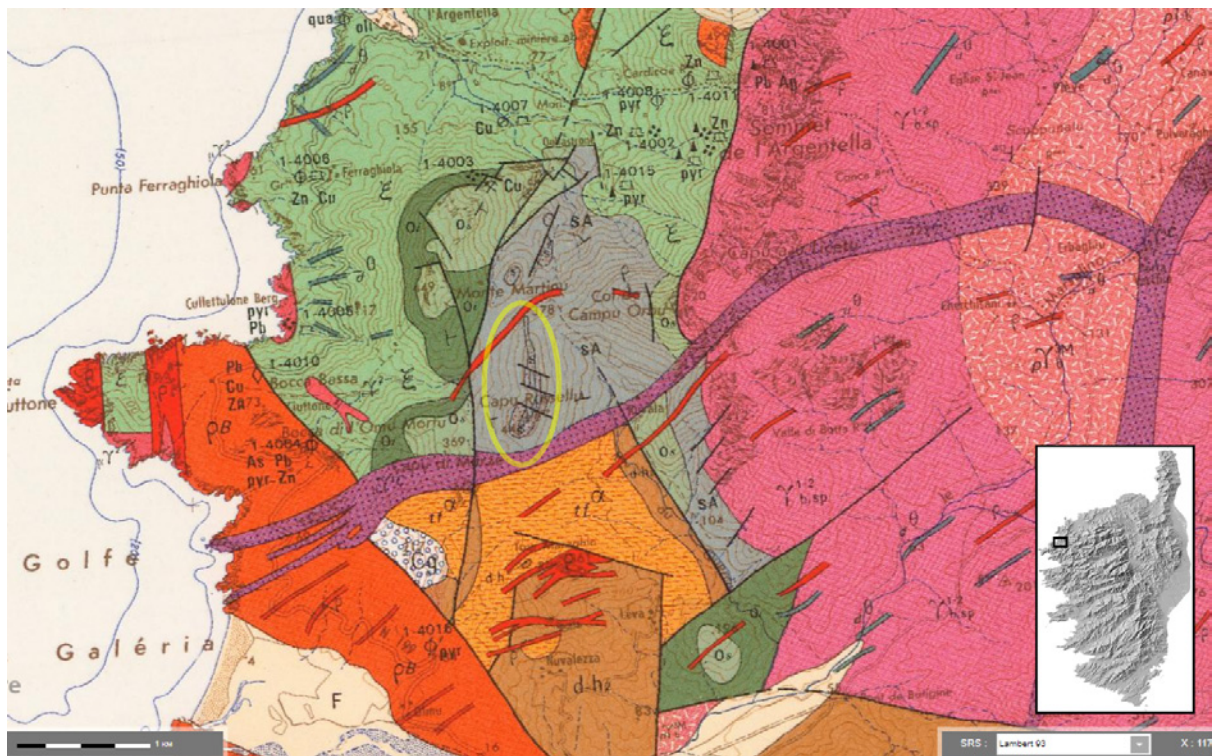


Figure 049 : Carte géologique de la rive droite du delta du Fangu. On observe un lambeau de formations paléozoïques, dont des lydiennes, au sommet du Capu Russellu (Vellutini et al., 1996).

Des gisements ont également été découverts le long du chemin de transhumance reliant la vallée du Fangu et le Niolu. Cependant, la qualité des matériaux est relativement moyenne et il est peu probable que ces formations, pour la plupart révélées par la construction de la piste, aient été utilisées par les populations préhistoriques. Nous avons néanmoins prélevé des échantillons car ces roches nous permettent d'avoir une idée des compositions des rhyolites de type Monte Estremu dont certains gisements que nous n'avons pas découverts ont peut-être été utilisés. Quelques structures probablement pré- ou protohistoriques ont été identifiées le long de ce chemin de transhumance mais nous n'avons pas mis en évidence de liens avec une exploitation de rhyolite.

La ligne de crête surplombant l'est du Marsolinu, le dernier affluent du Fangu, a également été prospectée car on nous y avait indiqué la présence de rhyolite de bonne qualité. De grands abris ayant pu être utilisés par les populations préhistoriques se déploient en haut de la crête en direction de l'ouest. Nous y avons trouvé une rhyolite noire tirant parfois sur le violet et comprenant de nombreuses enclaves rouge-orangé marquant une fluidalité (Fig. 50, C). Aucun matériel de surface n'indique le passage de groupes néolithiques sur ces crêtes où l'érosion est très forte.

Une blessure au pied nous a forcés à modifier le programme de la prospection et nous nous sommes retranchés sur le lit du fleuve en lui-même, bien plus facile d'accès que les zones que nous avions prévu de visiter. Le lit du fleuve est l'un des rares endroits, avec les sommets et les

falaises, où les formations rocheuses sont mises à nu et accessibles. Le fleuve a entaillé plusieurs formations rhyolitiques que nous avons pu échantillonner (Fig. 50, D), bien qu'aucune ne nous ait semblé d'une qualité particulièrement intéressante. Les alluvions se sont avérées plus attrayantes. Les produits de l'érosion de l'ensemble de la façade ouest du massif du Cintu se retrouvent dans le Fangu, nous avons donc pu y échantillonner de nombreuses rhyolites de faciès très divers. Nous avons emporté quelques blocs de grandes dimensions (pluridécimétriques) ramassés dans le lit du fleuve pour effectuer des expérimentations de taille et tester la qualité des matériaux. Quelques blocs ont été confiés à Vincent Lascour dont les talents de tailleur ne sont plus à démontrer. Les quelques essais d'obtenir une armature perçante à retouches bifaciales couvrantes se sont tous soldés par des échecs. En effet, l'objet se brise lors des dernières phases de retouches, probablement de par la présence des phénocristaux mais certainement aussi de microfailles que doivent contenir des galets ayant parcouru plusieurs kilomètres dans des torrents de montagne. Un essai précédent du même type sur des rhyolites du plateau de Stagnu, très proche des galets testés mais prélevés en position sub-primaire, n'avait pas mis en lumière ces problèmes. Les rhyolites perdent donc certainement leur qualité de taille lors d'un transport fluvial et les galets ramassés trop loin de la source primaire fournissent probablement de mauvais matériaux.



Figure 050 : Gisements échantillonnés dans la vallée du Fangu. A : Lydiennes du Capu Russellu, B : Dyke rhyolitique, C : Rhyolite de la Bocca a u Ghineparu, D : Formations rhyolitiques coupées par la rivière et alluvions du Bocca Bianca au gué de San Quilicu.

ii. Les filons du centre-Corse

a. Monte d'Oro

Un filon de rhyolite présentant des traces d'exploitations anciennes a été identifié sur le flanc ouest du Monte d'Oro (Vivario, Corse-du-Sud) au lieu-dit Tortetto par L.-J. Costa et F. Nicolle. Le filon se situe à 1750m d'altitude, affleure sur une trentaine de mètres et présente une variété de textures (Costa et al., 2002). Des observations pétrographiques ont été effectuées à partir de deux lames minces. La matrice de ces rhyolites est microlithique porphyrique. De nombreux minéraux issus de l'altération de la matrice et du métamorphisme sont visibles (calcite, chlorite, épidote, mica, pumpellyite). Quelques sondages ont été effectués en 1999 et ont permis de mettre au jour quelques indices de l'exploitation de ce filon, notamment quelques éléments lithiques taillés en grande partie constitués d'éclats corticaux.

Lors d'une opération archéologique conduite à l'abri Southwell en 2015, T. Perrin a recherché sur les flancs du Monte d'Oro le filon de rhyolite identifié L.-J. Costa et F. Nicolle. S'il n'a pas réussi lors de ces prospections à retrouver le filon en question, il a découvert plusieurs autres gisements de rhyolite sur le flanc ouest du Monte d'Oro fournissant un matériau tout à fait apte à être taillé. Quelques échantillons ont ainsi été prélevés, géoréférencés et stockés à Toulouse dans la lithotèque du laboratoire TRACES. Ces prélèvements ont intégré notre référentiel dès début 2016.

b. Le plateau d'Alzu

Le plateau d'Alzu se trouve à environ 1600m d'altitude sur la crête séparant les vallées de la Restonica et du Tavignanu, dans la zone montagneuse du centre de la Corse. Un filon de roche acide de composition rhyolitique, long de 3km, a été identifié par les géologues sur une grande partie de la crête (Amaudric du Chaffaut et al., 1985a et b). Ce filon se présente sous la forme de petits affleurements formant des reliefs dans la topographie (Fig. 51). Sur le plateau, la rhyolite est « homogène, compacte, et cassante (cassure courbe, conchoïdale ou esquilleuse) avec une structure fluidale. La majorité des affleurements est constituée d'une roche compacte et siliceuse de teinte gris verdâtre à noire. On y distingue des phénocristaux blanchâtres et de petite taille (millimétriques) » (Ameziane-Federzoni, 2019b). Cependant, il existe d'importantes variations de faciès entre les différents affleurements : la matrice plus ou moins fine est souvent grise mais peut être foncée, claire, verdâtre ou beige, le nombre et la taille des phénocristaux est variable et la présence de minéraux secondaires liée à l'altération et au métamorphisme n'affecte pas tous les affleurements de la même manière. Tous les faciès semblent avoir été exploités. Cette diversité ne semble pas affecter la signature géochimique de ces roches qui s'avère être relativement homogène entre les différents affleurements (Leck et al., 2018).



Figure 051 : Rhyolite du plateau d'Alzu, affleurement présentant des négatifs d'enlèvements entouré de débris (à gauche) et nucléus (à droite) (d'après N. Ameziane-Federzoni, 2011 et 2019b).

Des prospections en 2008 puis des sondages à partir de 2016 sur les zones d'extractions et d'habitats ont permis d'éclairer les modalités d'exploitations du gisement (Ameziane-Federzoni et al., 2014, Ameziane-Federzoni, 2019b). Les débris liés à l'extraction et à la préparation des blocs sont très nombreux sur les zones de carrières et indiquent une production de nucléus préformés et de gros éclats. Le mobilier ne permet pas de dater cette exploitation mais celui mis au jour dans les zones d'habitat correspond à une occupation de la fin du Néolithique, autour du 3^{ème} millénaire. Le matériel mis au jour dans ces zones atteste de la production de nombreuses pointes de flèches.

c. Le filon des Castelli

Situé à 2-3km à l'ouest du plateau d'Alzu, on retrouve un autre filon de rhyolite (Fig. 52) très semblable, à proximité de la Punta di Castelli (2180m) et de l'Abri d'I Castelli (2140m), fouillé entre 2008 et 2014 (Mazet et al., 2016). Le filon fournit une rhyolite grise foncée très proche de celle que l'on retrouve sur le plateau d'Alzu. Le filon n'est pas indiqué sur la carte géologique mais son orientation et la composition chimique des roches nous indiquent qu'il s'agit de la continuité du filon qui affleure sur le plateau d'Alzu. Nous pouvons cependant différencier chimiquement ces deux zones d'extractions grâce à des teneurs en manganèse différentes (Leck et al., 2018). L'abri situé à proximité a fourni une stratigraphie continue du Néolithique ancien au début du Néolithique récent. Ici encore, les blocs semblent avoir été décortiqués sur le site d'extraction avant d'être introduits dans la zone d'habitat où ils ont ensuite servi majoritairement à la production d'armatures de trait.



Figure 052 : Filon de rhyolite (8b) à proximité de la Punta di Castelli (Photo : G. Boschian, d'après Mazet, 2008).

iii. Les filons du Sud

a. Filon de Pastini

L'existence d'un filon de rhyolite en bordure du plateau de Pastini ayant été exploité dès le Néolithique est connue depuis plusieurs décennies (D'Anna et al., 2001). Cette région a fait l'objet de nombreuses opérations archéologiques, de fouilles et de prospections, et l'utilisation préhistorique de cette rhyolite est attestée depuis longtemps. Elle est généralement reconnue grâce à la présence de nombreuses sphérolites, millimétriques à plurimillimétriques, souvent rendu très visible sur les surfaces patinées des artefacts. Nous avons cependant pu remarquer que la présence de ces sphérolites est relativement courante dans les rhyolites filoniennes et que ce critère d'identification n'est absolument pas suffisant. Nous n'avons pas échantillonné personnellement ce filon mais avons utilisé les roches prélevées en position primaire par M. Remicourt aux lieux-dits Sapara Ventosa et Bocca di Carporosso. Nous avons également pu utiliser de nombreux échantillons issus de ramassages de surfaces sur le site de Calavu où une partie de l'exploitation de cette rhyolite a eu lieu et sur lequel il est difficile de distinguer échantillons géologiques et archéologiques.

Nous avons donc pu intégrer dans notre référentiel des rhyolites prélevées en trois points du filon, ainsi que des pièces issues de l'exploitation préhistorique du gisement et en partie patinées.

b. Filon de Roccapina

Un nouveau filon de rhyolite, non indiqué sur la carte géologique, a été découvert fortuitement en octobre 2018 au pied de la tour génoise de Roccapina (Fig. 53). Il est possible d'en détacher des blocs pluridécimétriques d'une rhyolite verte sombre à gris sombre, esquilleuse mais présentant de nombreux phénocristaux de feldspaths blancs plurimillimétriques entachant la qualité de ce matériau. Le filon se situe à une centaine de mètres au-dessus du niveau de la mer et est relativement difficile d'accès. Son exploitation par les populations pré- et protohistoriques est donc peu probable. Chimiquement, le filon de Roccapina est semblable au filon de Pastini, mais on y retrouve des phénocristaux de feldspaths qui semblent absents des rhyolites de Pastini.



Figure 053 : Vue du filon de Roccapina, au pied de la tour génoise. On peut observer le bord de dyke et le contact avec l'encaissant granitique. La roche se délite en plaquettes ou blocs prismatiques.

c. Filon de Sotta

Un filon de rhyolite affleure sur environ un kilomètre de long au sud de Sotta (Corse-du-Sud) (Orsini et al., 2010), notamment à Punta di a Campana (ou Punta Campana) où l'on retrouve un site archéologique dont les vestiges terriniens sont les plus visibles (Pêche-Quillichini, comm. pers.). La matrice de cette rhyolite est verte sombre, microlithique et esquilleuse. La présence de nombreux phénocristaux de feldspaths blancs plurimillimétriques dégrade certainement la taillabilité de ce matériau qui reste cependant très bon comparé aux autres rhyolites que l'on peut retrouver dans le sud de la Corse. L'utilisation de cette rhyolite est attestée sur le site même de Punta Campana, où l'on retrouve par exemple des blocs et nucléus en surface, mais le transport de cette matière vers d'autres occupations pré- et protohistoriques reste à démontrer.

La composition de cette roche est assez atypique en comparaison des autres rhyolites filoniennes que nous avons analysées. Elle se distingue notamment par une très faible teneur en strontium, probablement en dessous de nos limites de détections en EDXRF. Cette caractéristique géochimique est certainement liée à la composition du magma à l'origine du système filonien et non à une contamination de l'encaissant qui présente des teneurs en strontium bien supérieur (Fig. 54) (Orsini et al, 2010).

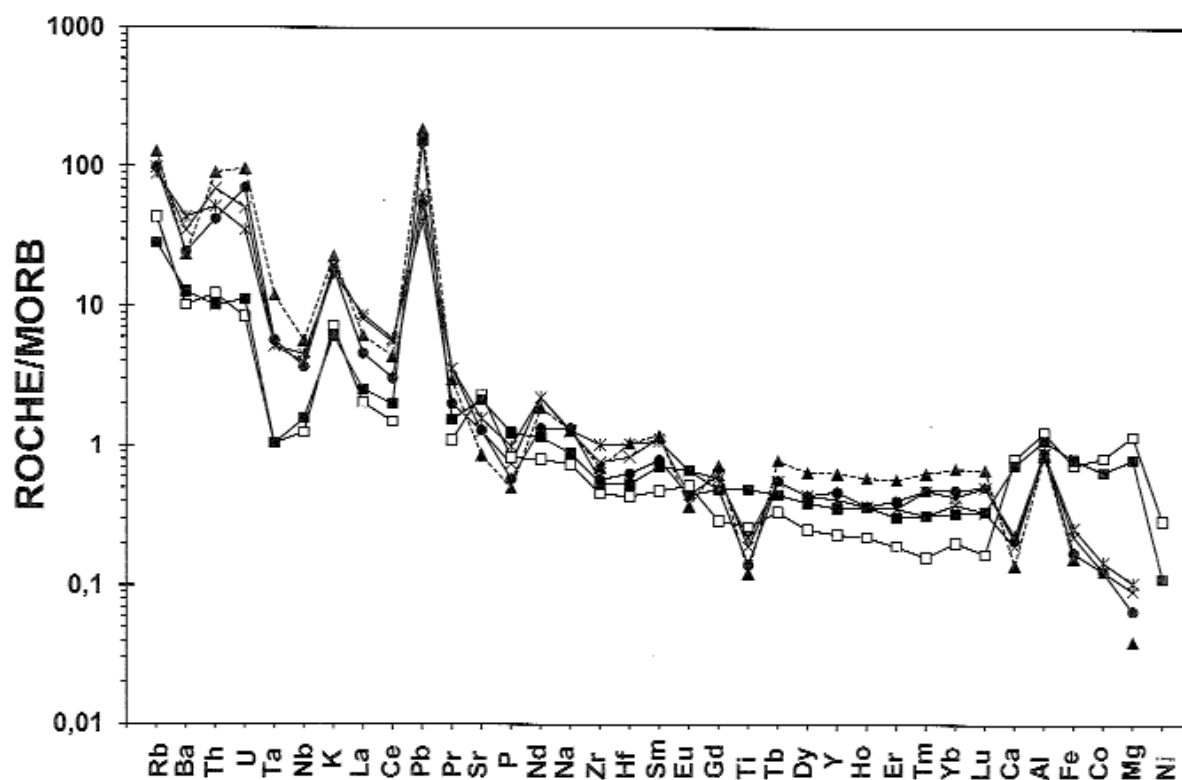


Figure 054 : Diagrammes multiélémentaires normés au N-MORB des granitoïdes et des gabbros du complexe intrusif de Sotta (D'après Orsini et al., 2010).

d. La basse-vallée du Taravu

Lors de l'étude du matériel lithique issu de la couche B (terrasse nord) du site d'I Calanchi (Sollacaro), M. Remicourt (Remicourt et Piboule, 2014) a construit un premier référentiel des filons de rhyolites de la basse-vallée du Taravu. Un grand nombre de filons de rhyolites répertoriés sur la carte géologique entre Zigliara et l'embouchure du Taravu ont été échantillonnés à cette occasion. Des prélèvements de blocs de rhyolites en position secondaire dans les alluvions anciennes et récentes à proximité immédiates du site d'I Calanchi ont aussi été effectués. Les échantillons prélevés ont été intégrés à notre référentiel dès le début de notre travail.

Nous avons complété ce référentiel de la basse-vallée du Taravu par des prélèvements de galets dans le lit du fleuve à plusieurs reprises lors de nos déplacements dans la région (Fig. 55). En effet, le Taravu recoupe certainement beaucoup de filons non répertoriés sur la carte

géologique, et l'utilisation de galets de rivière comme source de matière première est bien attestée dans la région, notamment à I Calanchi (Remicourt et Piboule, 2014) et Basi (cf infra) par exemple.



Figure 055 : Taravu et ses alluvions entre Pila-Canale et Petreto-Bicchisano.

e. Filons de Linarellu

Lors de l'étude du matériel lithique issu des fouilles 2017 du Monti Barbatu (Olmeto), nous avons pu mettre en évidence l'utilisation d'une rhyolite filonienne, de faible qualité, présentant de nombreuses pièces corticales et abondamment utilisées. Nous soupçonnions donc fortement une origine locale. Nous avons recherché le gisement de ce matériau lors de la campagne de fouilles de 2018, plus particulièrement au sud-ouest du site où quelques petits blocs de rhyolites avaient pu être identifiés sur les bords de route. Nous avons finalement identifié le gisement primaire entre Bocca di a Falcunaja et Bocca di a Coppia. Le gisement se présente sous la forme de nombreux petits filons de quelques dizaines de mètres dispersés dans les champs et le maquis sur plusieurs centaines de mètres et peut-être plusieurs kilomètres. Il ne nous a malheureusement pas été possible de circonscrire précisément l'étendue de ces filons, cependant la plus grande concentration de matériau semble se trouver autour du lieu-dit Linarellu. Les rhyolites de Linarellu se détachent sous la forme de blocs prismatiques pluridécimétriques et ont été introduites sur le site de Monti Barbatu directement sous cette forme. Certains nucléus conservent cette morphologie et nous indiquent que les populations pré- et protohistoriques ont tiré parti de ces plans de frappes naturels (Fig. 57).

Ces filons ont pour beaucoup été endommagés par les machines agricoles et on retrouve la rhyolite dispersée en blocs fragmentés dans les champs. Les plus gros filons semblent avoir

servi de séparation entre les parcelles, laissés tels quels, ou servant de base de murette (Fig. 56). Nous n'avons pas pu retrouver d'indices d'exploitations anciennes sur ce gisement mais l'activité agricole récente a certainement détruit une grande partie de ces vestiges s'ils existaient.

Une partie de la région n'a cependant pas pu être explorée convenablement, notamment à cause de la présence de maquis très dense et d'une très grande souplesse des locaux vis-à-vis du respect des périodes de chasse. Les questions concernant les modalités d'exploitations de ce gisement et son extension réelle sont donc toujours en suspens.



Figure 056 : La rhyolite que l'on trouve à Linarellu se présente soit sous forme de filons utilisés pour délimiter les parcelles (les blocs prismatiques qui se sont détachés sont utilisés pour construire des murettes) soit sous forme de blocs fragmentés et épandus dans les champs.



Figure 057 : Rhyolites de Linarellu se détachant en blocs prismatiques et nucléus découvert en surface au niveau de la terrasse sommitale du Monti Barbatu.

f. Filon de Bastelicaccia

Un affleurement de rhyolite a été découvert en prospection sur la commune de Bastelicaccia près du site de Mitarza, proche de l'embouchure du Prunelli dans le golfe d'Ajaccio. Un atelier de taille à Giglione correspondrait à l'exploitation de cette rhyolite que l'on retrouve dans

plusieurs sites à proximité (Accia Ventossa et Miguattaja) (Ameziane-Federzoni, 2019a). Nous n'avons pas encore pu intégrer d'échantillons de ce gisement dans notre référentiel.

iv. Région de Porto-Vecchio

Quelques très rares échantillons de la région de Porto-Vecchio ont intégré notre référentiel récemment. Il s'agit de pièces en rhyolites grossières, souvent à la limite des microgranites, visuellement proche de certains artefacts en rhyolite que l'on retrouve dans les sites de cette région. Nous les utilisons aujourd'hui afin d'intégrer quelques compositions chimiques que nous espérons représentatives d'une partie des filons, très nombreux, que l'on peut retrouver dans cette partie de la Corse. Ces échantillons sont donc utilisés de manière temporaire, faute de mieux, dans l'attente de la construction d'un vrai référentiel des filons de rhyolites du golfe de Porto-Vecchio.

v. Fleuves, rivières, plages

L'ensemble des fleuves et rivières de Corse renferment de nombreux types rhyolites, parfois de bonne qualité, et ce même sur la côte est. En effet, avant de traverser les terrains métamorphiques de la Corse alpine, la plupart des fleuves que l'on y trouve prennent naissance dans les régions volcaniques et granitiques du centre de l'île. On retrouve sur la plupart des sites des rhyolites présentant des néocortex fluviaux, ce qui indique que les lits de rivières ont bien été utilisés comme source de matériaux. Cependant, ce type d'approvisionnement est souvent minoritaire. Au cours de leur transport, les blocs subissent de très nombreux chocs qui créent des séries de fissures au sein de la roche. Si les blocs ramassés dans les rivières non loin de la source primaire peuvent être utilisés pour la taille, comme l'a montré N. Ameziane-Federzoni (2011) dans la Melaja, les blocs prélevés dans des alluvions trop loin de leur gisement d'origine sont souvent trop faillés pour être taillés. Nous en avons par exemple fait l'expérience avec un bloc d'une rhyolite de bonne qualité ramassé au niveau de l'estuaire du Fangu dont les produits se fracturaient systématiquement avant de pouvoir être finalisés.

Les alluvions que l'on trouve dans le lit des fleuves et des rivières ne sont donc pas toujours des sources de matières potentielles mais elles peuvent fournir des indications précieuses sur l'emplacement des gisements primaires.



Figure 058 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement) 1-23828-Montestremu, 2-23882-Fangu, 3-23831-Montestremu, 4-23810-CapuRussellu, 5-23837-Montestremu, 6-23811-CapuRussellu, 7-23885-Fangu, 8-23827-Montestremu, 9-23803-Tartagina, 10-23900-SanColombano, 11-23884-Fangu, 12-23902-SanColombano.



Figure 059 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement) 1-19305-Potezu, 2-19304-Tarparentana, 3-23806-Tartagina, 4-23808-CapuRussellu, 5-23867-BoccaaAuGhineparu, 6-23876-BoccaaAuGhineparu, 7-23818-CapuRussellu, 8-23816-CapuRussellu, 9-23896-SanColombano, 10-23802-Tartagina.

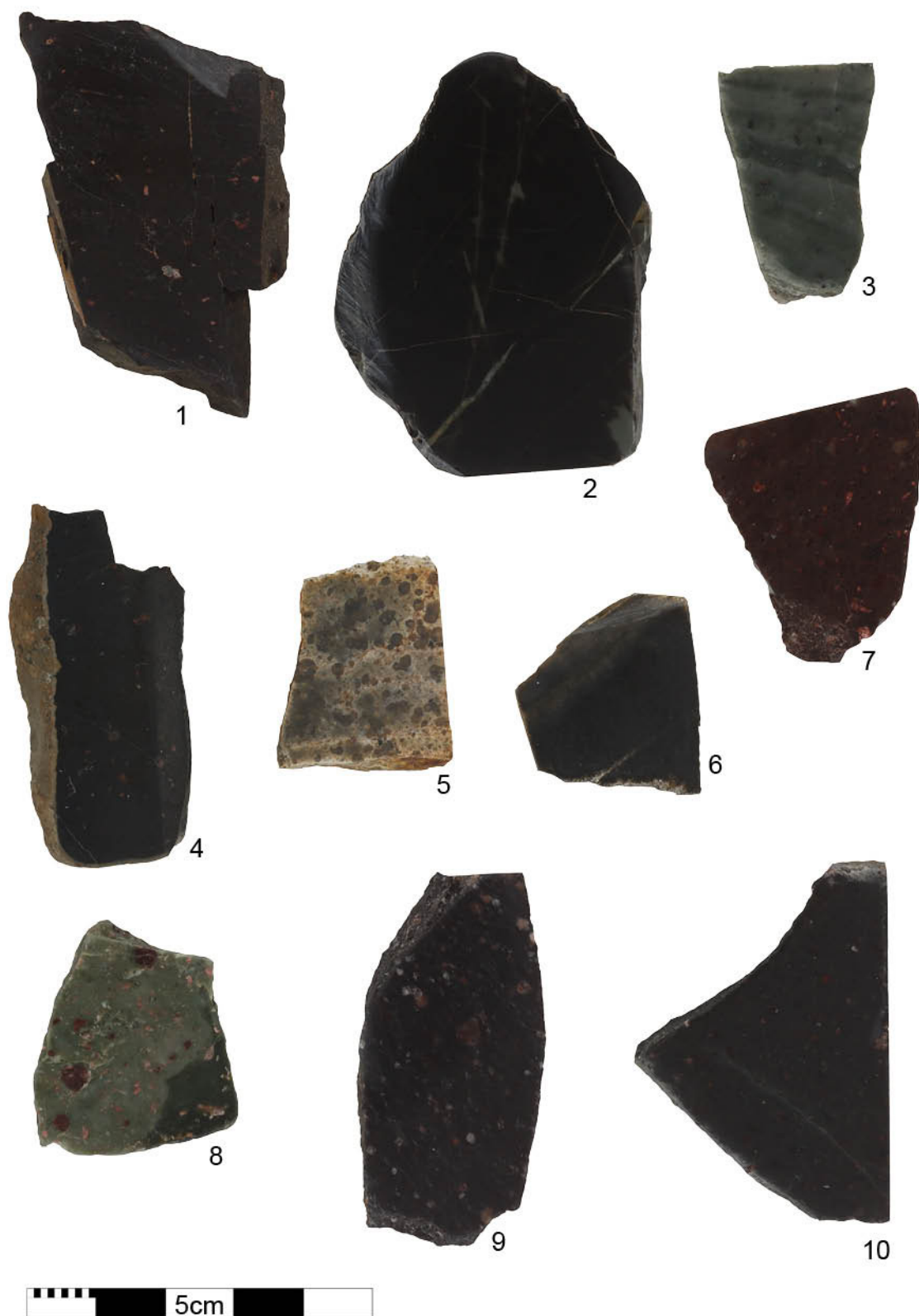


Figure 060 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement) **1**-23872-BoccaAuGhineparu, **2**-23894-Fangu, **3**-20937-Ascu, **4**-20940-Ascu, **5**-19291-SaparaVentosa, **6**-19289-SaparaVentosa, **7**-20923-Stagnu, **8**-20926-Stagnu, **9**-20927-Stagnu, **10**-20922-Stagnu.

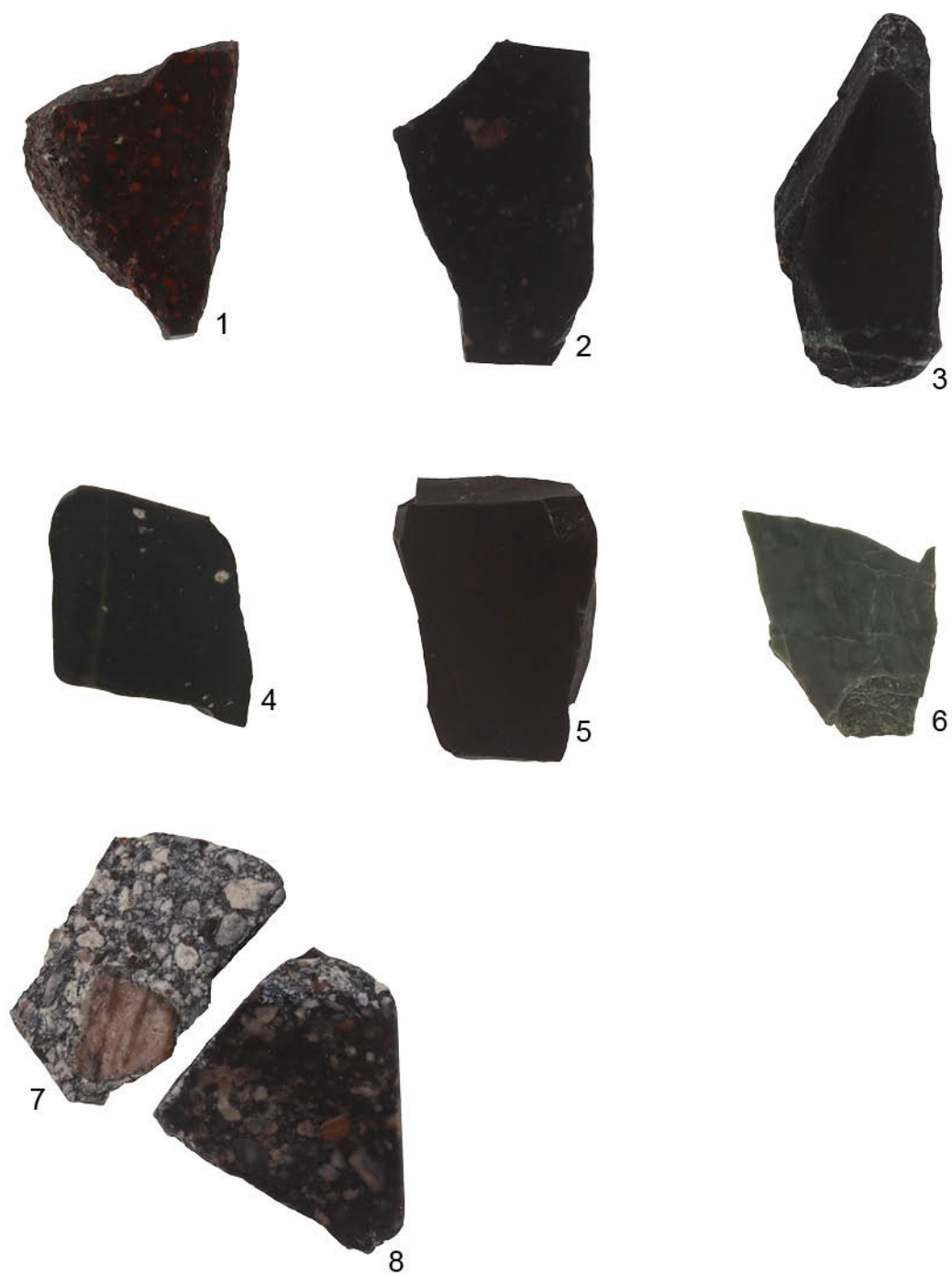


Figure 061 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement) 1-19504-Ascu, 2-19507-Riv-Giunte, 3-19506-RivGiunte, 4-19326-Cicutetu, 5-19516-Riv.Giunte, 6-19495-Manica, 7&8-19499-Manica.

c. Les zones à prospecter

Il reste encore de nombreuses zones d'ombres dans notre référentiel, que nous n'avons pas pu combler, principalement par manque de temps.

La région du **Niolu**, en bordure sud du massif du Cintu renferme certainement de nombreux gisements de rhyolites de bonne qualité. On y trouve en effet les produits des formations volcaniques du permien mais aussi un important système filonien postérieur. Les sites néolithiques de la région fournissent des séries lithiques où l'on retrouve de nombreuses pièces en rhyolite, et ce dès le Néolithique ancien (Binder et Nonza-Micaelli, 2019). La connaissance des rhyolites de cette région, la plus au sud du massif du Cintu, est probablement cruciale pour comprendre la diffusion des rhyolites du Cintu vers les sites du sud de la Corse.

Le centre de la Corse est très mal connu archéologiquement et nous n'avons aucune idée des matériaux lithiques que l'on peut retrouver dans les montagnes entre Vizzavona et Vicavo. Cette région a peut-être fourni une partie des matériaux que l'on retrouve dans les assemblages lithiques d'I Casteddi (Tavera) et de Basi (Serra-di-Ferro). Il sera donc nécessaire de prospecter ces montagnes afin de vérifier quel type de matériau l'on peut y trouver.

L'extrême-sud n'est représenté dans notre référentiel que par un unique filon, celui de Punta Campana (Sotta). Le système filonien y est pourtant dense et très diversifié (Fig. 62). De nombreux filons sont indiqués sur la carte géologique et ont fait l'objet d'analyses géochimiques (Orsini et al., 2010), nous n'avons cependant aucune indication sur la taillabilité des matériaux analysés. Cette région mériterait donc que des prospections y soient conduites afin d'identifier les gisements de rhyolites potentiellement utilisées par les populations pré et protohistoriques. La diversité des compositions chimiques mesurées par Orsini et al. (2010) semble indiquer que notre protocole d'analyse serait tout à fait opérant pour mener d'éventuelles analyses de provenances des rhyolites dans cette région.

Les filons autour de l'Ospedale semblent avoir été utilisés localement. En effet, de nombreux outils en rhyolite ont été retrouvés lors de prospections (Pasquet, 2014). Au vu de la répartition des filons dans la région, il est possible que ces matériaux soient également utilisés en Alta Rocca, il serait donc intéressant de documenter les gisements de la région.

Quelques roches appartenant au volcanisme Miocène ont également été identifiées dans cette région, **entre Bonifacio et Porto-Vecchio** (Ottaviani-Spella et al., 2001). Nous n'avons trouvé aucune mention faisant état de l'existence de matériaux taillables dans cette ensemble géologique très restreint. Les roches semblent y être en partie de composition rhyolitique mais il s'agirait plutôt de tufs cendreuse ne permettant pas d'être utilisés pour la fabrication d'objets tranchants ou perçants. Il pourrait cependant s'avérer utile de vérifier sur place s'il n'existe pas localement des roches ayant pu intéresser les préhistoriques. Nous avons en effet retrouvé sur certains sites archéologiques, notamment à Renaghju et au Monti Barbatu, des rhyolites

certainement produites lors d'évènements volcaniques extrusifs mais dont la qualité nous fait douter d'une provenance aussi lointaine que le massif du Cintu.

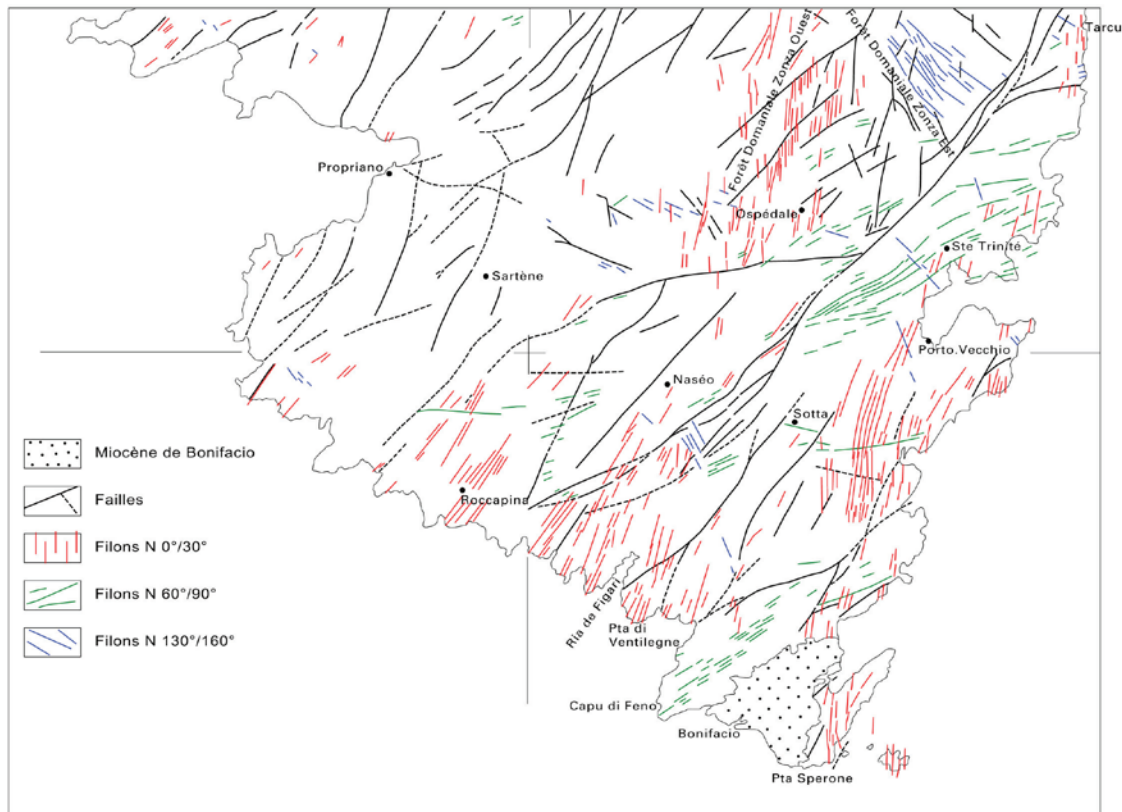


Fig 062 : Schéma montrant l'organisation du complexe filonien tardi à post-orogénique en Corse du Sud. Secteur couvert par les feuilles au 1/50 000 Sartène – Porto Vecchio – Sotta – Bonifacio – Roccapiña (D'après Orsini et al., 2010).

Enfin, chaque recoin de la Corse hercynienne, granitique ou volcanique, est susceptible d'abriter un petit filon de rhyolite n'ayant jamais été documenté par les géologues ou les archéologues. De plus, quelques gisements ont certainement été rendus inaccessibles par l'élévation du niveau marin depuis les débuts de la période néolithique. La quête d'un référentiel complet et définitif est donc vaine et il nous faudra encore de très nombreuses années avant d'avoir pu identifier ne serait-ce que les principaux gisements utilisés par les populations néolithiques. Fort heureusement, nous n'avons pas besoin d'un référentiel exhaustif pour comparer les approvisionnements entre différents sites, notamment grâce aux informations fournies par les analyses géochimiques.

d. Référentiel géochimique

Tous les échantillons géologiques de rhyolites ont été analysés en EDXRF. Nous avons multiplié au maximum les analyses par échantillons afin de saisir le mieux possible la variabilité

des compositions. L'ensemble des résultats de plus de 2600 analyses est reporté en annexes. Ces résultats sont représentés ici graphiquement (Fig. 63 et 64). Cette représentation nous permet d'illustrer la grande diversité des sources, mais également l'importante dispersion des concentrations au sein de chaque gisement et les convergences qui peuvent exister entre de nombreux groupes géochimiques. Nous n'utilisons jamais l'ensemble du référentiel géochimique pour effectuer des comparaisons avec les compositions des artefacts. Il est effet nécessaire d'effectuer des focus sur certaines parties du référentiel afin de mieux faire ressortir les différences de compositions entre les gisements.

