



HAL
open science

L 'orogène cadomien dans le nord-est du Massif Armoricain et en Manche Occidentale. Etude tectonométamorphique et géophysique.

Philippe Bardy

► **To cite this version:**

Philippe Bardy. L 'orogène cadomien dans le nord-est du Massif Armoricain et en Manche Occidentale. Etude tectonométamorphique et géophysique.. Géologie appliquée. Université Rennes 1, 1988. Français. NNT: . tel-00594554

HAL Id: tel-00594554

<https://theses.hal.science/tel-00594554>

Submitted on 20 May 2011

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.

Ph. BARDY

ISSN 0755-978X

ISBN 2-905532-26-2

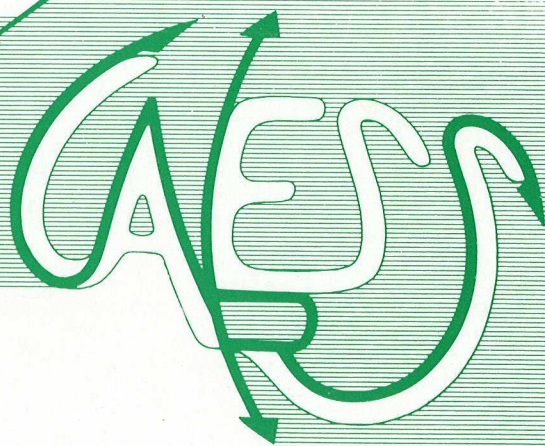
**l'orogène cadomien
dans le nord-est
du massif armoricain
et
en manche occidentale**

ETUDE TECTONOMETAMORPHIQUE
ET GEOPHYSIQUE

MEMOIRES ET DOCUMENTS

*du Centre Armoricain
d'Etude Structurale
des Socles*

n° 27



Rennes 1989

**MEMOIRES ET DOCUMENTS
DU
CENTRE ARMORICAIN D'ETUDE STRUCTURALE DES SOCLES**

N°27

Ph. BARDY

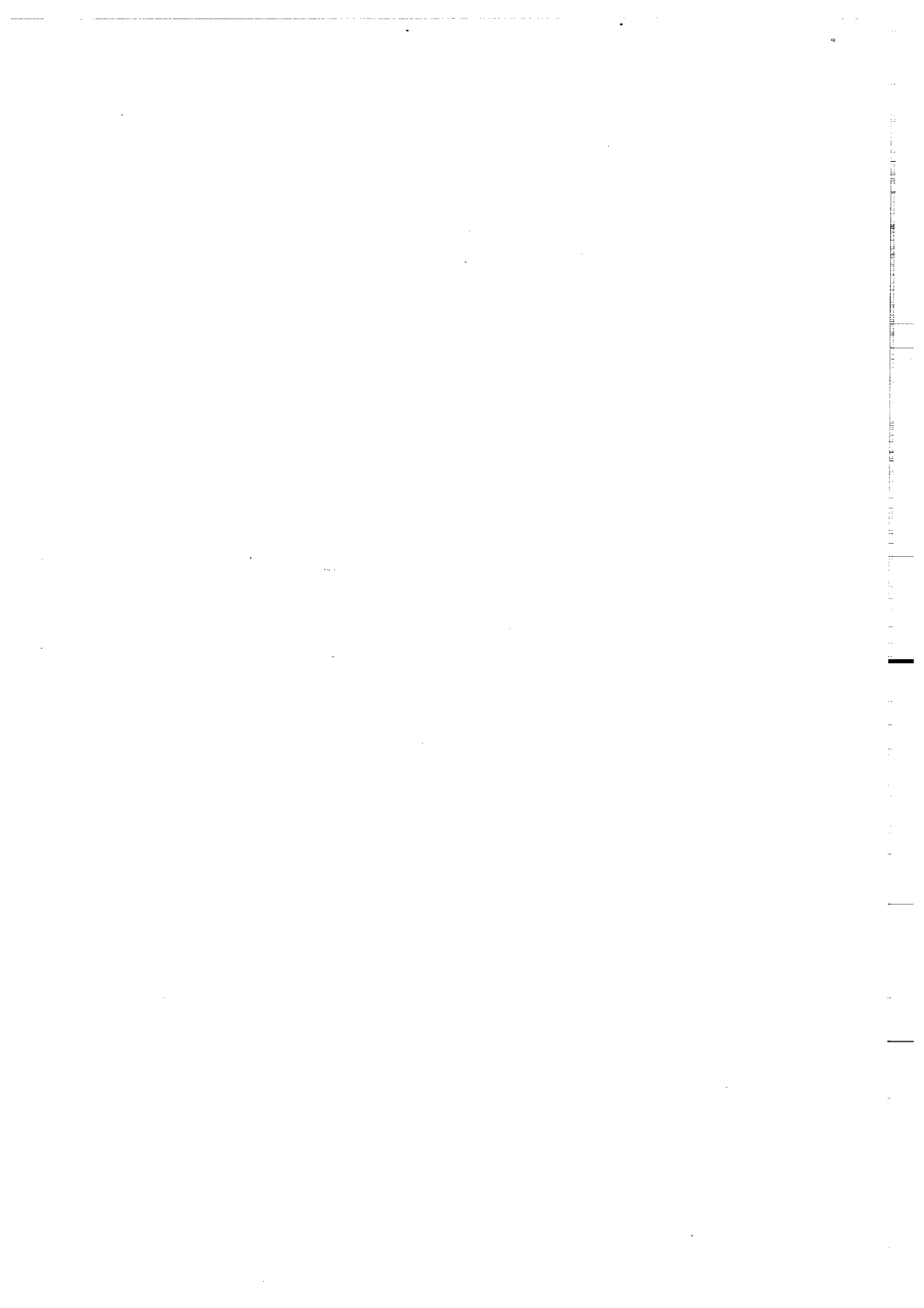
**L'Orogène cadomien dans le Nord-Est du Massif Armoricaïn
et en Manche Occidentale :
Etude tectonométamorphique et géophysique.**

**Thèse de l'Université de Rennes I
soutenue le 25 Novembre 1988**

**Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles
LP CNRS n°466I
Université de Rennes I
Campus de Beaulieu
F - 35042 - RENNES Cédex**

(France)

1989



ISSN : 0755-978 X

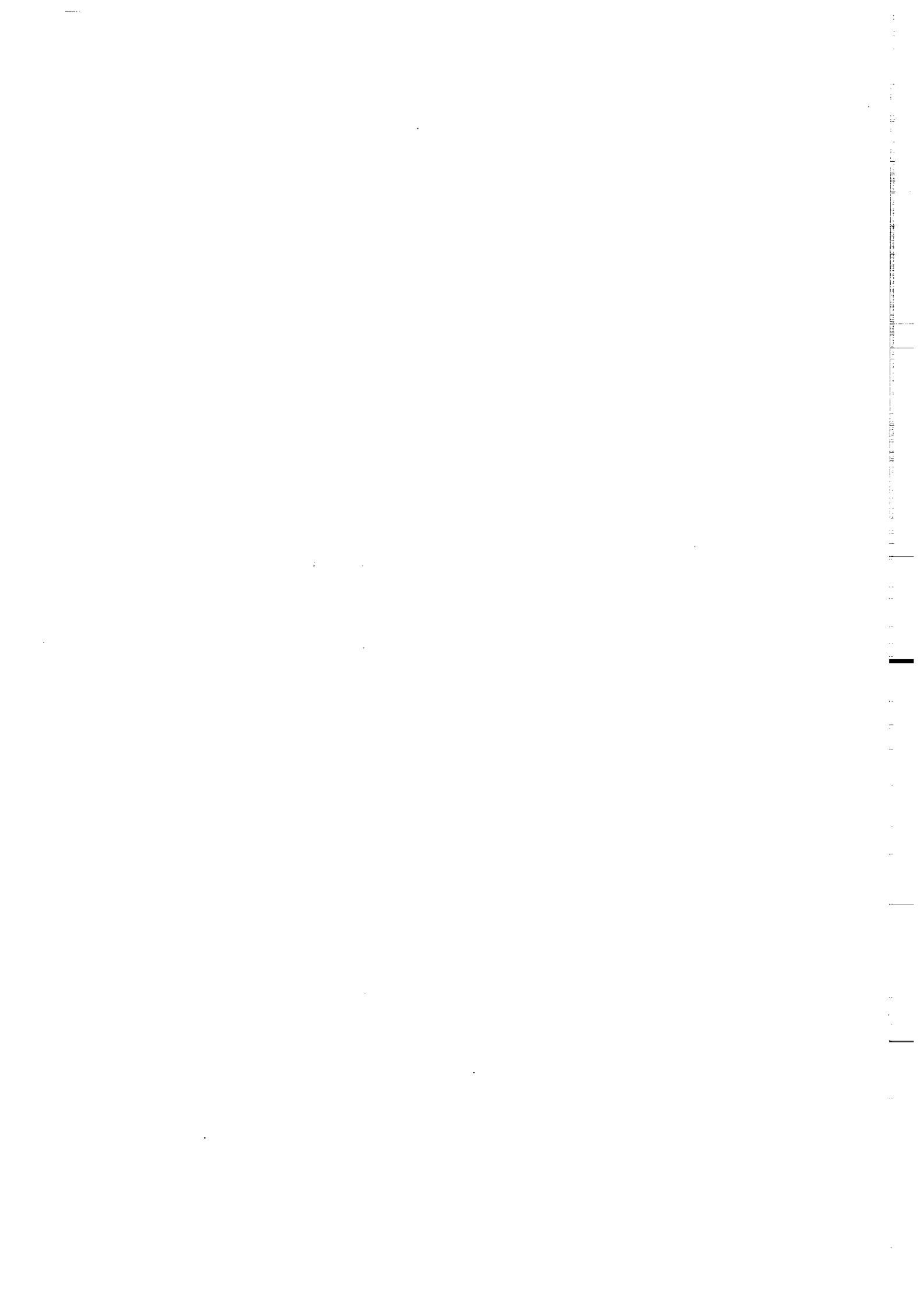
ISBN : 2-905532-26-2

**Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles
LP CNRS n°4661
Université de Rennes I - Campus de Beaulieu
F - 35042 - RENNES Cédex (France).**

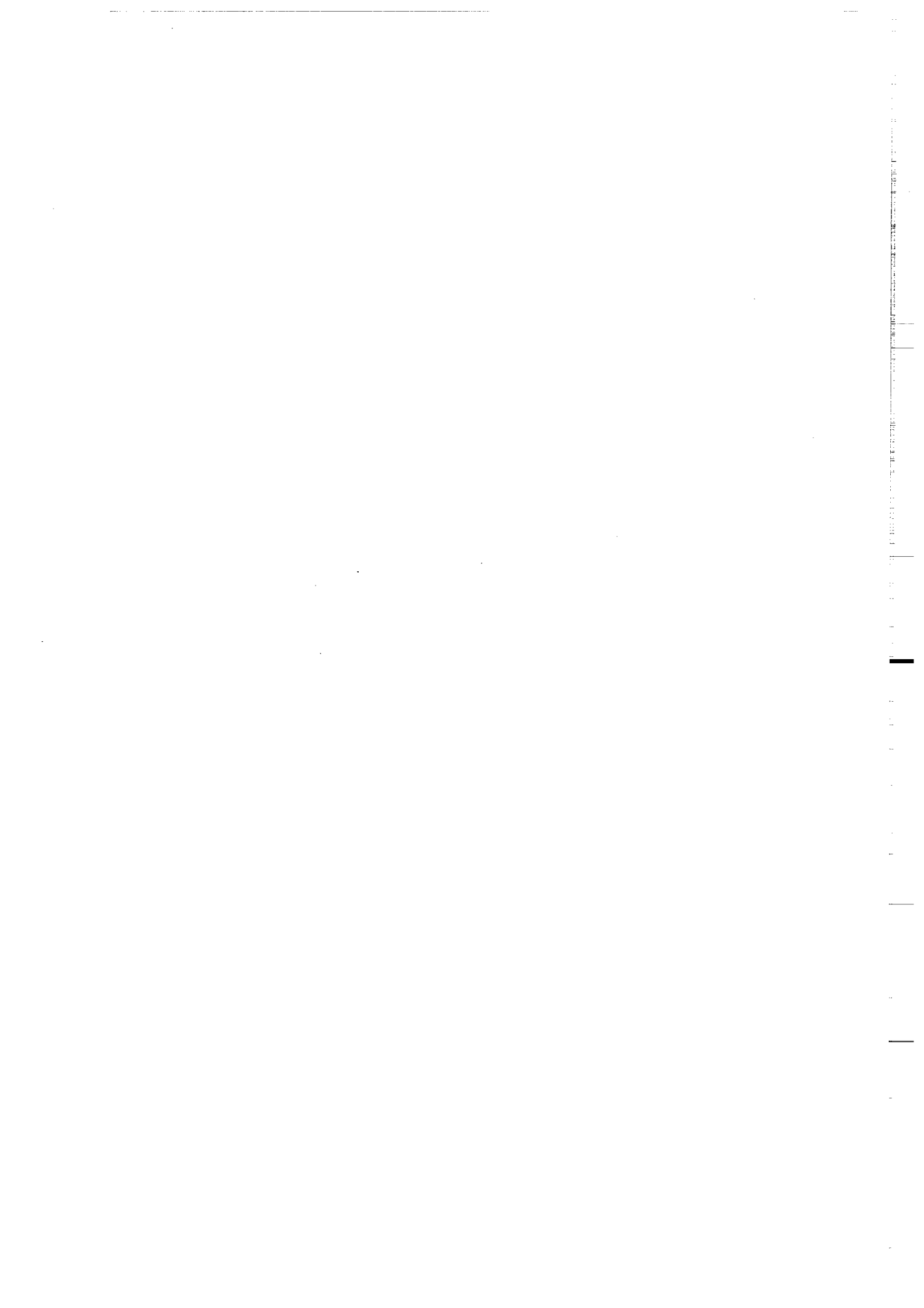
Ph. BARDY (1989)

**L'orogène cadomien dans le nord-est du Massif Armoricaïn
et en Manche Occidentale. Etude tectonométamorphique et
géophysique.**

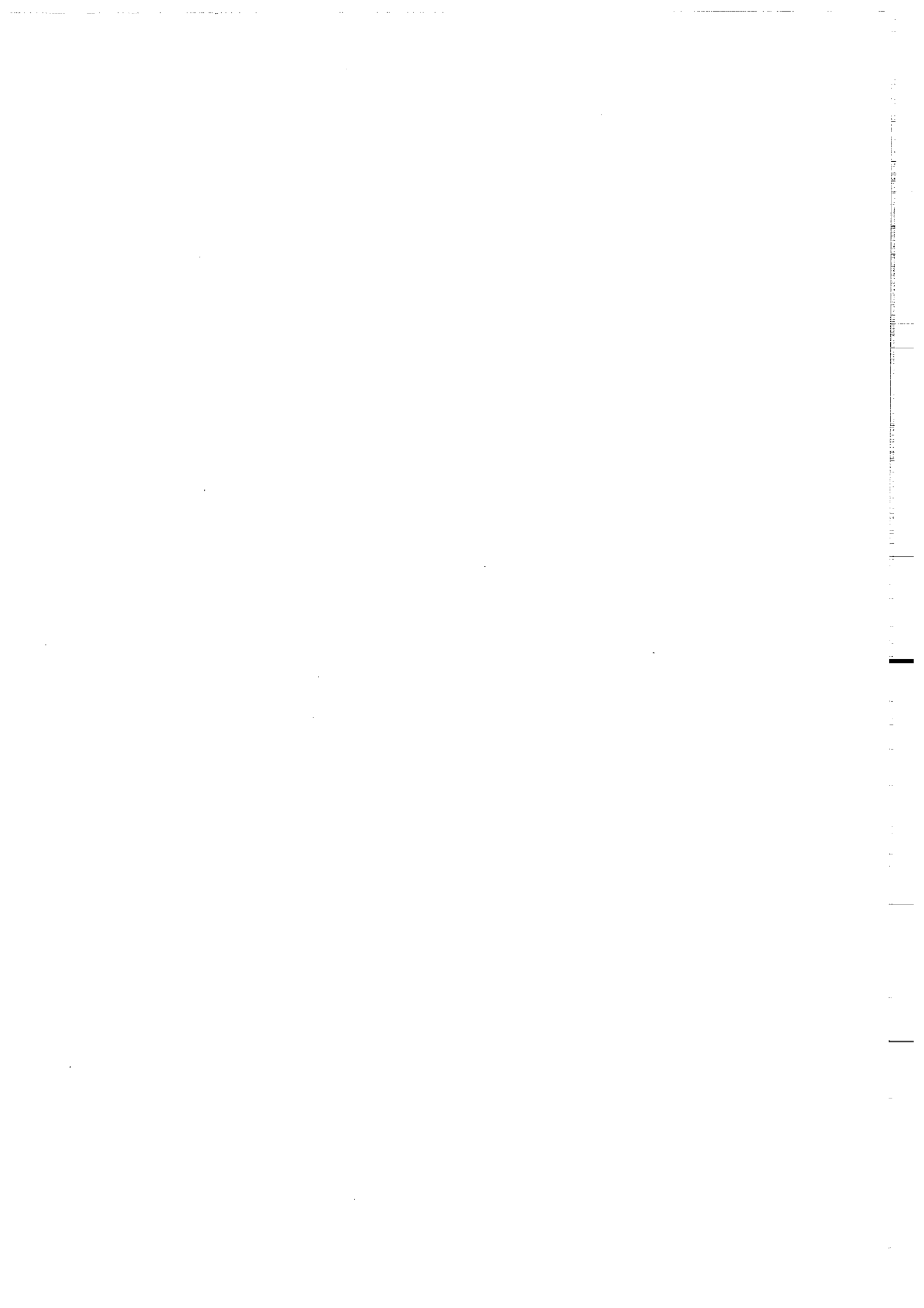
Mém. Doc. Centre Arm. Et. Struct. Socles, Rennes : 27 ; 395 p.



à mes parents
à Catherine



Que toutes les personnes qui par leur aide matérielle ou morale ont contribué à la réalisation de ce travail trouvent ici l'expression de ma plus profonde gratitude.



Je tiens à remercier particulièrement :

- la RCP 705 "Géodynamique du Massif Armoricain" qui par son appui financier a soutenu de nombreuses missions sur le terrain.

- les Divisions Minières (Nantes et Caen) et le Service Géologique Régional (Nantes) du Bureau de Recherches Géologiques et Minières qui m'ont fourni les sondages de roches ultrabasiques effectués dans la région de Coutances.

- l'équipe de profils SWAT-ECORS qui m'a donné accès aux enregistrements sismiques effectués en Manche Occidentale.

- l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris qui par l'organisation en 1986 d'un stage de terrain dans la région de Coutances dans le cadre du "D.E.A. de l'Ingénieur" m'a permis de compléter mes données de terrain.



L'OROGÈNE CADOMIEN DANS LE NORD-EST DU MASSIF ARMORICAIN
ET EN MANCHE OCCIDENTALE

Etude tectonométamorphique et géophysique

INTRODUCTION GENERALE	1
Finalité de cette étude	5
Plan du mémoire	6
1ère PARTIE : L'OROGÈNE CADOMIEN DANS LE COTENTIN	7
INTRODUCTION	9
I RAPPEL GENERAL SUR LA GEOLOGIE DU COTENTIN	11
1. CADRE D'ETUDE	11
2. RAPPELS DES TRAVAUX ANTERIEURS	12
3. CARACTERES GEOLOGIQUES MAJEURS DU COTENTIN	14
3.1. Le Protérozoïque	14
3.1.1. Le Pentévrien	14
3.1.2. Le Briovérien	14
3.2. Le Paléozoïque	14
3.3. Le Mésozoïque	17
4. LES DONNEES GEOCHRONOLOGIQUES	17
4.1. Le Pentévrien (ou Icartien)	17
4.2. Le magmatisme cadomien	18
4.3. Le magmatisme tardi-cadomien	18
4.4. Les granites hercyniens	19
II RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS FONDAMENTALES DE L'ANALYSE STRUCTURALE	19
1. NOTION FONDAMENTALE DE LA DEFORMATION	19
2. PROBLEMES POSES PAR L'ANALYSE DE LA DEFORMATION DANS LES ROCHES PLUTONIQUES ET LES ROCHES METAMORPHIQUES	19
2.1. Les marqueurs	19
2.2. Homogénéité de la déformation	19
3. METHODE D'ETUDE DU REGIME DE DEFORMATION	21
3.1. Echelle régionale	21
3.2. Echelle de l'affleurement	22
3.3. Echelle de l'échantillon et de la lame mince	22
3.4. Echelle du cristal (matériel isotrope)	22
4. LA DEFORMATION CISAILLANTE	22
4.1. Les principaux critères de sens de mouvement	23
4.1.1. Les plans de cisaillement C/S	25
4.1.2. Les zones abritées	25
4.1.3. Les phyllosilicates en "poisson"	25
4.2. Autres critères	27
4.2.1. Les microfractures des porphyroclastes	27
4.2.2. Les structures d'enroulement	27
4.2.3. Les microplis déversés	27
4.3. Conclusion	27
CHAPITRE I : LA REGION DE COUTANCES - GRANVILLE -- LE SECTEUR DE COUTANCES --	29
I INTRODUCTION	31
1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE	31
2. CADRE GEOLOGIQUE	31
3. RAPPELS HISTORIQUES	31
II LES DIFFERENTES UNITES LITHOLOGIQUES	32
1. LES FORMATIONS DU GROUPE INFERIEUR	32
1.1. Les formations volcaniques	32
1.1.1. La formation de la Terrette	32
1.1.2. La formation de Montsurvent	35
1.1.2.1. Les termes basiques	35
1.1.2.2. Les termes acides	36
1.2. Le matériel ultrabasique	37
1.3. Les amphibolites	37
1.3.1. Composition minéralogique	37
1.3.2. Métamorphisme	38
1.4. Les formations de l'étage de la Lande des Vardes	39
1.4.1. Les wackes	39
1.4.2. Les siltstones	39
2. LE COMPLEXE DE ROCHES ULTRABASIQUES	39