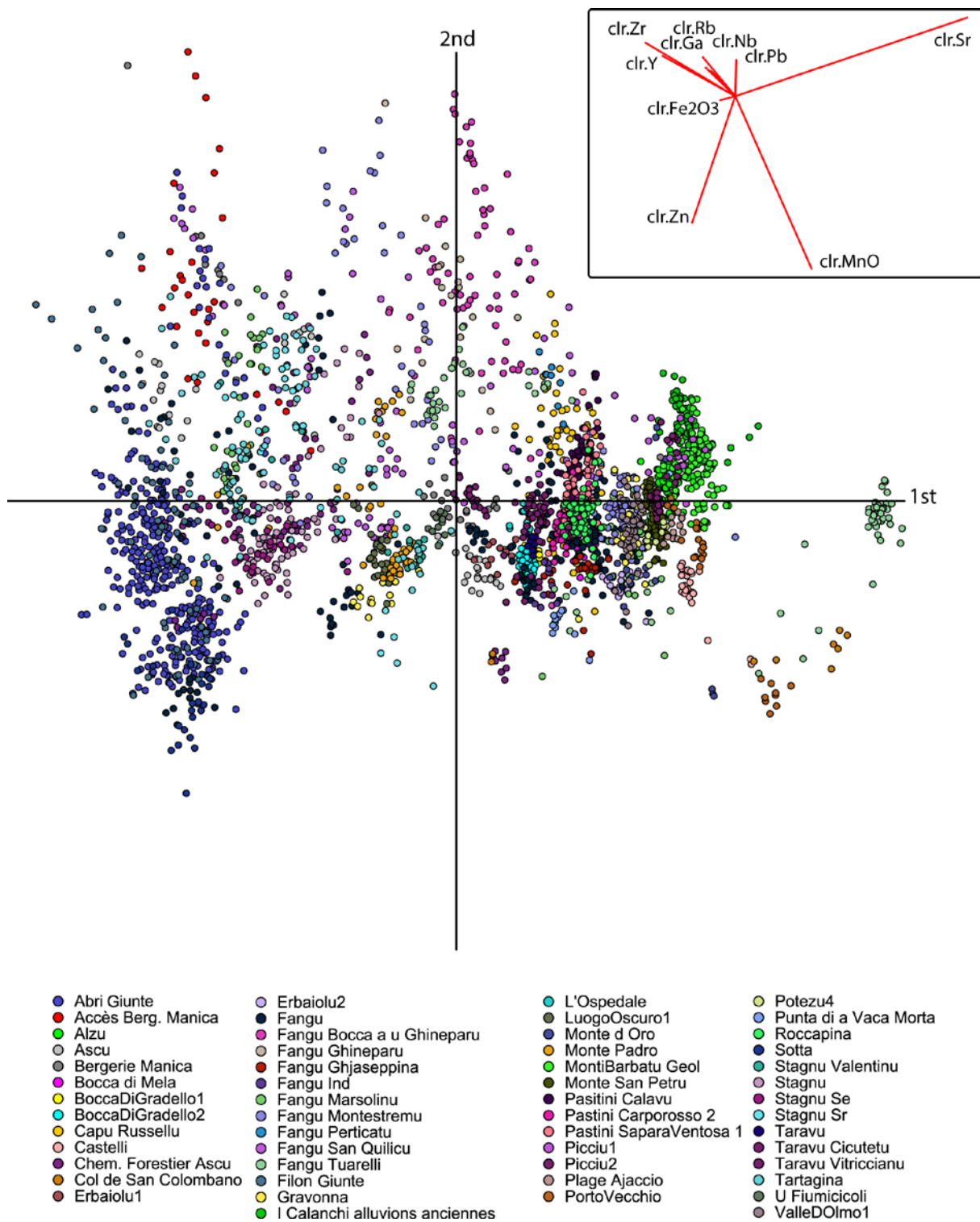


Fig 063 : Représentation graphique (ACP) du référentiel. Chaque couleur représente une source, chaque source peut contenir plusieurs types géochimiques. Projection suivant la première et la seconde composante.



Fig 064 : Représentation graphique (ACP) du référentiel. Chaque couleur représente une source, chaque source peut contenir plusieurs types géochimiques. Projection suivant la première et la troisième composante.

Partie 3 - Application au matériel archéologique

1. Résultats de l'analyse des séries lithiques

Nous avons pu analyser cinq séries lithiques complètes : Monti Barbatu, Basi, I Casteddi, Abri des Castelli et Renaghju (Fig. 65). Les trois premiers sites sont en cours de fouilles où ont été fouillés récemment, nous avons donc analysé l'ensemble des pièces en rhyolites issues de ces fouilles, à l'exception des dernières campagnes pour Basi et I Casteddi. Concernant l'Abri des Castelli et Renaghju, nous n'avons pas analysé l'ensemble des rhyolites mis au jour, mais uniquement celles provenant des niveaux d'occupation du Néolithique ancien.

Les rhyolites de ces différents sites ont été classées par groupes pour faciliter leur étude, portant chacun une lettre de l'alphabet. Nous avons essayé de faire correspondre au maximum ces groupes avec les différents gisements de rhyolites exploités sur chaque site. Néanmoins, ils correspondent parfois à une entité géochimique cohérente, mais regroupant certainement plusieurs gisements, ou bien au contraire nous avons peut-être à tort sous-divisé certains groupes parce qu'ils ne sont pas représentés par suffisamment d'échantillons ou que le gisement en question est très dispersé en termes de faciès macroscopique et/ou de géochimie.

Chaque lettre correspondant à un groupe de rhyolites que nous avons défini pour chaque série lithique est attribué arbitrairement et ne vaut que pour une série particulière. Les rhyolites du groupe C de la série de Basi ne correspondent donc en aucun cas aux rhyolites du groupe C d'I Casteddi par exemple. Les groupes ne sont qu'un outil de travail permettant de construire des hypothèses de provenance. Nous raisonnons ensuite sur ces hypothèses pour comparer les approvisionnements entre différents sites.

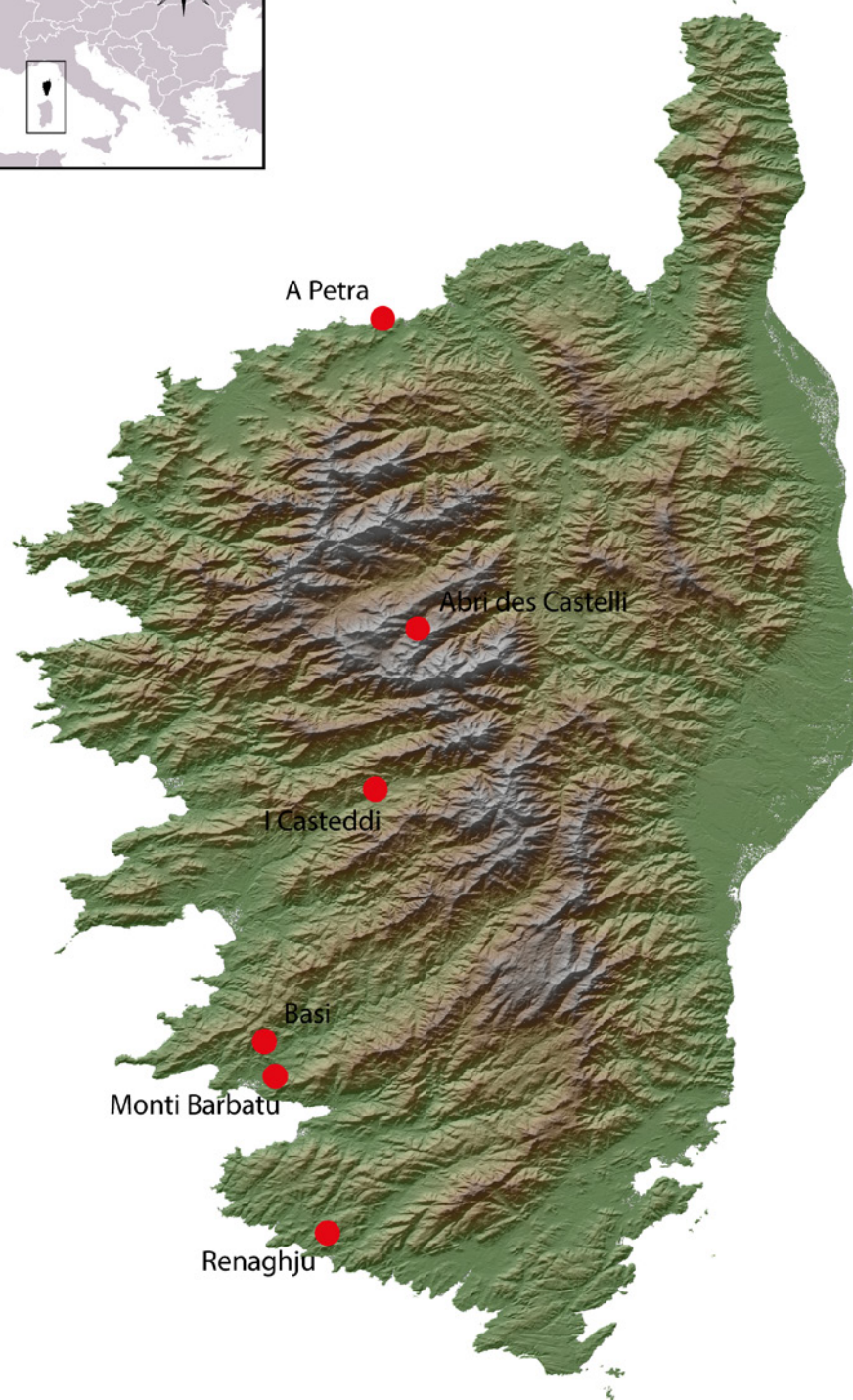
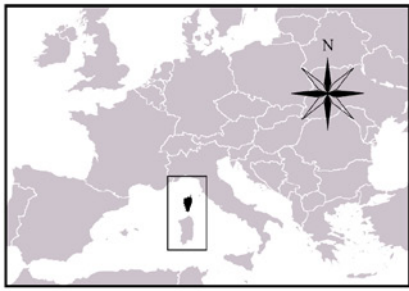


Fig 065 : Répartition des sites archéologiques dont les séries rhyolites ont été analysées dans cette étude (DAO : N. Frerebeau, A. Leck).

a. Monti Barbatu

i. Présentation

Le Monti Barbatu est situé sur la commune d'Olimeto, en Corse-du-Sud. Le site archéologique qui s'étend sur environ quatre hectares comprend plusieurs entités du Moyen-Âge, de l'âge du bronze et du Néolithique. L'épicentre du site est un massif granitique qui culmine à 516 mètres d'altitude, dominant le golfe du Valincu au sud et la basse vallée du Taravu au nord (Fig. 66). La position stratégique de cet établissement est indéniable, permettant le contrôle de la navigation dans l'un des quatre grands golfes de l'Ouest de la Corse et verrouillant l'accès aux grandes vallées du sud de l'île, celles du Taravu et du Rizzanese (Pêche-Quilichini et al., 2019).



Figure 066 : Vue à 270° depuis le sommet du Monti Barbatu où la vue est entièrement dégagée sur le golfe du Valincu à gauche, et la vallée du Taravu à droite (Photo : Antoine Pareja).

Il existe dans la région des sites occupés dès le Néolithique ancien, comme à Basi (Bailloud, 1969 ; Perrin, 2019), Filitosa (Grosjean, 1961) ou Campu Stefanu (Cesari et al., 2011) situés dans la basse vallée du Taravu. Cependant le Monti Barbatu n'a pour le moment pas fourni de matériel plus ancien que le Néolithique récent. Les vestiges de cette période se retrouvent autour de la partie sommitale ainsi que sur les pentes et au pied de l'éminence principale. Une occupation chalcolithique / terrinienne lui fait suite mais celle-ci n'est formellement identifiée, notamment par un tesson campaniforme, que par du matériel remanié dans des déblais plus récents. L'occupation s'intensifie à l'âge du bronze avec la création d'aménagements défensifs très imposants. Le site est probablement ensuite abandonné jusqu'à la période médiévale où la partie sommitale est totalement remaniée pour y installer des habitations, une maison seigneuriale ainsi qu'une chapelle.

Cette occupation médiévale a fait l'objet des premières fouilles ayant eu lieu sur le site au cours des années 1980 menées par O. Jehasse. Le site est réinvesti en 2013 par K Pêche-Quilichini qui y effectue un petit sondage puis des fouilles plus importantes de 2017 à 2019 pour y documenter les occupations de l'âge du bronze. C'est lors de ces fouilles que le matériel en rhyolite que nous avons étudié est mis au jour.

La fouille de la partie sommitale, au sud-ouest du secteur C (Fig. 68) a permis de mettre au jour un sol d'occupation du Néolithique récent (début 4^{ème} millénaire). Ce niveau occupe probablement une large partie du site puisqu'on en retrouve la trace jusque sous la chapelle médiévale. On trouve au-dessus de l'occupation du Néolithique des niveaux du Bronze moyen, liés à la construction de l'enceinte cyclopéenne, ne comprenant pas de structures mais riche en mobilier. Enfin, plusieurs niveaux d'époque médiévale ont été identifiés, le premier possiblement lié à un habitat léger et le second à l'installation postérieure du village, de l'habitation seigneuriale et de la chapelle, ayant nécessité des terrassements importants. Quelques vestiges proches de la surface attestent d'occupations brèves aux périodes modernes et contemporaines.

Une seconde zone de fouille a été ouverte au nord-ouest du secteur B, sur un petit plateau situé en contrebas de la partie sommitale. Au nord du plateau, de nombreux vestiges mégalithiques ont été découverts (éléments de dolmen, statues-menhirs) mais ils sont éparpillés et démobilisés. Ils ne peuvent aujourd'hui nous fournir que des informations très partielles. Les sondages effectués dans cette zone sont peu concluants, mais permettent d'identifier une occupation diffuse au Néolithique récent, des aménagements datant probablement de l'âge du bronze et une mise en valeur agricole du plateau lors de périodes plus récentes. Un autre sondage effectué au milieu du plateau a confirmé la présence d'un niveau basien, probablement final (vers 3500 av. n.è.) Enfin, à l'ouest de ce secteur, une habitation basienne a pu être mise au jour. Malheureusement il semblerait que seules les structures construites enfouies (base de mur, trou de poteaux) soient conservées, l'ensemble des sols ayant été lessivés.

Au sud du secteur B, deux grandes structures naviformes composées de larges blocs de granite ont été fouillées. Toutes deux sont très certainement des habitations du Bronze moyen - Bronze récent. De par sa situation topographique la structure B a certainement été l'objet d'un fort lessivage dès son abandon. La structure A, quant à elle, a permis de mettre au jour un important mobilier domestique au sein de contextes sédimentaires peu perturbés. Le plan de l'habitation et l'organisation interne apparaissent également clairement ainsi que son évolution entre la fin du Bronze moyen et le début du Bronze récent (Fig. 67). Enfin, un niveau d'occupation du Néolithique récent a été mis en évidence, mais n'a été fouillé que partiellement. On y trouve cependant quelques structures et un mobilier lithique abondant très largement dominé par le quartz.

La totalité des artefacts lithiques mis au jour au Monti Barbatu lors des campagnes de 2013, 2017 et 2018 a fait l'objet d'études de provenances. Les silex ont été étudiés par Céline Leandri et les obsidiennes par François-Xavier Le Bourdonnec. Nous avons pour notre part étudié les rhyolites. Il faut noter que les oxydes de fer ont également fait l'objet d'une étude de la part de Maryline Lambert. Ces résultats sont rapportés dans le dernier rapport d'opération de 2019 (Peche-Quilichini et al., 2019).



Figure 067 : Structure A, planimétrie phase 3 ; en bleu : US 125/155 avec extension reconstituée, en jaune et gris : trous de poteau et calages (rouge : macrolithique en emploi), en vert clair : trous de poteau non phasés, en marron : hypothèse de reconstitution de la charpente (DAO : K. Peche-Quilichini, in : Peche-Quilichini et al., 2019).

Le matériel mis au jour en 2019 n'a pour le moment pas pu être étudié. Il serait pourtant intéressant d'analyser les artefacts provenant de la Structure A (habitation du Bronze moyen et du Néolithique récent), notamment pour comparer les approvisionnements entre l'occupation de l'âge du bronze et celle du Néolithique. Malheureusement, peu de rhyolites ont été exhumées en 2019. La série en obsidienne présente probablement un bien plus grand intérêt puisque plusieurs dizaines de pièces ont été mises au jour en 2019 dans la Structure A, dans les niveaux du Néolithique récent et du Bronze moyen. Cela fera très certainement l'objet d'une future étude, qui viendra finaliser les analyses des matériaux lithiques mis au jour au Monti Barbatu. Les sondages réalisés au Monti Barbatu en 2013, 2017 et 2018 ont permis de mettre au jour respectivement 6, 81 (dont 13 ramassés en surface) et 24 artefacts en rhyolite. Toutes les pièces trouvées en stratigraphie ainsi que quelques échantillons de surface ont fait l'objet d'analyses géochimiques afin de déterminer la provenance de la matière première. Le tableau récapitulatif des échantillons (code laboratoire, matière, US, provenance du matériau) est en annexe.

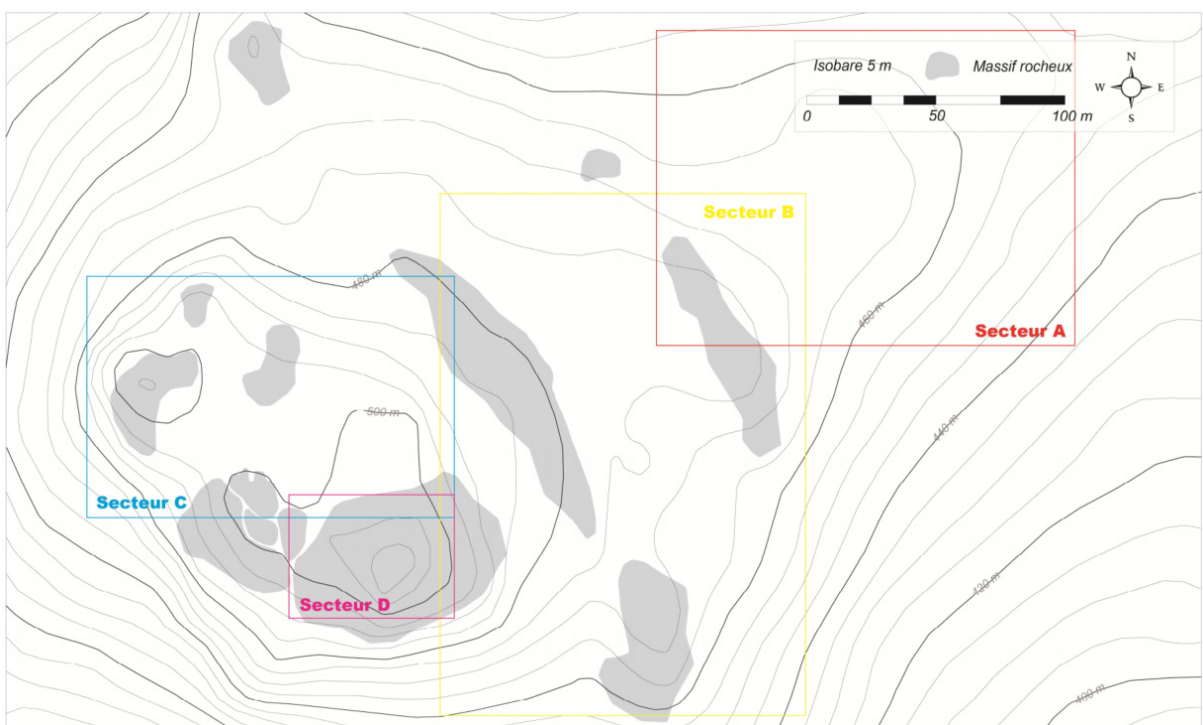


Figure 068 : Sectorisation du site du Monti Barbatu (secteurs D, C et B), photo aérienne depuis l'est (drone T. Marchal, DAO : K. Peche-Quilichini) et plan topographique (levé M. Seguin, DAO : K. Peche-Quilichini, dans Peche-Quilichini et al., 2019)

ii. Résultats des analyses

Les résultats obtenus ont tout d'abord permis d'écarter sept échantillons, mal identifiés lors du conditionnement, dont la teneur en Silicium était soit bien trop élevée pour des rhyolites ($\text{SiO}_2 > 95\%$, silex et autres silicifications sédimentaires ou hydrothermales) soit trop faibles ($\text{SiO}_2 < 65\%$, andésite ou micro-diorite).

Parmi les échantillons très riches en silice, trois ont attiré notre attention (BDX19357, 19408 et 19409 (Fig. 69) car ils ne ressemblaient pas aux silex sardes que l'on retrouve habituellement sur les sites préhistoriques en Corse. Ces pièces ont un aspect visuel (observation à l'œil nu et sous loupe binoculaire) différent des silex mis au jour sur le site et présentent un éclat gras très particulier. La matière se rapproche d'un échantillon prélevé dans un lit de rivière proche de l'embouchure du Fangu par Frédéric et Nadia Federzoni et que nous avons identifié comme une lydienne (Fig. 48), une radiolarite noire du silurien. La découverte de ces artefacts a en partie motivé la conduite des prospections de juin 2018 dans le Filosorma. En effet, l'unique affleurement de lydienne indiqué sur les cartes géologiques de Corse se situe au niveau du Capu Russellu en surplomb du delta du Fangu au nord-ouest de l'île. Si nous avons bien pu confirmer la présence de lydienne à cet endroit, présente sous forme de bloc massif, la texture est souvent assez grossière et les blocs très faillés ne sont jamais de qualités suffisantes pour la taille.



Figure 069 : Echantillons BDX19357, 19408 et 19409 (de gauche à droite) en radiolarite. Les pièces BDX19408 et 19409 présentent des stigmates de chauffe.

Les radiolarites, dont font partie les lydiennes peuvent se retrouver dans de nombreux autres lieux en Corse, notamment en contact des ophiolites de la Corse alpine que l'on trouve dans la partie est de l'île ainsi que dans la nappe ophiolitique de Balagne. Nous sommes allés observer ces dernières, les radiolarites et les jaspes y font partie de formations schisteuses complètement déformées par les mouvements tectoniques et se présentent donc sous la forme de petits blocs complètement faillés se détachant de bancs de silicites faisant quelques centimètres d'épaisseur. Il nous semble évident que ce type de formation peut très difficilement fournir des

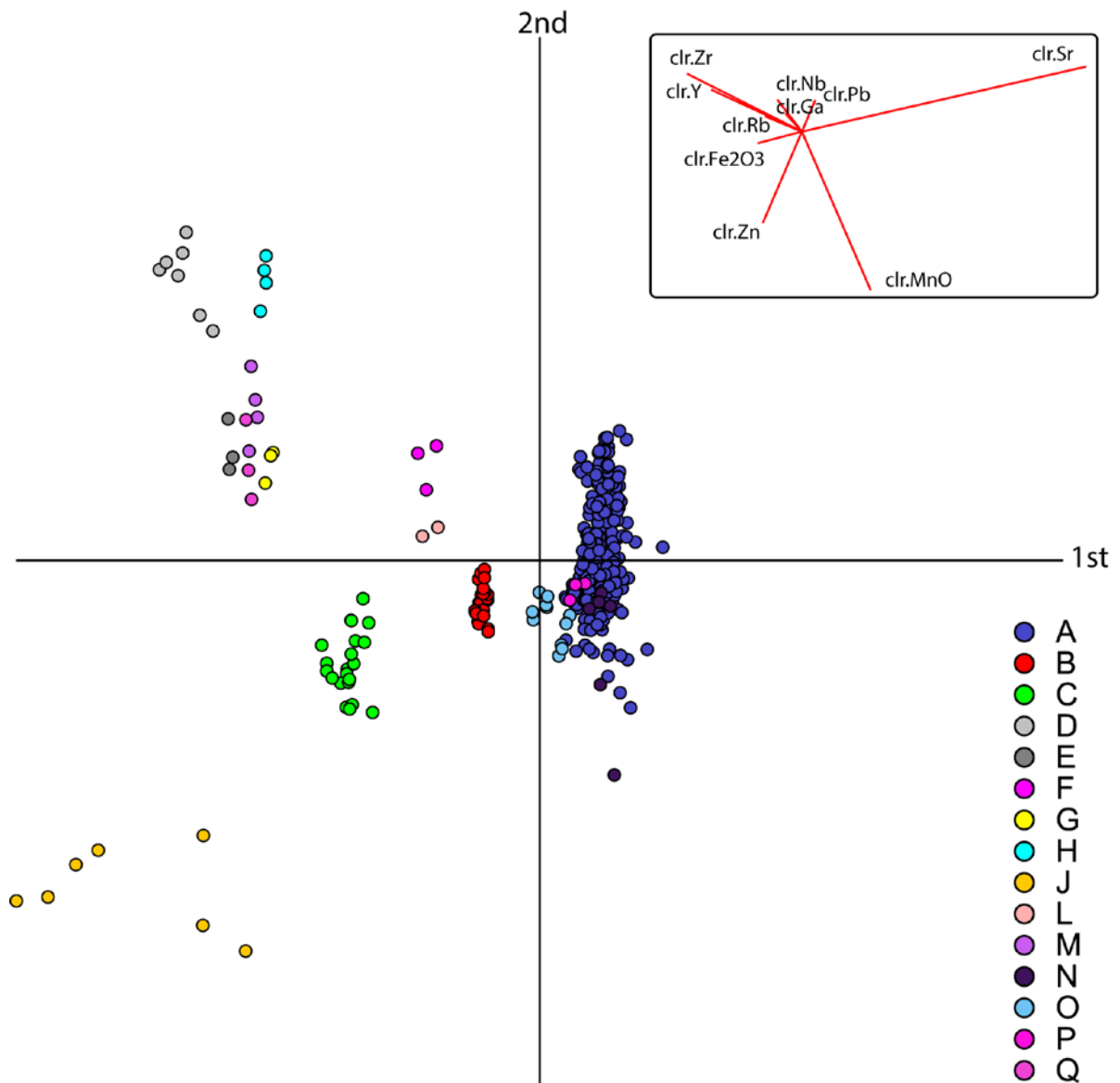


Figure 070 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites mises au jour au Monti Barbatu en 2013, 2017 et 2018. Chaque point correspond à une analyse, chaque échantillon ayant pu faire l'objet de plusieurs analyses en fonction des surfaces disponibles.

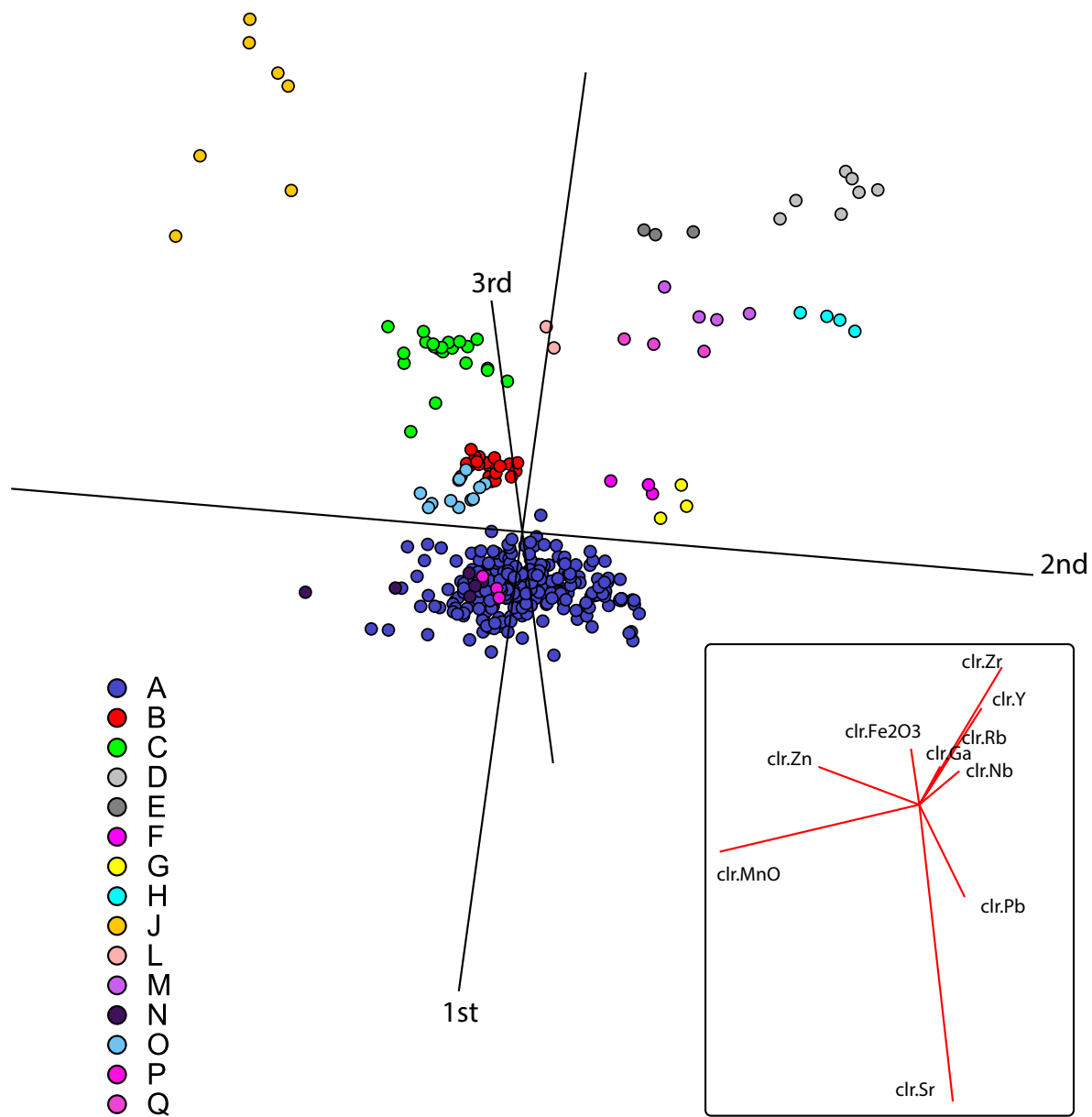


Figure 071 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites mises au jour au Monti Barbatu en 2013, 2017 et 2018. Chaque point correspond à une analyse, chaque échantillon ayant pu faire l'objet de plusieurs analyses en fonction des surfaces disponibles. L'ensemble des données est reporté en annexe.

matériaux aptes à la taille. Les analyses géochimiques en EDXRF n'ont pas permis d'y voir plus clair mais cette méthode ne semble pas être la plus adaptée pour l'étude de matériaux très siliceux et non volcaniques. Nos différentes recherches n'ont donc pas pu éclaircir l'origine de ces roches mais d'après les connaissances actuelles, nous pensons qu'une origine autour du Capu Russellu dans le Filosorma ou dans le flysch de Novella en Balagne est très probable (cf supra).

Les analyses des artefacts en rhyolite ont permis de mettre en évidence 15 groupes de compositions (Fig. 70 et 71).

Le **groupe A**, comprenant plus d'une soixantaine de pièces, est constitué de rhyolite grise parfois verdâtre ou jaunâtre, à grain assez grossier, dans laquelle on distingue des sphérolites de l'ordre du millimètre souvent bien visibles, ainsi que quelques phénocristaux blancs de plagioclase. On la trouve sur le site sous forme de petits éclats allongés, rarement retouchés, ainsi que de quelques gros éclats de décortilage et de nucléus, souvent réutilisés en percuteur (Fig. 72). Le groupe A constitue 95% des rhyolites du Néolithique récent du secteur C (US 112 - 119). La médiocre qualité du matériau et la diversité des produits mis au jour (du nucléus non épuisé à l'outil retouché) indiquent une provenance locale. On retrouve également ce matériau dans les niveaux de l'âge du bronze de la structure A (Secteur B), mais il y est utilisé uniquement pour du macro-outillage (molettes et outils de percussion). Une prospection menée lors de la campagne de fouille en 2018 a permis de confirmer cette hypothèse avec la découverte de nombreux filons, en grande partie dispersés par les labours modernes, affleurants à divers endroits entre Bocca di a Falcunaja et Bocca di a Coppia, distants de 2 à 1 km du site (Fig. 73). Les compositions chimiques du matériel géologique sont en parfaite adéquation avec celles des artefacts du groupe A. L'importante dispersion que l'on observe au sein du groupe A peut s'expliquer par l'existence d'un nombre assez élevé de petits filons observés sur plusieurs km².

Le **groupe B** comprend sept rhyolites à grain fin, dont la matrice grise foncée est parcourue de nombreux sphérolites gris clair marquant parfois une fluidalité. Ce groupe est constitué de petits éclats et d'un gros éclat cortical (Fig. 74). La qualité du matériau semble meilleure que celle du groupe A de provenance locale, sa source est donc certainement plus lointaine. Cependant la présence d'un éclat cortical indique un transport sous forme de blocs entiers ou partiellement dégrossis, plutôt compatible avec une source proche du site. L'analyse EDXRF nous permet d'attribuer à ce groupe une source voisine du plateau de Cauria. En effet les compositions chimiques sont compatibles avec le filon de Roccapina (au sud du plateau de Cauria) et le filon du Plateau de Pastini (immédiatement au nord du plateau de Cauria) échantillonné sur 3 affleurements différents distants de quelques centaines de mètres chacun. L'un de ces affleurements (Calavu) porte des traces d'extractions anciennes. S'il n'est pas possible de distinguer géochimiquement ces différents affleurements, l'étude macroscopique nous permet d'écarter le filon de Roccapina, très riche en phénocristaux de plagioclases blancs,

comme source probable des rhyolites du groupe B.



Figure 072 - Exemples d'artefacts en rhyolite en matière locale mis au jour dans l'US112. De gauche à droite : BDX 19417, 19419, 19413, 19414, 19421, 19422, 19423, 19410.



Figure 073 : Exemple de petit filon de rhyolite affleurant à proximité du Monti Barbatu, aux alentours du lieu-dit Linarellu.



Figure 074 : Rhyolites du groupe B. De gauche à droite : BDX19381, 19406, 19374, 19363, 19404.

Les 6 pièces du **groupe C** sont de petits éclats présentant presque tous une partie corticale. Cette rhyolite est très fine, grise très foncée avec des reflets légèrement bleutés, et contient de rares phénocristaux de quartz et de feldspath blanc (Fig. 75). La morphologie des cortex indique que ces pièces ne sont pas issues de galets de rivières. La matière a probablement été introduite sous forme de petits blocs, directement détachés du filon ou ramassés à proximité immédiate de celui-ci. Notre référentiel géochimique des sources de rhyolites n'est pas suffisamment complet pour attribuer une origine sûre à ce matériau. Les compositions chimiques et l'aspect macroscopique des artefacts du groupe C nous permettent d'émettre l'hypothèse prudente d'une provenance du nord-ouest, peut-être autour de la vallée du Fangou



Figure 075 : Artefacts du groupe C, de gauche à droite : BDX 19393, 19391, 19372, 19407, 19399, 19396.

Une unique pièce forme le **groupe F** (BDX19377), un fragment de petit galet (moins de 1.5cm de long) poli en rhyolite rouge orangé à grains assez grossiers, comprenant de nombreux feldspaths blancs et orangés. Il s'agit peut-être d'un petit polissoir dont l'origine est très certainement à rechercher dans les cours d'eau autour du site : Taravu ou Vadina di i Mulini.

Quelques rhyolites se distinguent très clairement géochimiquement et présentent des éléments caractéristiques que l'on ne retrouve que dans les roches provenant du massif du Cintu (teinte violacée, phénocristaux de feldspaths alcalins altérés rouges, texture aphyrique...).

Les rhyolites des 4 pièces des **groupes D, E et Q** sont macroscopiquement identiques. Il s'agit d'une rhyolite noire violacée aphyrique comprenant de rares phénocristaux de quartz et de feldspaths alcalins rouges. L'assemblage est composé de deux éclats retouchés, d'un éclat

mince et réfléchi (façonnage ou entretien de plan de frappe ?) et d'une armature perçante à pédoncule et ailerons dégagés et à retouches bifaciales couvrantes mais dont la pointe est brisée (Fig. 76). Géochimiquement plusieurs sources que nous avons échantillonnées pourraient leur correspondre autour du Monte Cintu : blocs de grandes dimensions dans la haute vallée de l'Ascu, petits galets dans le ruisseau de Marsolinu au niveau du delta du Fangu et blocs de plus grandes dimensions dans la haute vallée du Fangu. L'éclat (BDX20543) a été mis au jour dans l'US 112. Il s'agit de la seule pièce de ce type retrouvée dans un contexte sédimentaire non perturbé, cela nous permet d'imaginer une diffusion des rhyolites du Nord-Ouest jusqu'au Monti Barbatu dès le Néolithique récent, probablement sous forme de blocs préformés ou de gros éclats. Il faut également noter qu'une petite armature perçante du site chalcolithique d'I Calanchi (couche B, terrasse nord), situé dans la basse vallée du Taravu à quelques kilomètres du Monti Barbatu, que nous avons précédemment analysé, présente une composition géochimique très semblable.

Les **groupes H et M** (respectivement BDX19429 et BDX22283) sont bien distincts sur le graphique (Fig. 72 et 73). Cependant ils sont géochimiquement et visuellement très proches, en rhyolite violacée à grains fins et comprenant de nombreux phénocristaux submillimétriques de feldspaths orange et rose (Fig. 76). Ils correspondent à des échantillons prélevés dans la haute-vallée de l'Ascu, sur le plateau de Stagnu, au pied du Monte Cintu.

Le **groupe G** comporte également une seule pièce (BDX19427), un fragment d'armature perçante à large pédoncule et ailerons dégagés courts et à retouches bifaciales couvrantes, façonnée dans une rhyolite rouge violacée aphyrique. Sa provenance est sans aucun doute à rechercher au Nord-Ouest dans le massif du Monte Cintu, mais aucun échantillon dans notre référentiel ne nous permet d'affiner cette hypothèse.

Deux échantillons (BDX 22270 et 22272) composent le **groupe J**. Ce sont deux gros éclats, très certainement accidentels et issus d'un macro-outil, provenant d'un niveau de l'âge du bronze de la Structure A (secteur B). Le matériau est une rhyolite grise très siliceuse mais comprenant de nombreux phénocristaux de quartz et de feldspaths blancs, parfois rouges et altérés, sub-centimétriques. Cette rhyolite est très peu adaptée à la taille car de nombreuses fissures empêchent très certainement l'obtention de produits prédéfinis. Ce matériau a probablement été collecté en position primaire ou sub-primaire car les faces supérieures présentent une patine plus claire mais un relief très frais. La source est inconnue mais est à rechercher à proximité immédiate du site car elle ne semble pas présenter de qualités particulières que l'on ne retrouverait pas dans la source locale de rhyolite (Groupe A). Cette variété ne se retrouve pas dans les niveaux plus anciens, les populations néolithiques privilégiant probablement la source locale (Groupe A) que nous avons identifiée qui peut également servir d'outils de percussion ou de mouture mais qui présentent aussi une meilleure aptitude à la taille.



Figure 076 : Rhyolites du groupe H, D et E. De gauche à droite :
BDX19429 (H), 19378 (D), 19373 (E), et 19384 (D).

Le **groupe N** est constitué d'un seul échantillon (BDX 22281), partie distale d'un éclat retouché. Nous n'avons jamais observé ce type de matériau ailleurs : une rhyolite grise-verte avec une fluidalité très marquée, alternant des bancs millimétriques à sub-centimétriques clairs et foncés. Cette rhyolite comprend de nombreux phénocristaux de feldspaths et de quartz automorphes millimétriques. Les feldspaths ne semblent pas altérés. On peut noter la présence de quelques biotites millimétriques, ainsi que quelques rares minéraux sombres non identifiés à peine visibles à l'œil nu. La matrice est recristallisée, on peut observer la présence de sphérolites d'environ 0,1mm. La structure fluidale évoque une origine volcanique, donc une provenance relativement éloignée. La composition chimique est quant à elle très proche des filons que l'on trouve dans la région du Monti Barbatu. Cette roche semble fournir des qualités intéressantes pour la taille, bien supérieures à ce que l'on retrouve dans la région. De plus, il n'existe qu'une pièce dans cette matière et il s'agit d'un outil retouché. Nous pensons donc que la provenance de ce matériau est extra-régionale, sans pouvoir apporter plus de précisions.

Le **groupe O** se compose de deux échantillons de rhyolite verte fine, à cortex beige, comprenant quelques phénocristaux millimétriques de feldspaths blancs. Ce groupe est très proche géochimiquement des rhyolites vertes à cortex beige que l'on retrouve en très grand nombre à Renaghju. Ce constat est confirmé par l'examen macroscopique à l'œil nu et à la loupe binoculaire, malgré une lecture compliquée par l'importante patine des pièces de Renaghju. L'échantillon BDX22280 est un éclat cortical qui nous permet d'affirmer qu'il provient directement du gisement primaire ou sub-primaire.

Le **groupe L** comporte un fragment d'outils de mouture en rhyolite grise. La matrice à grain assez grossier présente quelques phénocristaux de feldspaths blancs. La composition chimique de cet échantillon n'a pas de correspondance dans notre référentiel, cependant le matériau ne présentant pas de qualité particulière, la provenance est très probablement locale.

Deux fragments d'outils de mouture composent le **groupe P**. Ils sont fabriqués dans une rhyolite verte claire à grain moyennement fin comprenant de nombreux phénocristaux pluri milli-

métriques de quartz, feldspaths blancs et biotite. Le cortex présent sur les deux pièces indique que ces rhyolites ont été initialement prélevées dans le lit d'une rivière. Leur provenance est donc très certainement proche du site.

iii. Conclusion

Nous pouvons ainsi esquisser sur une carte la diversité des approvisionnements en rhyolite mis en évidence au Monti Barbatu (Fig. 77) :

Toutes les zones fouillées ont permis de mettre au jour des artefacts en rhyolite. Ils ne peuvent cependant pas tous être traités de la même manière. L'ensemble du site a fait l'objet d'une occupation manifestement intense au cours du Néolithique récent et de très nombreux restes lithiques attribuables à cette période jalonnent l'ensemble des différents secteurs, en surface, et très probablement au sein de toute la stratigraphie, dans des proportions très difficiles à évaluer. Les artefacts en rhyolite proviennent de tous les secteurs fouillés, mais une faible part est issue de niveaux archéologiques non perturbés. Dans ces circonstances, la découverte de quelques artefacts en rhyolite au sein d'une unité stratigraphique n'est souvent pas suffisante pour corréliser l'utilisation ou la fabrication de ces objets et la mise en place de l'US. Les US112 et US119 fouillées en 2017 sont bien en place et datées du Néolithique récent, tous les artefacts qui y ont été mis au jour sont attribuables à cette période. Le matériel provenant de remblais médiévaux (notamment les US105 et US102) est très important mais le matériel datable associé couvre l'ensemble des occupations du site. On peut cependant noter que l'on y trouve du matériel du Néolithique final, dont aucun niveau en place n'a été découvert sur le site et qu'une partie des rhyolites des remblais peuvent lui être possiblement attribuées, en particulier certaines armatures.