II

2.1. Approche géophysique	41
2.1.1. Remarque sur la carte du champ total	41
2.1.2. Les levers magnétiques au sol	41
2.1.2.1. Interprétation des profils magnétiques	43
2.1.2.2. Corrélation avec l'anomalie de Coutances-Jersey	43
2.2. Etude du carottage SAL I	43
2.2.1. Caractéristiques pétrographiques des ultrabasites	45
2.2.2. Caractérisation géochimique des ultrabasites	46
2.2.2.1. Géochimie des majeurs	47
2.2.2.2. Géochimie des traces	48
2.2.2.3. Conclusion	48
2.2.2.4. Comparaison avec les ultrabasites nord-armoricaines	49
3. LA DIORITE DE COUTANCES	50
3.1. Historique	50
3.2. Caractérisation pétrographique de la diorite	51
3.2.1. Le facies isotrope	51
3.2.2. Le facies déformé	53
3.2.3. Les enclaves	53
3.3. Géochimie de la diorite	54
4. LES FORMATIONS DU GROUPE SUPERIEUR	56
III ANALYSE DE LA DEFORMATION CADOMIENNE DANS LES FORMATIONS BRIOVERIENNES DE LA REGION DE COUTANCES	56
1. ETUDE DE LA DEFORMATION DANS LES FORMATIONS SITUEES AU NORD DE LA DIORITE DE COUTANCES	56
1.1. La formation volcanique de Montsurvent	56
1.1.1. La schistosité - plan XY	56
1.1.2. La linéation d'étirement - axe X	57
1.1.3. Les marqueurs de la déformation	58
1.1.4. Conclusion	59
1.2. Les amphibolites	59
1.2.1. La foliation - plan XY	59
1.2.2. La linéation d'étirement - axe X	62
1.2.3. Les critères de la déformation	62
1.2.4. Conclusion	62
1.3. Les ultrabasites	63
1.4. Conclusion à l'étude tectonique des formations métamorphiques situées au Nord de la diorite	63
2. ETUDE DE LA DEFORMATION DANS LA DIORITE DE COUTANCES	64
2.1. Rappel des données antérieures	64
2.2. Observation à l'échelle du massif	64
2.2.1. Evolution de la déformation	64
2.2.2. Les plans de foliation	66
2.2.3. La linéation d'étirement	68
2.2.4. Les critères de cisaillement	68
2.3. De l'échelle de l'échantillon à celle de la lame mince	69
2.3.1. Evolution de la déformation	69
2.3.2. Les critères microscopiques de cisaillement	69
2.3.2.1. Les zones abritées	69
2.3.2.2. Les formes en "poisson" des muscovites	72
2.4. Problème de l'enracinement de la diorite de Coutances	72
2.4.1. Modélisation de l'anomalie CJ	72
2.4.1.1. Recherche en surface d'un corps perturbateur	72
2.4.1.2. Modélisation par un modèle de corps bidimensionnel	74
2.4.1.3. Extension de l'étude à l'anomalie entière	76
2.4.2. Conclusion	78
2.5. Conclusion à l'étude tectonique de la diorite de Coutances	78
3. ETUDE DE LA DEFORMATION DANS LES FORMATIONS SITUEES AU SUD DE LA DIORITE	79
3.1. La formation volcanique de la Terrette	79
3.1.1. Les plans de schistosité	79
3.1.2. La linéation d'étirement	79
3.1.3. Conclusion	81
3.2. La déformation des formations de l'étage de la Lande des Vardes et du Groupe Supérieur	81
3.2.1. La schistosité	81
3.2.2. La linéation d'étirement	81
3.2.3. Les critères de déformation	81
3.2.3.1. Les zones abritées	83
3.2.3.2. Les microplissements	83
3.2.4. Conclusion	83
4. CONCLUSION A L'ETUDE DE LA DEFORMATION CADOMIENNE DANS LA REGION DE COUTANCES	83
IV METAMORPHISME ET DEFORMATION	85
1. INTRODUCTION	85
2. LES DIFFERENTES PARAGENESES	86
3. ASSOCIATIONS MINERALES ET MICROSTRUCTURES	86
4. ELABORATION DU CHEMIN PRESSION-TEMPERATURE-DEFORMATION	89
4.1. Methode	89
4.2. Compositions chimiques des minéraux	89
4.2.1. Les amphiboles	90
4.2.2. Les plagioclases	91
4.2.3. L'épidote et la chlorite	91

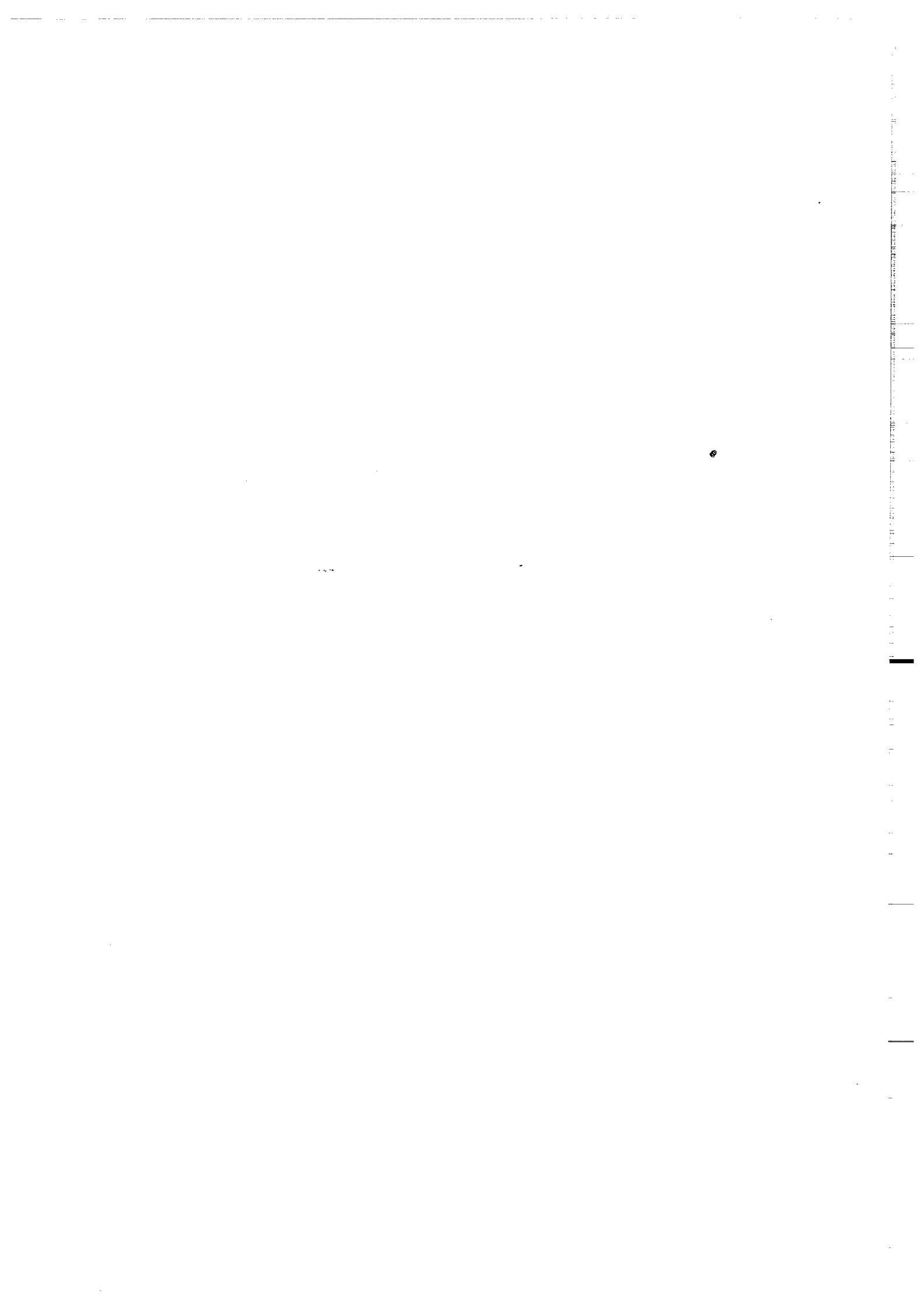
III

4.3. Estimations qualitatives sur les variations de P et T	92
4.3.1. Contrôle de la variable T	92
4.3.2. Contrôle de la variable P	93
4.3.3. Conclusion	93
4.4. Estimation qualitative de P et T	93
4.5. Résultats	95
4.5.1. Le chemin Pression-Température	95
4.5.2. Relations : chemin Pression-Température et déformation	97
4.6. Conclusion	99
5. CONCLUSION	99
CHAPITRE II : LA REGION DE COUTANCES - GRANVILLE -- LE SECTEUR DE GRANVILLE --	101
I INTRODUCTION	103
II LA REGION DE GRANVILLE (s.s.)	103
1. LES DIFFERENTES UNITES LITHOLOGIQUES	104
1.1. La formation de Granville	104
1.2. La formation de Saint Pair-sur-Mer	104
2. LA DEFORMATION CADOMIENNE	105
2.1. La formation de Granville	105
2.1.1. La stratification So	105
2.1.2. Les structures plissées	106
2.2. La formation de Saint Pair-sur-Mer	107
2.2.1. La stratification So	107
2.2.2. Les plis	108
III LA REGION DE LA CHAPELLE DU FEST	108
1. CARACTERISATION PETROGRAPHIQUE DU GRANITE	108
2. ETUDE DE LA DEFORMATION	109
2.1. La linéation d'étirement -axe X	109
2.2. Les plans de foliation	109
2.3. Les critères de cisaillement	111
2.3.1. Le plan XZ	111
2.3.2. Le plan YZ	112
2.4. Age de la déformation dans le granite	112
3. CONCLUSION	112
IV CONCLUSION	112
CHAPITRE III : LA REGION DE LA HAGUE	115
I INTRODUCTION	117
1. LOCALISATION ET CADRE GEOLOGIQUE	117
2. HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS	117
II PETROLOGIE ET GEOCHIMIE DES MASSIFS DIORITIQUES ET GRANODIORITIQUES	119
1. PETROLOGIE - MINERALOGIE	119
1.1. La diorite de Jardeheu	119
1.1.1. Les types pétrologiques reconnus	119
1.1.2. La diorite de Jardeheu	119
1.2. L'Anse du Moulinet	122
1.2.1. La diorite du Moulinet	122
1.2.2. La granodiorite du Tas de Pois	123
2. GEOCHIMIE	124
2.1. Mise en évidence du caractère calco-alcalin	125
2.2. Analyse des éléments traces	125
3. CONCLUSION	125
III STRUCTURATION CADOMIENNE	126
1. MISE EN EVIDENCE D'UNE DEFORMATION SYN-MISE EN PLACE	126
1.1. La diorite quartzique de Jardeheu	126
1.1.1. La linéation	126
1.1.2. Le plan de foliation	127
1.1.3. Le cisaillement	127
1.1.3.1. A l'échelle de l'échantillon	127
1.1.3.2. A l'échelle microscopique	129
1.1.4. Conclusion	129
1.2. La diorite du Moulinet et la granodiorite du Tas de Pois	129
1.2.1. La linéation	129
1.2.2. Le plan de foliation	130
1.2.3. Les critères de cisaillement	130
1.2.4. Conclusion	132
2. CONCLUSION	132
CONCLUSION DE LA 1ère PARTIE	135