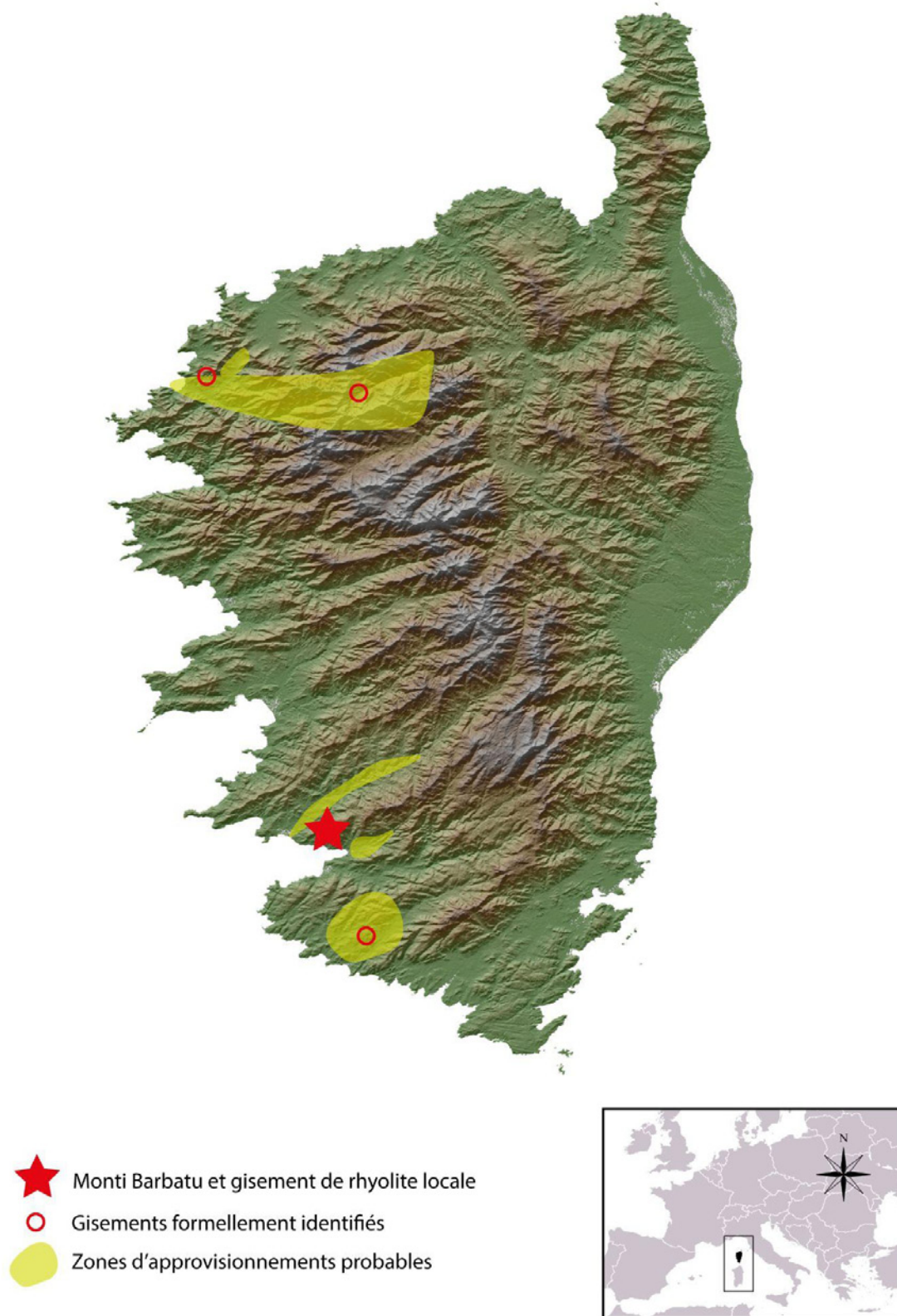


Figure 077 : carte des différents approvisionnements en rhyolite mis en évidence au Monti Barbatu (DAO : N. Frerebeau, A. Leck).

L'état de conservation des niveaux de sol ainsi que la position topographique (en bas de pente) des zones fouillées à l'ouest et au nord du secteur B (vestiges mégalithiques, habitation Néolithique récent, tranchée au centre du plateau) permettent difficilement d'attribuer les artefacts en rhyolite à une période d'occupation particulière. Quant aux habitations du sud du secteur B (Peche-Quilichini, 2021), seule la structure A a fourni des niveaux de sols en bon état de conservation. Ces sols de l'âge du bronze moyen/récent sont situés sur des niveaux du Néolithique Final et au pied d'une falaise au-dessus de laquelle on peut également retrouver des vestiges du Néolithique. Si les possibilités de contamination semblent nombreuses, nous pensons que l'on peut assurément attribuer au Bronze moyen/récent la plupart des artefacts en rhyolite mis au jour dans ces niveaux. En effet, les artefacts y sont bien différents que sur le reste du site (essentiellement du macro-outillage et absence de matière importée) et que dans les niveaux néolithiques sous-jacents (le rapport quartz/obsidienne en d'environ 1 pour 10 dans les niveaux Bronze moyen alors qu'il est de 1 pour 100 dans les niveaux Néolithique récent).

Ainsi le manque de contextes stratigraphiques fiables et non perturbés limite les interprétations. Le matériel des US 112 et 119 nous permet cependant d'affirmer que le gisement local de rhyolite a été exploité au Néolithique récent pour de l'outillage expédiant, les nucléus étant certainement écartés avant exhaustion et réutilisés en percuteur. La diffusion de rhyolites du massif Monte Cintu est aussi attestée dans ces niveaux. À une époque où l'obsidienne sarde semble abondante sur le site, il est intéressant de noter que des matériaux à priori non essentiels à l'outillage circulent sur de si longues distances à travers la Corse. Cette diffusion n'étant certainement que l'une des manifestations de réseaux d'échanges et de contacts entretenus dans un objectif plus large que la recherche de rhyolite : conservations de liens sociaux entre les groupes, échanges d'autres produits aujourd'hui disparus. Sans pouvoir affirmer que ces différents approvisionnements sont synchroniques, on discerne une possible circulation côtière qui semble se dessiner sur la façade ouest de l'île, allant de l'embouchure du Fangu au nord-ouest jusqu'au plateau de Cauria au sud-ouest en passant par le Monti Barbatu. Cette route se poursuit au sud le long de la côte ouest de la Sardaigne, avec au nord-ouest le bassin de Perfugas d'où proviennent la plupart des silex mis au jour en Corse, et au sud-ouest le Monte Arci où se trouvent les gisements d'obsidiennes sardes. Il est en tout cas intéressant de noter qu'aucune roche utilisée sur le site ne provient de gisements de l'intérieur des terres, dans les montagnes, où l'on sait pourtant que plusieurs gisements de rhyolites de bonne qualité existent et ont été exploités au Néolithique (Ameziane-Federzoni et al., 2014 ; Mazet et al., 2014).

Quant à l'évolution des approvisionnements entre le Néolithique et l'âge du bronze, le peu de matériel mis au jour pour les périodes les plus récentes limite nos interprétations. Cependant nous pouvons noter que l'exploitation du filon de rhyolite local se poursuit à l'âge du bronze mais le matériau extrait n'est alors plus utilisé que pour la fabrication de macro outils. L'ensemble des rhyolites de provenance plus lointaine dont nous pensons la présence liée à l'exis-

tence d'un réseau d'échanges maritime au Néolithique ne se retrouvent pas dans les niveaux du Bronze moyen et récent du Monti Barbatu. Nous ne pensons pas que cela soit dû à l'arrêt de ces échanges mais plutôt à une réorganisation de ces derniers, autour d'autres matériaux, comme les oxydes de fer par exemple. En effet, le schéma de provenance de cette matière sur le site paraît suivre le chemin inverse des rhyolites, les provenances semblent plus variées au Bronze moyen qu'au Néolithique récent (M. Lambert dans Peche-Quilichini et al., 2019).

b. Basi

i. Présentation



Figure 078 : Secteurs 2, 1 et 4 en cours de fouille durant la campagne de 2017 (Perrin, 2017).

Le site de Basi se situe sur la commune de Serra-di-Ferro en Corse-du-Sud, au niveau d'un chaos granitique surplombant le fleuve Taravu situé quelques centaines de mètres en contrebas. Le site est aujourd'hui à presque 5 km de la mer mais la plaine alluviale qui comble actuellement l'estuaire du Taravu est une formation géologique très récente. Les données sur l'évolution du niveau marin autour de la Corse au Néolithique (Vacchi et al., 2018) indiquent un niveau inférieur de plusieurs mètres par rapport à l'actuel. De plus, divers carottages effectués dans les étangs proches de Basi indiquent une sédimentation très rapide de la plaine alluviale et un changement de paysage relativement brusque entre la fin du Néolithique et le milieu de l'âge du bronze (Vella et al., 2019). Le site de Basi était donc probablement très proche de la mer et de l'embouchure du fleuve durant le Néolithique ancien et il a certainement fallu attendre plusieurs millénaires, peut-être au Néolithique final, pour que le site perde son caractère véritablement côtier (Perrin, 2020). Le site présente peu de caractères défensifs naturels et la position, légèrement en surplomb, permet d'observer l'ensemble de la basse vallée du Taravu mais est obstruée au nord-ouest. La topographie du chaos granitique a permis d'élever une Torra

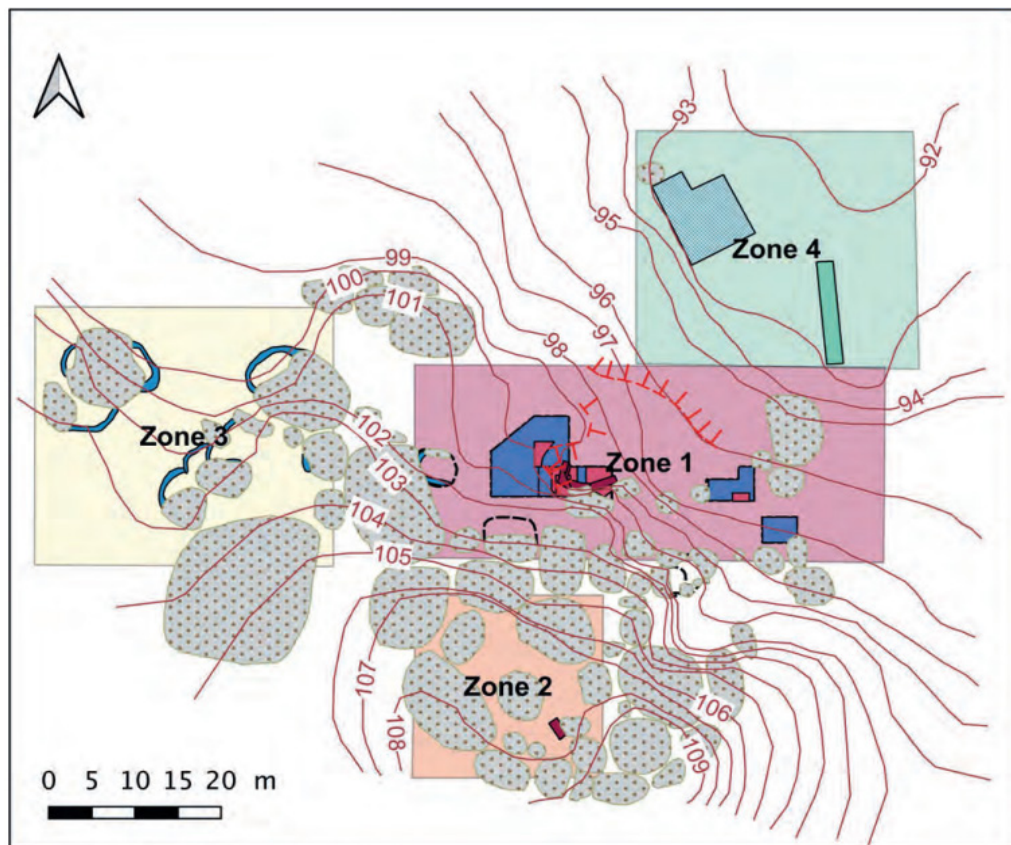
au cours de l'âge du bronze ainsi que des murs d'enceinte. Ces aménagements étaient certainement absents durant le néolithique. La morphologie des roches offre de nombreux abris naturels qui ont certainement été un élément d'attraction pour les premières populations. Il semblerait que rapidement au cours du Néolithique les abris soient plutôt affectés à la sphère mortuaire et les espaces de plein air dévolus aux habitations.

A l'occasion de la mise en carrière d'une partie du site pour l'exploitation du granite dans les années 1960, du mobilier pré et protohistorique a pu être identifié par F. Santoni et C.-A. Cesari, ce que confirmeront Roger Grosjean et Enrico Atzeni qui travaillaient alors sur la fouille de Filitosa, située de l'autre côté du Taravu (Perrin, 2016). Une première opération de fouille est engagée en 1968 et jusqu'en 1971 par Gérard Bailloud (Bailloud, 1969). Elle permettra d'établir une séquence stratigraphique ininterrompue du Néolithique ancien à l'âge du bronze qui jouera un rôle prépondérant dans la construction de la chronologie préhistorique corse. Deux sondages seront ouverts, le premier au niveau du front de carrière dans la partie nord du site (Zone 1, Fig. 79) qui s'avérera très prolifique, le second sur un replat au niveau de la partie sommitale (Zone 2, Fig. 79). La fouille mettra en évidence la présence d'une occupation du Néolithique ancien caractérisée par des céramiques imprimées à la coquille de cardium, déjà brièvement identifiée lors de la découverte du site. Le mobilier mis au jour participera à la définition du cardial tyrrhénien, commun à la Corse, la Sardaigne et une partie de la côte italienne à la fin du 5^{ème} millénaire, également appelé Basi-Filliestru-Pienza. Ces fouilles ont aussi permis de définir un faciès encore inconnu du Néolithique corse, qui se caractérise notamment par des formes carénées et l'omniprésence d'obsidiennes, et qui sera nommé Basien (Bailloud, 1969), montrant des affinités avec l'Ozieri, culture sarde du début du 4^{ème} millénaire.

Après plus de 40 ans d'arrêt, une nouvelle opération est conduite en 2011 par A. Hasler (Hasler et al., 2012). Une nouvelle construction prévue en contrebas de la terrasse fouillée par G. Bailloud (Zone 4, Fig. 79) a nécessité la tenue d'un diagnostic archéologique. Une séquence stratigraphique plus compressée mais identique à celle identifiée dans les années 1960 est mise au jour. Le diagnostic n'aura pas de suite mais en 2015, une évaluation du site est menée par Thomas Perrin (Perrin, 2015a) qui rafraîchit les coupes de G. Bailloud et décide d'engager dès 2016 une opération de fouille, notamment pour étendre le sondage de 1968. Cette opération est renouvelée annuellement jusqu'à aujourd'hui et a permis de préciser la nature domestique des occupations identifiées quarante ans plus tôt (Fig. 78). La grande quantité de matériel mis au jour ainsi que la qualité des fouilles et le bon état de conservation des contextes stratigraphiques permettent de mener des études pluridisciplinaires et diachroniques sur le mobilier.

Le matériel en rhyolite que nous avons analysé est issu des fouilles menées depuis 2015. La provenance du silex et de l'obsidienne a également pu être déterminée, respectivement par C. Bressy-Leandri ainsi que F.-X. Le Bourdonnec et M. Orange. Nous avons également des informations typo-technologiques grâce au travail de T. Perrin et J. Favero (Perrin 2017, 2018,

2019, 2020). Des milliers de pièces lithiques ont été exhumées, en grande majorité des obsidiennes en lien avec l'occupation basienne. Le Néolithique ancien livre une majorité de silex (Fig. 80), originaires du nord de la Sardaigne. Ce silex était taillé, certainement par percussion indirecte, en grande partie pour obtenir des lames et lamelles, utilisées brutes ou retouchées et parfois tronquées pour obtenir des armatures de trait. Au Néolithique récent, l'obsidienne est prépondérante. Elle provient, comme au Néolithique ancien, en totalité du Monte Arci en Sardaigne mais les gisements exploités ont évolué entre ces deux époques, indiquant une structuration de l'exploitation et de la diffusion des obsidiennes sardes au cours du néolithique.



Basi 2019 - Plan de masse

Historique	Environnement
 sondages Bailloud	 maisons
 tranchée A. Hasler (INRAP)	 blocs
 Perrin 2016	 surplombs
 Perrin 2017-2019	 murets

Figure 079 : Plan masse de la partie nord du site de Basi. Le matériel en rhyolite étudié provient des fouilles de la zone 1 uniquement (Perrin, 2019).

Les supports recherchés sont encore majoritairement des lames et lamelles mais désormais obtenues par pression. Le silex est alors extrêmement minoritaire. Au Néolithique final, la part de l'obsidienne tend à décroître et les matériaux locaux prennent de l'importance ce qui traduit des changements dans les réseaux d'échanges corso-sardes que l'on peut percevoir sur la plupart des sites de cette période en Corse. L'utilisation des matériaux lithiques locaux, quartz et rhyolite, est minoritaire durant tout le Néolithique à Basi. En effet, même si la quantité de

pièces mises au jour est très importante pour les niveaux du Néolithique final, le quartz est presque toujours taillé sur enclume qui est une technique pouvant produire une très grande quantité de déchets. La très faible quantité de rhyolite retrouvée signifie que ce matériau n'a probablement jamais été de première nécessité pour les populations de Basi et qu'il pourrait à ce titre être le simple témoin d'échanges et de pérégrinations au sein du territoire.

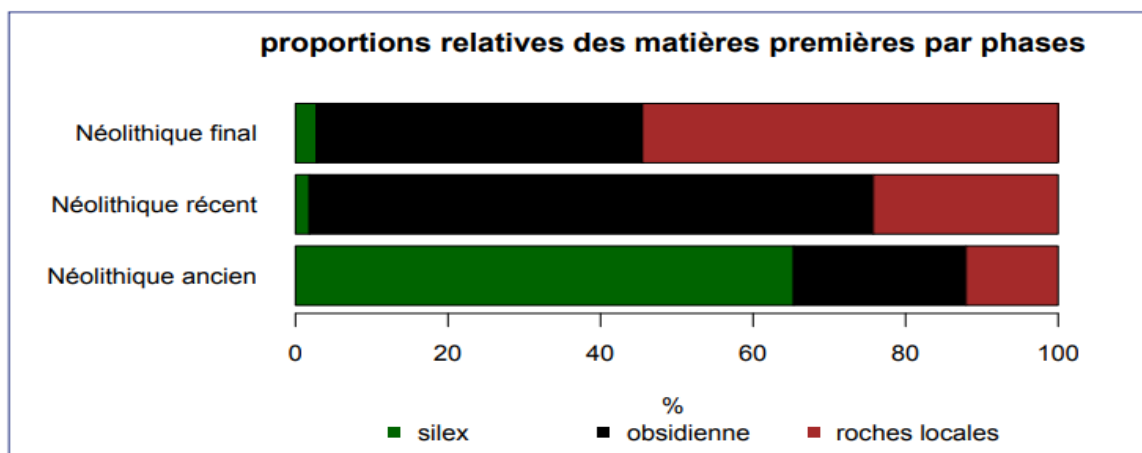


Figure 080 : Répartition des matières premières en fonction des différentes phases d'occupation du Néolithique de Basi (Perrin, 2017).

ii. Résultats des analyses

Nous avons analysé les rhyolites mises au jour à Basi au cours des campagnes de fouille de 2015 à 2017. La série se composait initialement de 420 artefacts mais de très nombreuses pièces, de très petites dimensions, n'avaient ni l'épaisseur, ni le volume nécessaire pour être analysées en EDXRF. De plus, quelques artefacts en silex, en obsidienne ou en microgranite avaient été mal identifiés en tant que rhyolite et ont dû être écartés également, parfois après la confirmation d'une analyse géochimique. La série finalement étudiée se compose de 206 rhyolites, ce qui a donné lieu à 332 analyses en EDXRF. Nous avons identifié 18 groupes de rhyolites différentes utilisées sur le site (Fig. 81 et 82). On peut voir que plusieurs groupes de compositions se recoupent sur les graphiques, ce qui a rendu particulièrement compliqués la recherche des provenances des rhyolites. En effet, cette série regroupe deux difficultés majeures qui peuvent être difficilement surmontables avec notre protocole d'analyse. Tout d'abord, les pièces de très petites tailles, surreprésentées à Basi comparé aux autres sites que nous avons étudiés, nous empêchent souvent d'effectuer plusieurs analyses pour chaque pièce, la plupart n'ayant même pas pu être analysées du tout. Il est ainsi compliqué d'identifier des *outliers* ou bien de distinguer un groupe de compositions s'il n'est représenté que par quelques pièces. Ensuite, de nombreuses rhyolites de Basi proviennent probablement du fleuve ou de filons proches du site. Tous ces matériaux provenant de la même région ont des géochimies souvent proches. Ce sont aussi fréquemment des rhyolites assez grossières et très hétérogènes. Les groupes de compositions de ces rhyolites se recoupent donc facilement, tout en étant difficiles à dif-

férencier à l'œil nu. Nous n'avons donc probablement pas reconnu de manière exhaustive les différents types de rhyolites présents sur le site mais si quelques sources utilisées de manière très minoritaire ont pu nous échapper, cela ne remet pas en cause la vision d'ensemble des approvisionnements en rhyolites du site de Basi que nous avons pu construire.

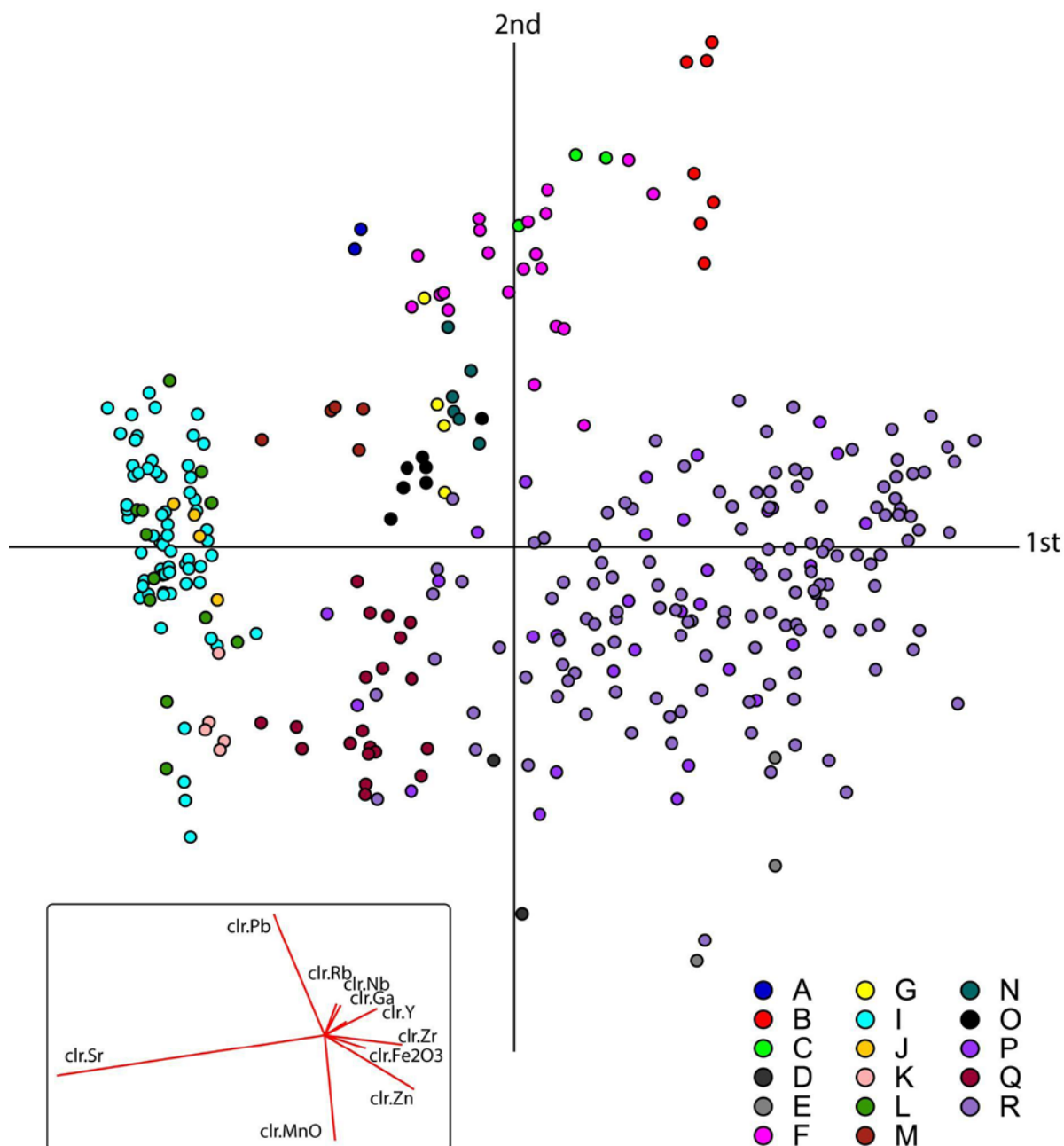


Figure 081 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de Basi. Projection de la 1^{ère} et 2^{ème} composante. Le groupe H n'est pas représenté car sa composition chimique très atypique nuit à la clarté de l'ACP. L'ensemble des données est reporté en annexe.

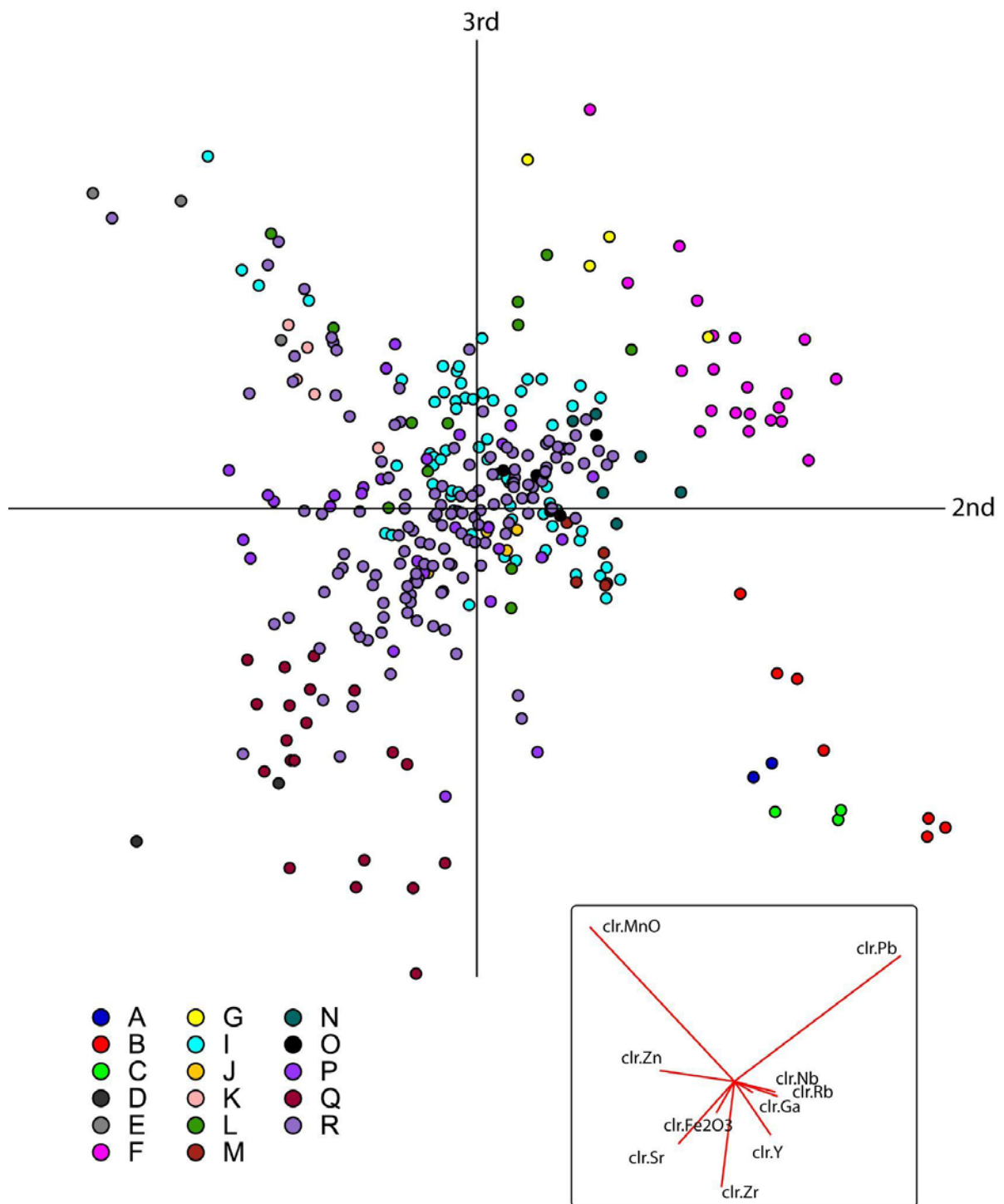


Figure 082 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de Basi. Projection de la 2^{ème} et 3^{ème} composante. Le groupe H n'est pas représenté car sa composition chimique très atypique nuit à la clarté de l'ACP. L'ensemble des données est reporté en annexe.

Le **groupe A** est un fragment d'éclat retouché en rhyolite aphyrique violacée, comprenant quelques enclaves jaunâtres et des phénocristaux de feldspaths rouges sub-millimétriques. La composition chimique de l'unique pièce de ce groupe est très proche d'échantillons géologiques provenant de la haute vallée de l'Ascu et d'artefacts du site d'A Petra en Balagne. Cette rhyolite provient du massif du Cintu mais nous ne pouvons pas préciser davantage.

Le **groupe B** comprend deux échantillons, une armature perçante et un éclat de façonnage en rhyolite aphyrique noire dont la matrice contient de nombreuses fiammes et feldspaths xénomorphes rosâtres ainsi que quelques feldspaths plurimillimétriques rouges briques. Ce type de rhyolite se retrouve fréquemment à divers endroits du massif du Cintu, mais seuls des échantillons que nous avons prélevés dans la haute vallée de l'Ascu offrent également une parfaite correspondance géochimique ce qui nous permet d'affirmer que ces rhyolites proviennent de cette région.



Figure 083 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Basi. (N°-BDX-Groupe) 1-24267-B, 2-24169-C, 3-24003-A, 4-24350-E, 5-24271-O, 6-24298-O, 7-24278-O, 8-24211-G, 9-24008-F, 10-23949-F, 11-23947-F, 12-24280-K, 13-24317-J, 14-24009-L, 15-24268-L.

Le **groupe C** contient un seul échantillon également, un petit éclat d'une rhyolite visuellement proche du groupe B. Cependant, on y voit beaucoup moins de cristaux xénomorphes et l'altération orangée qui se développe le long d'une fissure ne se retrouve pas dans la rhyolite du groupe B. Cela correspond néanmoins à des échantillons ramassés dans le lit du Marso-linu, proche de l'embouchure du Fangu, qui partagent aussi la même composition chimique.

Le gisement primaire est probablement dans la petite vallée drainé par le ruisseau de Prezzu-
na (Galéria).

Un unique éclat cortical compose le **groupe D**. La matrice micro-grenue de cette rhyolite est grise claire, on y trouve quelques phénocristaux de quartz et de feldspaths rosâtres ainsi que de nombreux indices d'altérations rougeâtres ou noirs, notamment le long de fissures. Ce matériau est de qualité médiocre et son cortex fluvatile indique une provenance probable dans le lit du Taravu.

Le **groupe E** est formé de deux échantillons en rhyolite micro-grenue dont la matrice grise sombre comprend de très nombreux phénocristaux de quartz et de feldspaths, parfois centimétriques (Fig. 083, 4). La très faible qualité du matériau pourrait indiquer une utilisation comme matériau pondéreux. La provenance est certainement très locale.



Figure 084 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Basi. (N°-BDX-Groupe) 1-23942-N, 2-24274-I, 3-24283-I, 4-24273-I, 5-24005-I, 6-24287-I, 7-24011-I, 8-24126-I, 9-24092-I, 10-24353-I, 11-23953-P, 12-24233-P, 13-24178-P.

Le **groupe F** est formé de 13 échantillons d'une rhyolite généralement grise-verte présentant une matrice à la fois esquilleuse et à la texture relativement grossière. Les phénocristaux de feldspaths sont peu nombreux mais souvent plurimillimétriques. On trouve au sein de ce groupe un fragment de percuteur dont certaines parties corticales sont conservées et

indiquent que cette matière est issue d'un gisement primaire ou sub-primaire. La composition chimique est proche de matériaux que nous avons échantillonnés dans les vallées de Gravonna et du Taravu, ainsi que de certaines rhyolites du site d'I Casteddi (groupe K). La qualité relativement moyenne du matériau et le cortex primaire d'un échantillon, plaident pour une source locale, probablement un petit filon situé à quelques kilomètres du site.

Le **groupe G** se compose d'une petite armature perçante en rhyolite très proche visuellement de celle que l'on trouve en bordure du plateau de Pastini. La matière est très esquilleuse, grise sombre, parfois légèrement plus claire laissant apparaître les sphérolites de dévitrification. On y voit aussi les fissures parallèles qui parcourent certains blocs de Pastini. Cependant, les compositions chimiques mesurées ne correspondent pas. En comparant ces résultats avec l'ensemble de notre référentiel, aucune autre rhyolite déjà analysée ne partage le même type de composition. La très forte ressemblance visuelle avec les rhyolites de Pastini nous amène à penser que cette rhyolite du groupe G provient du même type de formation, peut-être un filon du Sartenais. La provenance est certainement assez lointaine puisque l'on ne retrouve à Basi qu'un seul objet fini taillé dans ce matériau.

Une rhyolite à la composition très atypique forme le **groupe H**. La teneur en silice (SiO_2) est inférieure à 68%, celle en sodium (Na_2O) supérieure à 6% et en potassium (K_2O) inférieure à 1%. Nous ne l'avons pas représentée sur les graphiques (Fig. 81 et 82) car les compositions en rubidium (0, sous le seuil de détection) et en zirconium (supérieur à 1000ppm) situent ce groupe très loin de tous les autres échantillons du site de Basi. Ce type de composition indique certainement que le magma originel a été contaminé par la fonte partielle d'un encaissant beaucoup plus basique. La source est donc peut-être à rechercher au milieu de la vallée du Taravu où le système filonien basique est très dense ou bien encore un peu plus haut dans la vallée où des filons de rhyolites, proches de la ville de Zicavo, recourent des formations métamorphiques ce qui a probablement produit des compositions atypiques. Cependant, en l'état de nos connaissances, l'origine de cette rhyolite est inconnue.

Le **groupe I** est le second groupe le mieux représenté avec 39 pièces. Il s'agit d'une rhyolite grise sombre devenant plus claire dans les parties altérées. La matrice peut-être fine ou relativement grossière, mais contient toujours assez peu de phénocristaux. Des sphérolites sont souvent visibles, notamment dans les parties plus altérées et les cortex. Ces cortex indiquent un ramassage en position primaire. Visuellement et chimiquement, le matériau est très proche de ce que l'on peut trouver aux alentours de Linarellu, au pied du Monti Barabtu, situé à 3.5km de Basi, de l'autre côté de l'estuaire du Taravu. Il est très peu probable que ces rhyolites de qualité relativement médiocre aient été récoltées aussi loin. Elles proviennent sûrement de l'exploitation de filon du même type mais plus proche du site.

Le **groupe J** deux pièces, une armature perçante et un éclat de façonnage. Leur géochimie est

proche de celle des rhyolites du groupe I mais elles se distinguent nettement visuellement par une matrice verte très fine et esquilleuse dans laquelle on retrouve quelques phénocristaux de feldspaths blancs ainsi que de nombreux minéraux sombres millimétriques qui donnent un aspect moucheté. Elles correspondent visuellement et chimiquement à certaines rhyolites du groupe M d'I Casteddi ainsi qu'à des rhyolites du même type mises au jour sur le plateau d'Alzu. Leur provenance est à rechercher dans les montagnes du Cortenais, au centre de l'île.

Une autre armature perçante à la composition proche du groupe I et J forme le **groupe K**. Si cette rhyolite verte fine et esquilleuse contient bien de nombreux minéraux sombres, elle ne contient pas de feldspath blancs comme les rhyolites du groupe J. Elle est également plus foncée et présente une structure fluidale. Cette roche semble se rapprocher visuellement et chimiquement des rhyolites vertes fines (RVF) mises au jour à Renaghju (commune de Sartène). Malheureusement ce type de compositions géochimiques est assez courant pour les rhyolites du sud de la Corse et il nous faudrait analyser plus d'échantillons pour attribuer avec plus de certitudes au groupe K une provenance dans le Sartenais.



Figure 085 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Basi. (N°-BDX-Groupe) 1-24168-R, 2-24270-R, 3-24125-R, 4-24358-Q, 5-24209-R, 6-24260-Q, 7-24021-Q.

Le **groupe L**, composé de 7 pièces, présente également des compositions proches de celles des groupes I, J et K. Cependant, les rhyolites de ce groupe se différencient par une matrice grise sombre, très fine, comprenant peu de phénocristaux. Deux éclats corticaux indiquent un ramassage en position primaire. On retrouve à I Casteddi des rhyolites partageant de nombreuses affinités macroscopiques et géochimiques sans que l'on ne puisse les définir comme strictement identiques à celles du groupe L de Basi. Néanmoins, la qualité de la matière ainsi que le faible nombre de pièces indiquent une provenance probablement lointaine, compatible avec la région des montagnes du centre de l'île, autour du site d'I Casteddi.

Le **groupe M** contient quatre petits éclats d'une rhyolite grise à verte claire contenant quelques phénocristaux de quartz et de feldspaths. Nous n'avons pas de correspondance dans notre référentiel. La qualité du matériau semble plutôt bonne, et le peu de pièces présentent sur le site ainsi que leurs typologies désignent une provenance sub-locale ou régionale, autour de la

basse vallée du Taravu.

Un gros fragment de galet de rivière ainsi que deux petits éclats composent le **groupe N**. Cette rhyolite est verte ou rouge dans les parties les plus altérées, grossière et très chargée en phénocristaux. Son origine est bien sûr à rechercher dans les cours d'eau proches du site.

Le **groupe O** regroupe cinq petits éclats de rhyolite verte fine, aphyrique. Visuellement cette rhyolite ressemble à s'y méprendre à la rhyolite verte fine (RVF) que l'on retrouve en grand nombre sur les sites du plateau de Cauria. Cependant, la géochimie ne permet pas de doute et une source potentielle dans le Sartenais est à écarter. Les compositions chimiques nous conduisent plutôt vers des gisements autour du massif du Monte Cintu. Il existe notamment une bonne correspondance avec une rhyolite verte aphyrique échantillonnée dans le ruisseau de Manica au pied du Monte Cintu (Ameziane-Federzoni, 2017) mais qui présente une structure fluidale que l'on ne retrouve pas à priori dans les rhyolites du groupe O. Cependant, la corrélation semble meilleure avec une rhyolite verte de très bonne qualité prélevée dans la vallée du Fangu par G. Giannesini, tant au niveau macroscopique que chimique. Nous ne possédons aujourd'hui qu'un échantillon de cette matière, il faudra donc vérifier cette attribution lorsque nous aurons une meilleure connaissance du gisement.

Les trois derniers groupes de rhyolites de Basi ne se distinguent pas géochimiquement, ces matériaux étant particulièrement hétérogènes et provenant certainement de la même région. Les distinctions que nous avons effectuées sont donc principalement basées sur des observations macroscopiques.

La rhyolite du **groupe P** présente une matrice grise claire microgrenue dans laquelle nous retrouvons des phénocristaux pluri-millimétriques de feldspaths blancs ou rosés. La qualité de taille de ce matériau est globalement très mauvaise. L'une des 26 pièces de ce groupe présente un cortex fluvial ne laissant pas de doute sur l'origine alluvionnaire de cette rhyolite.

Le **groupe Q** comprend 10 artefacts en rhyolite grise foncée tirant sur le vert, parfois rougeâtre, notamment en sous-corticale. Leur texture est relativement fine et des sphérolites sont visibles sur certaines pièces, notamment au niveau des cortex. Ce groupe est extrêmement varié visuellement, mais il est difficile de savoir si cela est dû à la présence de rhyolites de différentes origines ou bien à des niveaux d'altérations diverses d'un même type de roche. La plupart des pièces sont macroscopiquement très proches des rhyolites locales du Monti Barbatu que l'on trouve vers Linarellu. Cependant, la présence de cortex fluvial sur une pièce nous indique un probable ramassage dans le lit d'un ruisseau ou dans les alluvions du Taravu.

Le **groupe R** est le mieux représenté de cette série puisqu'il compte 88 artefacts. La matrice

de ces rhyolites est grise, souvent foncée, parfois esquilleuse mais presque toujours à grains assez grossiers. Les phénocristaux de feldspaths blancs sont nombreux et régulièrement de l'ordre du demi-centimètre. Il n'y a pas de cortex fluviale malgré la présence de gros éclats de décortilage ou d'éclats de blocs ayant servi de matériaux pondéreux. Le gisement est donc certainement proche du site. Géochimiquement, ces rhyolites se rapprochent de celles que nous retrouvons dans le filon de la Punta di a Campana à Sotta à presque 40 km du site, mais qui sont d'une bien meilleure qualité. Elles se caractérisent notamment par une très faible teneur en strontium. Ce faible taux de strontium est peut-être lié à une forte différenciation du magma. Cette rhyolite certainement filonienne s'est donc probablement formée en association avec des filons basiques que l'on retrouve à plusieurs endroits sur les deux crêtes qui ceignent la basse vallée du Taravu. Nous pouvons donc imaginer que ce type de rhyolite a pu s'y former également. Le gisement des rhyolites de ce groupe R est donc probablement à rechercher dans les collines qui surplombent le site de Basi vers l'est.

Il faut noter que certaines pièces du groupe R présentent des matrices grises foncées très fines et qu'il n'est pas possible en l'état de nos connaissances de savoir s'il s'agit d'un autre type de rhyolite, possiblement celle que l'on trouve à Sotta, ou bien d'un faciès de meilleure qualité du gisement local.

iii. Conclusion

On peut donc reporter sur une carte les différentes régions d'où proviennent les rhyolites mises au jour à Basi (Fig. 87).

L'origine de la grande majorité des rhyolites analysées est donc à rechercher localement. Les filons de rhyolite relativement grossière ainsi que les alluvions des ruisseaux et du fleuve Taravu qui bordent le site ont été largement exploités (Fig. 86). On peut mettre en parallèle la provenance de ces matériaux avec l'aire d'approvisionnement en matériaux argileux locaux pour la fabrication des céramiques (Fig. 88). Les populations pré et protohistoriques de Basi ont donc largement tiré parti de l'ensemble des ressources minérales qui bordaient le site.

Les pièces de provenance plus lointaine sont peu présentes, mais témoignent de liens avec les communautés vivant plus au nord de l'île ainsi que d'une probable mobilité occasionnelle des populations de Basi, possiblement saisonnière, vers les montagnes du centre de la Corse.

Le site de Basi fournissant des contextes stratifiés, nous pouvons différencier les approvisionnements en rhyolites en fonction des périodes d'occupations (Fig. 89). Le Néolithique récent

basien est le mieux représenté, il n'est donc pas étonnant que ce soit durant cette période que l'on observe la plus grande diversité dans les approvisionnements en rhyolite. A contrario, le Néolithique ancien fournit très peu de pièces et nous avons donc certainement une vision partielle des approvisionnements en rhyolite de cette période. Il faut cependant préciser que les différents contextes ne sont pas imperméables entre eux et que les artefacts lithiques, notamment les plus petits, peuvent changer de contexte stratigraphique à la faveur de bioturbations ou de divers réaménagements des sols. Pour ces raisons, il est difficile de conclure quoi que ce soit de définitif sur la présence d'une ou deux pièces dans un contexte particulier. C'est notamment le cas pour les quelques rhyolites mises au jour dans les niveaux du Bronze moyen. Par exemple, l'armature perçante unique représentante du groupe G, provient d'un niveau contenant très majoritairement du matériel du Bronze moyen mais qui n'est pas exempt de matériel du Néolithique récent ou final (Perrin, 2017). Cela ne nous permet pas de conclure de l'utilisation de ce type de rhyolite au Bronze moyen pour la fabrication d'armatures.

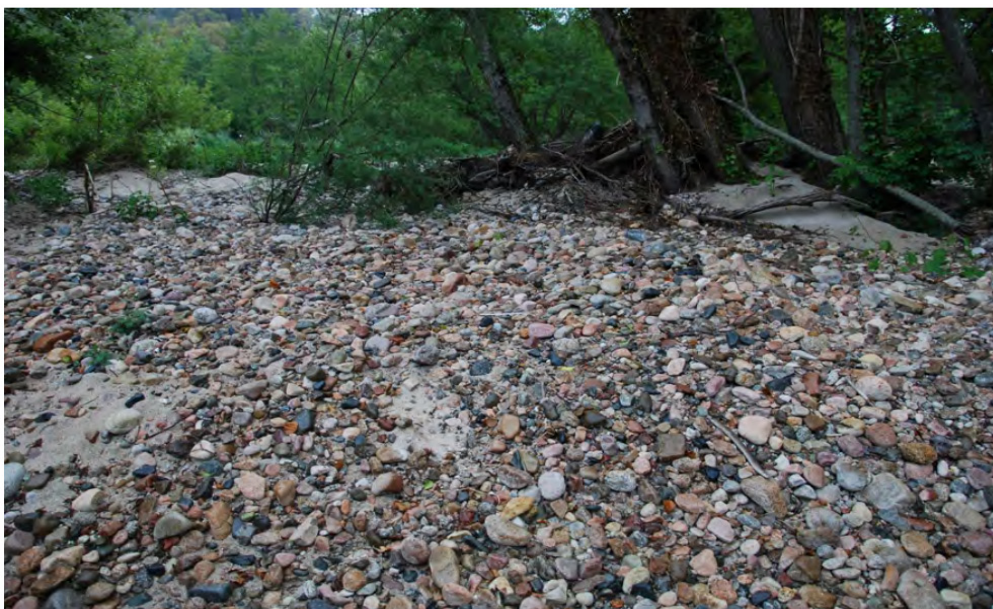


Figure 086 : Alluvions en bordure du Taravu. Les roches transportées par le fleuve sont extrêmement diversifiées mais quelques galets peuvent fournir des matériaux de qualité suffisante pour la taille (Photo : H.-G. Naton, Géoarchéon, dans Perrin, 2019).

Il nous faudra poursuivre les analyses des rhyolites de Basi en étudiant les pièces découvertes durant les dernières campagnes de fouilles et celles à venir pour obtenir des données plus solides afin de construire une véritable compréhension des approvisionnements en rhyolite dans la diachronie.

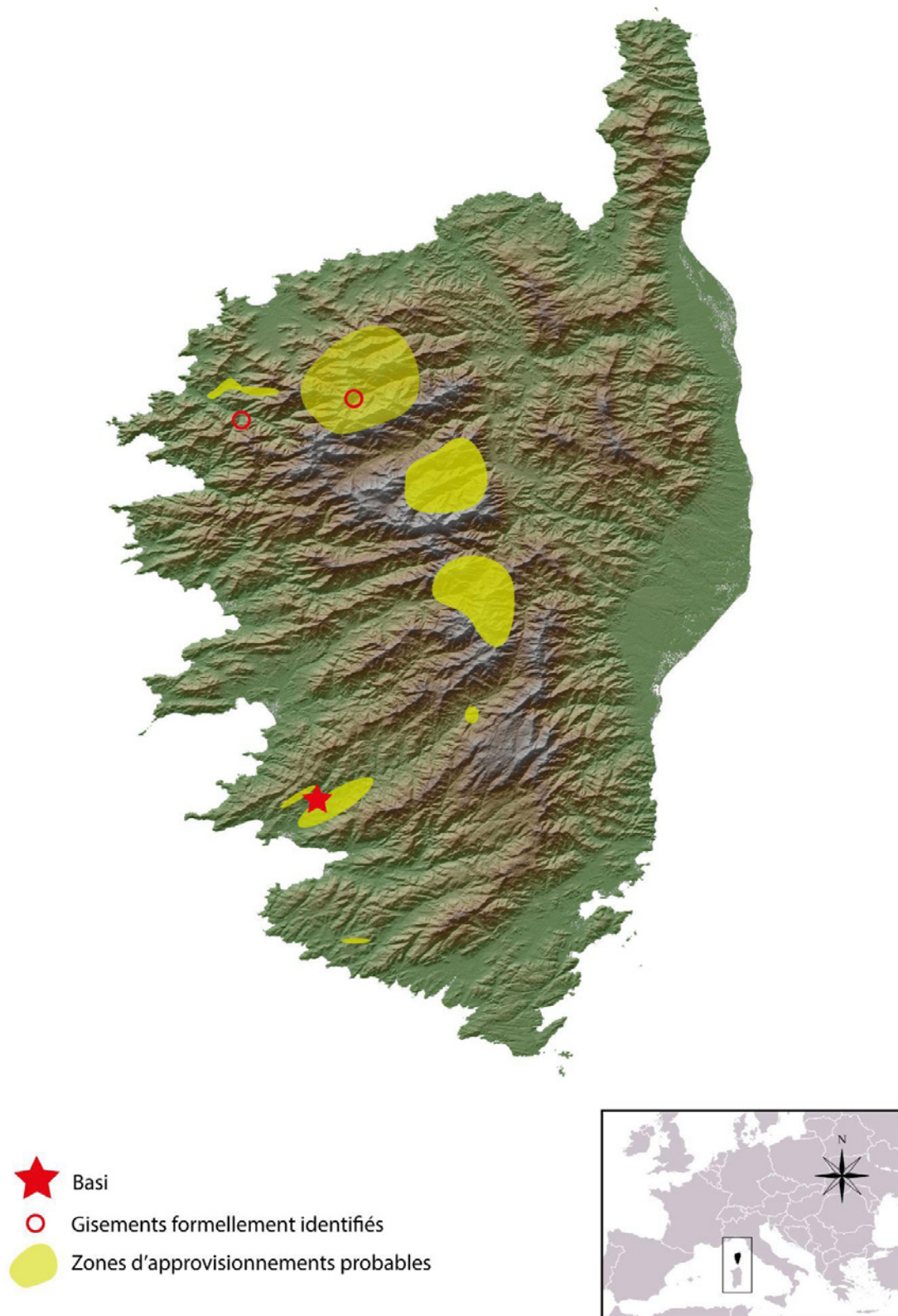


Figure 087 : carte des différents approvisionnements en rhyolite du site de Basi. La grande majorité des pièces proviennent de l'environnement immédiat du site, une dizaine seulement sont issues du massif du Cintu au nord-ouest, une douzaine viendrait probablement de différentes zones montagneuses du centre de l'île et possiblement une pièce émanerait d'un gisement du Sartenaix (DAO : N. Frerebeau, A. Leck).

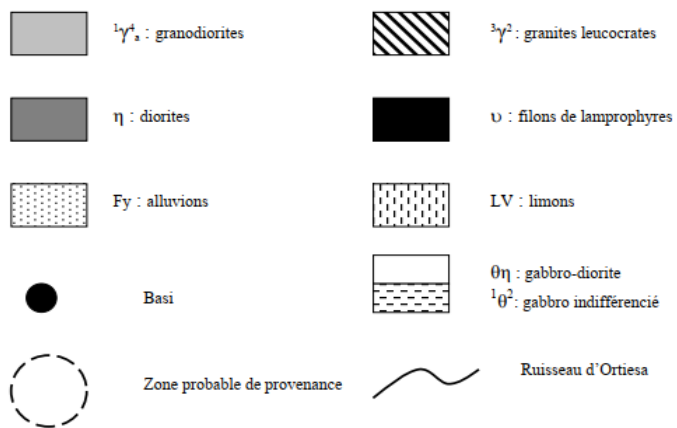
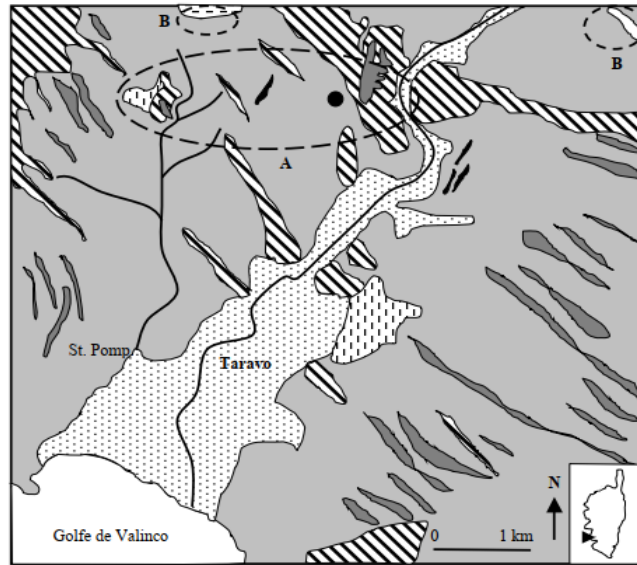


Figure 088 : Zones probables d'approvisionnement en matériaux argileux locaux pour la fabrication des céramiques (d'après Paolini-Saez in Perrin, 2016).

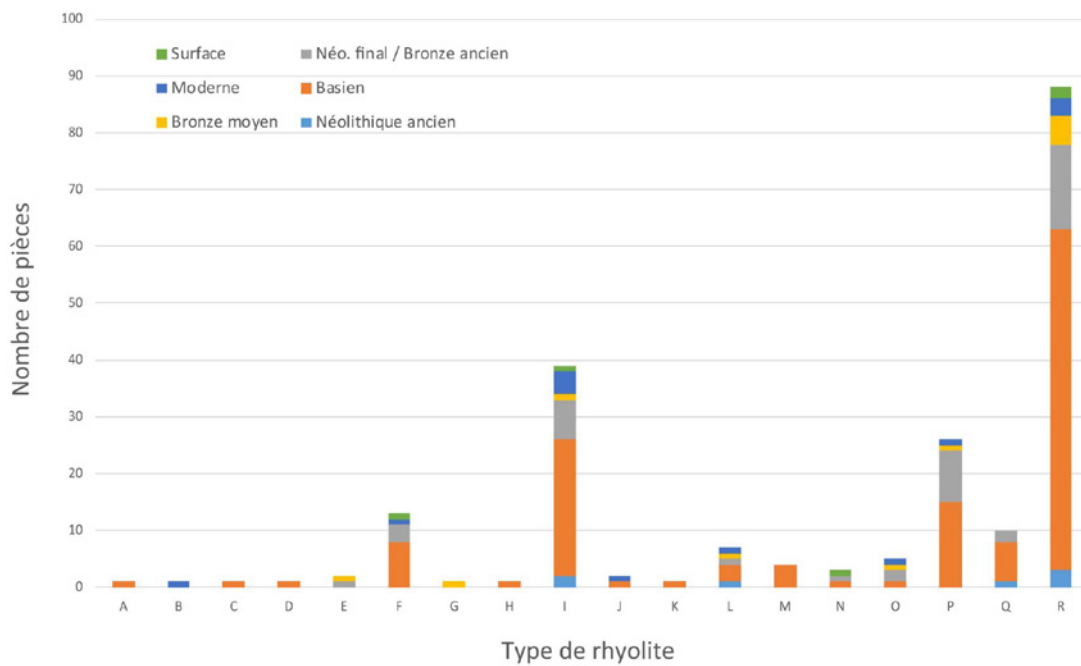


Figure 089 : Diagramme en barres cumulées représentant les différents types de rhyolites mises au jour à Basi en fonction de leur contexte stratigraphique.

c. I Casteddi

i. Présentation

Le site d'I Casteddi est situé sur la commune de Tavera en Corse-du-Sud. Il s'agit d'un habitat fortifié placé sur un éperon rocheux qui surplombe la vallée de la Gravona à 420m d'altitude. La partie sommitale est aujourd'hui occupée par les ruines d'un casteddu médiéval et d'une bergerie moderne. La partie nord du site est caractérisée par une pente rocheuse très abrupte à l'aspect défensif indéniable. Plusieurs lignes de fortifications en appareillage cyclopéen, typiquement protohistorique, délimitent des terrasses sur la pente sud, bien moins escarpée, qui conduit à un petit col où se trouvait une statue-menhir (Grosjean, 1963). On trouve à l'intérieur de ces fortifications diverses structures et bâtiments qui ont été utilisés pendant 1500 ans du Bronze moyen au second âge du fer. Des fouilles menées depuis 2014 ont permis de mettre en évidence une habitation mainte fois reconstruite et remaniée ainsi que des silos à grains et des aires artisanales, notamment liées au travail du verre et du métal (Paolini-Saez et al., 2020a et 2020b).

Un matériel très varié a pu être mis au jour lors de ces fouilles. En premier lieu de très nombreuses graines carbonisées qui forment un corpus unique pour la période et la région, mais aussi du mobilier métallique, de la vaisselle d'importations italiennes, des anneaux de verre, des restes de faunes, etc., témoignant de l'implantation sur le site d'une probable élite locale contrôlant sur son territoire les flux commerciaux liés aux riches réseaux d'échanges méditerranéens. De manière inattendue, on retrouve également un grand nombre de vestiges lithiques sur le site, qui renvoie à des traditions techniques très anciennes que l'on n'associe pas habituellement avec les civilisations protohistoriques méditerranéennes de cette époque. En effet les pointes de flèches en pierre peuvent apparaître comme un archaïsme étrange au sein des restes d'amphores romaines.

La question de la contamination des niveaux sédimentaires protohistoriques par du matériel possiblement néolithique a bien sûr été examinée avec attention. Il existe en effet sur le site une occupation néolithique dont on retrouve la trace par du mobilier de surface ainsi que des vestiges céramiques et lithiques mélangés au matériel protohistorique, dans des remblais médiévaux notamment. Ces contaminations sont attestées au sein des niveaux de l'âge du bronze et de l'âge du fer fouillé depuis 2014 mais restent limitées. En effet, la stratigraphie est très compressée sur le site, les différentes unités stratigraphiques de faibles puissances et les niveaux les plus anciens sont directement en contact avec le substrat granitique. Il ne semble pas y avoir eu de grands apports de remblais, ni de dépôts de sédiments provenant de la partie sommitale. Nous en concluons donc que même si les niveaux protohistoriques ont pu être contaminés par du matériel néolithique, cela ne peut pas expliquer la présence de toutes les

pièces lithiques mises au jour. Les datations sur graines carbonisées étant très cohérentes avec la stratigraphie observée à I Casteddi, on pourrait penser que les mouvements de matériel entre US ont été minimes. Cependant, le mobilier datable ayant souvent été prélevé dans des faits particuliers comme des fosses ou des trous de poteaux, nous ne pouvons que prudemment extrapoler cette observation au matériel lithique. En effet, la compression de la stratigraphie, ainsi que le creusement régulier de nouveaux trous de poteaux, a certainement favorisé les mouvements de matériel entre US. Si la nature protohistorique de ce matériel nous apparaît donc très probable, il nous semble difficile de préciser à quelles époques celui-ci à réellement été utilisé durant les 1500 ans d'occupation. Nous avons analysé, afin d'en déterminer la provenance, les artefacts en rhyolites mis au jour sur le site d'I Casteddi lors des campagnes de fouille de 2014, 2015, 2016 et 2017. Les artefacts mis au jour lors des campagnes suivantes seront peut-être analysés dans un second temps, notamment si de nouveaux contextes stratigraphiques sont mis au jour, ce qui nous permettrait d'apporter des informations complétant la présente étude.

ii. Résultats des analyses

349 pièces ont été analysées et moins d'une dizaine seulement n'ont pas pu être analysées car de taille trop réduite. Les résultats des analyses géochimiques nous indiquent que les rhyolites proviennent d'au moins 25 sources géochimiquement distinctes que nous avons regroupées en 14 groupes de A à M pour faciliter l'étude (Fig. 90 et 91).

Le **Groupe A** (6 pièces) se compose de rhyolites assez fines dont la matrice très sombre tire légèrement sur le vert et contient de très nombreux feldspaths xénomorphes vert clair. Nous pouvons également observer de très rares feldspaths blancs (Fig. 92). Ces rhyolites n'ont pas de correspondance dans notre référentiel géologique mais sont assez proches chimiquement d'une rhyolite ramassée dans le delta du Fangu. Cependant, ce matériau se retrouve également dans la série lithique de l'abri des Castelli (niveaux Néolithique ancien, BDX23979 et BDX23939). Les compositions chimiques très particulières de ce groupe, notamment les concentrations en zirconium (plus de 1700ppm en moyenne) permettent d'imaginer une formation dans une zone de subduction avec de probables contaminations crustales provenant de roches mafiques préexistantes (Elliott, 2018). Le gisement peut donc se situer dans le massif du Monte Cintu, probablement dans sa partie sud étant donné la situation des sites sur lesquels cette matière a été identifiée pour le moment, cependant les roches mafiques n'y sont pas légion. Il est donc plus probable que ces rhyolites se soient formées en lien avec des complexes basiques permo-carbonifères. Ceux-ci affleurent notamment autour du Monte d'Oro, en particulier entre le ruisseau de Manganello et le lac d'Oro, à une douzaine de kilomètres à vol d'oiseau d'I Casteddi, où l'on trouve un massif de métadiorite qui se présente souvent sous forme d'enclaves à contact très net avec les granites encaissants "suggérant une mise en place subcontemporaine des magmas acides et basiques" (Amaudric du Chaffaut et al., 1985a,

1985b). Il existe également des formations du même type dans la région de Ghisoni et Vivario, au niveau du dôme de Sorba, dans les zones montagneuses du centre de l'île, à une vingtaine de kilomètres d'I Casteddi, où des filons rhyolitiques plus récents les recourent.

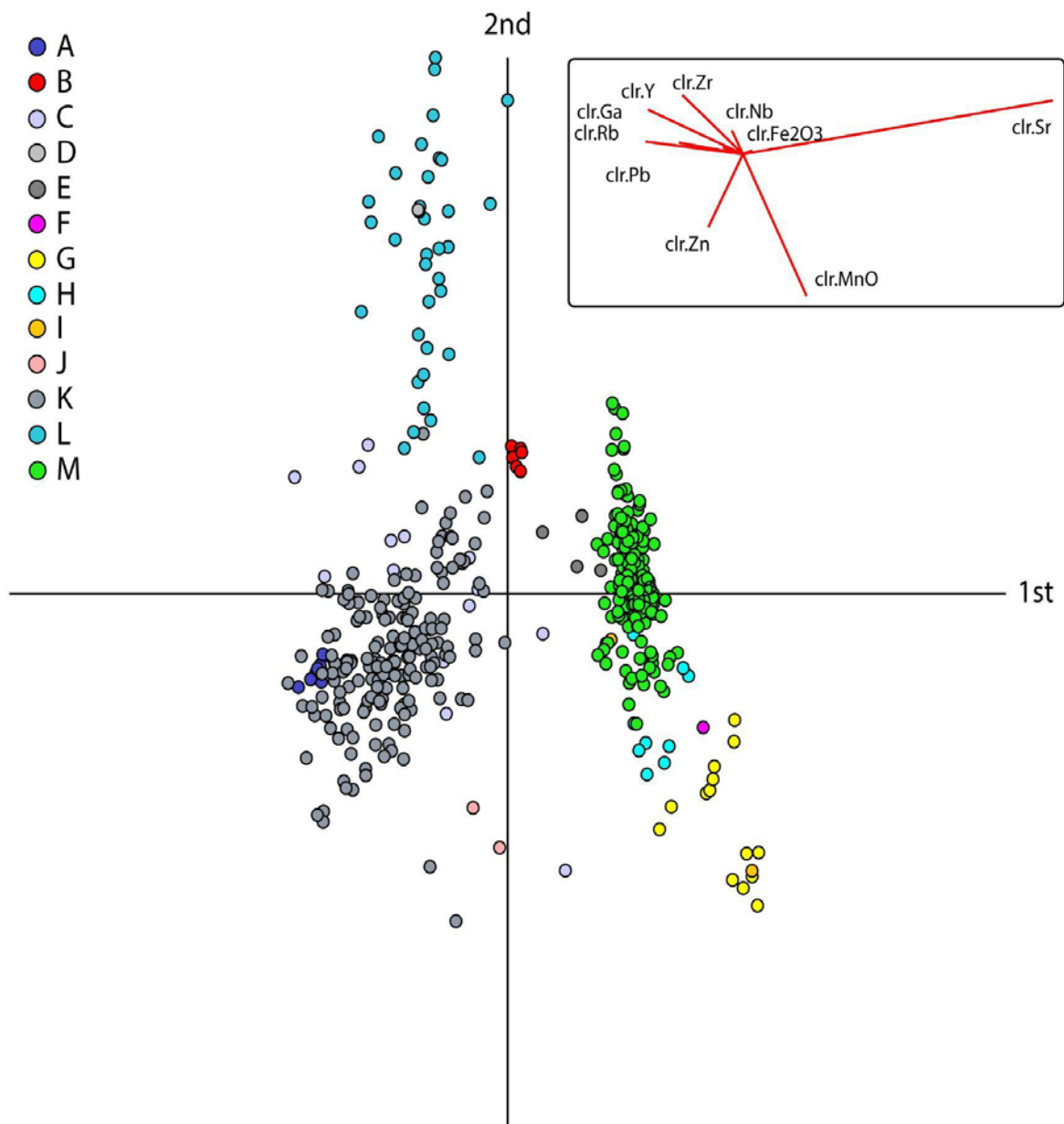


Figure 090 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites misent au jour à I Casteddi de 2014 à 2017. Projection de la 1^{ère} et 2^{ème} composante. L'ensemble des données est reporté en annexe.

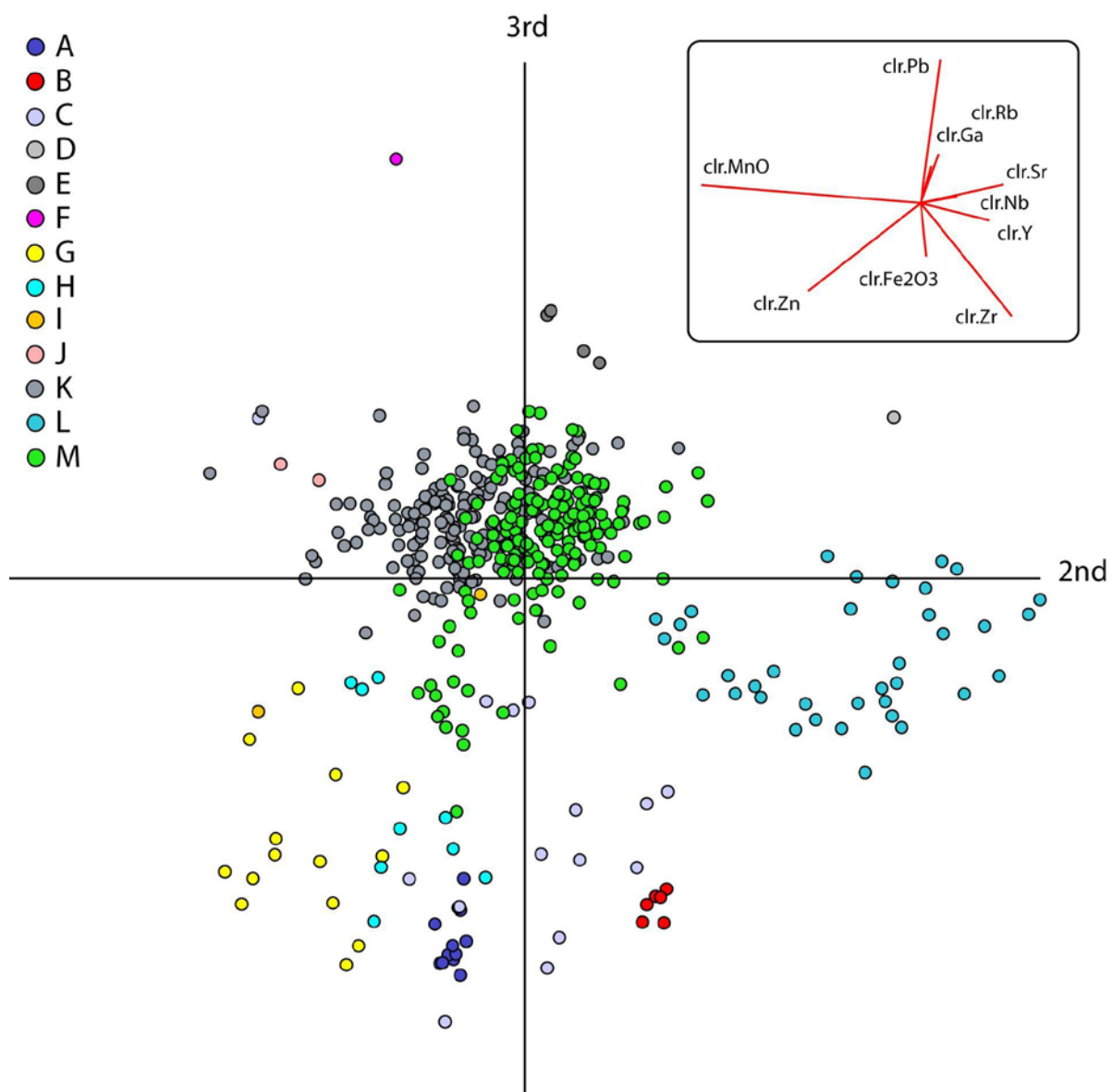


Figure 091: Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites mises au jour à I Casteddi de 2014 à 2017. Projection de la 2^{ème} et 3^{ème} composante. L'ensemble des données est reporté en annexe.

La typologie (éclats de façonnage, pièce corticale) et la présence de surfaces naturelles sans cortex sur les pièces permettent d'envisager l'exploitation d'un gisement primaire situé à quelques dizaines de kilomètres du site, nous ne pouvons pas trancher entre ces deux régions de provenance potentielle, mais toutes deux se trouvent dans les montagnes à l'est du site.

La rhyolite du **Groupe B** (3 pièces) est grise foncée légèrement verdâtre et très esquilleuse (Fig. 92). On peut y observer une très fine fluidalité et parfois la présence de très nombreux feldspaths blancs xénomorphes certainement apparus lors de la dévitrification de la matrice. Les compositions sont proches de celles d'échantillons (BDX23874 et 23088) provenant d'un gisement qui surplombe le Marsolinu, le dernier affluent du Fangu, sur la côte nord-ouest de la Corse. Le nombre réduit de pièces, leur typologie (des éclats de façonnage) et les compositions chimiques indiquent une provenance autour du massif du Cintu, sans plus de précision.



Figure 092 - Photographie des échantillons BDX23633 (groupe A), BDX2381 (groupe G), BDX23622 (groupe G), BDX23457 (groupe B), BDX23198 (groupe C), BDX23495 (groupe C) et BDX23328 (groupe C).

Le **Groupe C** (11 pièces) comprend une dizaine de petits éclats de façonnage en rhyolite noire aphyrique (Fig. 92). Il est visuellement très difficile d'identifier des faciès étant donné la taille des artefacts, cependant la géochimie permet de différencier sept groupes de compositions, la plupart représentés par un unique échantillon.

Le nombre d'analyses par groupe est bien trop faible pour effectuer des attributions de provenance précises par comparaison avec notre référentiel géologique. Cependant les compositions des artefacts du groupe C sont systématiquement très proches ou identiques aux compositions mesurées dans des rhyolites du massif du Cintu que nous avons échantillonné en position sub-primaire au pied des sommets du massif (plateau de Stagnu) ou en position secondaire au milieu des vallées du massif (Fangu, Tartagina, Ascu). On peut également noter des compositions semblables à plusieurs artefacts des sites de A Petra (Ile-Rousse, Haute-Corse), Abri des Castelli (Corte, Haute-Corse) et Basi (Serra-di-Ferro, Corse-du-Sud). Ces rhyolites sont

donc probablement originaires des zones d'altitude du massif du Cintu dans le nord-ouest de la Corse et ont été introduites sur le site sous forme de préformes ou d'objets finis ayant fait l'objet de retouches sur place.

Le **Groupe D** (1 pièce) ne comporte qu'un fragment d'éclat d'une rhyolite gris-clair moyennement fine. La provenance est inconnue mais la faible qualité du matériau permet d'envisager une origine relativement proche du site.

Une rhyolite verte translucide caractérise le **Groupe E** (4 pièces). La matrice très fine contient quelques phénocristaux de feldspaths ainsi que des inclusions vertes légèrement plus sombres (Fig. 93). Ces pièces sont visuellement et chimiquement très semblables aux artefacts en rhyolite verte mise au jour sur le plateau d'Alzu. La source est probablement identique et se situerait dans les montagnes du Cortenais.

Un seul échantillon compose le **Groupe F** (1 pièce), un petit éclat très altéré, qui ne correspond à aucune rhyolite de notre référentiel. Nous ne pouvons rien avancer quant à sa provenance.

Le **Groupe G** (10 pièces) semble former trois sous-groupes de rhyolites à grain assez grossier (Fig. 92). Deux échantillons (BDX23281 et BDX23480) sont quant à eux en rhyolite grise relativement fine et sont probablement des *outliers* du groupe M. Nous n'avons pas de correspondance avec les rhyolites de notre référentiel, mais les compositions sont assez proches de plusieurs rhyolites grossières du sud de l'île, comme certaines roches utilisées pour la fabrication d'outils de mouture mise au jour sur le site du Monti Barbatu (Olmeto, Corse-du-Sud). La provenance est très certainement locale, ce type de roche se trouvant fréquemment dans les lits de rivières



Figure 093 - Photographie des échantillons BDX23543 (groupe E), BDX23658 (groupe H), BDX23283 (groupe H), BDX23526 (groupe L), BDX23556 (groupe L), BDX23453 (groupe L) et BDX23369 (groupe L).

On peut identifier au sein du **Groupe H** (6 pièces) 4 sous-groupes. Tout d'abord les échantillons BDX23485-23505-23658 confectionnés dans une rhyolite grise foncée parcourue de quelques fractures/filonets plus claires et quelques phénocristaux de plagioclases. Les compositions

correspondent à celle des rhyolites d'un filon échantillonné sur les flancs du Monte d'Oro (BDX17912). L'échantillon BDX23321 correspond quant à lui à des rhyolites échantillonnées dans le lit de la Gravona. L'échantillon BDX23585 n'a lui pas de correspondance dans notre référentiel. Enfin, l'échantillon BDX23283 possède une composition chimique très proche de rhyolites vertes de la vallée du Fangu mais est macroscopiquement très différent. Une provenance autour du massif du Cintu est très probable pour ce dernier.

Une rhyolite grise-beige compose le **Groupe I** (2 pièces). La matrice contient des phénocristaux de feldspaths légèrement rosés et la qualité générale du matériau semble médiocre. Sa provenance est très certainement locale.

Le **Groupe J** (1 pièce) contient un petit éclat en rhyolite « marbrée » grise et beige. L'échantillon est probablement très altéré, nous ne pouvons donc pas en déterminer la provenance.

Le **Groupe K** (143 pièces) est le plus imposant de la série. Cette rhyolite se compose d'une matrice microcristalline grise foncée très fine et légèrement translucide sur les bords fins (Fig. 94). Les petites pièces peuvent être confondues avec de l'obsidienne, cependant certains échantillons présentent des phénocristaux de quartz et de feldspaths automorphes. Ces phénocristaux sont toujours présents sur les pièces pluri-centimétriques. Certains échantillons présentent un faciès très différent, parfois gris clair à beige, parfois gris parcourus de veines plus claires, lié à un état d'altération particulier. Cependant les compositions chimiques ne laissent pas de doutes sur la provenance unique de ces différents faciès. Cette matière, lorsqu'elle n'est pas altérée, est d'excellente qualité. Si de rares pièces présentent de nombreux phénocristaux il s'agit probablement d'éléments de décorticage éliminés à cause de la présence de ces impuretés. Le grand nombre d'éclats de façonnage indique que ces rhyolites ont certainement servi à la fabrication d'armatures perçantes à retouches bifaciales. Les compositions chimiques des échantillons correspondent à certaines rhyolites filoniennes des vallées du Taravu et de la Gravona. On retrouve très peu de cortex sur les artefacts mais lorsque celui-ci est présent il est peu important et indique que les rhyolites ont été prélevées en position secondaire ou sub-primaire. Le faible nombre de pièces corticales révèle une introduction de préformes sur le site, le dégrossissage des blocs s'étant déroulé probablement sur le lieu de collecte. Cette matière a également été retrouvée sur le site de Basi (groupe F).

La source de matière n'est certainement pas strictement locale et doit être recherchée à quelques dizaines de kilomètres du site, peut-être dans les montagnes du centre de l'île. Un ramassage opportuniste dans le lit de la Gravona, d'une matière de très bonne qualité mais assez rare, n'est pas à exclure mais semble improbable. Un gisement de rhyolite fournissant un matériau visuellement proche a également été identifié dans la basse vallée Prunelli (Amesiane-Federzoni, 2019), mais il n'est pour le moment pas intégré à notre référentiel et nous n'avons donc pas de données pour appuyer cette hypothèse actuellement.



Figure 094 - Photographie d'un échantillon des rhyolites du groupe K (BDX23668, 23523, 23284, 23349, 23446, 23355, 23402, 23494, 23307, 23330, 23610).

Le **Groupe L** (26 pièces) comprend essentiellement des petits éclats de façonnage et des fragments d'outils retouchés en rhyolite noire du massif du Cintu (Figure 93). Les échantillons se composent d'une matrice noire aphyrique dans laquelle se trouvent quelques rares phénocristaux de quartz, de feldspaths alcalins rosâtres et parfois des quelques feldspaths blancs. Un échantillon (BDX 23453) présente une matrice orangée. Plusieurs sources de matières sont certainement représentées mais il est difficile de les distinguer à l'œil nu sur des pièces de petite taille. La géochimie est d'une aide toute relative ici puisque le faible nombre d'échantillons et le peu de surface disponible à l'analyse permettent difficilement d'observer des groupes de compositions. Cependant, sept échantillons (BDX23287, 23295, 23335, 23390, 23481, 23514 et 23526) ont des compositions en tous points identiques à quatre artefacts déjà analysés provenant du Néolithique ancien du site d'A Petra (Haute-Corse) mais dont le gisement d'origine nous est inconnu. Aucun autre échantillon ne correspond clairement à un gisement contenu dans notre référentiel. Ces rhyolites proviennent donc du nord-ouest de la Corse, dans le massif volcanique du Monte Cintu, sans que nous puissions apporter plus de précisions.

Le **Groupe M** est formé de 129 pièces. Typologiquement les artefacts sont très variés. Si, comme dans le reste de la série, les éclats de façonnage sont majoritairement représentés, on trouve également de gros éclats retouchés, des nucléus, des éléments liés à l'entretien de nucléus ainsi que des armatures perçantes (Fig. 95 et 96). La roche est très esquilleuse et se compose d'une matrice microcristalline verte dans laquelle de nombreux phénocristaux de feldspaths blancs sont visibles. Des fluidalités sont parfois marquées.



Figure 095 - Photographies d'un échantillon des rhyolites du groupe M (BDX23637, 23347, 23443, 23367, 23524, 23343, 23502, 23286, 23552, 23648, 23350 et 23340).



Figure 096 - Photographie d'un échantillon des rhyolite du groupe M (BDX23586, 23437, 23448, 23649, 23381, 23297, 23352, 23574).

On observe au sein de ce groupe trois faciès distincts. Le premier se singularise par une matrice plus claire et translucide. La matrice du second faciès est plus sombre et sa couleur se rapproche du gris foncé. Le troisième faciès se caractérise par une matrice à grains moins fins et de couleur grise claire. Malgré ces différences parfois très marquées, ces pièces peuvent provenir d'un unique gisement au sein duquel existe une grande variabilité. Les faciès clairs et sombres sont d'ailleurs parfois visibles sur une même pièce. Il peut également s'agir de différents gisements proches géographiquement et formés lors du même événement magmatique.

Les pièces corticales montrent un cortex primaire qui indique l'exploitation d'un ou plusieurs gisements primaires. Les pièces présentant un faciès gris-clair ont des compositions semblables aux rhyolites du plateau d'Alzu. Le filon de rhyolite qui parcourt ce plateau a été intensément exploité durant la préhistoire, et les fouilles qui y ont été menées ont montré que l'extraction s'y est certainement concentrée autour du Néolithique final (Ameziane-Federzoni et al., 2014). C'est la première fois que l'on retrouve ces rhyolites dans un site de consommations en dehors du Cortenais. Quant à certaines rhyolites

au faciès vert-gris, leurs compositions correspondent à celles de filons situés sur les flancs du Monte d'Oro. La majorité des pièces n'ont pas de correspondances très claires avec d'autres gisements géologiques de notre référentiel, cependant leurs compositions les rattachent très clairement aux systèmes filoniens que l'on trouve dans le centre de la Corse. Ces rhyolites du groupe M ont donc été ramenées depuis plusieurs filons situés dans les montagnes, proches du site d'I Casteddi ou plus éloignées dans le Cortenais.

iii. Conclusion

Les rhyolites mises au jour à I Casteddi présentent une très grande diversité de provenances qui témoigne d'une forte mobilité des populations protohistoriques ayant occupées le site. Si l'environnement strictement local semble avoir été peu exploité, probablement par manque de matériaux de qualité, ces populations ont certainement largement tiré parti des zones plus reculées des montagnes du centre de la Corse d'où semble provenir la grande majorité des rhyolites d'I Casteddi (Fig. 97).

Les rhyolites d'origines plus lointaines sont beaucoup moins nombreuses mais indiquent quant à elles des contacts, certainement récurrents aux vues de la diversité des provenances, avec les populations occupant le nord-ouest de l'île. Les pièces mises au jour sont en très grande majorité des éclats de façonnage qui peuvent se rattacher aux dernières phases de la chaîne opératoire de production des armatures perçantes à retouches bifaciales.

Cette production de pointes de flèches en pierre est tout à fait possible à la fin de la Protohistoire. Néanmoins, la provenance des rhyolites n'est en rien corrélée aux différentes phases d'occupations du site, de l'âge du bronze et de l'âge du fer. En effet, le contexte stratigraphique d'I Casteddi permet en théorie d'étudier les approvisionnements de rhyolites en fonction des différentes époques d'occupation qui ont pu être bien identifiées. Nous nous attendions à ce que certaines sources de rhyolite soient utilisées au Bronze moyen et abandonnées à l'âge du fer par exemple mais nos observations ne font ressortir aucune logique particulière. Il semblerait qu'une partie du matériel lithique, constitué en majorité de petits éléments, se soit déplacé entre les différents niveaux de cette stratigraphie très compressée. Il est également possible que les stratégies d'approvisionnements n'aient que peu changé durant ces périodes.

Enfin, le caractère réellement protohistorique (âge du bronze et âge du fer) de cet assemblage lithique n'est pas définitivement tranché. Il faudra pour cela attendre que d'autres séries soient mises au jour en Corse au sein de sites comparables.

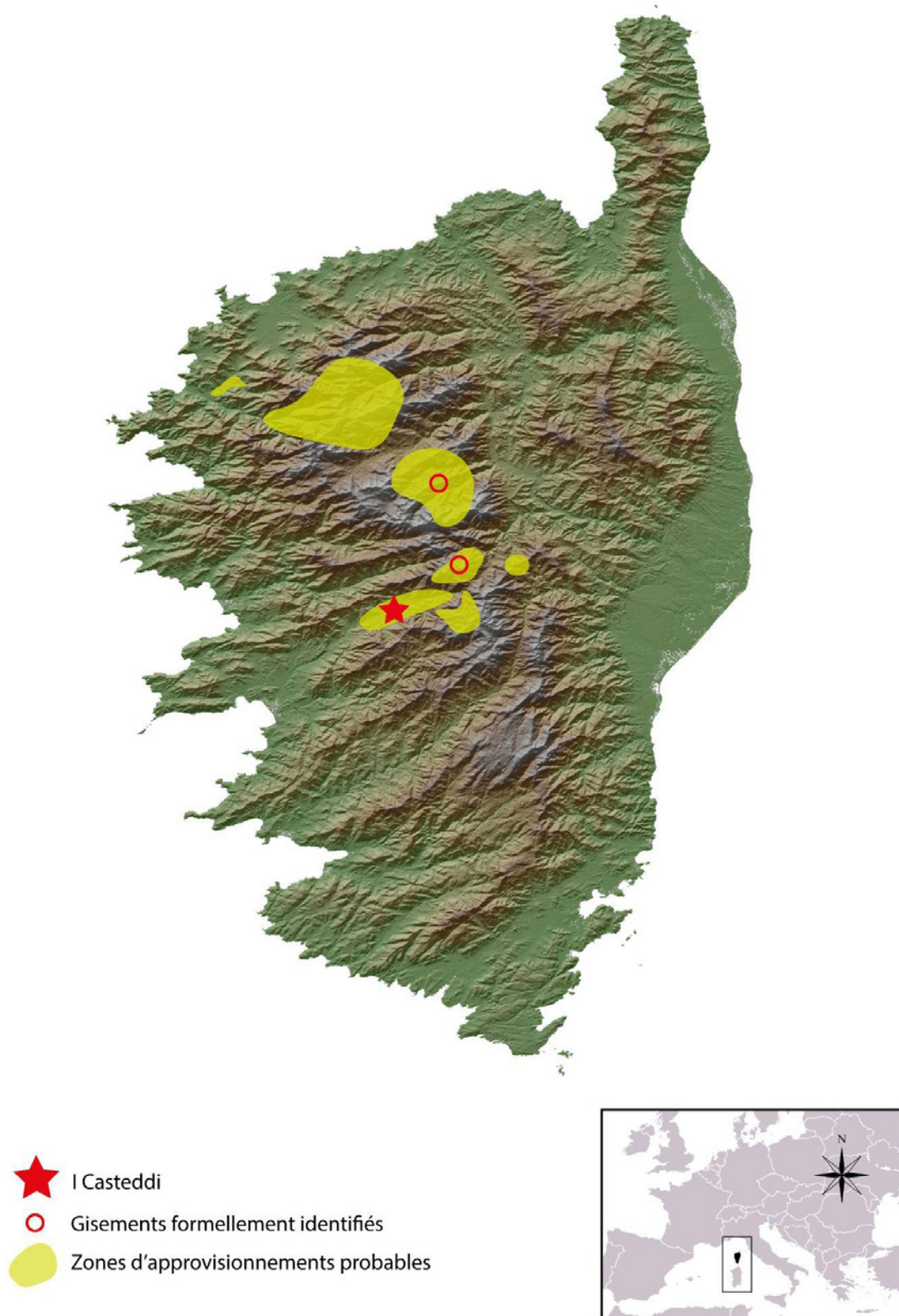


Figure 097 : carte des différents approvisionnements en rhyolite du site de I Casteddi (DAO : N. Frerebeau, A. Leck).

d. Renaghju

i. Présentation



Figure 098 : Monolithes de Renaghju.