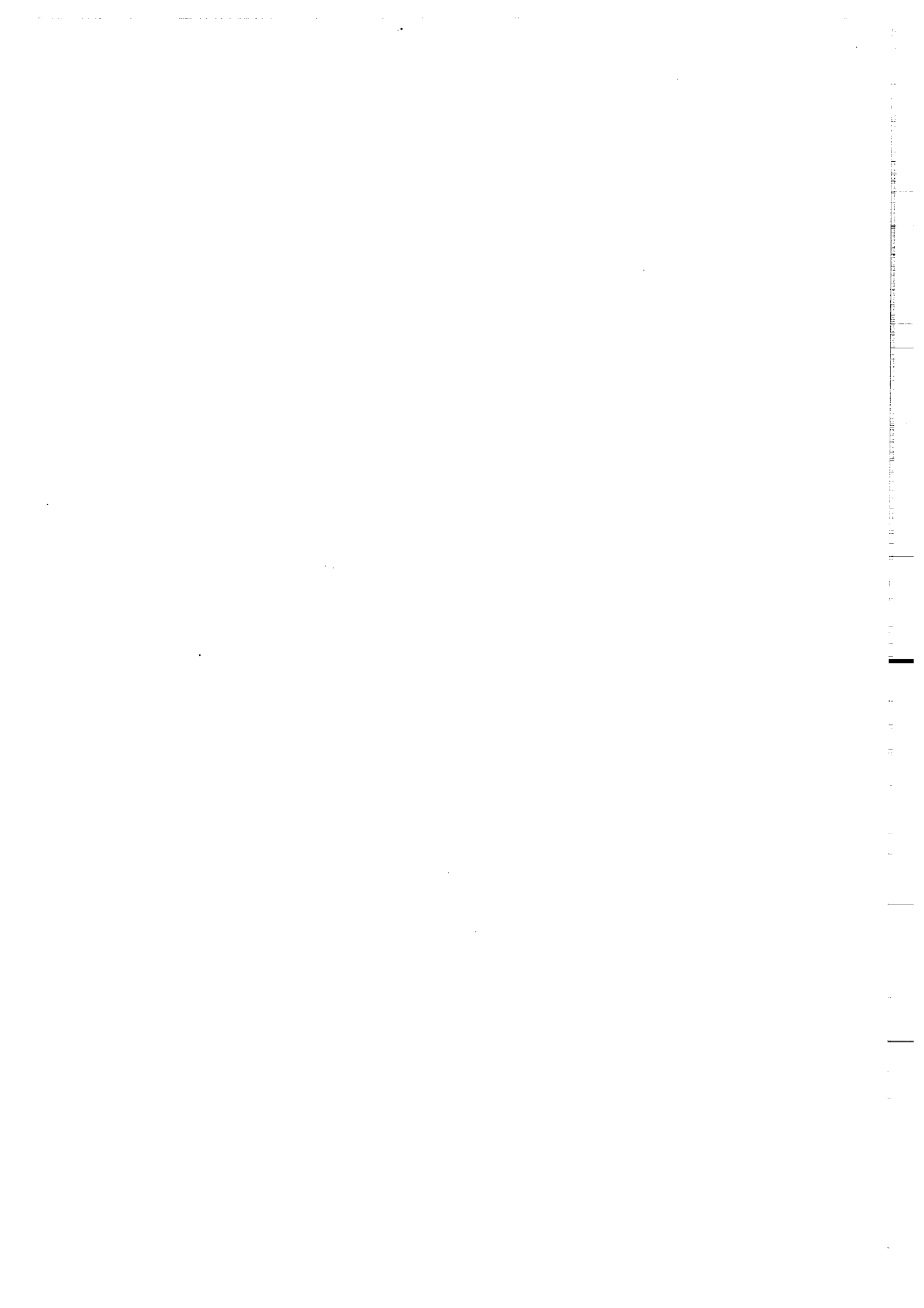
IV

2ème PARTIE : ETUDE GEOPHYSIQUE DE L'OROGENE CADOMIEN DANS LE NORD DU MASSIF ARMORICAIN ET EN MANCHE OCCIDENTALE	139
INTRODUCTION AUX MODELISATIONS MAGNETIQUES	141
1. LES DONNEES	143
1.1. Origine des données	143
1.2. Forme des données	144
1.2.1. Carte d'anomalies du champ total de la France	145
1.2.2. Carte d'anomalies du champ total effectuée par la SAPA-SNPA	145
1.2.3. Les cartes d'anomalies du champ total de Grande Bretagne	146
2. METHODES D'INTERPRETATION	146
2.1. Les méthodes directes	149
2.1.1. Méthode de Talwani et Heirtzler (1964)	149
2.2. Les méthodes indirectes	151
2.2.1. Méthode de Koulomzine, Lamontagne et Nadeau (1970)	151
2.2.2. Méthode de Spector et Grant (1970)	152
2.2.2.1. Le spectre d'énergie	152
3. CONVENTIONS ADOPTÉES POUR LA MODELISATION MAGNETIQUE	154
CHAPITRE I : MODELISATIONS MAGNETIQUES DANS LE COTENTIN	155
I INTRODUCTION	157
II LA REGION DU VAL DE SAIRE	158
1. RAPPELS SUR LA GEOLOGIE DES FORMATIONS AFFLEURANTES DANS LE VAL DE SAIRE	158
2. MODELISATION MAGNETIQUE DE L'ANOMALIE DU VAL DE SAIRE (VS)	160
2.1. Les spilites du Vast	160
2.2. La modélisation magnétique	161
2.3. Relations entre modèle et formations affleurantes	163
3. CONCLUSION	164
III LE PLATIER DES "MORTES FEMMES "	164
1. RAPPELS SUR LA GEOLOGIE DU PLATIER DES "MORTES FEMMES"	164
1.1. Les laves spilitiques	164
1.2. Les laves plus acides	165
1.3. La déformation	165
2. ETUDE MAGNETIQUE DU PLATIER DES "MORTES FEMMES"	166
3. CONCLUSION	168
IV LA REGION DE SAINT GERMAIN LE GAILLARD	168
1. RAPPELS GEOLOGIQUES	168
2. ETUDE MAGNETIQUE	169
3. CONCLUSION	171
V CONCLUSION	172
CHAPITRE II : L'ANOMALIE DE LA MANCHE	173
I INTRODUCTION	175
1. EXPRESSION DU MARQUEUR ETUDIE	175
2. RAPPELS GEOLOGIQUES	175
2.1. Les régions bordant l'anomalie	175
2.2. L'anomalie de la Manche	177
2.3. Age de l'anomalie	177
3. HISTORIQUES DES TRAVAUX ANTERIEURS	180
3.1. Les travaux de Lefort et Ségoufin (1978)	180
II MODELISATION DE L'ANOMALIE DE LA MANCHE	180
1. MODELISATION DE L'ANOMALIE A	181
1.1. Modélisation de la structure M1	181
1.1.1. Modélisation selon le profil "a" situé le long de la ligne de vol L306	182
1.1.2. Modélisation selon le profil "b"	182
1.1.3. Comparaison des deux modélisations	182
1.2. Modélisation de la structure M3	183
1.3. Relation entre les structures M1 et M3	185
2. MODELISATION DE L'ANOMALIE B	185
2.1. Modélisation de la structure M2	186
2.2. Modélisation de la structure M4	187
2.3. Relation entre les structures M2 et M4	188
3. MODELISATION DE L'ANOMALIE C	188
3.1. Modélisation de la structure M5 dans la zone SW	190
3.2. Etude magnétique de la zone NE	192
3.3. Conclusion	192
III ESSAI DE PROLONGEMENT DE L'ANOMALIE DE LA MANCHE VERS LE NORD-EST	193
1. MODELISATION DE LA STRUCTURE DE L'ILE DE WIGHT (M6)	193
2. COMPARAISON AVEC LES STRUCTURES M1-M2-M3-M4-M5	195
IV CONCLUSION	195

CHAPITRE III : LE GOLFE NORMANO-BRETON	197
I INTRODUCTION	
II RAPPELS SUR LA GEOLOGIE DU GOLFE NORMANO-BRETON	199
III ETUDE DES ANOMALIES MAGNETIQUES DU GOLFE NORMANO-BRETON	200
1. MODELISATION DES STRUCTURES S1 ET S2	205
2. MODELISATION DE LA STRUCTURE G	205
3. MODELISATION DES STRUCTURES PLUS SUPERFICIELLES DU GOLFE NORMANO-BRETON	207
3.1. Modélisation des structures GNB3 et GNB4	210
3.1.1. La structure GNB3	210
3.1.2. La structure GNB4	211
3.1.3. Etude comparée de ces deux structures	213
3.2. Etude des structures GNB1 - GNB2 - GNB5	214
3.3. Modélisation de la structure T	215
3.4. Conclusion	216
4. ETUDE MAGNETIQUE DES MARQUEURS EST-OUEST	217
4.1. Modélisation de la structure C2	218
4.2. Etude des structures C3 - C4 - C5	220
IV CONCLUSION	221
CHAPITRE IV : APPORT DES PROFILS SISMIQUES S.W.A.T. A LA CONNAISSANCE DE L'OROGENE CADOMIEN EN MANCHE OCCIDENTALE	223
I INTRODUCTION	
II DESCRIPTION DES PROFILS SISMIQUES S.W.A.T.	225
1. AVERTISSEMENT	227
2. COUPE VERTICALE D'UN PROFIL SISMIQUE S.W.A.T.	227
3. LES DIFFERENTS TYPES DE REFLECTEURS	227
3.1. Les réflecteurs horizontaux (I)	229
3.2. Les réflecteurs obliques	229
3.2.1. Les réflecteurs obliques à pendage sud (V)	230
3.2.2. Interprétation des réflecteurs obliques	230
III ETUDE DES PROFILS SISMIQUES S.W.A.T.	230
1. LE PROFIL SISMIQUE S.W.A.T. 10	231
2. LES PROFILS SISMIQUES S.W.A.T. EN MANCHE OCCIDENTALE	231
2.1. Les réflecteurs obliques	237
2.2. Les écaillages de croûte inférieure	237
3. CORRELATION ENTRE ANOMALIES MAGNETIQUES ET PROFILS SISMIQUES S.W.A.T.	238
IV CONCLUSION	238
	239
CONCLUSION DE LA 2ème PARTIE	243
3ème PARTIE : SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES	247
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	263
ANNEXES	285



INTRODUCTION GENERALE



Au cours des vingt dernières années, grâce à l'application de la théorie de la tectonique des plaques, des progrès considérables ont été faits dans la compréhension de la genèse des chaînes récentes (Himalaya, Alpes, Andes).

De nombreux auteurs tentent d'appliquer ce concept, aux chaînes plus anciennes : d'âge paléozoïque (chaînes hercynienne et calédonienne) ou d'âge précambrien (chaîne cadomienne). L'étude de la chaîne cadomienne, en Manche Occidentale et dans le Cotentin, pose le problème du régime de la tectonique des plaques au Protérozoïque supérieur.

C'est dans cette perspective mobiliste que Cogné et Wright (1980) situent l'orogénèse cadomienne (Fig. 1a et b) comme résultant de la fermeture d'un océan "celtique" séparant, à l'origine, un continent septentrional constitué de cratons nord-atlantiques, d'un continent plus méridional proto-gondwanien formés des blocs brésilien et africain ; l'orogène cadomien s'exerçant sur la marge nord de cette unité méridionale.

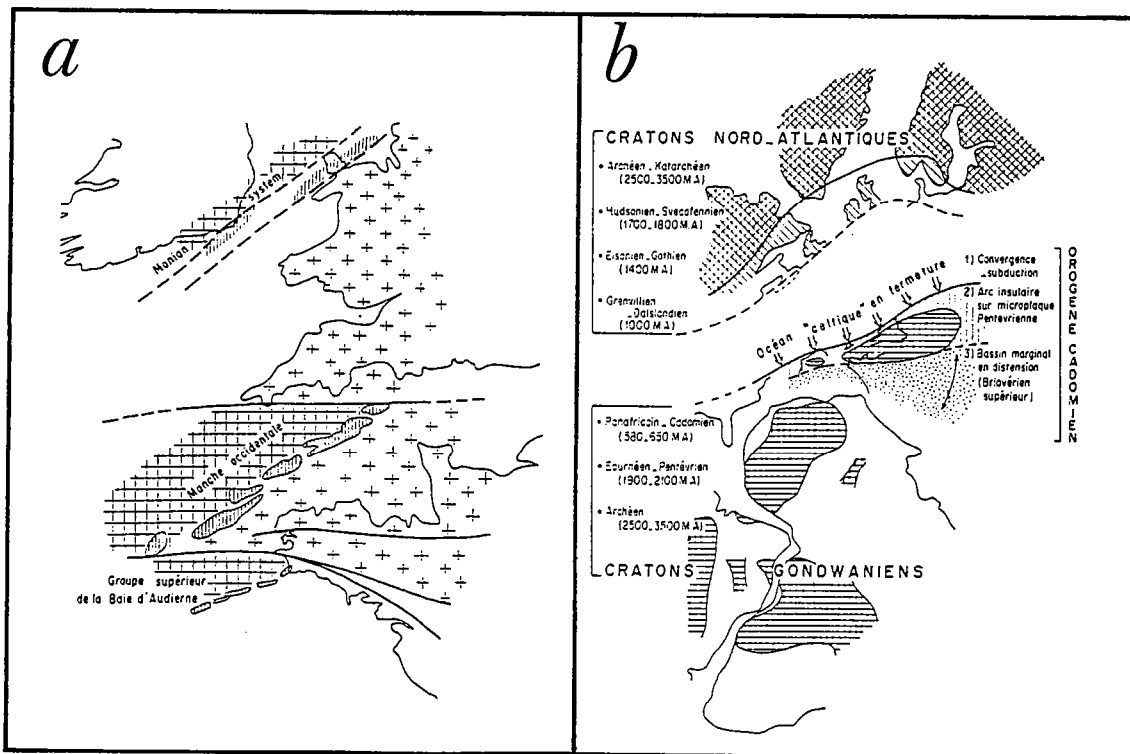


Fig.1 - a - Les zones de paléosubductions fini-précambriennes de Mer d'Irlande et de Manche Occidentale.

- + - Région de socle
- Zone d'accumulation de masses basiques
- Région d'accumulation sédimentaire

b - L'orogène cadomien en bordure septentrionale des masses gondwaniennes (d'après Cogné et Wright, 1980).

Dans le Massif Armoricain, la chaîne cadomienne occupe ce qu'il est convenu d'appeler le Domaine Domnonéo-Mancellien (Cogné, 1974)(Fig.2) dont les limites sont :

- à l'Est, le Bassin de Paris qui le recouvre.
- au Sud, le séparant du Domaine Centre Armoricain : le Cisaillement Nord Armoricain (Chauris, 1969 ; Paris et Jégouzo, 1976 ; Hirbec, 1979; Peucat et al., 1981).
- à l'Ouest, le domaine du Léon (Balé, 1986).
- au Nord, une bordure beaucoup plus imprécise représentée par une zone d'anomalies magnétiques décrites par Lefort (1975, 1977) comme étant une suture potentielle à pendage sud-est (Lefort et Ségoufin, 1978).

De nombreuses études tant pétrographiques, que géochimiques, géochronologiques, sédimentologiques, structurales ou géophysiques tendent à converger vers une interprétation mobiliste de l'orogène cadomien.

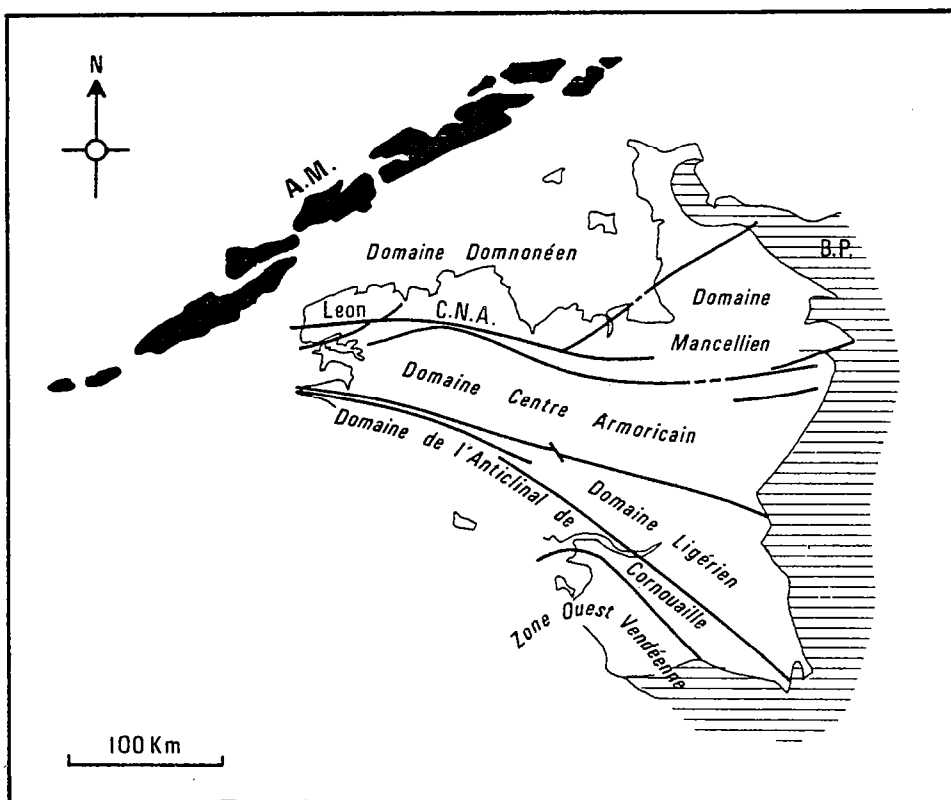


Fig.2 - Les limites du Domaine Domnonéo-Mancellien.

A.M. : Anomalie de la Manche ; C.N.A. : Cisaillement Nord Armoricain, B.P. : Bassin de Paris, (Cogné, 1974 ; modifié).

FINALITE DE CETTE ETUDE

L'orogène cadomien est à ce jour bien connu en Bretagne Nord (Balé, 1986). En Normandie (malgré les travaux récents de Dissler portant essentiellement sur les régions du Val de Saire et de Cherbourg) et en Manche Occidentale, l'étude de cette orogénèse n'a été que ponctuelle. C'est pourquoi l'objet de ce travail est d'étudier l'orogène cadomien dans la presque île du Cotentin depuis les régions de la Hague au Nord jusqu'à la limite sud du Domaine Dommonéen marquée par l'accident de Granville. L'extension de cette étude dans le Golfe normano-breton et en Manche Occidentale est réalisée afin d'envisager un modèle synthétique englobant les données terrestres et marines.

De ce fait, une double approche est tentée :

- **Approche géologique** : basée sur un travail de terrain, une cartographie détaillée des "zones clés" est effectuée. Ceci permet de préciser les relations cartographiques existant entre les unités et de définir ainsi un certain nombre de domaines séparés par des accidents crustaux majeurs. Ce travail est rendu difficile par les conditions médiocres d'affleurement dues au couvert végétal. Cette étude cartographique est complétée par une étude structurale et métamorphique à l'échelle de la lame mince.

- **Approche géophysique** : dans la partie émergée, une étude des anomalies magnétiques par traitement de profils (deux dimensions) est envisagée. Des mesures de susceptibilité magnétique ainsi que des levés magnétiques sur le terrain (région située au Nord de Coutances) sont effectués.

Dans la zone immergée, deux méthodes géophysiques sont utilisées :

- l'exploitation de cartes magnétiques aux travers de modélisations à deux dimensions des anomalies du champ total.

- l'interprétation des profils sismiques SWAT couvrant la zone étudiée.

PLAN DU MEMOIRE

Ce mémoire est divisé en trois parties :

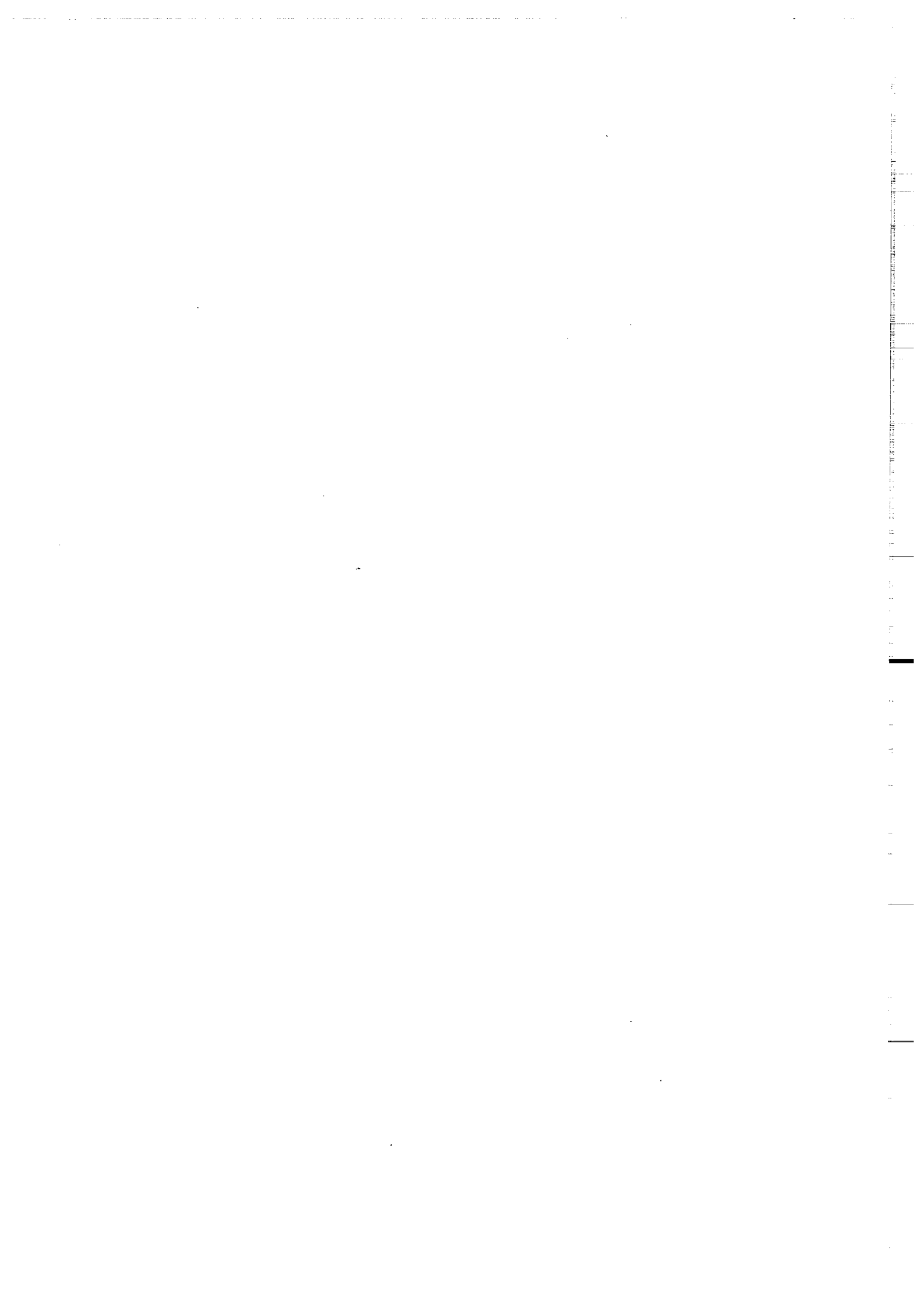
- la première partie consacrée à l'orogène cadomien en Normandie est surtout l'objet d'une approche géologique et spécialement métamorphique et structurale : la base en étant avant tout un travail de terrain, une cartographie des différentes unités et de leurs contacts permet de caractériser les structures existantes afin de déterminer l'évolution cinématique de la chaîne. Parallèlement, une étude géophysique à terre est menée afin de contraindre l'organisation de la chaîne dans le domaine spatial. Il apparaît ainsi que les formations du Briovérien de Normandie sont impliquées dans une tectonique fini-précambrienne : l'orogène cadomien (Panafricain s.l.) caractérisé par une chaîne à double vergence.

- la seconde partie, géophysique, s'étend au domaine submergé depuis l'Anomalie de la Manche jusqu'aux approches littorales septentrionales du Massif Armoricaïn (Fig. 2). Une attention particulière est portée aux corps magnétiques existants dans cette zone. Toutes les modélisations effectuées sont contraintes dans la mesure du possible par une connaissance approfondie de la géologie régionale. Les données géophysiques (magnétiques et sismiques) sont dans la majorité des cas en accord avec les observations géologiques de terrain et permettent ainsi de préciser les contraintes lors de la reconstitution géodynamique de l'orogène cadomien.