Le site archéologique de Renaghju se situe sur la commune de Sartène, au sud-ouest de la Corse. À quelques kilomètres de la mer, entre le cours de la Navara et la vallée de l'Ortolo se trouve le plateau de Cauria, une zone très riche en entités archéologiques pré et protohistoriques dont certaines marquent encore le paysage, comme le dolmen de Funtanacia, l'alignement de statue-menhirs de Stantari et les alignements de menhirs de Renaghju (Fig. 98 et 99). Les alignements de Renaghju ont fait l'objet d'une première opération de fouille dès les années 1960 par R. Grosjean puis J. Liégeois dans les années 1970. Ces opérations ont permis de dégager les monuments, identifier les monolithes, rechercher des calages et remonter des menhirs couchés. Dans le cadre d'un PCR portant sur le mégalithisme en Corse (D'Anna et al., 2019a, 2019b), une opération de fouille archéologique est lancée en 1995 sous la direction d'André d'Anna avec la collaboration de Pascal Tramoni et Henri Marchesi. Ces fouilles se poursuivront jusqu'en 2000. La fouille de Renaghju a permis de mettre en évidence l'existence de deux phases de construction et d'utilisation des monuments mégalithiques, de mieux définir leur chronologie, de replacer le site dans un territoire riche et complexe (D'Anna et al., 2006) et d'identifier une occupation antérieure de cet espace, durant le Néolithique ancien.

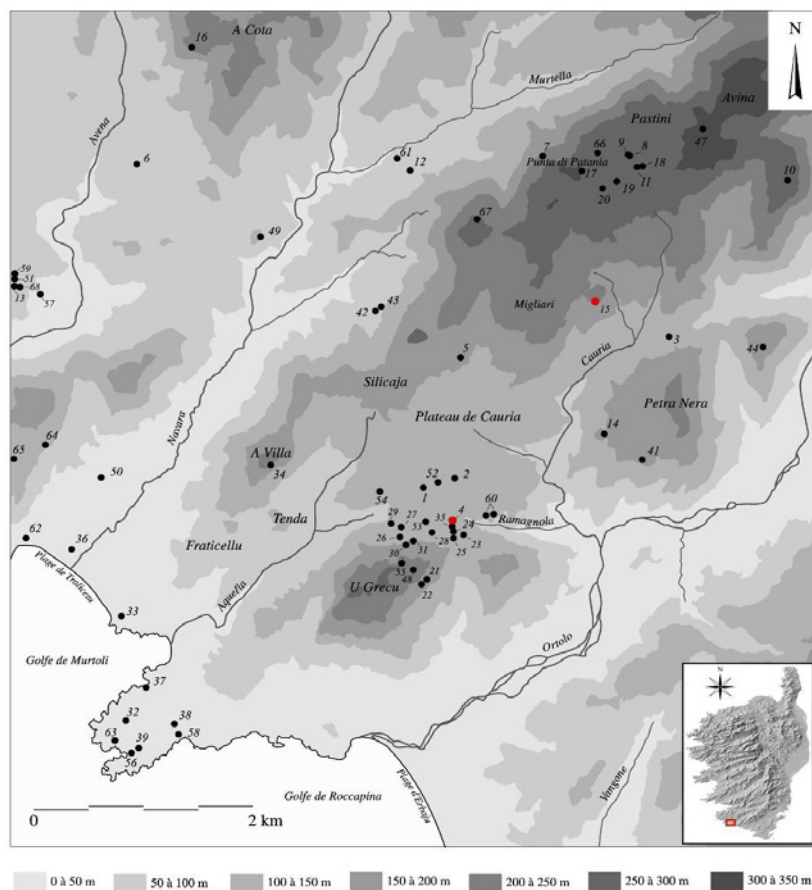
Les différents niveaux d'occupation du site sont découpés en 6 phases, du Néolithique ancien à l'époque moderne. Si plusieurs phases d'occupations sont datées de la pré- et protohistoire, nous avons choisi de nous focaliser sur l'analyse de la série lithique en rhyolite de la phase 1 uniquement dont l'occupation correspond à un habitat de plein air du Néolithique ancien. Deux maisons en terre comportant plusieurs foyers et braseros intérieurs ont pu être mises en évidence, ainsi que de grandes structures extérieures matérialisées par des empierrements

chauffés (D'Anna et al. 2001 et 2011). La fouille a permis de décaper une surface d'environ 500m² (D'Anna et al., 2003), même si les niveaux les plus anciens n'ont pas été atteints partout l'occupation du Néolithique ancien a pu être reconnue sur plusieurs centaines de mètres carrés. En conséquence, le matériel lithique mis au jour est extrêmement abondant. La nature de la céramique mise au jour permet de rattacher ce niveau au complexe régional Basi-Filliestru-Pienza, et plus généralement au Cardial méditerranéen. Les datations radiocarbone effectuées sont également cohérentes avec cette attribution : 6095 ± 45 BP (5188 - 4878 av. n.è.), 6525 ± 60 BP (5561 - 5317 av. n.è.) et 6769 ± 41 BP (5725-5621 av. n.è.) pour la plus ancienne (D'Anna et al, 2001).

Les phases 3 et 4 correspondent à deux stades d'érection et d'utilisation du monument mégalithique. Pour la phase 3, deux datations sur charbon ont permis de dater l'érection des premiers monolithes autour du milieu du 5^{ème} millénaire (D'Anna et al., 2000). Renaghju n'est alors plus un site où se déroule des activités domestiques, le matériel lithique est nettement moins abondant, la sédimentation moins rapide.

Les roches allochtones sont nettement majoritaires dans la série lithique de la phase 1, avec 46% de silex et 15% d'obsidienne (Bressy et al. 2003). Le silex étant principalement dédié à la production de lames et lamelles souvent transformées en armatures géométriques et troncatures. L'étude des silex a permis de déterminer qu'ils provenaient en très grande majorité du bassin de Perfugas, au nord de la Sardaigne (Bressy-Leandri, 2016). Les obsidiennes sont-elles en provenance du massif du Monte Arci, également en Sardaigne (Bressy et al., 2008). Le quartz et la rhyolite représentent quant à eux 30% et 9% pièces. Le quartz a certainement plusieurs origines : un quartz laiteux diaclasé, présent en blocs métriques à quelques centaines de mètres de site, un quartz laiteux peu diaclasé, présent sous forme de galets dans les cours d'eau environnants et un quartz hyalin, plus rare et certainement d'origine plus lointaine. Les deux premiers types ont surtout servi à obtenir des éclats utilisables sans retouches, bien que quelques pièces ont pu faire l'objet de retouches (Bressy-Leandri, 2016). Concernant les rhyolites, la provenance locale d'une partie des matériaux a pu être mise en évidence par une observation à l'œil nu et la ressemblance évidente entre certains artefacts de Renaghju et la rhyolite filonienne présente en bordure du plateau de Pastini à 2.5km du site où un atelier de taille a été découvert en prospection (Bressy et al., 2003).

La série lithique en rhyolite de la Phase 1 que nous avons analysée contient 554 échantillons. Cependant les matériaux ont souvent été mal identifiés. Nous avons renettoyé méticuleusement l'ensemble des pièces afin de les préparer à l'analyse EDXRF, ce qui nous a permis de reconnaître à l'œil nu de nombreux silex, obsidiennes, microgranites, quartz et roches vertes (type jadéite ou serpentinite). Certaines pièces ont nécessité une analyse XRF afin de formellement identifier la nature de leur roche. Nous avons ainsi écarté 114 pièces. La série lithique en rhyolite de la phase 1 de Renaghju contient donc en réalité 440 artefacts. Plusieurs objets



Le plateau de Cauria et ses environs, l'espace de compréhension : géographie et archéologie. 1. Fontanaccia ; 2. I Stantari de Cauria ; 3. Bocca di a Pila ; 4. Renaghju ; 5. A Manza ; 6. Pallaghju ; 7. Petra Pinzuta ; 8. A Cumpra ; 9. Cardiccia ; 10. U Cuncutu ; 11. Foce-Pastini ; 12. Dolmen d'Arghjola ; 13. Apazzu ; 14. Tiresa ; 15. Calavu ; 16. A Viccia ; 17. Punta di Patania ; 18. Pastini A ; 19. Pastini B ; 20. Pastini C ; 21. Cauria XVIII-XXI ; 22. Cauria XXII ; 23. Cauria IV ; 24-25. Cauria V-IX ; 26. Cauria X ; 27. Cauria XI-XV ; 28. Cauria II ; 29. Cauria I ; 30. Abri des Arbouses ; 31. Cauria XXIII ; 32. Abri de la Figue ; 33. Tralicetu-dune ; 34. Punta di a Villa ; 35. Renaghju II ; 36. Tralicetu-parking ; 37. Sapara d'Acquedda ; 38. Sapara Albitrina ; 39. Abri du Sanglier ; 41. Petra Nera ; 42. Manzavini I ; 43. Manzavini 2 ; 44. Punta di u Castellu ; 47. Piaghjola ; 48. Planu di u Grecu ; 49. Campu Tardu ; 50. dolmen de Tralicetu ; 51. dolmen d'Apazzu ; 52. Stazzona ; 53. Caseddù di Fontanaccia ; 54. Crucanesi ; 55. Punta di u Grecu ; 56. Cala Barbarina ; 57. Apazzu-Chjosu Novu ; 58. Murtuli ; 59. Punta d'Apazzu et abris ; 60. Ramagnola 1 et 2 ; 61. Arghjola 2 ; 62. Tralicetu-camp d'Agliaè ; 63. Cala Barbarina 2 ; 64. Turrione ; 65. Castidacciu ; 66. Punta Cardiccia ; 67. Castellu de Petra Pinzuta ; 68. Terre d'Apazzu.

Figure 099 : Plan de situation du plateau de Cauria et ses environs, riche de plusieurs dizaines d'entités archéologiques. Les points rouges correspondent aux sites de Renaghju, au sud, et Calavu, au nord, d'où proviennent les échantillons de rhyolites que nous avons analysés (D'après D'Anna et al., 2006).

en rhyolite, écofacts et artefacts, ramassés en prospection sur le site de Calavu ont également La série lithique en rhyolite de la Phase 1 que nous avons analysée contient 554 échantillons. Cependant les matériaux ont souvent été mal identifiés. Nous avons renettoyé méticuleusement l'ensemble des pièces afin de les préparer à l'analyse EDXRF, ce qui nous a permis de reconnaître à l'œil nu de nombreux silex, obsidiennes, microgranites, quartz et roches vertes (type jadéite ou serpentinite). Certaines pièces ont nécessité une analyse XRF afin de formellement identifier la nature de leur roche. Nous avons ainsi écarté 114 pièces. La série lithique en rhyolite de la phase 1 de Renaghju contient donc en réalité 440 artefacts. Plusieurs objets en rhyolite, écofacts et artefacts, ramassés en prospection sur le site de Calavu ont également été analysés et traités avec les artefacts de Renaghju. En effet, on y trouve exclusivement de la rhyolite de Pastini, probablement extraite sur place. Nous avons ainsi pu déterminer si ce gisement était précisément exploité dès la première phase d'occupation de Renaghju.

ii. Résultats des analyses

Cette série a fait l'objet d'un traitement particulier. La plupart des artefacts ont pu être classés en fonction de leur matériau sans l'utilisation de l'EDXRF ni aucune autre analyse géochimique. En effet, une très large partie de la série se compose des matières premières locales ou sub-locales identifiables à l'œil nu. L'efficacité de l'identification macroscopique a pu être testée et confirmée sur un échantillonnage de 50 artefacts sélectionnés aléatoirement comme nous avons pu le voir dans la partie précédente.

Nous avons identifié 14 groupes de compositions différents au sein des rhyolites de la phase 1 de Renaghju (Fig. 100 et 101). Le premier groupe est constitué des rhyolites dites "**de Pastini**" et compte 239 artefacts, dont 48 ont fait l'objet d'au moins une analyse EDXRF. Cette rhyolite, bien connue depuis de nombreuses années, provient d'un filon d'environ 6 km de long qui traverse le plateau de Pastini d'est en ouest. Elle est généralement facilement reconnaissable à l'œil nu mais la grande variété des faciès peut s'avérer trompeuse (Fig. 102 et 104). La matrice est grise, très sombre pour les variétés les moins altérées à très claires pour les plus altérées. Le cortex souvent gris clair peut prendre une teinte jaunâtre. Ce type de rhyolite a parfois été surnommé "rhyolite ocellée" (D'Anna et al., 2001) car la matrice dévitrifiée est souvent constituée de sphérolites pluri-millimétriques caractéristiques. Une texture fluidale est parfois visible. Certains échantillons sont très siliceux, contiennent peu de phénocristaux et fournissent donc un matériau de très bonne qualité. D'autres sont plus altérés ou bien concentrent de nombreux phénocristaux de feldspaths blancs pluri-millimétriques qui viennent parfois amoindrir les qualités de cette rhyolite.

Quelques expérimentations ont pu être menées sur ce matériau avec l'aide de Jérémie Vosges en 2018. Nous avons sélectionné un bloc parallélépipédique directement prélevé sur le filon à proximité de Calavu, dont le matériau semblait particulièrement fin et siliceux. L'obtention d'éclats allongés et tranchants fut facilement réalisable et la retouche de ces éclats relativement aisée. Il est intéressant de noter qu'un bloc de rhyolite du plateau de Stagnu a également fait l'objet d'expérimentations au cours de la même session et qu'il nous avait semblé présenter des qualités moindres. Il est donc tout à fait possible de trouver des matériaux taillables de très bonne qualité à proximité immédiate du site de Renaghju. Cependant, une grande partie des artefacts mis au jour et confectionnés dans cette rhyolite l'ont été depuis des blocs de moins bonne qualité, légèrement altérés et contenant plus de phénocristaux. Les populations néolithiques ont donc choisi d'investir peu de temps dans la sélection des blocs de rhyolites extraits à proximité du site. Ce choix est peut-être lié à une relative abondance des obsidiennes et silex sardes sur le site.

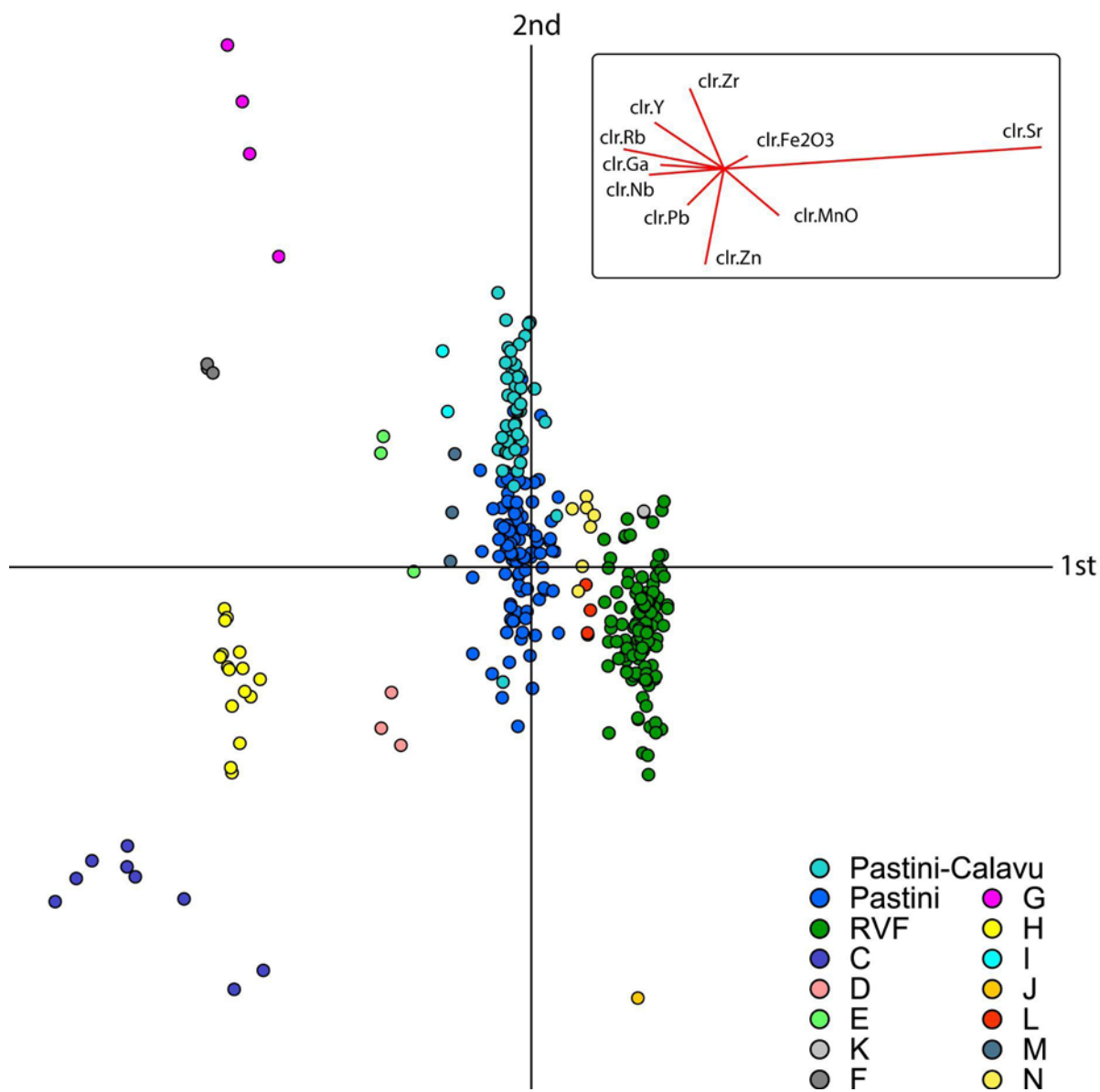


Figure 100 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de la phase 1 de Renaghju. Projection de la 1^{ère} et 2^{ème} composante. L'ensemble des données est reporté en annexe.

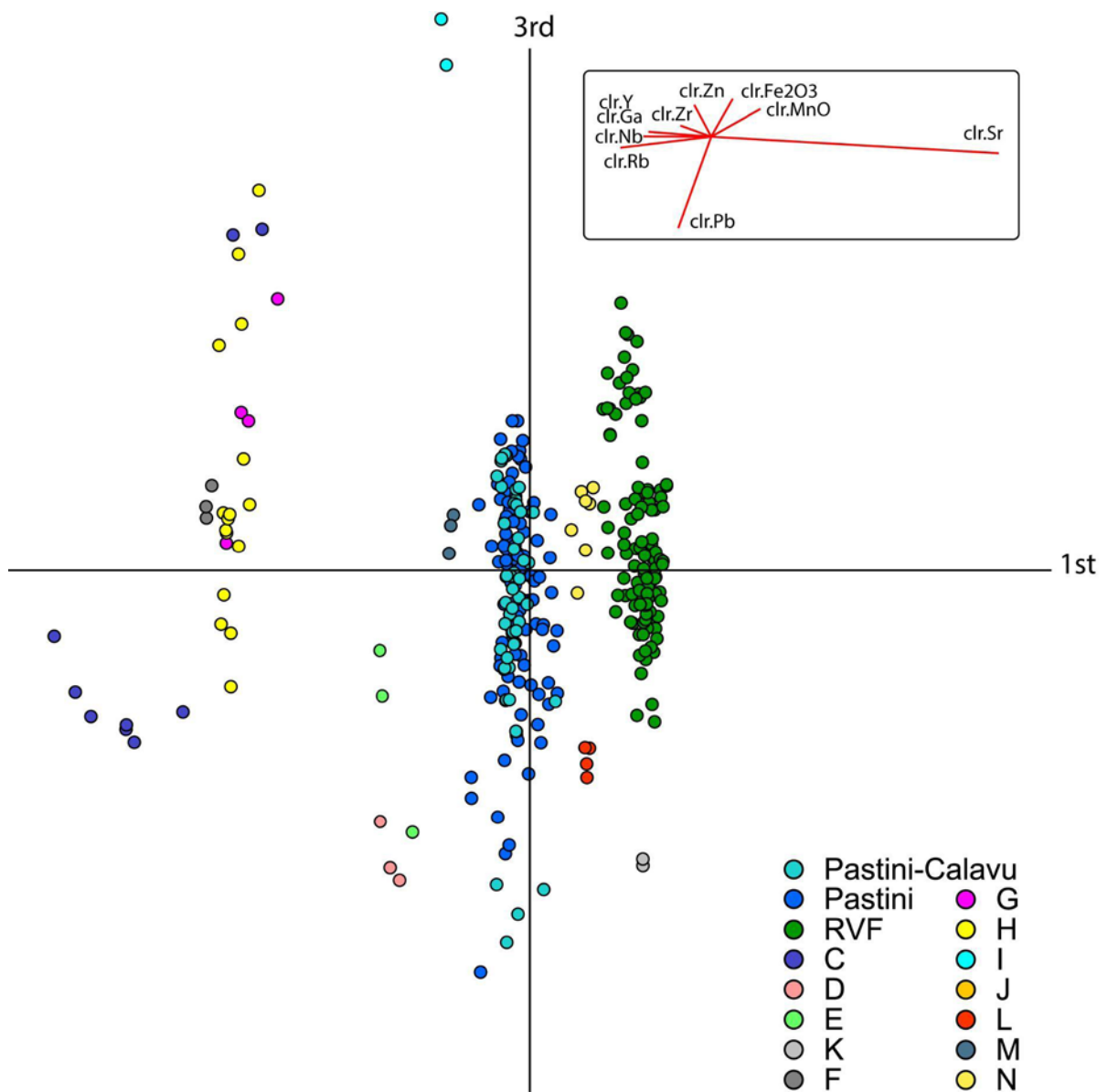


Figure 101 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de la phase 1 de Renaghju. Projection de la 2^{ème} et 3^{ème} composante. L'ensemble des données est reporté en annexe.

Si toutes ces rhyolites proviennent bien du filon de Pastini, il ne nous est pas possible de définir leur origine avec plus de précision. Néanmoins, les données géochimiques semblent indiquer que la zone d'exploitation autour du site de Calavu n'est pas celle qui était privilégiée par les populations du Néolithique ancien.

Le second groupe le plus important est constitué de 180 artefacts en rhyolite verte fine (RVF) dont 60 ont été analysées en EDXRF. Cette rhyolite est généralement verte sombre et aphanitique (Fig. 102 et 104). Quelques minéraux sombres sub-millimétriques sont parfois visibles ainsi que des phénocristaux pluri-millimétriques de feldspaths blancs dans de très rares cas. La finesse de la matrice, l'absence de phénocristaux et la forte patine qui recouvre une partie des pièces lithiques mises au jour à Renaghju ont amené à confondre un certain nombre de ces rhyolites avec des obsidiennes (Orange et al., 2018). Cependant on trouve aussi sur le site des faciès de moins bonne qualité, avec un bandage alternant vert sombre et beige-jaune ou des cortex beige tirant sur le jaune très important. Ici encore, les qualités et les faciès sont extrêmement variés et sans les analyses géochimiques nous n'aurions sans doute pas compris que l'ensemble de ces pièces provenaient très probablement du même gisement.



Figure 102 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Renaghju. (N°-BDX-Groupe) 1-21602-RVF, 2-21663-RVF, 3-221984-Pastini, 4-21448-Pastini, 5-21889-RVF, 6-21749-RVF, 7-21776-Pastini, 8-21370-Pastini, 9-21649-Pastini, 10-21774-RVF, 11-21560-Pastini, 12-21504-RVF, 13-21707-Pastini, 14-21888-Pastini, 15-21869-RVF, 16-21671-Pastini, 17-21513-Pastini, 18-21752-Pastini, 19-21710-Pastini.

La source de cette rhyolite n'a pas été formellement identifiée mais de nombreux indices nous indiquent que le gisement est à rechercher à proximité immédiate du site de Renaghju. En effet, on retrouve beaucoup de pièces corticales ainsi que des faciès de faible qualité. De plus, autour du site de Calavu, au pied du plateau de Pastini, un nucléus ramassé en surface et à peine entamé nous a interpellé. Il est en rhyolite assez grossière que nous aurions visuellement identifiée comme un faciès particulier du filon de Pastini mais il s'est avéré être une RVF d'après l'analyse géochimique. Enfin, un galet de rivière en rhyolite verte fine, mais contenant de larges phénocristaux de feldspaths, ayant servi de percuteur a également été identifié. Ce percuteur semble indiquer que le gisement primaire surplombe l'Ortolo ou l'un des ruisseaux proches du site. Nous pouvons émettre trois hypothèses quant à l'emplacement du gisement primaire. La plus probable est qu'il s'agisse d'un petit filon proche du plateau de Pastini encore non identifié. Il est aussi possible que des filons de rhyolite répertoriés entre Serragia et la Punta di Valanicu, à 4 km à l'ouest de Renaghju aient pu fournir ce matériau (Fig. 103). Enfin, il existe dans la zone de l'actuel barrage de l'Ortolo, vers Petra Niella et i Verci, à un peu plus de 12km à vol d'oiseau de Renaghju une série de filons rhyolitiques mais il sont certainement trop éloignés du site de consommation.

Le **groupe C** est composé de 5 pièces en rhyolite grise, fluidale et sphérolitique. Ce groupe a de fortes ressemblances avec certains faciès des rhyolites de Pastini mais se distingue nettement par ses compositions chimiques. Ces dernières se rapprochent de celles du Groupe K des rhyolites d'I Casteddi qui sont pourtant visuellement différentes. La provenance de ses rhyolites est donc pour le moment inconnu.

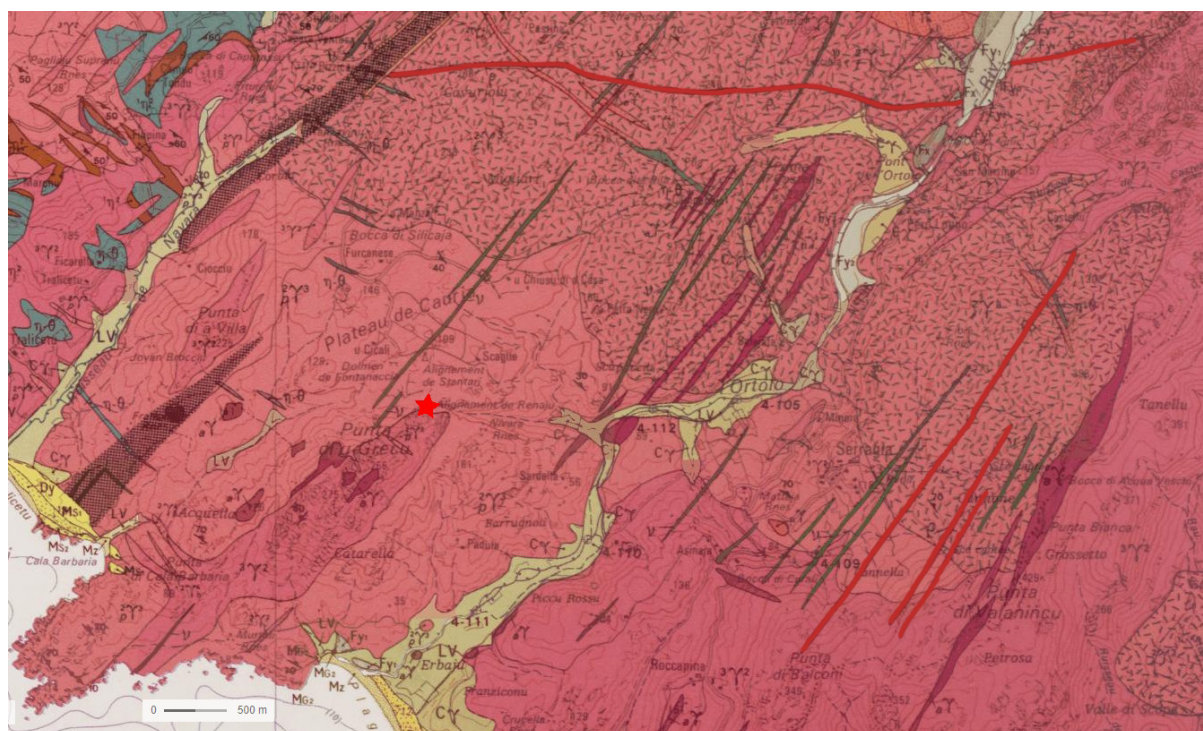


Figure 103 : carte géologique du plateau de Cauria et de ses environs. L'emplacement du site de Renaghju est indiqué par une étoile rouge, on distingue en rouge les filons de Pastini au nord et de Serragia à l'ouest.

Le **groupe D** comporte un unique échantillon (BDX21521), un éclat cortical d'une rhyolite moyennement fine dont la matrice grise claire prend une teinte foncée au contact du cortex jaune. Le **groupe E** comporte également un échantillon (BDX21609) d'une rhyolite fluidale très claire qui semble fortement altérée. Ces deux rhyolites ont probablement fait l'objet d'un ramassage opportuniste à proximité du site.

Les **groupes F** (BDX21748, éclat retouché) et **G** (BDX21630, probable fragment d'armature tranchante) présentent des caractéristiques typiques des rhyolites du Cintu. La première est une rhyolite noire violacée, aphanitique avec petits phénocristaux de feldspaths rose-orangé, la seconde présente une matrice grise foncée très fine de texture rhéologique, ignimbritique. Les groupes F et G ont des compositions très proches de certaines rhyolites de A Petra et de l'abri des Castelli provenant également de niveaux du Néolithique ancien. On retrouve également quelques correspondances avec des artefacts mis au jour à I Casteddi. Ces échantillons présentent des caractéristiques assez répandues dans les roches que nous avons pu prélever dans les hautes-vallées de l'Ascu et du Fangu. Elles proviennent donc sans conteste du massif du Cintu mais nous ne pouvons apporter plus de précisions.

Le **groupe H** comporte cinq éclats d'une rhyolite verte fluidale composée d'une alternance de bancs millimétriques plus ou moins clairs. La matrice est cryptocristalline et comprend quelques phénocristaux millimétriques de quartz et de feldspaths blancs. Seuls les plus gros feldspaths sont altérés. Quelques minéraux sombres millimétriques sont visibles, probablement des biotites. Les compositions géochimiques sont très proches de celles que nous avons mesurées pour un échantillon de cinérite ramassé par N. Ameziane-Federzoni sur le plateau de Stagnu, dans le massif du Cintu. Cette rhyolite correspondrait aux tufs cinéritiques des projections pyroclastiques supérieures définies par P. Vellutini, que l'on retrouve uniquement autour de "la partie sommitale du massif de la Muvrella (Haut-Ascu)" (Ameziane-Federzoni, 2011, Vellutini et al., 1996, Vellutini, 1977). L'examen visuel confirme cette parenté et nous pouvons donc attribuer la provenance de ces rhyolites à cette région. La plupart des pièces ont perdu de leur éclat vert et ont bien palis, certainement sous l'effet d'une altération post-dépositionnelle. Le plus gros éclat (BDX21612) ne semble pas affecté par cette altération et l'on peut encore y distinguer la présence d'une partie de cortex qui indique un ramassage du matériau en position primaire ou sub-primaire. Il s'agit de la partie distale d'un éclat de ravivage du nucléus qui n'a probablement jamais été utilisé comme outil bien qu'il présente un bord encore tranchant. Cet éclat témoigne de l'introduction de ce matériau sur le site de Renaghju sous la forme de bloc brut ou partiellement dégrossi.

Le **groupe I** se compose d'une seule pièce (BDX21578), une armature tranchante en rhyolite grise-verte aphanitique dont la matrice présente une texture fluidale alternant des phases plus ou moins sombres. La surface scintille légèrement, trahissant la présence de nombreux quartz micrométriques. Nous n'avons pas de rhyolite équivalente dans notre référentiel mais

elle se rapproche grandement, visuellement et chimiquement, de plusieurs échantillons que nous avons pu prélever dans le massif du Cintu. Cette rhyolite provient donc très certainement du nord-ouest de l'île.

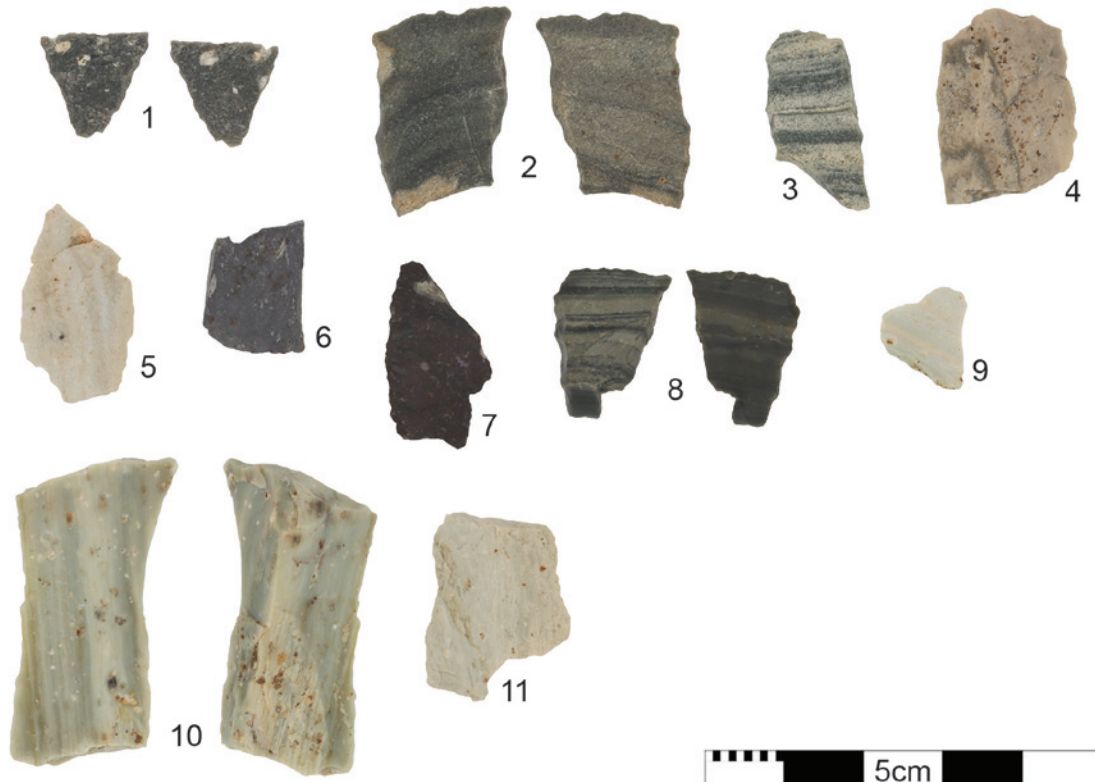


Figure 104 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Renaghju. (N°-BDX-Groupe)
1-21636-Pastini, **2**-21579-RVF, **3**-21702-RVF, **4**-21755-C, **5**-21373-C, **6**-21630-G, **7**-21748-F,
8-21578-I, **9**-21742-H, **10**-21612-H, **11**-21484-H.

Le **groupe K** contient un unique éclat d'une rhyolite grise claire dont la structure fluidale est à peine visible. L'objet a été retouché malgré une texture relativement grossière. Il s'agit d'une roche très certainement locale, peut-être ramassée de manière opportuniste.

Le **groupe M** ne contient également qu'un échantillon, d'une rhyolite grise claire montrant des différences de teintes mais ne suivant pas de fluidalités. Quelques phénocristaux de feldspath blanc. Rhyolite proche visuellement et chimiquement des rhyolites de Pastini. Provenance certainement locale, en marge du filon principal ou ramassé dans la rivière.

Le **groupe N** compte deux échantillons façonnés dans une roche visuellement très proche des rhyolites de Pastini. Il s'agit cependant probablement d'un autre gisement proche et charrié par un ruisseau ou l'Ortolo car les compositions chimiques sont légèrement différentes de celles du filon de Pastini et l'on retrouve un cortex fluvial sur le premier échantillon (BDX21597) et de nombreuses failles typiques des galets de rivière dans le second (BDX21615).

Le **groupe J** se compose d'un petit fragment de macro-outil en rhyolite beige micro-grenue. Il est proche visuellement du groupe L qui ne comporte également qu'un seul échantillon

(BDX21596), un gros éclat provenant d'un outil de mouture (surface polie) en rhyolite gris-beige à grain assez grossier. Ce type de matériau est ubiquiste dans tout le sud de la Corse, sa provenance est sans doute locale.

iii. Conclusion

Les rhyolites d'origine locale constituent donc la très grande majorité de la série étudiée, avec 426 des 440 pièces. Cette situation nous semble tout à fait logique au vu de la très bonne qualité des matériaux disponibles à quelques kilomètres seulement du site de Renaghju. Ces gisements de rhyolites seront exploités pendant encore plusieurs millénaires. On retrouve bien sûr ces matériaux dans les niveaux plus récents de Renaghju, mais également au Monti Barbatu, plusieurs dizaines de kilomètres plus au nord, au sein de niveaux du Néolithique récent, au début du 4^{ème} millénaire. Il semblerait donc que les populations néolithiques aient prospecté la région à la recherche de matériaux lithiques de qualité dès leur implantation sur ce territoire. Malgré une connaissance des gisements fournissant les meilleurs matériaux, les habitants de Renaghju ont confectionné bon nombre d'artefacts en rhyolites locales dans des roches très peu qualitatives, comprenant des parties corticales épaisses, des fissures, de larges phénocristaux ou tout simplement une texture grossière et peu esquilleuse. De plus, la qualité du matériau utilisé ne semble pas toujours en lien avec le type de produit recherché. On retrouve par exemple de fines armatures de trait en rhyolites fortement chargées en phénocristaux de feldspaths qui rendent très compliquée l'obtention de ce type d'outils et qui les fragilisent également à l'usage.

Une partie des rhyolites locales ont donc probablement fait l'objet d'un ramassage opportuniste. On retrouve par exemple quelques pièces produites à partir de galets certainement récupérés dans l'Ortolo ou un ruisseau proche du site. Les rhyolites filoniennes, prélevées en position primaire mais ne présentant pas les meilleures qualités pour la taille proviennent peut-être d'un autre site occupé par les populations néolithiques de Renaghju ou bien près d'un lieu de passage qu'ils fréquentaient régulièrement. On peut également noter un possible lien avec l'approvisionnement en argile pour la céramique, dont les gisements se situeraient "sur la terrasse de l'Ortolo, [...] la vallée de la Navara, [...] sur le versant sud-est du plateau de Pastini, en contrebas du filon de rhyolite" (Bressy et al., 2003). Les études précédentes identifiaient les rhyolites vertes fines comme des matériaux probablement non locaux. Les rhyolites de Pastini étaient également considérées comme des matériaux de mauvaise qualité alors que certaines parties du gisement fournissent des roches très aptes à la taille, elles n'ont simplement volontairement pas été systématiquement utilisées. La conclusion selon laquelle l'introduction de matériaux allochtones sur le site, notamment les silex "semblent répondre à un besoin économique, suscité par l'absence de matériaux siliceux de bonne qualité à proximité du site" (Bressy et al., 2003) est aujourd'hui à nuancer et à préciser.