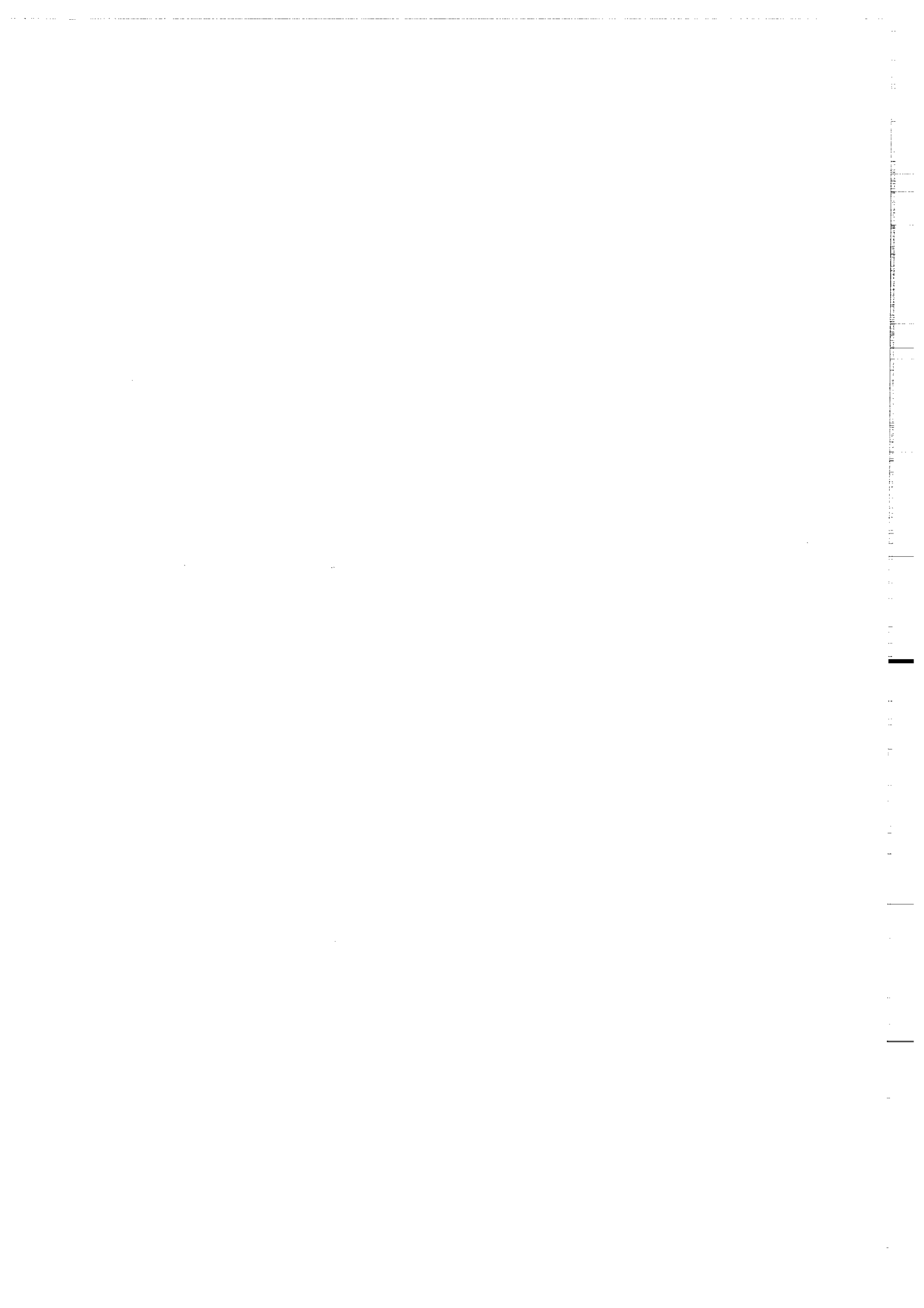
- une corrélation entre les deux premières parties et une intégration des données existant sur l'orogène cadomien en Bretagne Nord amènent à une troisième et dernière partie qui consiste en un essai de reconstitution géodynamique en terme de tectonique des plaques de l'orogène cadomien dans le Nord du Massif Armoricaïn et en Manche Occidentale.

1 ère PARTIE

L' OROGENE CADOMIEN DANS LE COTENTIN



INTRODUCTION



I RAPPEL GENERAL SUR LA GEOLOGIE DU COTENTIN

1. CADRE D'ETUDE

Notre étude a pour cadre la presqu'île du Cotentin. Cinq secteurs clés couvrant près de 3 500 Km² ont été choisis (Fig. 3) ; ce sont du Nord au Sud :

- un secteur septentrional correspondant d'une part à l'extrême pointe du Cotentin essentiellement constituée des massifs plutoniques de la Hague et d'autre part à la région du Val de Saire caractérisée par un volcanisme spilitique.

- plus au Sud, la région de Saint-Germain-le-Gaillard et son volcanisme ignimbritique.

- une zone médio-cotentine située à l'Est de Jersey caractérisée par un volcanisme spilitique : le platier des Mortes Femmes.

- une vaste étendue méridionale s'étendant du Nord de Coutances à Granville. Ce secteur où a été défini le Briovérien sera soumis à un examen attentif et subdivisé en deux secteurs d'étude.

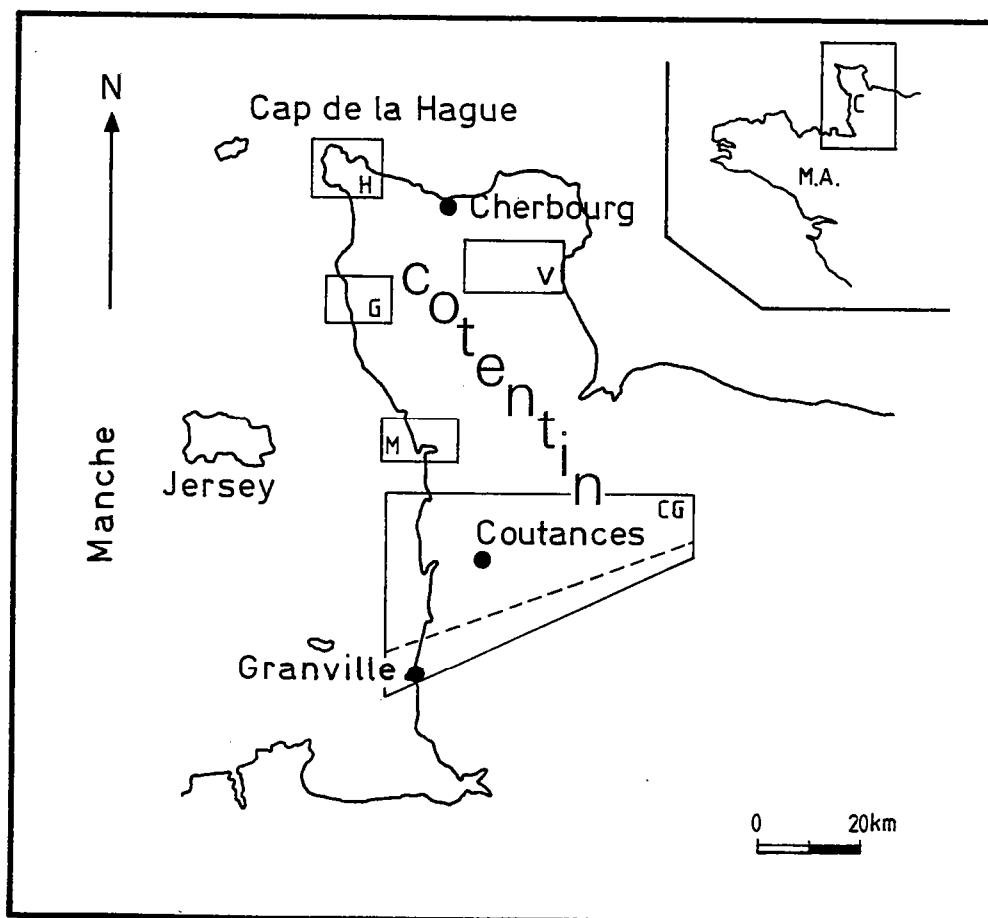


Fig.3 - Localisation des secteurs d'étude.

H : Cap de la Hague ; G : région de Saint-Germain-le-Gaillard ;

C.G. : secteur de Coutances-Granville ; V : Val de Saire ;

M : Platier des Mortes Femmes .

2. RAPPELS DES TRAVAUX ANTERIEURS

C'est à la fin du XVIII^e siècle que les recherches géologiques débutent en Normandie (Duhamel, 1795, 1798). Au cours du XIX^e siècle, de nombreux auteurs s'attachent à classer (Brongniart, 1814) et à décrire pétrographiquement et stratigraphiquement les roches du Cotentin (Desnoyers, 1825; de Caumont, 1835, 1838; Bunel, 1835). En 1829, Bunel découvre la discordance de base du Cambrien de Normandie à partir de laquelle va être ensuite défini le Briovérien (Barrois, 1895, 1899) puis l'orogène cadomien (Graindor, 1957, 1965).

La première véritable étude stratigraphique détaillée du Briovérien normand est établie par Graindor en 1957 (Fig. 4). Son travail, repris par Roblot (1968) est confirmé par cet auteur.

PHASE VIDUCASTE		
BRIOVERIEN SUPERIEUR	Etage de la Laïze	Schistes et grauwackes
	Etage de Granville	Tillite
PHASE CONSTANTIIENNE		
BRIOVERIEN MOYEN	Etage de Villiers-Fossard	Phyllades de Cantilly Schistes de Saint-Pair Grès de Rampan Schistes de Saint-André-de-l'Épine Calcaires de la Meauffe
	Etage de la Lande des Vardes	Schistes et phtanites
BRIOVERIEN INFERIEUR	Etage d'Erquy	Volcanites

Fig.4 - Le Protérozoïque de Normandie d'après Graindor (1957).

Le Briovérien inférieur volcanique et métamorphique, défini en Bretagne Nord (Cogné, 1959) constituant l'"Etage d'Erquy" est surmonté par le Briovérien moyen subdivisé en "Etage de la Lande des Vardes" et "Etage de Villiers-Fossard". L'"étage de la Lande des Vardes", à schistes et phtanites est recouvert par celui de Villiers-Fossard composé de calcaires, schistes, grès et phyllades.

La phase constantienne (cadomien I) s'accompagnant d'intrusions syntectoniques telle la diorite de Coutances sépare le Briovérien moyen du Briovérien supérieur débutant par l'"Etage de la Tillite de Granville" surmontée par les schistes et grauwackes de l'"Etage de la Laïze".

Une seconde phase orogénique : la phase viducaste (cadomien II) accompagnée d'intrusions granitiques tel le granite de Vire clôt l'histoire du Briovérien et de l'orogène cadomien.

Des travaux stratigraphiques et structuraux récents (Dupret, 1982, 1984 ; Dissler, 1987) apportent certaines modifications au schéma précédent.

Le Protérozoïque supérieur qui correspond à l'ensemble du Briovérien de la figure 4 est divisé en deux groupes (Fig. 5) :

- un groupe inférieur essentiellement volcanique (spilites et kératophyres de Montsurvent) et sédimentaire (schistes et phtanites) affecté par une phase épirogénique (ex-phase constantienne) s'accompagne de l'intrusion de la diorite de Coutances, entraînant ainsi la formation de la cordillère constantienne.

- un groupe supérieur, post-phtanitique correspondant aux diamectites de Granville et au flysch de la Laize. Un épisode volcanique, les spilites de Vassy, s'intercale dans cette succession. L'histoire de ce Protérozoïque supérieur s'achève par la mise en place des granites de la Mancellia.

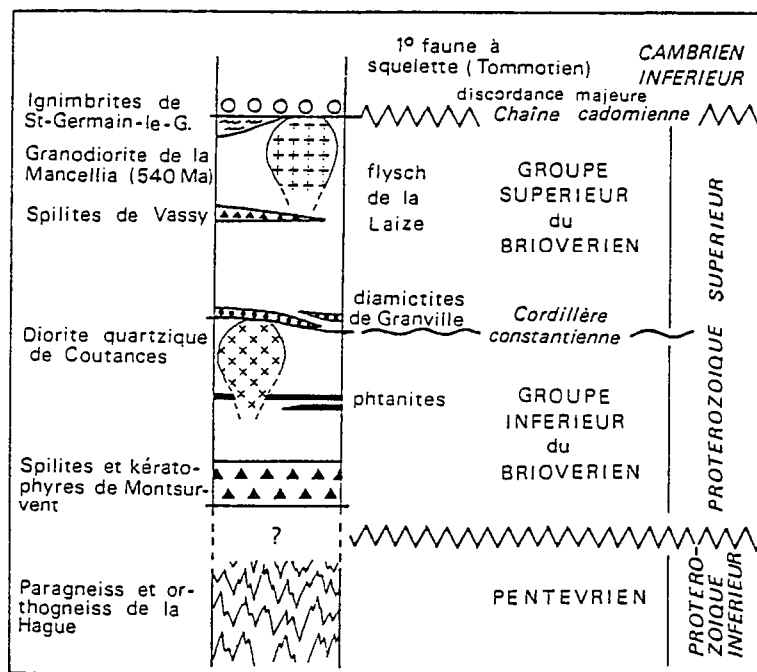


Fig.5 - Le cycle cadomien en Normandie d'après Dupret et al. (1985).

3. CARACTERES GEOLOGIQUES MAJEURS DU COTENTIN

La presqu'île du Cotentin met en opposition deux zones séparées par une ligne NNW/SSE (Fig. 6) :

- à l'Ouest une zone à l'architecture plissée constituée par des terrains précambriens et paléozoïques appartenant au Massif Armoricain.
- à l'Est une zone plus tabulaire, caractérisée par des dépôts post-paléozoïques formant la bordure occidentale du Bassin de Paris.

3.1. Le Protérozoïque

3.1.1. Le Pentévrien

Représentant le Protérozoïque inférieur, il n'est connu en Normandie que dans la presqu'île de La Hague (Jobourg, Jardeheu, Omonville-la-Rogue et Gréville) où il affleure au milieu d'un complexe plutonique cadomien (Power, 1974). Constituant les terrains les plus anciens connus dans le Massif Armoricain, il peut trouver un prolongement vers l'Ouest dans les Iles Anglo-Normandes de Guernesey et Aurigny, puis dans le Trégor (Auvray, 1979 ; Auvray et al., 1980 ; Graviou et Auvray, 1985).

3.1.2. Le Briovérien

Trois domaines s'individualisent du Nord au Sud :

- le domaine du Nord Cotentin

Il couvre les régions du Val de Saire et de la rade de Cherbourg. Cette zone récemment étudiée par Dissler (1987) est constituée de sédiments et de volcanites dont l'âge, par analogie de faciès avec ceux de la région de Coutances, est rapporté au Briovérien inférieur. Plus à l'Ouest, ce domaine se prolonge par le batholite de la Hague essentiellement composé de grano-diorites, de diorites et de granites.

- le domaine constantien

Région type pour l'étude du Briovérien et de l'orogène cadomien, il présente les termes à la fois les plus anciens (Briovérien inférieur) et les plus récents (Briovérien supérieur) du Briovérien de Normandie. Ce Briovérien s'organise de part et d'autre d'une cordillère orientée SW-NE et marquée par une diorite intrusive formant entre Coutances et Saint Lô une structure anticlinale majeure.

- Le domaine mancellien

Les sédiments du Briovérien supérieur intrudés par des massifs granitiques dominant cette zone comprise entre la zone bocaine et le bassin de Laval.

Le Briovérien, dans tous ces domaines, est affecté par d'importants accidents orientés globalement NE-SW, qui sont l'objet d'une étude structurale dans les chapitres suivants.

3.2. Le Paléozoïque

Essentiellement sédimentaire (schistes et grés), d'âge Cambrien à Dévonien, il est constitué par une succession d'anticlinaux et de synclinaux. Les granites carbonifères de Flamanville et de Barfleur fixent l'histoire hercynienne de ces formations.

3.3. Le Mésozoïque

Constituant la bordure orientale du Massif Armoricaïn, il marque l'empreinte occidentale des terrains secondaires du Bassin Parisien. Il débute par les dépôts continentaux triasiques pour ensuite faire place aux sédiments marins du Jurassique et du Crétacé.

4. LES DONNEES GEOCHRONOLOGIQUES

4.1. Le Pentévrien (ou Icartien)

Représentés par des gneiss, ces terrains affleurent en trois endroits du Cap de La Hague : au Nez de Jobourg, dans les régions d'Omonville-la-Rogue et de Gréville. Si la plupart de ces massifs avaient déjà fait l'objet d'études géochronologiques (Leutwein et al., 1973) et révélé des âges Protérozoïque inférieur (2500 à 2200 Ma), devant l'incertitude due à la dispersion des données (méthode Rb/Sr), Piton (1985) reprend par la méthode U-Pb sur zircon la datation de ces massifs et obtient :

- 2083 \pm 7 Ma pour l'orthogneiss du Nez de Jobourg
- 2203 \pm 49, -44 Ma pour l'orthogneiss de Gréville. Ces âges confirment la présence de formations du Protérozoïque inférieur dans le Cotentin.

Au Sud du Cap de la Hague affleure, au Moulinet, un massif d'orthogneiss qui a donné un âge de 649 \pm 9, -12 Ma (Charlot, non publié - méthode U-Pb sur zircon ; Graviou et al., 1988).

Ainsi, apparait dans le Cotentin tout comme en Bretagne Nord, un groupe d'âges supérieurs à 600 Ma.

4.2. Le magmatisme cadomien

Localisé essentiellement dans deux régions du Cotentin (la Hague et Coutances), ce magmatisme correspond dans la plupart des cas à des intrusions syntectoniques des événements cadomiens (Protérozoïque supérieur).

Les âges obtenus par différentes méthodes sont les suivants:

- région du Cap de la Hague :

- . granite rose de La Hague : $597_{\pm 15}$ Ma (Rb/Sr-Leutwein et al., 1973).
- . granodiorite du Thiébot : $598_{\pm 12}$ Ma (Rb/Sr-Leutwein et al., 1973).
- . diorite du Moulinet : $594_{\pm 12}$ Ma (Rb/Sr-Leutwein et al., 1973).
- . diorite du Moulinet : $586_{\pm 13}$ Ma (U/Pb sur zircon Charlot, non publié).

- région de Coutances :

- . diorite de Coutances : $584_{\pm 4}$ Ma (U/Pb sur zircon, Guerrot et al., 1986).

Il est intéressant de noter que ce magmatisme définit un intervalle de temps de 20 Ma (600 - 580 Ma).

4.3. Le magmatisme tardi-cadomien

Représenté par les intrusions plutoniques de la Mancellia, ce magmatisme, malgré une multitude d'âges dûe aux diverses méthodes employées, peut être daté à 540 ± 10 Ma (Pasteels et Doré, 1982). Cet âge, obtenu sur le massif de Vire-Carolles par la méthode U-Pb sur zircon, est considéré comme représentatif de l'âge moyen de ce plutonisme (550 Ma). Il semble confirmé par les résultats de Graviou et al., ($551_{\pm 28}$ Ma - Rb/Sr, 1988).

Par corrélation avec le volcanisme ignimbrétique de Lézardrieux daté à 547 ± 56 (Rb-Sr Auvray, 1975) nous donnerons un âge similaire au volcanisme acide de Saint-Germain-le-Gaillard (Dissler et al., 1988).

4.4. Les granites hercyniens

Non datés de façon radiochronologique, les massifs granitiques de Barfleur et de Flamanville recoupant les formations dévoniennes sont rapportés au Carbonifère.

II RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS FONDAMENTALES DE L'ANALYSE STRUCTURALE

Ce paragraphe n'a pour but que de rappeler de façon succincte les principes fondamentaux de la géologie structurale dans les roches plutoniques et métamorphiques. Pour une meilleure compréhension ou d'autres renseignements, le lecteur pourra se reporter aux travaux des auteurs cités ci-après.

1. NOTION FONDAMENTALE DE LA DEFORMATION

Lors de son passage d'un état initial non déformé à un état final déformé, une roche subit en général la combinaison de trois états : une translation, une rotation et une déformation interne ou changement de forme (Means, 1976).

Cette déformation peut être assimilable à la transformation d'une sphère en un ellipsoïde appelé ellipsoïde de déformation.

2. PROBLEMES POSES PAR L'ANALYSE DE LA DEFORMATION DANS LES ROCHES PLUTONIQUES ET LES ROCHES METAMORPHIQUES

L'analyse de la déformation dans ce type de roches se heurte à deux problèmes : l'absence de marqueurs et l'homogénéité de la déformation.

2.1. Les marqueurs

Les marqueurs sont des objets déformés dont la forme initiale est connue (galets, tâches, fossiles). La comparaison de leur état final déformé avec leur état initial non déformé permet de calculer l'ellipsoïde de déformation.

L'absence de marqueurs a donc pour conséquence de rendre inutilisable la plupart des méthodes d'analyse quantitative de la déformation finie.

Cependant, il est possible d'estimer le type de l'ellipsoïde de déformation finie au moyen d'autres méthodes :

- étude de la symétrie de la fabrique des roches (Flinn, 1965 ; Watterson, 1968).
- méthode des "zones abritées" (Choukroune, 1971).

Ces méthodes ont été définies à partir de roches qui présentent à l'origine un caractère isotrope et des objets antétectoniques qui au cours d'une déformation progressive unique et continue vont se comporter comme des objets rigides à volume constant (porphyroclastes). Si l'on considère que la dissymétrie des zones abritées permet de déterminer le sens de cisaillement (Berthé et al., 1979 ; Simpson et Schmidt, 1983 ; Simpson, 1986 ; Passchier et Simpson, 1986 ; Takagi et Ito, 1988) et que l'orientation préférentielle des minéraux peut être reliée à une anisotropie de texture (Flinn, 1965 ; Watterson, 1968), une estimation de l'ellipsoïde de déformation peut être envisagée (Choukroune, 1971 ; Gapais, 1978).

Dans les roches métamorphiques à l'origine anisotropes, les minéraux, dont le volume croît au cours de la déformation, s'orientent en fonction de la texture acquise par la matrice ; cette orientation préférentielle, représentant presque toujours le dernier incrément de la déformation, ne caractérise qu'une petite partie de l'histoire de la déformation.

Considérant que cette orientation préférentielle est liée au régime de la déformation, toute tectonite peut être décomposée en éléments linéaires L ou planaires S (Flinn, 1965). Cet auteur propose de distinguer cinq types de fabriques distinctes (L, $L < S$, $L = S$, $L > S$, S) suivant l'importance des éléments L ou S (Fig. 7). Dans les tectonites L (amphibolites), le marqueur est linéaire (axe C des amphiboles), dans les tectonites S (micaschistes), le marqueur est planaire.

Dans les roches métamorphiques, il est ainsi possible de fabriquer au cours de la même extension L plusieurs surfaces S_1 , S_2 , S_3 , ... (Triboulet et Audren, 1985, 1988). Ceci a pour conséquence de rendre difficilement utilisable les méthodes applicables aux roches plutoniques.

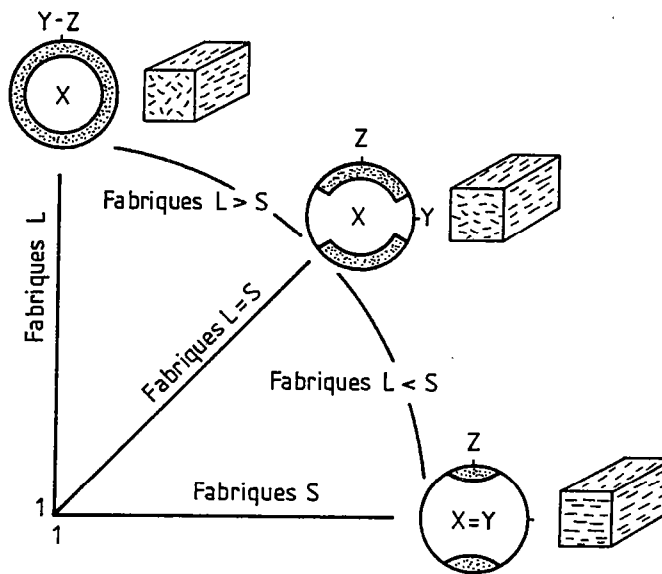


Fig.7 - Relation entre les fabriques L/S et l'ellipsoïde de déformation (Flinn, 1965).

2.2. Homogénéité de la déformation

Les bases mathématiques de l'analyse de la déformation nous contraignent à en restreindre l'application à des domaines de déformation homogène (Lagarde, 1978 ; Berthé, 1980).