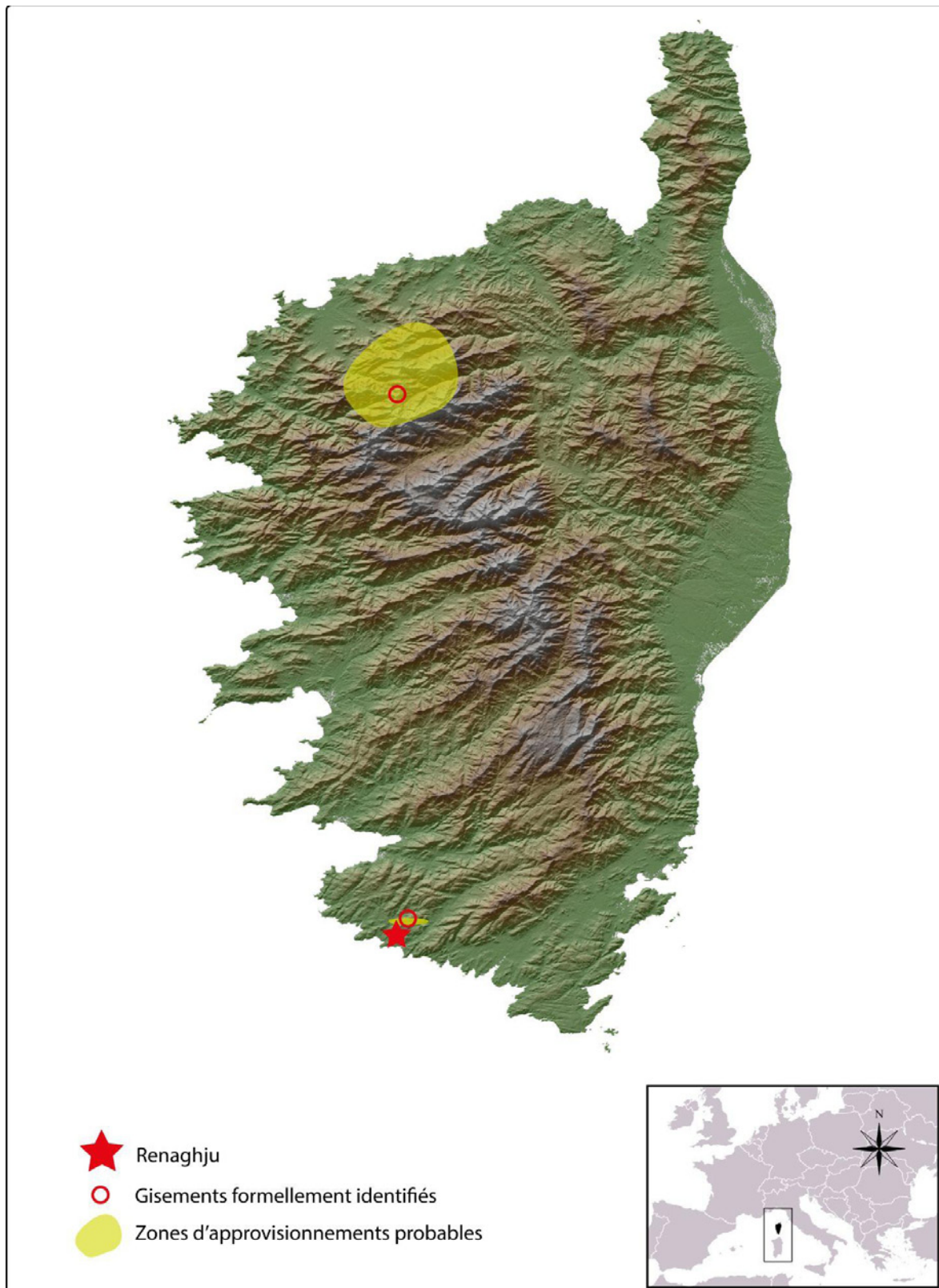


Figure 105 : carte des différents approvisionnements en rhyolite de la phase 1 de Renaghju. 97% des pièces proviennent de gisements locaux, 2% du massif du Cintu au nord-ouest et quelques rhyolites sont de provenance inconnue (DAO : N. Frerebeau, A. Leck).

Les matériaux de qualité ne faisaient pas défaut localement mais ne permettaient certainement pas la production lamellaire permise par les blocs de silex ramenés de Sardaigne. Ces lames et lamelles étant le plus souvent tronquées pour fabriquer des armatures de trait ou des objets composites comme les couteaux/faucilles. Les populations du Néolithique ancien de Renaghju ont donc choisi de s'approvisionner en silex à travers les bouches de Bonifacio plutôt que d'adapter la chaîne opératoire de production d'armature et de couteau/faucille au matériel géologique présent localement. Nous pensons que cela peut s'expliquer par un fort conservatisme technique de ces populations. Nous pouvons peut-être même envisager que ce conservatisme s'applique aussi au matériau lui-même. Ces communautés étant installées depuis peu de temps en Corse, elles auraient ainsi pu trouver évident, peut-être même rassurant, d'utiliser un silex auquel elles étaient habituées sur le continent. Enfin, ces comportements ne prennent sens qu'en envisageant une navigation bien maîtrisée et des déplacements relativement fréquents.

Les artefacts en rhyolites provenant du nord-ouest de la Corse sont quant à eux très nettement minoritaires, nous n'en comptons que huit. La plupart d'entre eux sont des outils et ont très certainement été introduits sur le site sous cette forme. Les rhyolites du groupe H sont les seuls à montrer différentes étapes de la chaîne opératoire, dont un éclat cortical indiquant que le bloc d'origine a certainement été ramassé en haute-montagne dans le massif du Cintu. Ces matériaux sont de bonne qualité, mais les habitants de Renaghju ne semblaient pas en manquer. Les silex et obsidiennes sardes sont plus nombreux que les matériaux lithiques locaux sur le site et la source de rhyolite locale fournit un très bon matériau. Ils ont peut-être été appréciés pour leur exotisme puisqu'ils présentent des couleurs et textures différentes des roches habituellement utilisées sur le site. Cependant, la recherche de beaux matériaux ou de textures et couleurs inhabituelles ne semble pas avoir été la préoccupation des populations néolithiques de Renaghju. Ces quelques pièces n'ont alors peut-être été qu'un prétexte à l'échange et au contact avec des populations habitants plus au nord.

Observés de manière globale, les approvisionnements en matériaux lithiques durant le Néolithique ancien à Renaghju sont multiples et très diversifiés. Au côté des roches lointaines comme le silex, l'obsidienne ou les rhyolites du Cintu, les roches locales sont largement utilisées. Cependant, contrairement à ce qu'on peut voir sur d'autres sites et durant d'autres périodes, les stratégies d'approvisionnement semblent variées au sein de chaque type de matériau : ramassage opportuniste, exploitation de carrière, approvisionnement direct, échange à longue distance et peut-être échange de proche en proche de certains outils finis. On peut ainsi entrapercevoir l'image d'une société mobile, au sein de laquelle l'exploitation des matières premières n'est pas encore rationalisée et structurée mais se fait au gré de déplacements certainement nombreux et fréquents.

e. Abri des Castelli

i. Présentation

L'abri des Castelli est un abri sous bloc situé à haute montagne à 2140m d'altitude (Fig., 106). Le site se trouve sur la commune de Corte (Haute-Corse), il surplombe les vallées de la Restonica et du Tavignanu dont les cours se rencontrent à Corte avant de rejoindre la mer par la plaine orientale. Le site a été découvert en 2004 lors d'une prospection de la vallée de la Restonica par l'association Ouenikion. La présence de pointes de flèche en rhyolite, typologiquement néolithiques, dans une zone protégée par le surplomb d'un très gros bloc de granite d'une dizaine de mètres offrant l'un des rares abris à proximité, a suscité l'intérêt des archéologues. Un filon de rhyolite a été exploité anciennement à 200m à l'est de l'abri et à certainement constitué un point d'attraction important. Un replat situé à 2000m d'altitude à quelques centaines de mètres en contrebas de l'abri (I Pozzi) a probablement accueilli une occupation de plein air (Mazet et al., 2016).



Figure 106 : Abri des Castelli vu du nord-ouest, cliché : S. Mazet (Mazet, 2014).

Une étude archéologique et paléo environnemental a été menée sur ce site et son environnement au cours de cinq missions de recherche entre 2008 et 2014 et a permis pour la première fois de mieux comprendre l'occupation de la haute montagne corse par les populations du Néolithique. Il a également été possible de restituer en partie l'environnement végétal de l'abri au cours des 6^{ème}, 5^{ème} et 4^{ème} millénaires, il s'avère que la crête était certainement boisée

durant cette période, probablement recouverte d'une forêt de pins. Le potentiel cynégétique de cet espace était donc certainement bien plus important qu'il ne l'est aujourd'hui (Mazet et al., 2016).

L'abri a été fouillé sur un peu moins de 10m² et seulement 0.25m² concernant les niveaux les plus anciens du 6^{ème} millénaire. Cependant, la série lithique mise au jour est conséquente et comprend 7000 vestiges en silex, obsidienne, quartz mais surtout en rhyolite (80%), dont presque 200 armatures de trait de différents types (Fig. 107). L'obsidienne (8%) et le silex (0.2%) proviennent de Sardaigne (Mazet et al., 2014). Quant au grand nombre de pièces en rhyolite, il s'explique bien sûr par la proximité du gisement et de la qualité tout à fait convenable du matériau que l'on y trouve. Cependant, des dizaines de rhyolites présentent d'autres faciès et proviennent certainement de plus loin.

Nous avons pu étudier une petite partie de l'assemblage lithique mis au jour. Tout d'abord, plusieurs échantillons nous ont été confiés début 2016 grâce auxquels nous avons pu mener l'étude exploratoire qui a conduit à ce travail de thèse. Dans le cadre de cette étude nous avons analysé 20 échantillons géologiques prélevés sur le filon de rhyolite proche de l'abri ainsi que 12 artefacts en rhyolite locale issus du nettoyage de surface de l'abri. Ces échantillons ont été analysés en EDXRF au CRP2A suivant le protocole utilisé par F.-X. Le Bourdonnec pour la caractérisation d'obsidienne (Lugliè et al., 2014 et Orange et al., 2017). Quelques pièces ont également été analysées en MEB-EDS, DRX et LA-ICP-MS (Leck et al., 2018). Cette étude exploratoire nous a permis de démontrer qu'il était possible, grâce notamment aux concentrations en manganèse, de différencier les rhyolites du plateau d'Alzu et d'I Castelli séparées de quelques kilomètres et probablement issues d'un même filon. Ces échantillons sont retournés en 2016 avec le reste de la série en dépôt au musée J. Carcopino d'Aleria. Nous avons cependant conservé les prélèvements que nous avons effectués sur 8 échantillons (dont une pièce archéologique). Ces prélèvements ont pu être réanalysés avec notre nouveau protocole EDXRF et sont donc intégrés à cette étude.

Nous avons profité du passage à Bordeaux de Lauriane Martinet, doctorante au CEPAM, qui conduisait alors l'étude typo-technologique de la série lithique du Néolithique ancien de l'abri des Castelli pour analyser quelques pièces. Nous n'avons pu étudier qu'une sélection de pièces qui ont été choisies pour représenter au mieux la diversité des faciès de rhyolite présents dans la série. Nous espérons donc que cette étude produise une image relativement représentative des différents approvisionnements en rhyolite malgré la faiblesse de l'échantillon. En effet, nous avons analysé 56 pièces en provenant de l'abri des Castelli, dont sept échantillons prélevés sur le filon de rhyolite, et effectué 153 analyses EDXRF au total. Nous avons ainsi pu identifier douze groupes de compositions différentes (Fig. 109). Malheureusement nous n'avons pas eu beaucoup de temps pour étudier ces échantillons et certaines attributions de provenance n'ont pas pu être confirmées par une analyse visuelle et restent donc en suspens.



Figure 107 : Exemples d'armatures perçantes, tranchantes et segments de cercle mis au jour dans l'abri des Castelli ou trouvés à proximité en prospection. (d'après Mazet et al., 2016).

ii. Résultats des analyses

Le **groupe A** correspond aux rhyolites du filon situé à 250m de l'abri. Dix-sept pièces analysées proviennent de ce filon. Elles représentent en réalité la quasi-totalité de la série lithique complète. Quatre pièces composent le **groupe B**. Elles sont chimiquement très proches des compositions du filon local mais se distinguent légèrement. Elles sont en réalité bien plus proches des compositions des rhyolites du plateau d'Alzu, il est donc très probable qu'elles aient été prélevées sur le plateau à deux ou trois kilomètres du site avant d'être ramenées dans l'abri.

Le **groupe C** se démarque nettement par une très forte concentration en zirconium. Parmi les cinq pièces de ce groupe, deux ont pu faire l'objet d'une observation macroscopique (BDX 22979 et 23939). Elles correspondent tant chimiquement que visuellement aux rhyolites du groupe A d'I Casteddi, à la matrice grise-bleu comprenant de nombreux phénocristaux de feldspaths xénomorphes verdâtres. Nous ne connaissons pas l'emplacement du gisement d'origine mais d'après les compositions chimiques ainsi que les sites où l'on retrouve cette matière il est probable que ces rhyolites se soient formées en lien avec des complexes basiques permo-carbonifères. Ceux-ci affleurent notamment autour du Monte d'Oro mais également dans le dôme de Sorba (Amaudric du Chaffaut et al., 1985a, 1985b) dans la région de Ghisoni et Vivario, dans les zones montagneuses au sud de l'abri des Castelli (cf supra). Ces zones d'approvisionnement potentielles se trouvent dans les montagnes au sud de l'abri des Castelli, à une douzaine de kilomètres à vol d'oiseau pour la première et presque une vingtaine de kilomètres pour la seconde.

Les groupes D (N=10), E (N=1), F (N=2), G (N=1), I (N=6), J (N=1), K (N=1) et L (N=1) ont des compositions qui les rattachent aux rhyolites du massif du Monte Cintu mais nous n'avons pas remarqué de correspondances très claires avec des gisements que nous aurions pu échantillonner. Ces groupes ne sont souvent représentés que par un seul échantillon. Ceux qui se composent de plusieurs échantillons regroupent certainement plusieurs faciès que nous n'arrivons pas à différencier avec uniquement les analyses géochimiques. Cela complique les attributions et nous ne pouvons donc pas fournir de provenance précise, nous pouvons cependant affirmer que les montagnes du nord-ouest de l'île, certainement dans leur ensemble, ont été parcourues par les populations ayant trouvé abri à I Castelli.

Le **groupe H** (BDX24963) se compose d'une armature tranchante en rhyolite grise claire qui présente une structure fluidale et de nombreux sphérolites de dévitrification. Elle correspond visuellement et chimiquement aux rhyolites du plateau de Pastini et plus précisément à celles que l'on retrouve sur le site de Calavu, dans le Sartenais, à environ 80 kilomètres de l'abri des Castelli. Il s'agit de la rhyolite la plus lointaine apportée sur le site. Cette attribution est très probable, le filon de Pastini est exploité dès le Néolithique ancien et des matières de provenance plus lointaine, le silex et l'obsidienne, ont été mises au jour lors des fouilles de l'abri. De plus, retrouver cette matière d'origine lointaine sous forme d'objet fini est tout à fait cohérent. Cependant, le type de composition du filon de Pastini est relativement courant parmi les rhyolites du sud de la Corse et d'autres filons fournissent des rhyolites grises fluidales portant des sphérolites. Notre référentiel étant encore aujourd'hui largement incomplet, nous préférons rester prudents.



Figure 108 : Sélection d'artefacts en rhyolite des niveaux Néolithique ancien de l'abri des Castelli analysés en EDXRF.

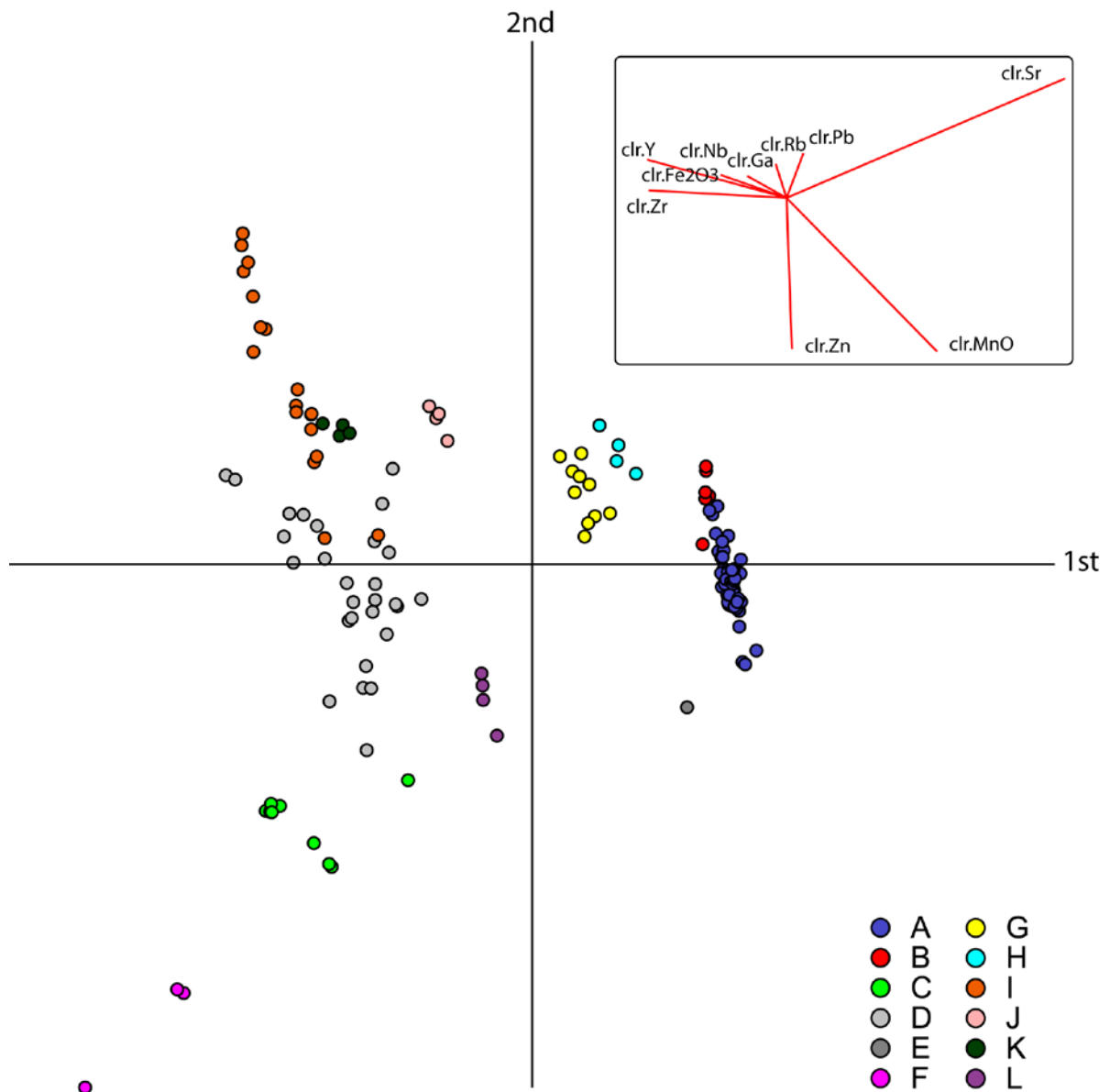


Figure 109 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF d'une sélection de pièces en rhyolites de l'Abri des Castelli. L'ensemble des données est reporté en annexe.

iii. Conclusion

La très large majorité des pièces en rhyolite mises au jour dans l'abri des Castelli proviennent du filon voisin. Les archéologues n'ont bien sûr pas eu besoin d'analyses géochimiques pour le déterminer. Cependant, nous avons pu remarquer que quelques pièces que nous avons analysées proviendraient plutôt du plateau d'Alzu, situé à quelques kilomètres. Or cette rhyolite peut-être visuellement identique à celle que l'on retrouve dans le filon des Castelli. Il pourrait donc être intéressant d'analyser non pas la totalité de la série, qui représente plusieurs milliers de pièces, mais un échantillonnage aléatoire, afin d'avoir une idée de la proportion d'artefacts en provenance du plateau. En effet, cela permettrait peut-être de relativiser l'importance qu'a pu avoir le filon voisin de l'abri comme élément attractif ayant conduit à l'occupation de ce site en particulier.

La plupart des rhyolites non locales que nous avons analysées proviennent du massif du Cintu, à une quinzaine de kilomètres au nord, nord-ouest de l'abri. Les conditions de cette étude ne nous permettent pas de définir des provenances précises mais nous observons néanmoins une grande diversité de sources exploitées, probablement plus d'une dizaine. L'ensemble des vallées qui ceignent le massif du Cintu devait donc être parcouru par les populations qui passaient par I Castelli. Si nous ne connaissons pas précisément la provenance des rhyolites du groupe C, il est très probable qu'elles proviennent d'un gisement un peu au sud de l'abri, certainement proche du Monte d'Oro. L'abri a donc été occupé par des personnes se déplaçant à travers les montagnes, venant aussi bien du Sud que du Nord.

Si ces distances de quelques dizaines de kilomètres à vol d'oiseau peuvent sembler relativement courtes, elles demandaient certainement plusieurs jours de marche pour être parcourues dans cet environnement très escarpé. À titre d'exemple, le chemin entre l'abri des Castelli et les pentes du Monte d'Oro suit aujourd'hui en grande partie le GR20, célèbre sentier de grande randonnée qui traverse la Corse par les montagnes. Les 15 kilomètres qui séparent ces deux lieux correspondent à 2.5 étapes du GR20, ce que la plupart des randonneurs effectuent en 2 jours environ. L'abri des Castelli n'était donc pas qu'une halte sur un trajet entre deux régions de plus basse altitude. L'espace montagnard constituait certainement un territoire attractif qui méritait d'être parcouru et occupé pendant des périodes de temps possiblement long et n'était donc pas qu'un lieu de passage.

Enfin des matériaux de provenance plus lointaine, le silex et l'obsidienne sarde, mais aussi la rhyolite du groupe H du Sartenais, nous indiquent que les populations qui s'abritaient à I Castelli avaient des contacts avec des groupes habitants le littoral, ou plus probablement habitaient elles-mêmes des régions de plus basse altitude et proches des côtes une partie de l'année. Les déplacements en haute montagne étant rendus très compliqués l'hiver, l'occupation de ces territoires d'altitude était très certainement saisonnière.

f. A Petra

i. Présentation

Le site de A Petra se trouve sur la commune de l'Île-Rousse (Haute Corse), sur une petite terrasse dominant la mer de l'Isula Grande, un îlot de granite qui émerge à quelques dizaines de mètres des côtes actuelles. En tenant compte des changements du niveau marin qui ont eu lieu au cours des derniers millénaires, il est fort probable que le site, tout en conservant son caractère côtier, était rattaché au reste de la Corse durant le Néolithique. Le site se situe en Balagne, micro-région du nord-ouest de la Corse appuyée contre les flans nord du massif du Cintu.

Le site a fait l'objet de nombreuses campagnes de fouilles, par M.-C. Weiss de 1985 à 1988 puis de 2003 à 2006 et enfin plus récemment par J. Sicurani depuis 2019. Ces opérations ont mis en évidence l'existence d'une occupation du Néolithique ancien s'étant étendu sur quelques siècles à la fin du 6^{ème} millénaire (Weiss, 2007). Plusieurs habitations légères ont été mises au jour ainsi que des aires d'activités. Le mobilier céramique découvert permet de rattacher le site à la fin du cardial tyrrhénien. Quant au mobilier lithique taillé, on retrouve en majorité des rhyolites mais aussi de nombreuses obsidiennes, quelques quartz et quelques silex. L'ensemble de la chaîne opératoire semble représentée (Weiss, 2007). D'après J. Sicurani (2008, cité dans Ameziane-Federzoni, 2011), les rhyolites ont été utilisées préférentiellement pour produire des outils, des éclats et des lames, les nucléus étant souvent utilisés jusqu'à leurs maximum et quelquefois remployés en percuteurs.

La série mise au jour durant les fouilles Weiss a été étudiée par N. Ameziane-Federzoni (Ameziane-Federzoni, 2011). Les rhyolites des types A, B, C et D ont pu être identifiées sur le site, la catégorie A représentant 90% des rhyolites de A Petra. D'après cette étude, deux types d'approvisionnement en rhyolite sont envisageables : l'un sous forme de blocs bruts pour les catégories A, C et D, un l'autre sous forme semi-fini pour les rhyolites de la catégorie B.

ii. Résultats des analyses

Encore une fois, nous avons profité du passage au laboratoire de L. Martinet, doctorante au CEPAM, qui conduisait alors une étude typo-technologique de la série lithique Néolithique ancien de A Petra. La série en question comptait environ 1500 pièces issues des fouilles des années 1980 et 2000 et constituait un échantillonnage de la série d'origine qui devait compter environ 5000 pièces. Les armatures étaient presque toutes absentes de cet échantillonnage. Le peu de temps disponible pour effectuer nos analyses nous a contraints à effectuer un sous-échantillonnage. L. Martinet a ainsi sélectionné 95 artefacts en rhyolite représentatifs des dif-

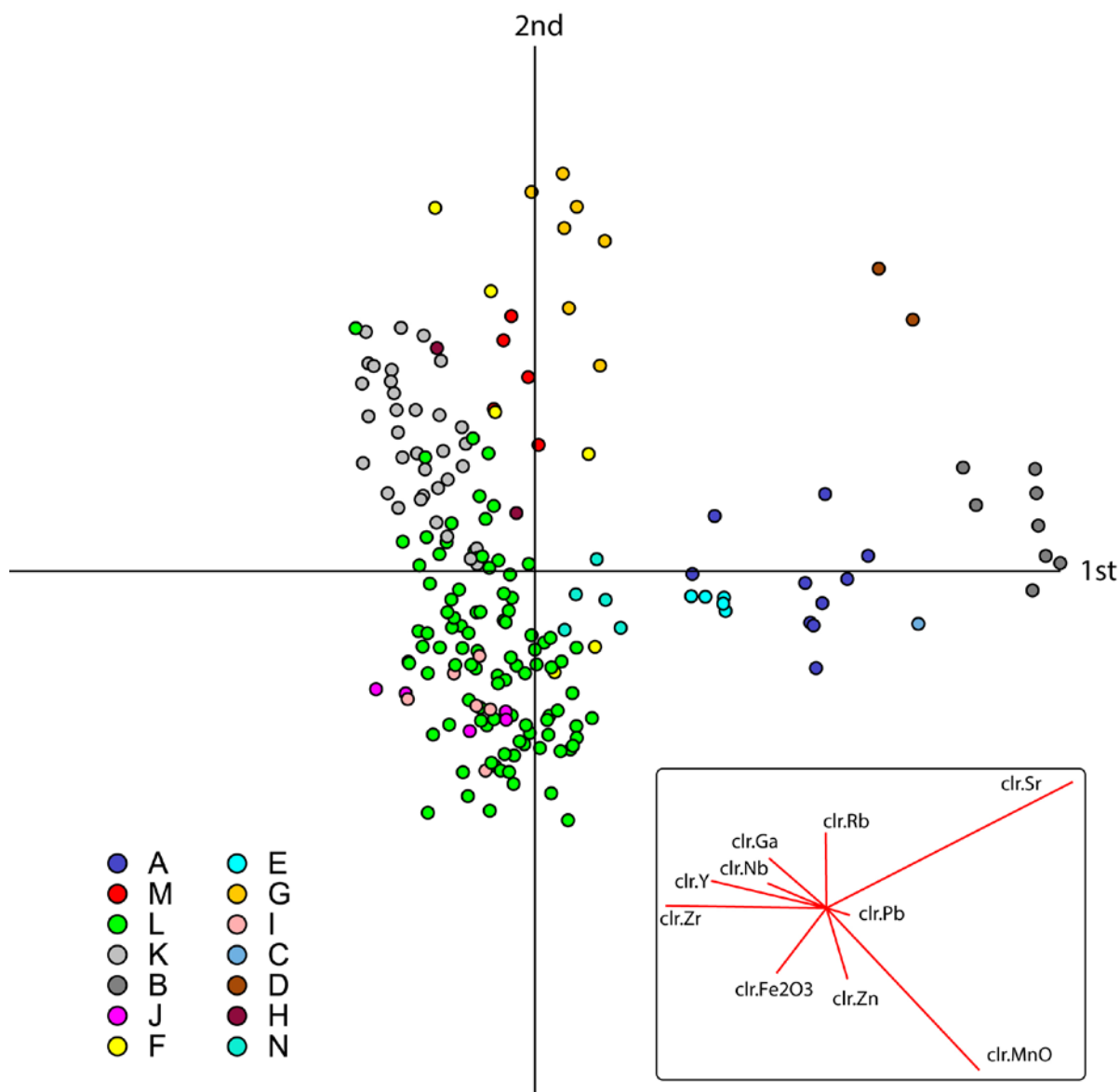


Figure 110 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF d'une sélection de 95 pièces en rhyolites de A Petra. L'ensemble des données est reporté en annexe.

férents faciès qu'elle avait pu identifier à l'œil nu. Si la plupart des types de rhyolites utilisés à A Petra sont probablement représentés ici, quelques-uns, sans doute minoritaires, sont certainement manquants. L'analyse de ce sous-échantillonnage ne nous permet d'obtenir qu'une vision partielle et non quantitative des approvisionnements en rhyolite du site de A Petra. Nous pouvons cependant observer des tendances intéressantes (Fig. 110).

Nous avons pu définir 12 groupes de compositions différents mais nous n'avons pas pu effectuer de vérifications à l'œil nu de la plupart des groupes définis géochimiquement. Nous ne pouvons donc que faire des observations très générales pour le moment.

On observe un groupe principal qui se divise certainement en deux sous-groupes L et K. Ces pièces ont des compositions qui correspondent à des rhyolites que nous avons échantillonnées dans la haute vallée de l'Ascu et dans le lit de la Tartagina.

Les pièces du groupe A correspondent chimiquement et visuellement à une rhyolite verte très fine, aphanitique et esquilleuse, que nous avons prélevée sur un très gros bloc en position sub-primaire dans le ruisseau de Manica, au pied du Monte Cintu.

Les autres groupes peuvent également avoir des correspondances avec des rhyolites de notre référentiel mais les vérifications macroscopiques n'ont pas pu être menées. Cependant, nous pouvons retenir que globalement, toutes les rhyolites analysées ont des compositions et des faciès indiquant une provenance autour du massif du Monte Cintu.

iii. Conclusion

Comme sur la plupart des sites que nous avons étudiés, une ou deux sources d'approvisionnement prédominent. Il s'agit généralement de la source la plus proche. Vient ensuite plusieurs sources peu représentées, ici une dizaine, certainement plus représentative d'un territoire parcouru plus rarement, peut-être de manière saisonnière. Ce territoire renvoi ici aux hautes-vallées du Massif du Cintu.

Il semblerait que les cortex fluviales soient peu représentés, ce qui indiquerait une exploitation des zones montagneuses et donc relativement lointaines même pour les sources principales de rhyolites. Cependant, notre échantillonnage étant très réduit, il convient de rester prudent. Cela nous montre néanmoins que les populations de A Petra étaient bien plus tournées vers les montagnes que la situation géographique du site ne l'aurait laissé présager.

Cette courte étude de quelques pièces provenant de la série lithique d'A Petra n'apporte que peu de réponses franches mais elle fournit des premières pistes pour une étude plus large, sur l'ensemble des rhyolites de ce site, que nous espérons un jour pouvoir conduire. Elle permettrait entre autres d'identifier de probables liens avec les autres sites du Néolithique ancien déjà étudiés.

2. Implications archéologiques et méthodologiques

Le corpus des sites que nous avons étudié manque de cohérence, spatiale et chronologique, car il a été choisi avant tout dans une optique de développement méthodologique. Il conviendra donc d'augmenter la taille de ce corpus dans les années à venir et surtout d'obtenir de nouvelles données sur des sites permettant de répondre à des problématiques précises. En attendant, malgré le caractère préliminaire de résultats archéologiques que nous avons obtenus, il nous semble tout à fait utile d'avancer dans nos réflexions et de construire de premières hypothèses synthétiques concernant les approvisionnements et la diffusion des rhyolites. En effet, les résultats obtenus apportent quelques nouveautés qui permettent déjà d'enrichir nos connaissances autour de ces problématiques.

a. Relations Nord-Sud

La comparaison de nos résultats avec ceux obtenus par N. Ameziane-Federzoni dans le nord de la Corse (Ameziane-Federzoni, 2011) est une tâche compliquée. Les méthodes utilisées n'étant pas les mêmes, nous n'avons pas obtenu des données réellement comparables. Dans un souci de simplification et pour faciliter la comparaison entre les différents sites étudiés dans la thèse de N. Ameziane-Federzoni, les rhyolites ont été classées en 4 grandes catégories, sur la base de la couleur de la mésostase. Bien évidemment, chacune de ces catégories correspond à une multitude de groupes géochimiques que nous avons pu identifier dans les différentes séries étudiées. Nous ne pouvons donc raisonner que sur nos conclusions respectives.

Il semblerait qu'aucun gisement de rhyolite locale n'ait été intensément utilisé sur les sites du nord de la Corse étudiés par N. Ameziane-Federzoni. Seuls quelques galets de plage ou de rivière auraient été utilisés ponctuellement. À l'inverse, nous avons pu observer que la plupart des rhyolites retrouvés sur les sites du sud de l'île proviennent de gisements situés à quelques kilomètres.

Cela s'explique certainement par la géologie des terrains en question. Les sites du Cap corse et du Nebbiu n'ont simplement pas de gisements de rhyolite à proximité, hormis quelques galets de faible qualité dans des conglomérats ou sur les plages (Ameziane-Federzoni, 2011). Quant aux sites de Balagne, des rhyolites de très bonne qualité se trouvent dans les montagnes de l'arrière-pays et les fleuves charrient de nombreux galets fournissant des matériaux très corrects (Fig. 111). En revanche, dans le sud de la Corse, on retrouve de très nombreux filons de rhyolites de qualités diverses à proximité de presque tous les sites, alors que les gisements de bonne qualité sont souvent éloignés.



Figure 111 : Lit du Fiume Seccu asséché charriant des roches issues de l'érosion du massif du Cintu en arrière-plan (Photo : N. Ameziane-Federzoni, Ameziane-Federzoni, 2011)

De manière inattendu, les sites étudiés par N. Ameziane-Federzoni dans le nord de l'île ne livrent pas de rhyolites provenant du sud. Alors que nous avons montré que l'inverse se vérifie systématiquement. Ces matériaux n'étaient pourtant pas essentiels à l'industrie lithique des populations du sud de la Corse, à l'exception peut-être de la fin du Chalcolithique ou les approvisionnements en matériaux sarde se tarissent. Ces matériaux ne sont donc que les stigmates de contacts, d'échanges et/ou de mobilités entre le Nord et le Sud, il est donc étonnant que leur équivalent n'existe pas sur les sites du Nord. Il faut noter que la série du Monte Revincu (Santo-Pietro-di-Tenda, Haute-Corse, Néolithique moyen) fait peut-être exception avec la présence de quelques pièces en rhyolite grise possiblement originaire de filons du Cortenais (Leandri et al., 2012). Cette hypothèse mériterait cependant d'être appuyée par des analyses géochimiques car nous avons vu que les convergences de faciès parmi les rhyolites filoniennes étant courantes.

Cette absence de rhyolites du Sud sur les sites du Nord est peut-être un artefact lié à la méthodologie utilisée, les analyses géochimiques étant certainement plus performante pour identifier les épiphénomènes. En effet, les rhyolites de provenance lointaine sont souvent représentées par très peu de pièces au sein des séries lithiques. Elles sont de surcroît généralement de petite taille et donc difficile à caractériser, notamment sur des critères macroscopiques.

Il pourrait être donc utile de réanalyser les séries étudiées par N. Ameziane-Federzoni en utilisant notre stratégie analytique afin d'obtenir des données réellement comparables entre les approvisionnements des sites du sud et du nord de la Corse.

b. Mobilité des populations du Néolithique ancien

Les populations du Néolithique ancien semblent avoir exploré les moindres recoins de ce nouveau territoire sur lequel elles sont venues s'installer. En quelques générations seulement, elles ont découvert une bonne partie des meilleurs gisements de matière lithique à leur disposition sur l'île. Ces groupes, probablement arrivés par bateau depuis l'Italie centrale, ont investi l'ensemble du territoire en quelques dizaines ou centaines d'années. Ils ont dû activement rechercher les meilleurs gisements de rhyolite, autour des sites d'habitat bien sûr mais également dans les zones montagneuses reculées, sur les contreforts des sommets les plus imposants et sur les crêtes qui séparent les vallées du centre de l'île. Cette nouvelle connaissance du territoire a ensuite été transmise pendant des millénaires, perpétuant l'exploitation de certains de ces gisements jusqu'à l'abandon des outils en pierre taillée à la protohistoire. Ces populations du Néolithique ancien paraissent se comporter ainsi comme de véritables colonisateurs, investissant un nouveau territoire pour s'y installer durablement.

Nous pouvons également déduire que ces premières populations néolithiques étaient sans doute très mobiles. En effet, elles occupent l'ensemble du territoire, du littoral à la haute-montagne où les sites ne peuvent être habités que saisonnièrement. De plus, les matériaux lithiques arrivent souvent sous forme brute sur les sites, même lorsque leur provenance est lointaine, ce qui nous indique que ces groupes avaient probablement un accès direct aux gisements de matières premières, à travers toute la Corse mais aussi certainement en Sardaigne pour le silex et l'obsidienne. Ainsi, on retrouve dans les niveaux du Néolithique ancien de Renaghju des silex sardes importés sous forme de plaquettes (Bressy et al., 2007) et des rhyolites des contreforts du Cintu, de provenance encore plus lointaine. Or, une bonne partie du lithique d'A Petra semble venir aussi de cette région, et on retrouve ces matériaux également dans les niveaux les plus anciens de l'abri des Castelli, au côté d'armatures en rhyolites de Pastini, prélevés sur un gisement limitrophe du site de Renaghju.

Les artefacts en rhyolite mis au jour sur ces trois sites nous indiquent que les populations qui les ont fréquentés ont parcouru l'ensemble des montagnes du centre de la Corse, les littoraux du nord et du sud de l'île et fréquentaient également régulièrement l'île voisine de Sardaigne. Cette grande mobilité implique l'utilisation coutumière d'embarcations, pour traverser le détroit entre Corse et Sardaigne bien sûr, mais aussi pour se déplacer entre les différentes régions côtières de Corse. On pourrait enfin ajouter que cette grande mobilité, sur terre et sur mer, est tout à fait compatible avec l'apparente homogénéité culturelle du cardial tyrrhénien en Corse, Sardaigne, Toscane et Ligurie (Manen et Perrin, 2009) et la diffusion de l'obsidienne sarde sur ces territoires au Néolithique ancien (Vaquer, 2007).

c. Perduration aux âges de métaux

La question de l'utilisation du lithique taillé en général et des rhyolites en particulier au cours de l'âge du bronze n'est pas encore tranchée.

Durant le Néolithique final / Chalcolithique, les outils lithiques retouchés sont surtout des armatures perçantes. L'industrie laminaire sur silex et obsidienne décline lentement au cours du 3^{ème} millénaire (Janny et Costa, 2004, Remicourt et al., 2014, Remicourt et Piboule, 2014). Il est bien sûr tentant d'y voir une corrélation entre l'apparition des objets métalliques (Camps et al., 1988, Tramoni à Monticello ? une ref ??) et la disparition des outils en pierre à longs tranchants. Mais cela peut aussi être lié, durant cette période, à une réorganisation des réseaux d'échanges et de distributions des matériaux au sein desquels la diffusion des silex et des obsidiennes sardes ne semble plus avoir la même importance. La part de ces matériaux allochtones diminue drastiquement sur les sites corses du Néolithique final, or ces matériaux sont le support privilégié de l'industrie laminaire en Corse.

Il est donc communément admis que l'introduction de la métallurgie en Corse au Chalcolithique et surtout son développement au cours de l'âge du bronze a conduit à l'abandon des outils en pierre taillé (Janny et Costa, 2004). Cette industrie lithique n'est ainsi plus reconnue sur les sites de l'âge du bronze, et aucune série lithique du 2^{ème} millénaire, si petite soit-elle, n'a jamais été étudiée en Corse. Si quelques artefacts ont certainement pu être mis au jour sur les sites de cette période, ils ne semblent apparaître dans aucune publication. Les sites de l'âge du bronze étant très souvent installés sur des sites plus anciens dans lesquels l'industrie lithique est importante, la présence de ces artefacts, même découverts en contexte stratigraphique, est attribué à des bioturbations ou des déplacements anciens de sédiments.

Il existe cependant quelques sites en Corse où des objets en pierre taillés ont été rattaché à des occupations protohistoriques, notamment l'abri de Tuani fouillé en 2006 et 2007 par N. Ameziane-Federzoni dans le Cortenais (Ameziane-Federzoni, 2010) et I Casteddi, fouillé depuis 2014 par H. Paolini-Saez (cf supra). Ceci est d'autant plus étonnant qu'en Sardaigne, l'industrie lithique persiste jusqu'au moins la fin de l'âge du bronze (Fig. 112, Freund and Tykot, 2011, Freund, 2015, 2018).

C'est pourquoi nous avons choisi d'étudier les objets en rhyolites provenant de contextes de des âges du bronze et du fer, même lorsque ces objets sont identifiés comme de probables contaminations depuis des niveaux néolithiques. Les premiers résultats que nous avons obtenus sont encourageant. Nous avons pu montrer que les populations du Bronze moyen du Monti Barbatu utilisent toujours le gisement de rhyolite locale connu depuis le Néolithique récent mais que l'usage de cette rhyolite a évolué vers la fabrication exclusive d'outils pondéreux.

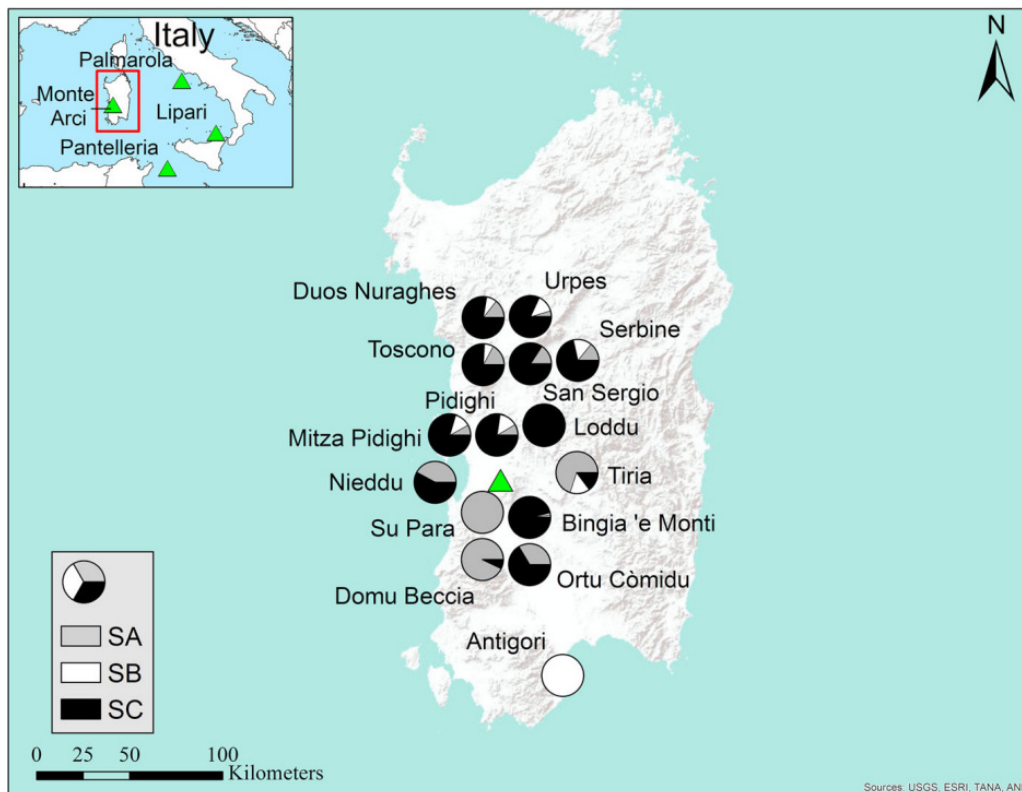


Figure 112 : Répartition des sous-sources d'obsidiennes dans les séries nuragiques comportant au moins huit artefacts (Freund, 2015)

Sur le site d'I Casteddi, les rhyolites des niveaux protohistoriques montrent un investissement important de l'espace montagnard par les habitants. Néanmoins, nous ne pouvons pas préciser si les gisements utilisés, et donc peut-être le territoire parcouru, restent les mêmes entre les âges du bronze et du fer ou si la plupart des objets ne sont simplement plus dans leur position stratigraphique d'origine.

Ces problématiques méritent d'être approfondies afin d'apporter des informations complémentaires aux études concernant les méthodes d'élevages, notamment le pastoralisme, mais également les approvisionnements en oxydes ferreux par exemple. Surtout, ce n'est qu'en étudiant ces matériaux que l'on pourra effectivement aborder la manière dont ces technologies disparaissent durant la protohistoire et qu'elles sont réellement les assemblages que l'on peut attribuer à cette période et ceux provenant d'activités plus anciennes.

d. Retour critique sur la méthodologie mise en place

Nous avons démontré, en préambule de ce travail de thèse, l'intérêt théorique de la géochimie pour caractériser les rhyolites corses, analyser efficacement les objets archéologiques de manière non destructive, discriminer les sources, même très proches géographiquement, et faire correspondre les compositions des artefacts avec celles de leur gisement d'origine

(Leck et al., 2018). Cependant, au cours de ces dernières années nous avons considérablement augmenté le nombre de gisements échantillonnés et d'objets archéologiques analysés. Notre référentiel a changé d'envergure et après avoir étudié plusieurs séries archéologiques il nous semble important d'examiner notre approche analytique avec un regard critique et d'apporter de la nuance. Nous espérons ainsi mettre en lumière les limites de notre méthodologie et identifier les points à améliorer.

L'objectif de ce travail était de développer un protocole d'analyse géochimique pour les rhyolites en Corse, sur le modèle de ce qui s'applique très bien sur les obsidiennes depuis des décennies. Nous cherchions ainsi à améliorer la méthodologie utilisée jusqu'ici, c'est-à-dire des observations macroscopiques basée sur des critères pétrologiques. L'enjeu était donc de mettre en place un procédé plus rapide, basé sur des critères plus précis et donc potentiellement moins opérateur-dépendant, permettant d'attribuer des provenances bien localisées et facilement comparable entre les différents sites étudiés.

Les rhyolites corses sont par nature compliquées à étudier. Nous avons bien vu dans les chapitres précédents que les sources sont potentiellement très nombreuses et que la variabilité est très importante, entre les gisements et au sein même des gisements. Si les analyses géochimiques ne permettent pas réellement de résoudre ces problèmes, elles apportent un gain d'informations substantiel.

- Nous pouvons désormais différencier certains faciès proches qu'il était difficile de distinguer macroscopiquement.
- Lorsque les sources ne sont pas connus les compositions chimiques apportent parfois des renseignements sur l'emplacement du gisement, possiblement très utile pour guider des prospections et retrouver les carrières préhistoriques.
- Il est plus aisé d'identifier des matériaux communs à plusieurs séries lithiques, en particulier quand les gisements sont inconnus ou quand le matériau est représenté par peu de pièces.

Cependant, nous n'avons pas réussi à cadrer et rationaliser l'étape d'interprétation des graphiques, la définition des groupes de matières premières, l'attribution à un gisement connu. Nous travaillons avec des données très dispersées, à partir d'un référentiel largement incomplet et de qualité très variable suivant les gisements. Cela aurait peu de sens, et surtout très peu d'efficacité, d'utiliser des traitements statistiques appliquées à l'ensemble d'une série, comme par exemple des ellipses de confiance qui sont couramment utilisé pour ce type d'étude, pour classer nos échantillons.

Il reste donc une grande part d'interprétation qui assujetti la qualité des résultats à l'expérience de l'opérateur.

Cela implique plusieurs problèmes :

- Il est difficile de contrôler la qualité des résultats obtenues.
- Ces résultats ne sont pas répliquables. À partir des mêmes données géochimiques, une autre personne identifiera peut-être au sein d'une série d'autres groupes de matières premières et n'attribuera peut-être pas exactement les mêmes provenances à ces matières.
- La méthode ne peut pas être facilement réutilisée, clé en main, par quelqu'un n'ayant pas encore travaillé sur les rhyolites corses.
- Malgré la construction d'un référentiel potentiellement réutilisable par n'importe qui, la méthodologie mise en place reste donc difficilement réemployable et adaptable.

Nous avons donc partiellement rempli nos objectifs. Les problématiques qu'il reste à résoudre sont néanmoins bien identifiées et nous avons bon espoir que la méthodologie s'améliore à l'avenir.

L'étape d'identification macroscopique des échantillons peut être améliorée. Nous avons choisi de ne pas investir pleinement cette question pour nous concentrer sur la partie géochimie de l'analyse. Nous avons cependant dû compléter les données chimiques avec des observations visuelles lorsque cela s'est avéré nécessaire. La difficulté principale est de définir des critères à la fois discriminants et suffisamment peu nombreux pour que ceux-ci soient manipulables, si possible dans une AFM (Analyse Factorielle Multiple) qui permettrait de traiter les données géochimiques et macroscopiques ensemble. Dans le cas des rhyolites (faciès variés, diversité intra-source et abondance de gisements) la définition des bons critères d'identifications est un casse-tête. Il serait certainement intéressant d'utiliser et d'adapter des méthodologies déjà éprouvées sur les roches siliceuses afin d'améliorer cette partie de notre stratégie analytique (Fernandez et Raynal, 2006 ; Fernandes et al., 2007).

Enfin, le caractère incomplet du référentiel, l'une de nos principales difficultés, est évidemment amené à se réduire avec le temps et la découverte de nouveaux gisements, l'apport de nouvelles données. Il faut toutefois garder à l'esprit que cette entreprise n'a potentiellement pas de fin.

Conclusion

Le protocole analytique que nous avons mis en place s'avère donc tout à fait efficace pour mieux comprendre les stratégies d'approvisionnements en matériaux lithiques des populations pré- et protohistoriques de Corse. Notre référentiel est encore largement incomplet ce qui nous empêche de retrouver précisément la provenance d'une partie des artefacts analysés. Néanmoins, les compositions chimiques des pièces, couplées à des informations typo-technologiques basiques, telles que la présence d'éclats corticaux, d'outils finis ou d'éclats de façonnage par exemple, permettent de proposer des zones de provenances probables pour presque tous les matériaux identifiés.

Malgré un corpus de sites étudiés encore réduit, nous avons pu obtenir quelques informations nouvelles concernant les mobilités des populations préhistoriques en Corse, les stratégies d'approvisionnements en matériaux lithiques propres à chaque site, et l'existence de réseaux de circulation et d'échanges marins et terrestres. La forte mobilité des groupes humains qui peuplaient la Corse et le pourtour de la mer Tyrrhénienne au Néolithique ancien a déjà été mise en évidence par l'étude des céramiques, des silex et des obsidiennes (Bressy et al., 2007, Vaquer, 2007) et l'on retrouve des indices de ce comportement à travers l'étude des rhyolites. Les stratégies d'approvisionnement en rhyolites sont très variables d'un site à l'autre. Elles dépendent bien sûr de l'environnement géologique immédiat. Le niveau d'intégration des habitants aux réseaux d'échanges régionaux et inter-régionaux est également un facteur important. Enfin, le niveau de mobilité des groupes et l'étendue des territoires exploités et régulièrement parcourus sont aussi déterminants. Ainsi, certains sites montrent un fort lien avec l'arrière-pays montagneux, comme A Petra ou I Casteddi alors que d'autres semblent plus tourner vers la mer qui constituait certainement un axe de circulation privilégié, comme Monti Barbatu ou Renaghju.

D'après le travail de N. Ameziane-Federzoni, les populations néolithiques du nord de la Corse ont massivement utilisé les rhyolites du massif du Cintu. C'est surtout le cas des sites de Balagne, au nord-ouest de l'île et les plus proches du massif volcanique. Les sites archéologiques livrent de moins en moins de rhyolites du Cintu lorsque l'on s'en écarte vers l'est, dans le Nebbiu et le Cap Corse (Ameziane-Federzoni, 2011). Ces matériaux sont peu remplacés par des rhyolites locales, car elles sont peu ou pas présentes dans l'environnement de ces sites. Dans le sud de l'île, les approvisionnements en rhyolite suivent une autre logique. On y retrouve très peu de mobilier en rhyolite provenant du nord-ouest, le plus souvent introduit sous forme d'outils et parfois peut-être de gros éclats. Bien souvent, de nombreuses variétés de rhyolites affleurent dans l'environnement plus ou moins proche des sites, c'est alors ces matériaux qui sont privilégiés. Il n'existe pas dans le sud de la Corse de grand pôle d'où provient la majorité des rhyolites et les approvisionnements semblent donc être liés à la nature des sites et de leurs occupations et non à l'environnement géologique avoisinant. C'est notamment ce que l'on observe entre Basi et le Monti Barbatu, très proche géographiquement, occuper en partie durant les mêmes périodes (le mobilier en rhyolite des deux sites est majoritairement rattaché au Néolithique récent), mais dont les approvisionnements en rhyolites sont relativement

différents.

Cette observation n'est probablement plus exacte à partir du Néolithique final, où les rhyolites du massif du Cintu prennent une importance inédite dans les occupations du sud de la Corse (Remicourt et Piboule, 2014, Remicourt et al., 2014). L'étude des rhyolites des sites de ce Néolithique final-Chalcolithique permettrait de mieux comprendre la réorganisation des réseaux d'échanges durant cette période et les bouleversements sociétaux induits par l'apparition de la métallurgie.

Ce travail de thèse ouvre en effet de nouvelles perspectives et de très nombreuses études restent encore à mener. La construction du référentiel géochimique est bien sur une tâche qui devra continuer. De très nombreux gisements restent à découvrir et plusieurs déjà découverts n'ont pas encore été analysés en EDXRF. Le corpus des séries lithiques en rhyolite analysé est rempli de vides chronologiques et géographiques. Nous n'avons pas encore d'informations sur les rhyolites utilisées à l'est de la Corse ou dans l'extrême sud, ou bien durant le Chalcolithique ou le Mésolithique. Il faudra donc encore étudier de nombreuses séries avant d'obtenir une image plus complète des approvisionnements en rhyolites des sites corses et nous l'espérons, des comportements des populations pré- et protohistoriques concernant les échanges, la mobilité ou l'exploitation de leur environnement.

Afin de tirer le plein potentiel de ces analyses, il sera important de coupler les études de différents matériaux (silex, obsidienne, quartz, oxydes ferreux, argile, etc.) (Bressy-Leandry et al, à paraître) ainsi que les études typotechnologiques effectuées sur l'ensemble de l'industrie lithique (Le Bourdonnec et al., 2014). Les approvisionnements en rhyolite s'inscrivent en effet dans un système économique complexe qui demande que l'on élargisse le cadre de nos études pour être abordés convenablement.

La méthodologie que nous avons développée durant ce travail de thèse est spécifiquement adaptée aux rhyolites corses, mais elle peut également s'appliquer sur des matériaux similaires dans d'autres contextes chronologiques et géographiques.

Nous pensons tout d'abord au massif de l'Esterel, dans le Var, une formation volcanique cousine de celle que l'on retrouve au nord-ouest de la Corse. Ces deux massifs aujourd'hui très éloignés sont issus des mêmes événements volcaniques de la fin du Permien. Ce n'est que récemment, avec la séparation puis la rotation du bloc corso-sarde jusqu'à son emplacement actuel (Michon, 2000, Gattacceca et al., 2007) que ces massifs se sont éloignés. Les roches que l'on retrouve dans l'Esterel sont donc très proches de celles que l'on peut trouver dans le massif du Cintu ou sur la presqu'île de Scandola. Il a été mis en évidence lors d'un travail de Master effectué par S. Marzin (2015) à l'université Sophia Antipolis de Nice que des rhyolites de l'Esterel ont été utilisés par les populations du paléolithique moyen qui parcouraient alors les côtes provençales et ligures. Néanmoins, cette observation est le fruit d'observations pétrographiques (loupe et lames minces) des rhyolites de l'Esterel et du mobilier archéologique, mais aucune comparaison n'a été effectuée avec des rhyolites corses qui n'ont probablement

pas été envisagées, car trop lointaine.

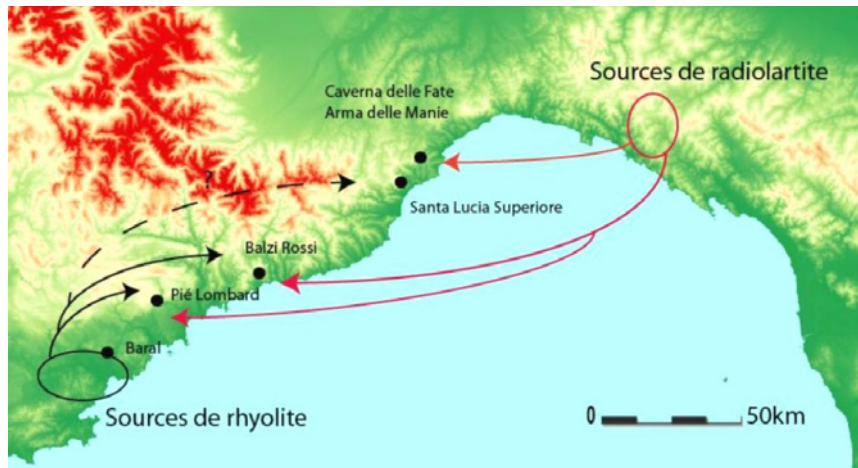


Figure 113 : Diffusion de la rhyolite de l'Esterel et de la radiolarite toscane dans les sites du paléolithique moyen de Provence et de Ligurie (d'après S. Marzin, 2015).

Or, on retrouve sur les mêmes sites archéologiques, des objets en radiolarites de Toscane, bien plus proche de la Corse (Fig. 113). Une utilisation des rhyolites corses au Paléolithique moyen est peu vraisemblable : aucune occupation de cette période n'a été formellement identifiée en Corse et le massif de l'Esterel, bien plus proche des sites en question, est un bien meilleur candidat. Il nous semblerait toutefois opportun de vérifier la provenance de ces rhyolites liguro-provençales, avec une approche analytique basée sur la géochimie et en comparaison d'un référentiel de rhyolites du nord de la Corse et de l'Esterel. La probabilité d'identifier des rhyolites corses au sein de mobilier du Paléolithique moyen est très faible, mais cela pourrait démontrer le passage de néandertaliens en Corse et en Sardaigne, ce qui vaut certainement la peine d'analyser quelques centaines de pièces.

Enfin, de très nombreux contextes archéologiques à travers le monde fournissent des séries lithiques au moins partiellement en rhyolite, mais ces matériaux ne sont pas souvent analysés. Les archéologues et les géologues spécialistes de la provenance de matériaux lithiques sont souvent des pétrographes formés à l'étude des silex ou des géochimistes coutumiers des obsidiennes, vitreuses et homogènes, et leur intérêt ne se porte que rarement sur des matériaux volcaniques plus atypiques. Nous avons montré ici que si l'on utilise la méthode adaptée, ces matériaux peuvent faire l'objet d'étude de provenance, même lorsque les gisements potentiels sont très nombreux et partiellement connus et même lorsque le matériau est très hétérogène. De multiples études sont donc possibles et souhaitables en Corée (Lee et al., 2017), en Patagonie (Mansur et De Angelis, 2016), en Argentine (Messineo et al., 2019), en Norvège (Simpson, 1996), en Chine (Yue et al., 2020) et dans bien d'autres contextes encore.

Bibliographie

- Amaudric du Chaffaut, S., Bonin, B., Caron, J.-M., Conchon, O., Bambier, A., Damiani, L., Dominici, R., Heetveld, H., Rouire, J., 1985.** Notice explicative, Carte géologique de la France (1/50000), feuille Venaco (1114), BRGM, Orléans.
- Amaudric du Chaffaut, S., Bonin, B., Caron, J.-M., Conchon, O., Jauzein, A., Perthuisot, J.-P., Rossi, P., 1985.** Carte géologique de la France (1/50000), feuille de Venaco (1114), BRGM, Orléans.
- Ameziane-Federzoni, N., 2010.** L'abri de Tuani (commune de Corte, Haute-Corse), in: Weiss, M.-C. (Ed.), Golu, Tavignanu et zones attenantes. Études récentes des préhistoriens de l'université de Corse, Albiana, Università di Corsica - UMR LISA 6240 CNRS, pp. 20-23.
- Ameziane-Federzoni, N., 2011.** Approvisionnement et diffusion de la rhyolite dans le Nord de la Corse au Néolithique ancien et moyen, Université de Corse-Pascal Paoli, Corte, p. 284.
- Ameziane-Federzoni, N., 2017.** Massif du Cintu - haute-vallée d'Asco. Prospection thématique 2017, Rapport d'opération archéologique programmé, SRA de Corse.
- Ameziane-Federzoni, N., 2019a.** Vallée du Prunelli [notice archéologique], ADLFI. Archéologie de la France - Informations.
- Ameziane-Federzoni, N., 2019b.** Le plateau d'Alzu, un habitat néolithique de l'étage montagnard, in: Sicurani, J. (Ed.), L'Habitat Pré-et protohistorique/L'alloghju preistoricu è protostoricu, actes du 1er colloque de Calvi (Calvi, 28-30 avril 2017), Association de Recherches Pré-et Protohistoriques Corses, Calvi, Haute-Corse, pp. 71-82.
- Ameziane-Federzoni, N., Ottaviani-Spella, M., Berlinghi, A., Quilichini, Y., 2014.** L'exploitation d'un gîte primaire de rhyolite au cours de la préhistoire récente dans le centre de la Corse: l'exemple du plateau d'Alzu, Chronologie de la Préhistoire récente dans le Sud de la France. Actes des 10e Rencontres méridionales de Préhistoire Récente, 18-20 Octobre 2012, Porticcio, 411-421.
- Antolini, J.-P., Tramoni, P., 2019.** L'exemple du site défensif de U Castellu di Sarravalle dans le Niolu (Haute-Corse), in: Sicurani, j. (Ed.), L'Habitat Pré-et protohistorique/L'alloghju preistoricu è protostoricu, actes du 1er colloque de Calvi (Calvi, 28-30 avril 2017), Association de Recherches Pré-et Protohistoriques Corses, Calvi (Haute-Corse), pp 83-103.
- Bailloud, G., 1969.** Fouille d'un habitat néolithique et torréen à Basi (Serra-di-Ferro-Corse) Premiers résultats, Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux, 367-384.
- Bardintzeff, J.-M., 2011.** Volcanologie, Dunod, Paris, France, p. 320.
- Beaux, J.F., Fogelgesang, J.F., Agard, P., Boutin, V., 2019.** Géologie et pétrologie: BCPST 1 et 2, Dunod, p. 144.
- Bellot-Gurlet, L., 1998.** Characterization by elemental analysis (PIXE and ICP-MS/-AES) of a natural glass : obsidian. Application to provenance studies of prehistoric artefacts, Université Joseph-Fourier - Grenoble I, Grenoble, p. 290.
- Bevins, R.E., Pearce, N.J.G., Ixer, R.A., 2011.** Stonehenge rhyolitic bluestone sources and the application of zircon chemistry as a new tool for provenancing rhyolitic lithics, Journal of Archaeological Science 38, 605-622.

Bevins, R.E., Ixer, R.A., Webb, P.C., Watson, J.S., 2012. Provenancing the rhyolitic and dacitic components of the Stonehenge landscape bluestone lithology: new petrographical and geochemical evidence, *Journal of Archaeological Science* 39, 1005-1019.

Bevins, R.E., Ixer, R.A., Pearce, N.J.G., 2014. Carn Goedog is the likely major source of Stonehenge doleritic bluestones: evidence based on compatible element geochemistry and Principal Component Analysis, *Journal of Archaeological Science* 42, 179-193.

Binder, D., Nonza-Micaelli, A., 2019. Aspects de l'horizon impresso-cardial de l'abri Albertini-E Spilonche (Albertacce, Corse), L'Habitat Pré- et protohistorique/L'alloghju prestoricu è protostoricu, actes du 1er colloque de Calvi (Calvi, 28-30 avril 2017), Association de Recherches Pré-et Protohistoriques Corses, pp. 29-44.

Bonifay, E., Bassiakos, Y., Bonifay, M.-F., Louchart, A., Mourer-Chauviré, C., Pereira, E., Quinif, Y., Salotti, M., 1998. La grotte de la Coscia (Rogliano, Macinaggio) : Étude préliminaire d'un nouveau site du Pléistocène supérieur de Corse/The grotte de la Coscia (Rogliano, Haute-Corse) : Preliminary study of a new Upper Pleistocene site in Corsica, *Paléo, Revue d'Archéologie Préhistorique*, 17-41.

Bonin, B., 1977. Les complexes granitiques subvolcaniques de Corse; caractéristiques, signification et origine, *Bulletin de la Société géologique de France* 7, 865-871.

Bonin, B., Moyen, J.-F., 2011. Magmatisme et roches magmatiques, Dunod, p. 320.

Brady, M., Coleman, D., 2000. Determining the source of felsitic lithic material in southeastern New England using neodymium isotope ratios, *Geoarchaeology* 15, 1-19.

Bressy, C., Bellot-Gurlet, L., Convertini, F., D'Anna, A., Guendon, J.-L., Pelletier, D., Tramoni, P., 2007. Matières premières et circulation des matériaux dans le Néolithique ancien de Renaghju (Sartène, Corse-du-Sud), in: Cesari, J., D'Anna, A., Ogel, L., Vaquer, J. (Eds.), 128ème Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques « Corse et Sardaigne préhistoriques : relations et échanges dans le contexte méditerranéen », (Bastia, 14-21 avril 2003). éditions du CTHS, Paris, pp. 87 - 97.

Bressy, C., D'Anna, A., Poupeau, G., Le Bourdonnec, F.-X., Bellot-Gurlet, L., Leandri, F., Tramoni, P., Demouche, F., 2008. Chert and obsidian procurement of three Corsican sites during the 6th and 5th millenniums BC, *Comptes Rendus Palevol* 7, 237-248.

Bressy-Leandri, C., 2016. Caractérisation et provenance des silex de sites néolithiques corses, Journée de la Société préhistorique française de Nice, Nice, France, pp. 277-288.

Bressy-Leandri, C., Ameziane-Federzoni, N., Le Bourdonnec, F.-X., Colonna, A., Paolini-Saez, H., Bellot-Gurlet, L., Convertini, F., Dubar, M., Errera, M., Fernandes, P., Leck, A., Lugliè, C., Melosu, B., Orange, M., Ottaviani-Spella, M.-M., Quilichini, Y., Tramoni, P., à paraître. Territoires et échanges préhistoriques en Corse : l'apport des recherches sur les matières premières., in: Leandri, F. (Ed.), *Archéologie de la Corse, vingt années de recherche. Actes du colloque d'Ajaccio, novembre 2017*, Errance.

Burke, A.L., Gauthier, G., Chapdelaine, C., 2014. Refining the Paleoindian Lithic Source Network at Cliche-Rancourt Using XRF, *Archaeology of Eastern North America* 42, 101-128.

- Camps, G., Vigne, J.-D., Césari, J., Gauthier, A., 1988.** Terrina et le Terrinien. Recherche sur le Chalcolithique de la Corse, Publications de l'École française de Rome, 109, Rome : École Française de Rome, p. 422
- Cann, J.R., Renfrew, C., 1964.** The characterization of obsidian and its application to the Mediterranean region, Proceedings of the Prehistoric Society, Cambridge University Press, pp. 111-133.
- Caritg, S., Lahondère, D., Rossi, P., 2009.** Carte géologique harmonisée du département de la Corse-du-Sud Notice explicative. RP-57749-FR.
- Caron, J., Bonin, B., 1980.** 26° congrès géologique international-Introduction à la géologie du Sud-Est de la France: VI-La Corse, Géologie Alpine. 56, 80-90.
- Cauvin, J., 1998.** Naissance des divinités, naissance de l'agriculture: la révolution des symboles au néolithique, Editions du CNRS, p. 310.
- Cesari, J., Courtaud, P., Leandri, F., Perrin, T., Manen, C., 2011.** Le Site de Campu Stefanu (Sollacaro, Corse-du-Sud) une occupation du Néolithique ancien et du Mésolithique dans le contexte corso-sarde, La transition néolithique en Méditerranée. Actes du colloque Transitions en Méditerranée, ou comment des chasseurs devinrent agriculteurs, Muséum de Toulouse, Errance et Archives d'Ecologie Préhistorique, Toulouse, France, pp. 283-305.
- Cesari, J., Leandri, F., Nebbia, P., Ottaviani, J.-C., Peche-Quilichini, K., 2016.** Corse des origines, La préhistoire d'une île, Editions du patrimoine, Centre des monuments nationaux, Paris, p. 128.
- Christidis, G.E., 1998.** Comparative Study of the Mobility of Major and Trace Elements During Alteration of an Andesite and a Rhyolite to Bentonite, in the Islands of Milos and Kimolos, Aegean, Greece, Clays and Clay Minerals 46, 379-399.
- Coffman, S., Rasic, J.T., 2015.** Rhyolite characterization and distribution in central Alaska, Journal of Archaeological Science 57, 142-157.
- Colonna, A., 2016.** Les haches polies de Haute-Corse: analyse, étude et circulation des matières premières, Workshop La Préhistoire et la Protohistoire des îles de Méditerranée Occidentale : Matières premières, circulation, expérimentation et traditions techniques, Corte, France.
- Costa, L.-J., Ottaviani-Spella, M.-M., Nicolle, F., Berlinghi, A., 2002.** Contribution à l'étude des modalités d'exploitation des rhyolites en Corse: l'exemple des filons du Monte d'Oro (Vivario, Haute-Corse), Bulletin de la Société Préhistorique Française 99, 785-791.
- D'Anna, A., Marchesi, H., Pinet, L., Tramoni, P., Guendon, J., 2000.** Les alignements de menhirs de Renaghju dans leur contexte du plateau de Cauria (Sartène, Corse-du-Sud), in: Gasco, J., Guthertz, X., de Labriffe, P.-A. (Eds.), Temps et espaces culturels du 6e au 2e millénaire en France du Sud, Actes des quatrièmes Rencontres méridionales de Préhistoire récente, Nîmes, 28-29 octobre 2000, Mémoires d'Archéologie Méridionale, 15, pp. 357-368.
- D'Anna, A., Marchesi, H., Tramoni, P., Demouche, F., Gilabert, C., 2001.** Renaghju (Sartène, Corse-du-Sud), un habitat de plein-air néolithique ancien en Corse, Bulletin de la Société préhistorique française, 431-444.

D'Anna, A., Guendon, J., Pinet, L., Tramoni, P., 2006. Espaces, territoires et mégalithes : le plateau de Cauria (Sartène, Corse-du-Sud) au Néolithique et à l'Age du Bronze., in: Duhamel, P. (Ed.), Impacts interculturels au Néolithique moyen. Du terroir au territoire : sociétés et espaces, Revue archéologique de l'Est ed., ARTEHIS Éditions, Dijon, pp. 191-213.

D'Anna, A., Leandri, F., Marchesi, H., Tramoni, P., 2019. Mégalithisme de la Corse. Projet collectif de recherche (1997), ADLFI. Archéologie de la France-Informations. une revue Gallia.

D'Anna, A., 2011. Les statues-menhirs de Corse : chronologie et contextes, l'exemple de Cauria, Documents d'Archéologie Méridionale, Protohistoire du Sud de la France, 21-36.

D'Anna, A., 2019. Mégalithisme de la Corse. Projet collectif de recherche (1994), ADLFI. Archéologie de la France-Informations. une revue Gallia.

Dachary, M., Deniel, C., Plassard, F., Boivin, P., Devidal, J.-L., 2012. Textural and geochemical analysis of a pumice polisher with grooves from the Magdalenian site of Duruthy (Sorde, Landes, France), PALEO. Revue d'archéologie préhistorique, 315-322.

Davis, M.K., Jackson, T.L., Shackley, M.S., Teague, T., Hampel, J.H., 2011. Factors affecting the energy-dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) analysis of archaeological obsidian, X-ray fluorescence spectrometry (XRF) in geoarchaeology, Springer, pp. 45-63.

Dello-Russo, R.D., 2004. Geochemical comparisons of silicified rhyolites from two prehistoric quarries and 11 prehistoric projectile points, Socorro County, New Mexico, U.S.A, Geoarchaeology 19, 237-264.

Fernandes, P., Raynal, J.-P., 2006. Pétroarchéologie du silex : un retour aux sources, Comptes Rendus Palevol 5, 829-837.

Ferrandini, M., Spella, M.M., Ciancaleoni, L., Ferrandini, J., Pereira, E., Khoumeri, B., 2009. Les chemins de pierres et d'eau, CRDP de Corse – Université de Corse, pp. 124.

Finestone, E.M., Braun, D.R., Plummer, T.W., Bartilol, S., Kiprono, N., 2020. Building ED-XRF datasets for sourcing rhyolite and quartzite artifacts: A case study on the Homa Peninsula, Kenya, Journal of Archaeological Science: Reports 33, 102510.

Foucault, A., Raoult, J.-F., Cecca, F., Platevoet, B., 2014. Dictionnaire de Géologie-8e éd.: Tout en couleur-5000 définitions-Français/Anglais, Dunod, p. 416.

Fraser-Shapiro, I., 2007. Rhyolite Sourcing Using LA-TOF-ICP-MS: Pilot Study, California State University, Long Beach, p. 209.

Freund, K.P., Tykot, R.H., 2011. Lithic technology and obsidian exchange networks in Bronze Age Nuragic Sardinia (Italy), Archaeological and Anthropological Sciences 3, 151-164.

Freund, K.P., Batist, Z., 2014. Sardinian Obsidian Circulation and Early Maritime Navigation in the Neolithic as Shown Through Social Network Analysis, Journal of Island & Coastal Archaeology 9, 364-380.

- Freund, K.P., 2015.** Contextualizing Bronze Age Obsidian Use at the 'Ritual Spring' of Mitza Pidighi (Sardinia), *STAR: Science & Technology of Archaeological Research* 1, 1-10.
- Freund, K.P., 2018.** Lunati and the island of towers: Obsidian in Nuragic Sardinia, *Journal of Archaeological Science: Reports* 21, 1-9.
- Gauthier, G., Burke, A.L., 2011.** The effects of surface weathering on the geochemical analysis of archaeological lithic samples using non-destructive polarized energy dispersive XRF, *Geoarchaeology* 26, 269-291.
- Gratuze, B., Blet-Lemarquand, M., Barrandon, J.-N., 2001.** Mass spectrometry with laser sampling: a new tool to characterize archaeological materials, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 247, 645-656.
- Gronenborn, D., Strien, H.-C., Wirtz, K.W., Turchin, P., Zielhofer, C., Dick, R.v., 2020.** Inherent Collapse? Social Dynamics and External Forcing in Early Neolithic and modern SW Germany, in: Riede, F., Sheets, P.D. (Eds.), *Going Forward By Looking Back. Archaeological perspectives on socio-ecological crisis, response, and collapse.*, New York, Oxford, pp. 333-366.
- Grosjean, R., 1961.** Filitosa et son contexte archéologique, *Monuments et mémoires de la Fondation Eugène Piot* 52, 3-96.
- Grosjean, R., 1962.** Le gisement torréen fortifié de Tappa Porto-Vecchio (Corse), *Bulletin de la Société préhistorique de France* 59, 206-217.
- Grosjean, R., 1963.** La statue-menhir de Tavera (Corse), *Bulletin de la Société préhistorique de France* 60, 418-423.
- Guilbeau, D., 2014.** Le débitage par pression de l'obsidienne du Monte Grosso (Haute-Corse) dans le contexte méditerranéen du IV^e millénaire av. J.-C, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 469-488.
- Gutiérrez Garcia-M., A., Savin, M.C., Cantin, N., Boudoumi, S., Lapuente, P., Chapoulie, R., Pianet, I., 2019.** NMR as a new tool for cultural heritage application: The provenance of ancient white marbles, *Archaeometry* 61, 795-808.
- Hasler, A., Tramoni, P., Sargiano, J.-P., Peche-Quilichini, K., Lancelot, S., Lefèvre-Gonzalez, L., Lelièvre, V., Piskorz, M., Sarazin, P., 2012.** Nouvelle intervention archéologique sur le site de Basi (Serra-di-Ferro, Corse-du-Sud), *Chronologie de la Préhistoire récente dans le Sud de la France. Actualités de la recherche, Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente*, Oct 2012, Porticcio, France.
- Hermes, O.D., Ritchie, D., 1997a.** Application of petrographic and geochemical methods to sourcing felsitic archaeological materials in Southeastern New England, *Geoarchaeology* 12, 1-30.
- Hermes, O.D., Ritchie, D., 1997b.** Nondestructive trace element analysis of archaeological felsite by energy-dispersive X-ray fluorescence spectroscopy, *Geoarchaeology* 12, 31-40.

- Hermes, O.D., Luedtke, B.E., Ritchie, D., 2001.** Melrose Green Rhyolite: Its Geologic Setting and Petrographic and Geochemical Characteristics, *Journal of Archaeological Science* 28, 913-928.
- Hofmeijer, G.K., Sondaar, P.Y., Alderliesten, C., Van Der Borg, K., De Jong, A.F.M., 1987.** Indications of pleistocene man on Sardinia, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 29, 166-168.
- Jambon, A., Thomas, A., 2009.** *Géochimie: géodynamique et cycles*, Dunod, p. 416.
- Janny, F., Costa, L.-J., 2004.** Évolution et transformation des industries lithiques taillées et polies durant le Chalcolithique et l'Âge du Bronze en Corse, *L'anthropologie* 108, 111-119.
- Le Bourdonnec, F.-X., Poupeau, G., Lugliè, C., 2006.** SEM-EDS analysis of western Mediterranean obsidians: a new tool for Neolithic provenance studies, *Comptes Rendus Geoscience* 338, 1150-1157.
- Le Bourdonnec, F.-X., Bontempi, J.-M., Marini, N., Mazet, S., Neuville, P.F., Poupeau, G., Sicurani, J., 2010.** SEM-EDS characterization of western Mediterranean obsidians and the Neolithic site of A Fuata (Corsica), *Journal of Archaeological Science* 37, 92-106.
- Le Bourdonnec, F.-X., Poupeau, G., Lorenzi, F., Machut, P., Sicurani, J., 2014.** Typologie et provenance de l'obsidienne du site néolithique d'A Guaita (NW Cap Corse, Corse, France), *Comptes Rendus Palevol* 13, 317-331.
- Leandri, F., Gilabert, C., Jorda, C., Demouche, F., avec la collaboration de Assous-Plunian, M., Bressy-Leandri, C., Chabal, L., Federzoni, N., Gianasini, G., Muller, S., Pinelli, S., Paolini-Saez, H., Rovira, N., Spella, M.M., Vella, M.A., Wattez, J., 2012.** Monte Revincu, Aux origines du mégalithisme en Méditerranée, *Errance*, p. 136.
- Leck, A., Le Bourdonnec, F.-X., Gratuze, B., Dubernet, S., Ameziane-Federzoni, N., Bressy-Leandri, C., Chapoulie, R., Mazet, S., Bontempi, J.-M., Marini, N., Remicourt, M., Perrin, T., 2018.** Provenance d'artefacts en rhyolite corse : évaluation des méthodes d'analyse géochimique, *Comptes Rendus Palevol* 17, 220-232.
- Lee, H.W., Bae, C.J., Lee, C., 2017.** The Korean early Late Paleolithic revisited: a view from Galsanri, *Archaeological and Anthropological Sciences* 9, 843-863.
- Lugliè, C., Le Bourdonnec, F.-X., Poupeau, G., 2014.** Caratterizzazione elementare e provenienza delle ossidiane mediante analisi non distruttiva PIXE e EDXRF, in: Venturino Gambari, M. (Ed.), *La memoria del passato. Castello di Annone tra archeologia e storia (Archeologia Piemonte 2)*, LineLab edizioni, Alessandria, pp. 333-336
- MacKenzie, K.J., Smith, M.E., 2002.** *Multinuclear solid-state nuclear magnetic resonance of inorganic materials*, Elsevier, p. 748.
- Mansur, M.E., De Angelis, H., 2016.** Lithic resource management in mountain environments: The Andean sector of Tierra Del Fuego, *Quaternary International* 402, 117-128.

Martinet, L., Mazet, S., Bontempi, J.M., Binder, D., Marini, N., Sicurani, J., 2019. Réflexion sur le statut fonctionnel et l'insertion économique et culturelle d'un site de haute altitude: Matières premières, productions et usages à l'abri des Castelli (Corte, Haute-Corse), in: Sicurani, J. (Ed.), *L'Habitat Pré-et protohistorique/L'alloghju prestoricu è protostoricu*, actes du 1er colloque de Calvi (Calvi, 28-30 avril 2017), Association de Recherches Pré-et Protohistoriques Corses, Calvi (Haute-Corse), pp. 45-66.

Marzin, S., 2015. L'exploitation et la diffusion de matériaux volcaniques au Paléolithique moyen - L'exemple de la rhyolite du Massif de l'Estérel (Var, France), Université Sophia Antipolis, Nice, p. 103.

Mattei, A., 1879. Minéralogie de la Corse - Liste alphabétique des principales roches de la Corse pouvant intéresser la science ou l'industrie, *Les Annales de la Corse* 3, 148-150.

Mazet, S., 2008. Prospection Thématique et Evaluation de l'Abri des Castelli (2150m). Rapport d'opération archéologique, Service Régional de l'Archéologie de Corse, Ajaccio.

Mazet, S., 2014. Rapport d'Opération Archéologique – Fouille Programmée Annuelle de l'Abri des Castelli (2140m) (Commune de Corte 2B 096, Haute-Corse) Autorisée par l'arrêté préfectoral n° 2012/026/SRA, Ajaccio.

Mazet, S., Bontempi, J.-M., Marini, N., Boschian, G., Bressy-Leandri, C., Forti, A., Gabriele, M., Le Bourdonnec, F.-X., Joly-Delanoë, C., Wilkinson, K., 2012. L'abri des Castelli (2140 m, Corte) : une occupation néolithique de haute-montagne, in: Sénépart, I., Leandri, F., Cauliez, J., Perrin, T., Thirault, É. (Eds.), *10e Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente*, Archives d'Écologie Préhistorique, Porticcio, France, pp. 339-350.

Mazet, S., Marini, N.-A., Bontempi, J.-M., Boschian, G., 2016. La néolithisation de la haute montagne corse : l'Abri des Castelli, 2140 m d'altitude (commune de Corte, centre-Corse), in: Ghilardi, M. (Ed.), *Géoarchéologie des îles de Méditerranée*, CNRS Editions, Paris, pp. 73-88.

Mercury, J.-P., Bonin, B., Bardintzeff, J.-M., Platevoet, B., 1994. La caldeira du Monte Cinto: Etablissement du log détaillé des formations volcaniques permo-triasiques de la vallée de l'Asco (Haute-Corse), *Géologie de la France*, 3-19.

Messineo, P.G., Barros, M.P., Pal, N., Scheifler, N.A., 2019. Transporting rocks to an empty environment of lithic raw materials. The case of the Central Pampean Dunefields (Argentina), *Journal of Archaeological Science: Reports* 25, 433-446.

Michon, L., 2000. Dynamique de l'extension continentale : application au Rift Ouest-Européen par l'étude de la province du Massif Central, Université Blaise Pascal, p. 266.

Ogburn, D., Sillar, B., Sierra, J.C., 2013. Evaluating effects of chemical weathering and surface contamination on the in situ provenance analysis of building stones in the Cuzco region of Peru with portable XRF, *Journal of archaeological science* 40, 1823-1837.

Orange, M., Le Bourdonnec, F.-X., Bellot-Gurlet, L., Lugliè, C., Dubernet, S., Bressy-Leandri, C., Scheffers, A., Joannes-Boyau, R., 2017. On sourcing obsidian assemblages from the Mediterranean area: analytical strategies for their exhaustive geochemical characterisation, *Journal of Archaeological Science: Reports* 12, 834-844.

Orange, M., Le Bourdonnec, F.-X., D'Anna, A., Tramoni, P., Lugliè, C., Bellot-Gurlet, L., Schefers, A., Marchesi, H., Guendon, J.-J., Joannes-Boyau, R., 2018. Obsidian economy on the Cauria Plateau (South Corsica, Middle Neolithic): New evidence from Renaghju and I Stantari, *Quaternary International* 467, 323 - 331.

Orsini, J., 1980. Le batholite corso-sarde: un exemple de batholite hercynien (structure, composition, organisation d'ensemble). Sa place dans la chaîne varisque de l'Europe moyenne, Unpublished thesis, Université d'Aix-Marseille III, France, p. 390.

Orsini, J.-B., Ferrandini, J., Ferrandini, M., Loÿe-Pilot, M.-D., Guennoc, P., Pluquet, F., Oggiano, G., Cherchi, G., Gattacceca, J., Orru, P., 2010. Carte géol. France (1/50 000), feuille Sotta-Bonifacio-Santa-Teresa-di-Gallura (1127). Orléans: BRGM. Notice explicative.

Paolini-Saez, H., Arobba, D., Cheuton, A., Jamai-Chipon, A., Le Bourdonnec, F.-X., Lechenault, M., Leck, A., Le Flecher, T., Marcel, M., Pereira, E., 2020a. The perched site of I Casteddi in Tavera, Corse-du-Sud / Le site perché d'I Casteddi à Tavera, Corse-du-Sud, Âge du Bronze, Âge de Guerre. Violence organisée et expressions de la force au II^e millénaire avant J.-C., Ajaccio, Porticcio, Sartène, France.

Paolini-Saez, H., Arobba, D., Jamai-Chipon, A., Gratuze, B., Lambert, M., Le Bourdonnec, F.-X., Lechenault, M., Leck, A., Le Flecher, T., Marcel, M., Piccardi, E., Villat, X., 2020b. I Casteddi (Tavera - Corse-du-Sud) : habitat, grenier et espace domestique au second âge du Fer, III Workshop Internacional – La prehistoria y la protohistoria de las islas del Mediterráneo occidental. Casas y Poblados: Prácticas sociales en las islas del Mediterráneo occidental durante la prehistoria y la protohistoria, Palma de Majorque, Spain.

Pasquet, A., 2014. U Spidali, l'Ospédale. Sur les sentiers de la préhistoire, Albiana. Passemard, E., 1925. Trois gisements néolithiques de la Corse, *Bulletin de la Société préhistorique de France* 22, 221-225.

Peche-Quilichini, K., Bressy-Leandri, C., Cesari, J., Ferreira, P., Jamai-Chipon, A., Lambert, M., Leandri, F., Le Bourdonnec, F.-X., Le Carlier, C., Leck, A., Lemerrier, O., Martin, L., Palmade, A., Pareja, A., Pereira-Rodrigues, E., Perrin, T., Seguin, M., Tomas, E., Tramoni, P., 2019. Monti Barbatu, Olmeto, Corse-du-Sud, Campagnes 2013 / 2017-2019, Rapport global de fouille archéologique programmé, Direction Régionale des Affaires Culturelles - Service Régional de l'Archéologie de Corse, Ajaccio.

Peche-Quilichini, K., Cesari, J., Leandri, F., Bellot-Gurlet, L., Canobbio, E., Gratuze, B., Leandri, C., Paris, C., 2016. Étude de provenance et implications économique-culturelles des parures vitreuses et résineuses du Bronze moyen de l'abri 1 de Campu Stefanu (Sollacaro, Corse-du-Sud), *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*, 65-81.

Peche-Quilichini, K., 2021. Olmeto–Monti Barbatu. Fouille programmée (2019), ADLFI. Archéologie de la France-Informations. une revue Gallia.

Pereira, E., Bonifay, M.-F., 1998. Étude préliminaire des restes de cervidés de la grotte de la Coscia (Rogliano, Haute-Corse)/A Preliminary study of cervid remains from the grotte de la Coscia (Rogliano, Haute-Corse), *Paléo, Revue d'Archéologie Préhistorique*, 43-60.

Perrin, T., 2015(a). Basi 2015. Rapport d'évaluation archéologique, Service régional de l'Archéologie Corse, p. 29.

Perrin, T., 2015(b). Vivario – Abri Southwell [notice archéologique], ADLFI. Archéologie de la France - Informations .

Perrin, T., 2016. Le gisement préhistorique de Basi à Serra-di-Ferro (Corse-du-Sud). Rapport de fouille programmée annuelle 2016, Service régional de l'Archéologie Corse, p. 187.

Perrin, T., 2017. Le gisement préhistorique de Basi à Serra-di-Ferro (Corse-du-Sud). Premier rapport intermédiaire (2017) d'opération programmée triennale 2017-2019, Service régional de l'Archéologie Corse, p. 188.

Perrin, T., 2019. Basi 2019. Rapport de fouille programmée triennale 2017-2019, Service Régional d'Archéologie de Corse, p. 194.

Perrin, T., Manen, C., 2021. Potential interactions between Mesolithic hunter-gatherers and Neolithic farmers in the Western Mediterranean: The geochronological data revisited, PLOS ONE 16, e0246964.

Pianet, I., Gutiérrez Garcia-M, A., Savin, M.-C., Lapuente Mercadal, P., Sánchez de la Torre, M., Le Bourdonnec, F.-X., 2019. Sourcing and nuclear magnetic resonance: new applications for old materials, STAR: Science & Technology of Archaeological Research 5, 20-28.

Pianet, I., Gutierrez-Garcia, A., Lapuente-Mercadal, P., 2020. Approche archéométrique pour l'identification de la provenance des marbres blancs, Aquitania 36, 289.

Pollock, S.G., Hamilton, N.D., Boisvert, R.A., 2008. Archaeological geology of two flow-banded spherulitic rhyolites in New England, USA: their history, exploitation and criteria for recognition, Journal of Archaeological Science 35, 688-703.

Potts, P.J., Bernardini, F., Jones, M.C., Williams-Thorpe, O., Webb, P.C., 2006. Effects of weathering on in situ portable X-ray fluorescence analyses of geological outcrops: dolerite and rhyolite outcrops from the Preseli Mountains, South Wales, X-Ray Spectrometry 35, 8-18.

Poupeau, G., Le Bourdonnec, F.-X., Bellot-Gurlet, L., 2014. Caractérisation et circulation de l'obsidienne, in: Dillmann, P., Bellot-Gurlet, L. (Eds.), Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes. La contribution des méthodes archéométriques, Éditions des Archives Contemporaines, Paris, pp. 9-33.

Pradeau, J.-V., Binder, D., Vérati, C., Lardeaux, J.-M., Dubernet, S., Lefrais, Y., Regert, M., 2016. Procurement strategies of Neolithic colouring materials: Territoriality and networks from 6th to 5th millennia BCE in North-Western Mediterranean, Journal of Archaeological Science 71, 10-23.

Rebmann, T., 2005. Caractérisations pétroarchéologiques et aires de circulations des industries moustériennes différentes du silex entre la Moselle et le Jura: Stations de Mutzig et du Nideck (Alsace), de Lellig (Luxembourg), et Alle (Jura Suisse), Université Louis Pasteur (Strasbourg).

Remicourt, M., Cesari, J., Tramoni, P., 2014. L'industrie lithique taillée de la couche B du gisement d'I Calanchi à Sollacaro (Corse-du-sud) : reflet des traditions et des mutations du terrilien dans le sud de la Corse, 11ème Rencontres méridionales de Préhistoire récente, Montpellier, France, pp. 329-344.

- Remicourt, M., Piboule, M., 2014.** Etude de l'industrie lithique taillée de la couche B, Terrasse Nord, à I Calanchi (Sollacaro, Corse-du-Sud), SRA de Corse.
- Rossi, P., 1986.** Organisation et genèse d'un grand batholite orogénique: le batholite calco-alcalin de la Corse, Editions du Bureau de recherches géologiques et minières, p. 292.
- Rossi, P., 2000.** La Corse, *Géologues* 125/126, 27-29
- Scharlotta, I., 2010.** Groundmass microsampling using laser ablation time-of-flight inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-TOF-ICP-MS): potential for rhyolite provenance research, *Journal of Archaeological Science* 37, 1929-1941.
- Scharlotta, I., Quach, T.T., 2015.** Provenance analysis of porphyritic volcanic materials in San Diego using portable X-ray Fluorescence, *Journal of Archaeological Science: Reports* 3, 285-294.
- Shackley, M.S., 2011.** An Introduction to X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis in Archaeology, in: Shackley, M.S. (Ed.), *X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology*, Springer New York, New York, NY. pp. 7-44.
- Sherriff, B.L., Hartman, J.S., 1985.** Solid-state high-resolution ^{29}Si NMR of feldspars; Al-Si disorder and the effects of paramagnetic centres, *The Canadian Mineralogist* 23, 205-212.
- Sicurani, J., 2008.** Etude technologique et typologique du matériel lithique taillé néolithique trouvé en place dans quelques sites majeurs du Nord-Ouest (Balagne) de la Corse, Université de Corse, p. 714.
- Siebel, W., Schmitt, A.K., Kiemele, E., Danišík, M., Aydin, F., 2011.** Acigöl rhyolite field, central Anatolia (part II): geochemical and isotopic (Sr-Nd-Pb, $\delta^{18}\text{O}$) constraints on volcanism involving two high-silica rhyolite suites, *Contributions to Mineralogy and Petrology* 162, 1233-1247.
- Simpson, D.N., 1996.** Aspects of weathering of rhyolite and typological and technological considerations of this material based on the results of refitting, *Norwegian Archaeological Review* 29, 79-87.
- Smith, M., 1993.** Application of ^{27}Al NMR techniques to structure determination in solids, *Applied Magnetic Resonance* 4, 1-64.
- Soula, F., 2014.** Le mégalithisme des pierres dressées en Corse: chronologies, rôles, significations et perspectives, *SER Bull.* 63, 99-128.
- Spoor, C.F., Sondaar, P.Y., 1986.** Human fossils from the endemic island fauna of Sardinia, *Journal of Human Evolution* 15, 399-408.
- Steinhauser, G., Sterba, J.H., Bichler, M., Huber, H., 2006.** Neutron activation analysis of Mediterranean volcanic rocks – An analytical database for archaeological stratigraphy, *Applied Geochemistry* 21, 1362-1375.

- Sterba, J.H., Foster, K.P., Steinhauser, G., Bichler, M., 2009.** New light on old pumice: the origins of Mediterranean volcanic material from ancient Egypt, *Journal of Archaeological Science* 36, 1738-1744.
- Thirion-Merle, V., 2014.** Spectrométrie de fluorescence X, in: Dillmann, P., Bellot-Gurlet, L. (Eds.), *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes*, Editions des archives contemporaines, Paris, pp. 291-298.
- Tramoni, P., D'Anna, A., Pinet, L., Guendon, J., Orsini, J., 2002.** La nécropole mégalithique de Vasculacciu (Figari, Corse-du-Sud), Auvergne et Midi-Actualité de la recherche, Actes des 5e Rencontres Méridionales de Préhistoire Récente, Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), 523-536.
- Tramoni, P., D'Anna, A., Pasquet, A., Milanini, J.-L., Chessa, R., 2007.** Le site de Tivulaghju (Porto-Vecchio, Corse-du-Sud) et les coffres mégalithiques du sud de la Corse, nouvelles données, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 245-274.
- Tramoni, P., Ferraz, A., Gaillard, C., Negroni, S., 2019.** L'établissement métallurgique, Néolithique final de Listrella et Stabielle (Monticello, Haute-Corse), in: Sicurani, J. (Ed.), *L'Habitat Pré-et protohistorique/L'alloghju prestoricu è protostoricu*, actes du 1er colloque de Calvi (Calvi, 28-30 avril 2017), Association de Recherches Pré-et Protohistoriques Corses, Calvi (Haute-Corse), pp. 105-121.
- Tykot, R.H., 1997.** Characterization of the Monte Arci (Sardinia) obsidian sources, *Journal of Archaeological Science* 24, 467-479.
- Vacchi, M., Ghilardi, M., Melis, R.T., Spada, G., Giaime, M., Marriner, N., Lorscheid, T., Morhange, C., Burjachs, F., Rovere, A., 2018.** New relative sea-level insights into the isostatic history of the Western Mediterranean, *Quaternary Science Reviews* 201, 396-408.
- Vaquer, J., 2007.** Le rôle de la zone nord-tyrrhénienne dans la diffusion de l'obsidienne en Méditerranée nord-occidentale au Néolithique, in: Cesari, J., D'Anna, A., Ogel, L., Vaquer, J. (Eds.), *128ème Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques « Corse et Sardaigne préhistoriques : relations et échanges dans le contexte méditerranéen »* (Bastia, 14-21 avril 2003). éditions du CTHS, Paris, pp. 99 - 119.
- Vella, M.-A., Andrieu-Ponel, V., Cesari, J., Leandri, F., Pêche-Quilichini, K., Reille, M., Poher, Y., Demory, F., Delanghe, D., Ghilardi, M., Ottaviani-Spella, M.-M., 2019.** Early impact of agropastoral activities and climate on the littoral landscape of Corsica since mid-Holocene, *PLOS ONE* 14.
- Vellutini, P., 1977.** Le magmatisme permien de la Corse du nord-ouest : son extension en méditerranée occidentale, *Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix-Marseille III*, p. 325.
- Vellutini, P., Orsini, J.B., Michon, G., Hervé, J.Y., 1996.** Notice explicative. Carte géol. France (1/50 000), feuille Galeria-Osani (1109), Orléans : BRGM, p. 109.
- Vigne, J.-D., 1995.** Faunes sauvages et sociétés humaines sur les îles Méditerranéennes : exemples corses, in: Chaix, L., Olive, C., Roguin, L.D., Maamar, H.S., Studer, J. (Eds.), *L'animal dans l'espace humain, l'homme dans l'espace animal. Actes du 5ème Colloque international HASRI* (Genève, 23-25 novembre 1994), *Anthropozoologica*, pp. 41-54.

- Vigne, J.-D., 1996.** Contribution des peuplements de vertébrés insulaires à la connaissance de la navigation préhistorique en Méditerranée, Pour qui la Méditerranée au 21 ème siècle? Navigation, échanges et environnement en Méditerranée., Montpellier, France, pp. 65-76.
- Weiss, M.-C., 2007.** Habitation et modèle d'occupation du sol de l'horizon IIb2 du site du Néolithique ancien de A Petra (L'île-Rousse, Haute-Corse), in: Tozzi, C., Weiss, M.-C. (Eds.), Préhistoire et protohistoire de l'aire tyrrhénienne - Preistoria e protostoria dell'area tirrenica, Unione Europea Interreg III A Francia - Italia "Isole" Toscana, Corsica, Sardegna, Felici Editore, Pise, pp. 9-17.
- Williams-Thorpe, O., Thorpe, R.S., 1984.** The distribution and sources of archaeological pitchstone in Britain, *Journal of Archaeological Science* 11, 1-34.
- Williams-Thorpe, O., 1988.** Provenancing and archaeology of roman millstones from the Mediterranean area, *Journal of Archaeological Science* 15, 253-305.
- Williams-Thorpe, O., Potts, P.J., Webb, P.C., 1999.** Field-Portable Non-Destructive Analysis of Lithic Archaeological Samples by X-Ray Fluorescence Instrumentation using a Mercury Iodide Detector: Comparison with Wavelength-Dispersive XRF and a Case Study in British Stone Axe Provenancing, *Journal of Archaeological Science* 26, 215-237.
- Yue, J.-P., Li, Y.-Q., Zhang, Y.-X., Yang, S.-X., 2020.** Lithic raw material economy at the Huayang site in Northeast China: localization and diversification as adaptive strategies in the Late Glacial, *Archaeological and Anthropological Sciences* 12, 1-13.
- Zeigler, K.E., Hogan, P., Hughes, C., Kurota, A., 2011.** Native American lithic procurement along the international border in the boot heel region of southwestern New Mexico, *Solid Earth* 2, 75-93.

Liste des Figures

<i>Figure 001 : Diagramme de Streckeisen, d'après Beaux et al. 2019</i>	25
<i>Figure 002 : Classification TAS des roches volcaniques (d'après Le Bas et al., 1986)</i>	26
<i>Figure 003 : Carte géologique simplifié de la Corse (dans Ferrandini et al., 2009, d'après Rossi, 2000)</i>	30
<i>Figure 004 : Représentation schématique de la rotation du bloc Corso-Sarde entre 30 et 18 Ma (Ferrandini et al., 2009, d'après Gattacceca et al., 2007)</i>	32
<i>Figure 005 : Carte du bloc corso-sarde, de l'archipel toscan et du golfe de Gênes (DAO : N. Frerebeau et A. Leck)</i>	34
<i>Figure 006 : Principaux sites du second Mésolithique (après ~ 6,500 av. n.è.) et du Néolithique ancien en Méditerranée occidentale (Perrin et Manin, 2021)</i>	36
<i>Figure 007 : Chronologie de la diffusion du Néolithique à travers l'Europe (d'après Gronenborn et al., 2020, version actualisée par les auteurs en 2021 mais non publiée)</i>	37
<i>Figure 008 : Chronologie du Néolithique en Corse, mise en parallèle avec la chronologie sarde (en bas) (Tramoni et D'Anna, 2016)</i>	38
<i>Figure 009 : Dolmen de Casa di l'Urcu sur le site du Monte Revincu (Santo-Pietro-di-Tenda, Haute-Corse) (Photo Pierre Bona, licence CC)</i>	39
<i>Figure 010 : Collier de perles de verre et d'ambre en cours de dégagement, sépulture du BM de l'abri 1 de Campu Stefanu (Sollacaro, Corse-du-Sud) (Photo : J. Cesari, Peche-Quilichini et al., 2016)</i>	41
<i>Figure 011 : Statues-menhirs de Cauria-I Stantari (Sartène, Corse-du-Sud) (D'Anna, 2011)</i>	42
<i>Figure 012 : Exemples d'artefacts en rhyolite des catégories A et C provenant des niveaux du Néolithique ancien de Strette (Ameziane-Federzoni, 2011)</i>	46
<i>Figure 013 : Bloc de rhyolite en position sub-primaire sur le plateau de Stagnu (photo : N. Ameziane-Federzoni, Ameziane-Federzoni, 2011)</i>	47

<i>Figure 014 : Exemple d'observations de rhyolites d'I Calanchi (photo et microphoto : M. Remicourt, d'après Remicourt et Piboule, 2014)</i>	<i>48</i>
<i>Figure 015 : Artefacts provenant du site paléoindien de Neponset (Massachusetts). La structure fluidale et les sphérulites sont ici très marquées et peuvent être utilisées pour retrouver le gisement géologique correspondant (Pollock et al., 2008)</i>	<i>52</i>
<i>Figure 016 : Analyse en Composante Principale basée sur les résultats en Rb, Sr, Y, Zr, Nb et Ba de l'analyse des rhyolites du locus 5 de Cliche-Rancourt (CM, N=12 ; RGG, N=15 ; RGS, N=6) et des gisements de rhyolites potentiels (Lac Brassua N=5 ; Mont Kineo N=3 ; Mont Jasper N=3 ; Jefferson N=1 ; Montagne de Marbre N=5 ; Mont Elephant N=2) (Reproduit de Burke et al., 2014)</i>	<i>56</i>
<i>Figure 017 : Graphiques présentant la variation des concentrations en Fe et Nb en fonction de la profondeur de l'analyse que l'on peut observer sur des échantillons altérés en surface. (Potts et al., 2006)</i>	<i>57</i>
<i>Figure 018 - Compositions moyennes des zircons analysées par LA-ICP-MS provenant de Stonehenge/Cursus (SH/Cursus) ainsi que des sources de Pont Saeson (PS) et du complexe volcanique de Fishguard (FVG). Les compositions sont très proches car ces roches proviennent certainement de la même chambre magmatique cependant la similarité entre Pont Saeson et Stonehenge est évidente (d'après Bevins et al., 2011)</i>	<i>60</i>
<i>Figure 019 - Fragment de pierre ponce retrouvé sur le site de Duruthy (Landes, France) observé au MEB. Les parties vitreuses entourant les vésicules sont bien visibles (d'après Dachary et al., 2012)</i>	<i>62</i>
<i>Figure 020 : Observation sous microscope polarisant en lumière polarisée analysée. A : BDX19514, Giunte, Matrice microcristalline et microfaille ; B : BDX19524, Giunte, Oxydes de fer (hématite ?) et altération (chlorite ou sericite ?); C : BDX 19306, Potezu, phanocristaux de plagioclase altéré ; D : BDX 19290, Pastini, sphérulites et chlorites ; E : BDX20952, Fangu, présence exceptionnelle de calcite F : BDX 20928, Stagnu, ponce devitrifiée, quartz présentant des golfes de corrosions.....</i>	<i>70</i>
<i>Fig 021 : Réseaux de Bravais (Auteurs : Natan Capobianco et Gauthier Roisine CC-BY-NC-ND)</i>	<i>71</i>
<i>Figure 022 : Pointe "tour Eiffel" prête à l'analyse DRX.</i>	<i>73</i>

<i>Figure 023 : Diffractogramme de l'armature "tour Eiffel". Les pics sont bien définis et l'on n'observe pas de bosse caractéristique des matériaux amorphes. Seuls les quartz et les feldspaths potassiques ont pu être identifiés</i>	<i>74</i>
<i>Figure 024 - Diagrammes ternaires basés sur les concentrations mesurées en LA-ICP-MS sur les échantillons géologiques. SrO-Y2O3-BaO (centrés) permet de distinguer le plateau de Stagnu des autres sources. SrO-MnO-Lu2O3 (centrés) permet de distinguer les trois autres sources entre-elles.</i>	<i>76</i>
<i>Figure 025 : RMN ²⁹Si des échantillons BDX17884, 17890, 17910 et 17924 montrant la présence des différentes espèces chimiques</i>	<i>79</i>
<i>Figure 026 : Spectre ²⁹Si de rhyolite (BDX17924, en noir) et de silex (en vert, provenance Montgaillard).</i>	<i>79</i>
<i>Figure 027 : Schéma représentant les différentes structures de silicates, X correspond à un atome différent du silicium (Al, Ca, Sr ...), et la quantité théorique d'isotopes 29 du silicium correspondant à chaque structure.</i>	<i>79</i>
<i>Figure 028 : RMN ²⁷Al des échantillons BDX17884, 17890, 17910 et 17924 montrant la présence des différentes espèces chimiques</i>	<i>81</i>
<i>Figure 029 : Image et analyse MEB-EDS de l'échantillon BDX17898. On observe en cartographie X la présence d'un encroûtement riche en calcium à la surface de l'échantillon. Echelle : 600µm</i>	<i>84</i>
<i>Figure 030 : Extrémité du dispositif AGLAE lors de l'analyse d'une rhyolite géologique (Photo F.-X. Le Bourdonnec)</i>	<i>85</i>
<i>Figure 031 : Disposition des sections polies de rhyolites géologiques en vue de l'analyse PIXE. On aperçoit ici l'extrémité de l'accélérateur de particule ou se regroupe la sortie du faisceau d'ions et les différents détecteurs (Photo F.-X. Le Bourdonnec)</i>	<i>86</i>
<i>Figure 032 : Principe de l'analyse PIXE. Expulsion d'un électron de cœur puis réarrangement électronique accompagné de l'émission d'un rayon X caractéristique (Calligaro et Pacheco, 2019)</i>	<i>87</i>
<i>Figure 033 : Cartographie PIXE des concentrations en Fe de BDX19378 sur 5x5mm.....</i>	<i>88</i>
<i>Figure 034 : Cartographie PIXE des concentrations en Zr de BDX19371 sur 2x2mm.....</i>	<i>88</i>

<i>Figure 035 : Spectre de fluorescence X d'un échantillon d'obsidienne sarde. Le rayonnement secondaire émis par l'échantillon entre 8 et 17 keV contient les raies caractéristiques du Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba et Pb. Le bruit de fond qui apparaît ici en noir est causé par le rayonnement de la source de rayons X, une anode au rhodium dans notre cas.</i>	<i>89</i>
<i>Figure 036 : Graphique bivarié comparant les teneurs en TiO₂ + Zr et MnO + Sr mesurées en EDXRF sur la totalité des échantillons géologiques. Chaque prélèvement (deux cubes millimétriques et une section polie par échantillon) a fait l'objet d'une mesure (Leck et al., 2018)</i>	<i>91</i>
<i>Figure 037 : Graphique bivarié comparant les teneurs en TiO₂ + Sr et MnO + Rb mesurées en EDXRF sur les échantillons géologiques d'Alzu, Castelli et Monte d'Oro et sur les échantillons archéologiques mis au jour sur le plateau d'Alzu et dans l'Abri des Castelli. Les échantillons BDX17898 et BDX17943 ont été analysés à plusieurs reprises, le résultat de chaque analyse étant représenté sur le graphique (Leck et al., 2018)</i>	<i>91</i>
<i>Figure 038 : Spectromètre de fluorescence X SEA 6000vx de l'IRAMAT CRP2A, vue générale et exemple d'échantillons archéologiques positionnées sur la platine.</i>	<i>94</i>
<i>Figure 039 : Concentration en éléments traces de l'échantillon Arc-Urs analysé lors de chaque routine (255) entre juin 2017 et avril 2019</i>	<i>96</i>
<i>Figure 040 : Concentrations en éléments traces de l'échantillon BDX19517 en fonction de son épaisseur</i>	<i>100</i>
<i>Figure 041 : Résultats des analyses EDXRF menées sur 50 pièces sélectionnées aléatoirement dans la série des rhyolites de Renaghju (phase 1). Les groupes ont été définis visuellement (graphique de gauche) puis géochimiquement (graphique de droite).....</i>	<i>102</i>
<i>Figure 042 : Diagramme ternaire centré comparant les concentrations en Zn, Pb et Rb de trois affleurements du plateau de Pastini, du filon de Roccapina et des artefacts du groupe B de Monti Barbatu</i>	<i>107</i>
<i>Figure 043 : Carte de l'ensemble des gisements échantillonnés.</i>	<i>109</i>
<i>Figure 044 : Armature expérimentale (à gauche) taillée dans une rhyolite de la Melaja et armature du Monte Revincu (à droite) (taille et photo : N. Ameziane-Federzoni, Ameziane-Federzoni, 2011).....</i>	<i>111</i>
<i>Figure 045 : Zones prospectées en 2017 dans la vallée de l'Ascu et positions des vestiges archéologiques découverts en surface (Ameziane-Federzoni, 2017)</i>	<i>111</i>

<i>Figure 046 : Vu sur les falaises abruptes du Capu di a Marcia depuis le plateau de Stagnu. Blocs de rhyolites au premier plan, les chalets de la station de ski sont visibles au second plan.....</i>	<i>112</i>
<i>Figure 047 : Abri et filon du Giunte. Les traces d'exploitations visibles sur le filon sont certainement contemporaines.</i>	<i>113</i>
<i>Figure 048 : Galet de jaspe ou lydienne prélevé dans le lit du Fangu par N. Ameziane-Federzoni</i>	<i>114</i>
<i>Figure 049 : Carte géologique de la rive droite du delta du Fangu. On observe un lambeau de formations paléozoïques, dont des lydiennes, au sommet du Capu Russellu (Vellutini et al., 1996)</i>	<i>115</i>
<i>Figure 050 : Gisements échantillonnés dans la vallée du Fangu. A : Lydiennes du Capu Russellu, B : Dyke rhyolitique, C : Rhyolite de la Bocca a u Ghineparu, D : Formations rhyolitiques coupées par la rivière et alluvions du Bocca Bianca au gué de San Quilicu</i>	<i>116</i>
<i>Figure 051: Rhyolite du plateau d'Alzu, affleurement présentant des négatifs d'enlèvements entouré de débris (à gauche) et nucléus (à droite) (d'après N. Ameziane-Federzoni, 2011 et 2019)</i>	<i>118</i>
<i>Figure 052 : Filon de rhyolite (8b) à proximité de la Punta di Castelli (Photo : G. Boschian, d'après Mazet, 2008)</i>	<i>119</i>
<i>Figure 053 : Vue du filon de Roccapina, au pied de la tour génoise. On peut observer le bord de dyke et le contact avec l'encaissant granitique. La roche se délite en plaquettes ou blocs prismatiques.</i>	<i>120</i>
<i>Figure 054 : Diagrammes multiélémentaires normés au N-MORB des granitoïdes et des gabbros du complexe intrusif de Sotta. (D'après Orsini et al., 2010)</i>	<i>121</i>
<i>Figure 055 : Taravu et ses alluvions entre Pila-Canale et Petreto-Bicchisano</i>	<i>122</i>
<i>Figure 056 : La rhyolite que l'on trouve à Linarellu se présente soit sous forme de filons utilisés pour délimiter les parcelles (les blocs prismatiques qui se sont détachés sont utilisés pour construire des murettes) soit sous formes de blocs fragmentés et épandus dans les champs</i>	<i>123</i>
<i>Figure 057 : Rhyolites de Linarellu se détachant en blocs prismatiques et nucléus découvert en surface au niveau de la terrasse sommitale du Monti Barbatu.</i>	<i>123</i>

Figure 058 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement), 1 - 23828 - Montestremu, 2 - 23882 - Fangu, 3 - 23831 - Montestremu, 4 - 23810 - CapuRussellu, 5 - 23837 - Montestremu, 6 - 23811 - CapuRussellu, 7 - 23885 - Fangu, 8 - 23827 - Montestremu, 9 - 23803 - Tartagina, 10 - 23900 - SanColombano, 11 - 23884 - Fangu, 12 - 23902 - SanColombano 125

Figure 059 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement), 1 - 19305 - Potezu, 2 - 19304 - Tarpentana, 3 - 23806 - Tartagina, 4 - 23808 - CapuRussellu, 5 - 23867 - BoccaaAuGhineparu, 6 - 23876 - BoccaaAuGhineparu, 7 - 23818 - CapuRussellu, 8 - 23816 - CapuRussellu, 9 - 23896 - SanColombano, 10 - 23802 - Tartagina 126

Figure 060 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement), 1 - 23872 - BoccaaAuGhineparu, 2 - 23894 - Fangu, 3 - 20937 - Ascu, 4 - 20940 - Ascu, 5 - 19291 - SaparaVentosa, 6 - 19289 - SaparaVentosa, 7 - 20923 - Stagnu, 8 - 20926 - Stagnu, 9 - 20927 - Stagnu, 10 - 20922 - Stagnu 127

Figure 061 : Exemples d'échantillons géologiques polis. (N° - BDX - Gisement), 1 - 19504 - Ascu, 2 - 19507 - RivGiunte, 3 - 19506 - RivGiunte, 4 - 19326 - Cicutetu, 5 - 19516 - Riv.Giunte, 6 - 19495 - Manica, 7&8 - 19499 - Manica 128

Figure 062 : Schéma montrant l'organisation du complexe filonien tardi à post-orogénique en Corse du Sud. Secteur couvert par les feuilles au 1/50 000 Sartène – Porto Vecchio – Sotta – Bonifacio – Roccapina (D'après Orsini et al., 2010) 130

Figure 063 : Représentation graphique (ACP) du référentiel. Chaque couleur représente une source, chaque source peut contenir plusieurs types géochimiques. Projection suivant la première et la seconde composante. L'ensemble des données est reporté en annexes 132

Figure 064 : Représentation graphique (ACP) du référentiel. Chaque couleur représente une source, chaque source peut contenir plusieurs types géochimiques. Projection suivant la première et la troisième composante. L'ensemble des données est reporté en annexes 133

Figure 065 : Répartition des sites archéologiques dont les séries rhyolites ont été analysées dans cette étude. (DAO : N. Frerebeau, A. Leck) 138

Figure 066 : Vue à 270° depuis le sommet du Monti Barbatu où la vue est entièrement dégagée sur le golfe du Valincu à gauche, et la vallée du Taravu à droite (Photo : Antoine Pareja)..... 139

<i>Figure 067 : Structure A, planimétrie phase 3 ; en bleu : US 125/155 avec extension reconstituée, enjaune et gris : trous de poteau et calages (rouge : macrolithique en emploi), en vert clair : trous de poteau non phasés, en marron : hypothèse de reconstitution de la charpente (DAO : K. Peche-Quilichini, in : Peche-Quilichini et al., 2019)</i>	<i>141</i>
<i>Figure 068 : Sectorisation du site du Monti Barbatu (secteurs D, C et B), photo aérienne depuis l'est (drone T. Marchal, DAO : K. Peche-Quilichini) et plan topographique (levé M. Seguin, DAO : K. Peche-Quilichini, dans Peche-Quilichini et al., 2019)</i>	<i>142</i>
<i>Figure 069 : Echantillons BDX19357, 19408 et 19409 (de gauche à droite) en radiolarite. Les pièces BDX19408 et 19409 présentent des stigmates de chauffe.....</i>	<i>143</i>
<i>Figure 070 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites mises au jour au Monti Barbatu en 2013, 2017 et 2018. Chaque point correspond à une analyse, chaque échantillon ayant pu faire l'objet de plusieurs analyses en fonction des surfaces disponibles.....</i>	<i>144</i>
<i>Figure 071 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites mises au jour au Monti Barbatu en 2013, 2017 et 2018. Chaque point correspond à une analyse, chaque échantillon ayant pu faire l'objet de plusieurs analyses en fonction des surfaces disponibles</i>	<i>145</i>
<i>Figure 072 - Exemples d'artefacts en rhyolite en matière locale mis au jour dans l'US112. De gauche à droite : BDX19417, 19419, 19413, 19414, 19421, 19422, 19423, 19410.....</i>	<i>147</i>
<i>Figure 073 : Exemple de petit filon de rhyolite affleurant à proximité du Monti Barbatu, aux alentours du lieu-dit Linarellu</i>	<i>147</i>
<i>Figure 074 : Rhyolites du groupe B. De gauche à droite : BDX19381, 19406, 19374, 19363, 19404</i>	<i>148</i>
<i>Figure 075 : Artefacts du groupe C, de gauche à droite : BDX 19393, 19391, 19372, 19407, 19399, 19396</i>	<i>148</i>
<i>Figure 076 : Rhyolites du groupe H, D et E. De gauche à droite : BDX19429 (H), 19378 (D), 19373 (E), et 19384 (D)</i>	<i>150</i>
<i>Figure 077 : carte des différents approvisionnements en rhyolite mis en évidence au Monti Barbatu (DAO : N. Frerebeau, A. Leck)</i>	<i>152</i>

<i>Figure 078 : Secteurs 2, 1 et 4 en cours de fouille durant la campagne de 2017 (Perrin, 2017)....</i>	154
<i>Figure 079 : Plan masse de la partie nord du site de Basi. Le matériel en rhyolite étudié provient des fouilles de la zone 1 uniquement (Perrin, 2019)</i>	156
<i>Figure 080 : Répartition des matières premières en fonction des différentes phase d'occupation du Néolithique de Basi. (Perrin, 2017)</i>	157
<i>Figure 081 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de Basi. Projection de la 1^{ère} et 2^{ème} composante. Le groupe H n'est pas représenté car sa composition chimique très atypique nuit à la clarté de l'ACP</i>	158
<i>Figure 082 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de Basi. Projection de la 2^{ème} et 3^{ème} composante. Le groupe H n'est pas représenté car sa composition chimique très atypique nuit à la clarté de l'ACP.</i>	159
<i>Figure 083 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Basi. (N°-BDX-Groupe) 1-24267-B, 2-24169-C, 3-24003-A, 4-24350-E, 5-24271-O, 6-24298-O, 7-24278-O, 8-24211-G, 9-24008-F, 10-23949-F, 11-23947-F, 12-24280-K, 13-24317-J, 14-24009-L, 15-24268-L</i>	160
<i>Figure 084 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Basi. (N°-BDX-Groupe) 1-23942-N, 2-24274-I, 3-24283-I, 4-24273-I, 5-24005-I, 6-24287-I, 7-24011-I, 8-24126-I, 9-24092-I, 10-24353-I, 11-23953-P, 12-24233-P, 13-24178-P</i>	161
<i>Figure 085 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Basi. (N°-BDX-Groupe) 1-24168-R, 2-24270-R, 3-24125-R, 4-24358-Q, 5-24209-R, 6-24260-Q, 7-24021-Q</i>	163
<i>Figure 086 : Alluvions en bordure du Taravu. Les roches transportées par le fleuve sont extrêmement diversifiées mais quelques galets peuvent fournir des matériaux de qualité suffisante pour la taille (Photo : H.-G. Naton, Géoarchéon, dans Perrin, 2019)</i>	166
<i>Figure 087 : carte des différents approvisionnements en rhyolite du site de Basi. La grande majorité des pièces proviennent de l'environnement immédiat du site, une dizaine seulement sont issues du massif du Cintu au nord-ouest, une douzaine viendrait probablement de différentes zones montagneuses du centre de l'île et possiblement une pièce émanerait d'un gisement du Sartenais (DAO : N. Frerebeau, A. Leck)</i>	167

<i>Figure 088: Zones probables d'approvisionnement en matériaux argileux locaux pour la fabrication des céramiques (d'après Paolini-Saez in Perrin, 2016)</i>	<i>168</i>
<i>Figure 089 : Diagramme en barres cumulées représentant les différents types de rhyolites mises au jour à Basi en fonction de leur contexte stratigraphique.</i>	<i>168</i>
<i>Figure 090 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites mises au jour à I Casteddi de 2014 à 2017. Projection de la 1^{ère} et 2^{ème} composante</i>	<i>171</i>
<i>Figure 091: Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolite mises au jour à I Casteddi de 2014 à 2017. Projection de la 2^{ème} et 3^{ème} composante</i>	<i>172</i>
<i>Figure 092 - Photographie des échantillons BDX23633 (groupe A), BDX2381 (groupe G), BDX23622 (groupe G), BDX23457 (groupe B), BDX23198 (groupe C), BDX23495 (groupe C) et BDX23328 (groupe C)</i>	<i>173</i>
<i>Figure 093 - Photographie des échantillons BDX23543 (groupe E), BDX23658 (groupe H), BDX23283 (groupe H), BDX23526 (groupe L), BDX23556 (groupe L), BDX23453 (groupe L) et BDX23369 (groupe L)</i>	<i>174</i>
<i>Figure 094 - Photographie d'un échantillon des rhyolites du groupe K (BDX23668, 23523, 23284, 23349, 23446, 23355, 23402, 23494, 23307, 23330, 23610)</i>	<i>176</i>
<i>Figure 095 - Photographies d'un échantillon des rhyolites du groupe M (BDX23637, 23347, 23443, 23367, 23524, 23343, 23502, 23286, 23552, 23648, 23350 et 23340)</i>	<i>177</i>
<i>Figure 096 - Photographie d'un échantillon des rhyolite du groupe M (BDX23586, 23437, 23448, 23649, 23381, 23297, 23352, 23574)</i>	<i>177</i>
<i>Figure 097 : carte des différents approvisionnements en rhyolite du site de I Casteddi. (DAO : N. Frerebeau, A. Leck)</i>	<i>179</i>
<i>Figure 098 : Monolithes de Renaghju</i>	<i>180</i>
<i>Figure 099 : Plan de situation du plateau de Cauria et ses environs, riche de plusieurs dizaines d'entités archéologiques. Les points rouges correspondent aux sites de Renaghju, au sud, et Calavu, au nord, d'où proviennent les échantillons de rhyolites que nous avons analysés (D'après D'Anna et al., 2006)</i>	<i>182</i>

<i>Figure 100: Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de la phase 1 de Renaghju. Projection de la 1^{ère} et 2^{ème} composante</i>	<i>184</i>
<i>Figure 101: Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF des pièces en rhyolites de la phase 1 de Renaghju. Projection de la 2^{ème} et 3^{ème} composante</i>	<i>185</i>
<i>Figure 102 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Renaghju. (N°-BDX-Groupe) 1-21602-RVF, 2-21663-RVF, 3-221984-Pastini, 4-21448-Pastini, 5-21889-RVF, 6-21749-RVF, 7-21776-Pastini, 8-21370-Pastini, 9-21649-Pastini, 10-21774-RVF, 11-21560-Pastini, 12-21504-RVF, 13-21707-Pastini, 14-21888-Pastini, 15-21869-RVF, 16-21671-Pastini, 17-21513-Pastini, 18-21752-Pastini, 19-21710-Pastini</i>	<i>186</i>
<i>Figure 103 : carte géologique du plateau de Cauria et de ses environs. L'emplacement du site de Renaghju est indiqué par une étoile rouge, on distingue en rouge les filons de Pastini au nord et de Serragia à l'ouest.</i>	<i>187</i>
<i>Figure 104 : Exemples d'artefacts en rhyolites mis au jour à Renaghju. (N°-BDX-Groupe) 1-21636-Pastini, 2-21579-RVF, 3-21702-RVF, 4-21755-C, 5-21373-C, 6-21630-G, 7-21748-F, 8-21578-I, 9-21742-H, 10-21612-H, 11-21484-H</i>	<i>189</i>
<i>Figure 105 : carte des différents approvisionnements en rhyolite de la phase 1 de Renaghju. 97% des pièces proviennent de gisements locaux, 2% du massif du Cintu au nord-ouest et quelques rhyolites sont de provenance inconnue (DAO : N. Frerebeau, A. Leck)</i>	<i>191</i>
<i>Figure 106 : Abri des Castelli vu du nord-ouest, cliché : S. Mazet (Mazet, 2014)</i>	<i>193</i>
<i>Figure 107 : Exemples d'armatures perçantes, tranchantes et segments de cercle mis au jour dans l'abri des Castelli ou trouvé à proximité en prospection. (d'après Mazet et al., 2016)....</i>	<i>195</i>
<i>Figure 108 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF d'une sélection de pièces en rhyolites de l'Abri des Castelli.</i>	<i>196</i>
<i>Figure 109: Sélection d'artefacts en rhyolite des niveaux Néolithique ancien de l'abri des Castelli analysés en EDXRF.</i>	<i>197</i>
<i>Figure 110 : Analyse en composante principale appliquée aux résultats EDXRF d'une sélection de 95 pièces en rhyolites de A Petra.</i>	<i>200</i>

Figure 111 : Lit du Fiume Seccu asséché charriant des roches issues de l'érosion du massif du Cintu en arrière-plan (Photo : N. Ameziane-Federzoni, Ameziane-Federzoni, 2011) 204

Figure 112 : Répartition des sous-sources d'obsidiennes dans les séries nuragiques comportant au moins huit artefacts (Freund, 2015) 207

Figure 113 : Diffusion de la rhyolite de l'Esterel et de la radiolarite toscane dans les sites du paléolithique moyen de Provence et de Ligurie (d'après S. Marzin, 2015) 215

Liste des tableaux

<i>Tab 001 - Chronologie géologique de la Corse, modifié d'après Cesari et al. (2016)</i>	<i>28</i>
<i>Tab 002 : Tableau récapitulatif des méthodes utilisées pour les études de provenance de rhyolites</i>	<i>50</i>
<i>Tab 003 : Résultats des analyses LA-ICP-MS menées sur BDX17880, 17895 et 17912. Chaque échantillon a fait l'objet de 12 analyses. Sont représentés ici : la moyenne de ces analyses (Moy.), l'écart-type (E-T) et la dispersion ou coefficient de variation (Co.Var.). Les éléments majeurs et mineurs sont exprimés en pourcentage d'oxyde, les traces sont données en ppm</i>	<i>77</i>
<i>Tab 004 : Données quantitatives extraites des spectres RMN</i>	<i>80</i>
<i>Tab 005 : Données EDXRF de mesures répétées 5 fois en un même point de l'échantillon BDX17943 (une zone pour l'échantillon poli, trois zones pour l'échantillon non préparé). Les concentrations sont données en ppm (d'après LECK et al., 2018)</i>	<i>92</i>
<i>Tab 006 : Paramètres expérimentaux des analyses EDXRF</i>	<i>95</i>
<i>Tab 007 : Résultats des analyses que nous avons menées sur l'échantillon JAP-STD en EDXRF et au MEB-EDS à l'IRAMAT-CRP2A, en PIXE au C2RMF, ainsi que les mesures obtenues par J.-A. Barat en ICP-MS à l'Univ. De Bretagne Occidentale. Les Oxydes et le Chlore sont donnés en wt% et les éléments traces en ppm. AVE = moyenne; SD = écart-type; RSD =écart-type relatif; N = nombre de mesures; en rouge = valeurs indicatives</i>	<i>98</i>
<i>Tab 008 : Données EDXRF pour l'échantillon archéologique BDX17943 (échantillon sans préparation et section polie) montrant la reproductibilité des mesures sur les éléments dosés. Les concentrations sont données en ppm (Leck et al., 2018)</i>	<i>99</i>