De ce fait, il convient de vérifier l'homogénéité de la roche à l'échelle du domaine de déformation choisi. Le problème de l'homogénéité de la déformation rejoint donc le problème de l'échelle d'observation.

3. METHODE D'ETUDE DU REGIME DE DEFORMATION

L'étude de ce régime de déformation peut se faire à différentes échelles .

3.1. Echelle régionale

Il s'agira de mettre en évidence ou non l'existence d'un gradient de déformation (changement de forme de l'ellipsoïde de déformation, zones de mylonites...). Cette présence de gradient est caractéristique d'une déformation hétérogène donc d'un régime non coaxial de la déformation (Ramsay et Graham, 1970).

3.2. Echelle de l'affleurement

On recherchera des marqueurs pouvant avoir enregistré tout ou partie de la déformation progressive (galets, boudinage, réorientation de structures linéaires...).

3.3. Echelle de l'échantillon et de la lame mince

Il s'agit, avant tout, de faire une étude de la schistosité et de l'étirement, de rechercher des critères de cisaillement dans les minéraux, d'étudier les structures externes et internes des minéraux.

3.4. Echelle du cristal (matériel isotrope)

La déformation des roches se traduit fréquemment par l'apparition d'orientation préférentielle dans les réseaux cristallins. Cette étude se fait soit par microscopie optique à l'aide de la platine universelle soit par diffractométrie aux rayons X avec un goniomètre de texture (Gapais, 1978).

4. LA DEFORMATION CISAILLANTE

Les zones de déformation intense sont, dans la plupart des cas, des zones de cisaillement. Dans le domaine ductile, elles se marquent par le développement d'une foliation et d'une linéation d'étirement qui permettent de repérer dans l'espace la position des axes principaux de la déformation. Quand la déformation est intense, la direction de la linéation

d'étirement est proche de la direction de cisaillement. L'observation des critères de sens de mouvement, caractérisés par leur assymétrie, permet de déterminer la cinématique de ces zones (Rosenfeld, 1970 ; Ramsay et Graham, 1970 ; Berthé, Choukroune et Gapais, 1979 ; Berthé, Choukroune et Jégouzo, 1979 ; Jégouzo, 1980 ; Berthé, 1980 ; Simpson et Schmidt, 1983 ; Vernon, Williams et d'Arcy, 1983 ; Passchier et Simpson, 1986 ; Van den Driessche, 1986).

4.1. Les principaux critères de sens de mouvement

4.1.1. Les plans de cisaillement C/S

Le matériel de départ est un matériel isotrope. Lorsque celui-ci subit une déformation, le fait le plus marquant est l'apparition simultanée, à partir d'un stade peu déformé, de deux familles de surfaces :

- la première famille de surfaces (C) est parallèle à la direction de cisaillement et porte une linéation d'étirement. Les surfaces C constituent des surfaces du mouvement relatif.

- la seconde famille de surfaces (S) oblique par rapport à la précédente, constitue le plan d'orientation des minéraux.

Au cours de la déformation l'angle entre les deux surfaces, initialement voisin de 45° , diminue par rotation des surfaces S tandis que les surfaces C gardent une orientation constante, pour aboutir à la confusion des deux familles C et S.

Cette évolution peut être définie par différents stades (Fig. 8) :

- stade 1 (Fig. 8a) : il définit le stade initial ; l'angle entre les plans C et S est de 45° . Les surfaces C sont peu nombreuses et localisées sur les bords des phénocristaux.

- stade 2 (Fig. 8b) : l'angle se réduit et est voisin de 30° . La densité des surfaces C augmente, la schistosité (plans S) est plus marquée et est soulignée par l'orientation des plans 001 des phyllosilicates. On constate un allongement des queues de recristallisation.

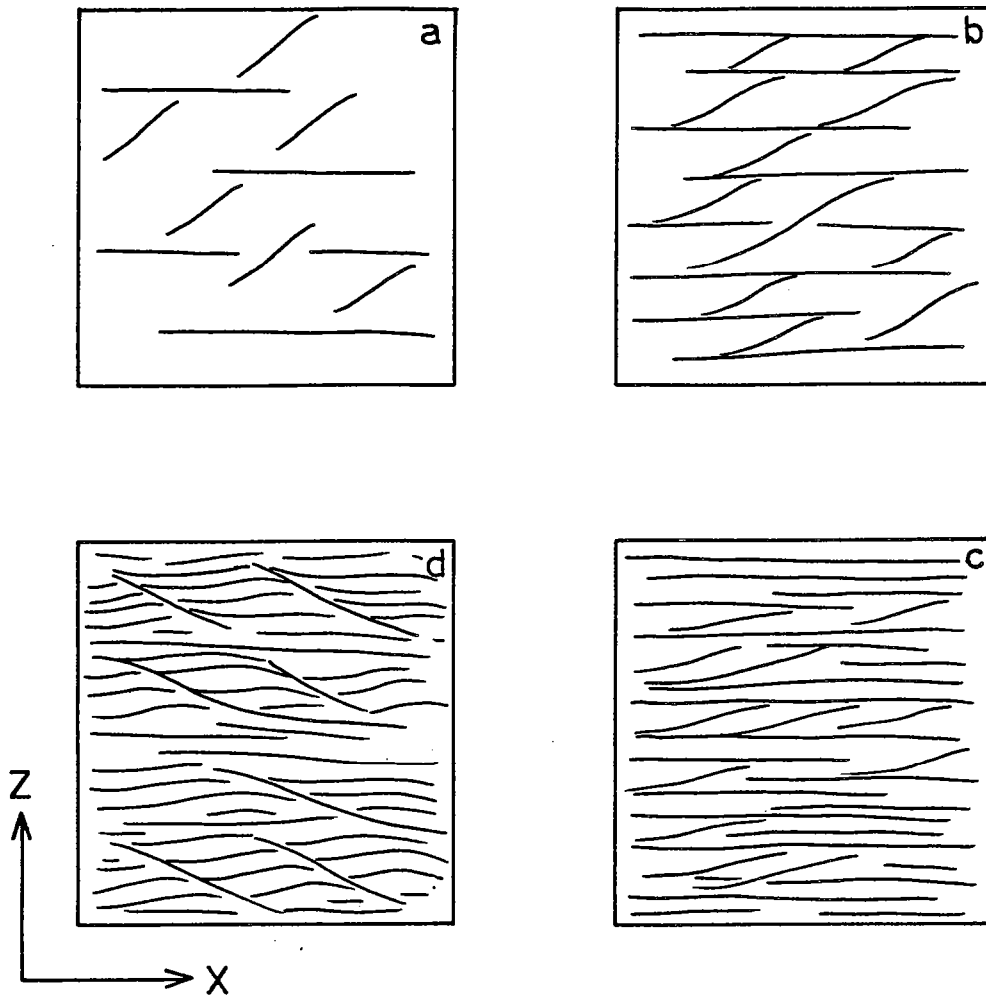


Fig.8 - Les plans de cisaillement. Evolution au cours de la déformation progressive.

a : stade 1 ; b : stade 2 ; c : stade 3 ; d : stade 4 .

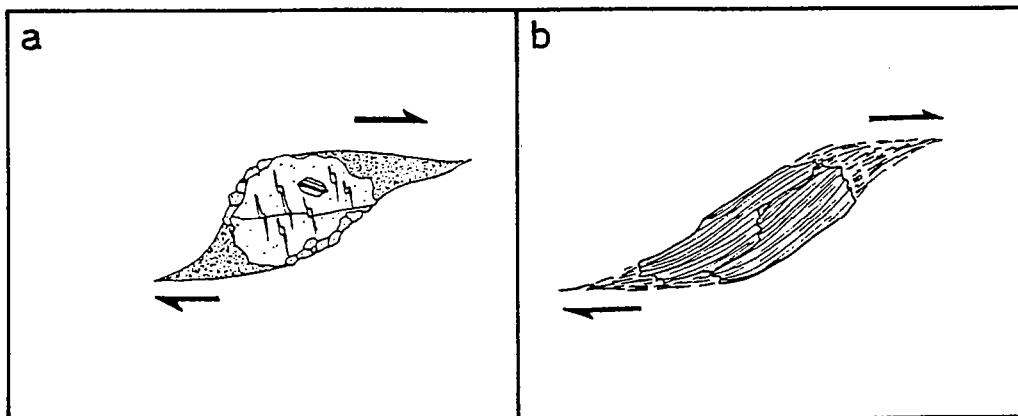


Fig.9 - Dissymétrie des zones abritées permettant de déterminer le sens de cisaillement (dextre sur cette figure).

- stade 3 (Fig. 8c) : l'angle entre les deux surfaces continue de diminuer. La densité des surfaces C demeure constante. Les caractères des surfaces C et S changent.

A partir de ce stade, les ombres de pression contenues aux extrémités des clastes présentent un allongement oblique par rapport aux surfaces S qui ne contiennent plus le plan principal de déformation (plan XY). Ces surfaces deviennent des surfaces de déformation actives (Choukroune, 1971).

- stade 4 (Fig. 8d) : les deux systèmes de surfaces se parallélisent. La densité des surfaces C/S confondues est très élevée. Les surfaces C et S ne sont plus les plans principaux de déformation, des surfaces secondaires (plans C') apparaissent.

4.1.2. Les zones abritées

Au cours de la déformation on constate le développement des zones abritées aux extrémités des porphyroclastes.

Au fur et à mesure de l'évolution de la déformation, la zone abritée croît par dissolution-recristallisation. Lorsque la direction d'étirement ne coïncide plus avec le plan de schistosité (stade 3), les zones abritées deviennent dissymétriques. Leur dissymétrie est caractéristique du sens de cisaillement (Fig. 9a) dans le cas d'une déformation unique et progressive.

4.1.3. Les phyllosilicates en "poisson"

Au cours de la déformation les phyllosilicates (biotite, muscovite,...) sont étirés dissymétriquement le long des surfaces C où ils acquièrent alors une forme en "poisson" caractéristique (Eisbacher, 1970 ; Lagarde, 1978). De même que pour les zones abritées la dissymétrie indique le sens de mouvement du cisaillement (Fig. 9b).


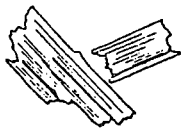
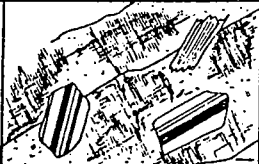
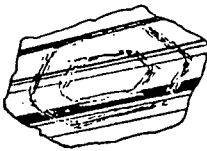


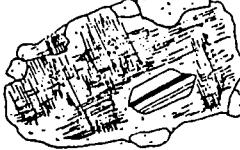
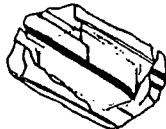

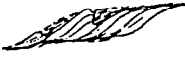
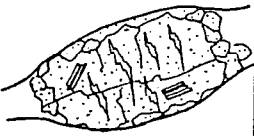





	Quartz	Phyllosilicates	Feldspath		
			Potassique	Plagioclase	
Déformation croissante ↓	Granite isotrope				
	Protomylon.				
	Mylonite				
	Ultramylon.				

Fig.10 - Cataclase des minéraux lors de la déformation croissante (d'après Berthé, 1980) ; La barre = 1 mm .

4.2. Autres critères

4.2.1. Les microfractures des porphyroclastes

Dans les zones de cisaillement, il arrive que dans une matrice ductile, les porphyroclastes plus résistants soient brisés et montrent des microfractures (Simpson et Schmidt, 1983). Le sens de déplacement le long de ces microfractures est opposé au sens de cisaillement de la roche.

4.2.2. Les structures d'enroulement

Lors d'une déformation intense (stade 4) il arrive que la détermination du sens de cisaillement soit difficile. Mawer (1987), Van den Driessche (1986) et Van den Driessche et Brun (1987) montrent qu'à partir de structures dites d'enroulement, il devient alors possible de retrouver le sens de cisaillement.

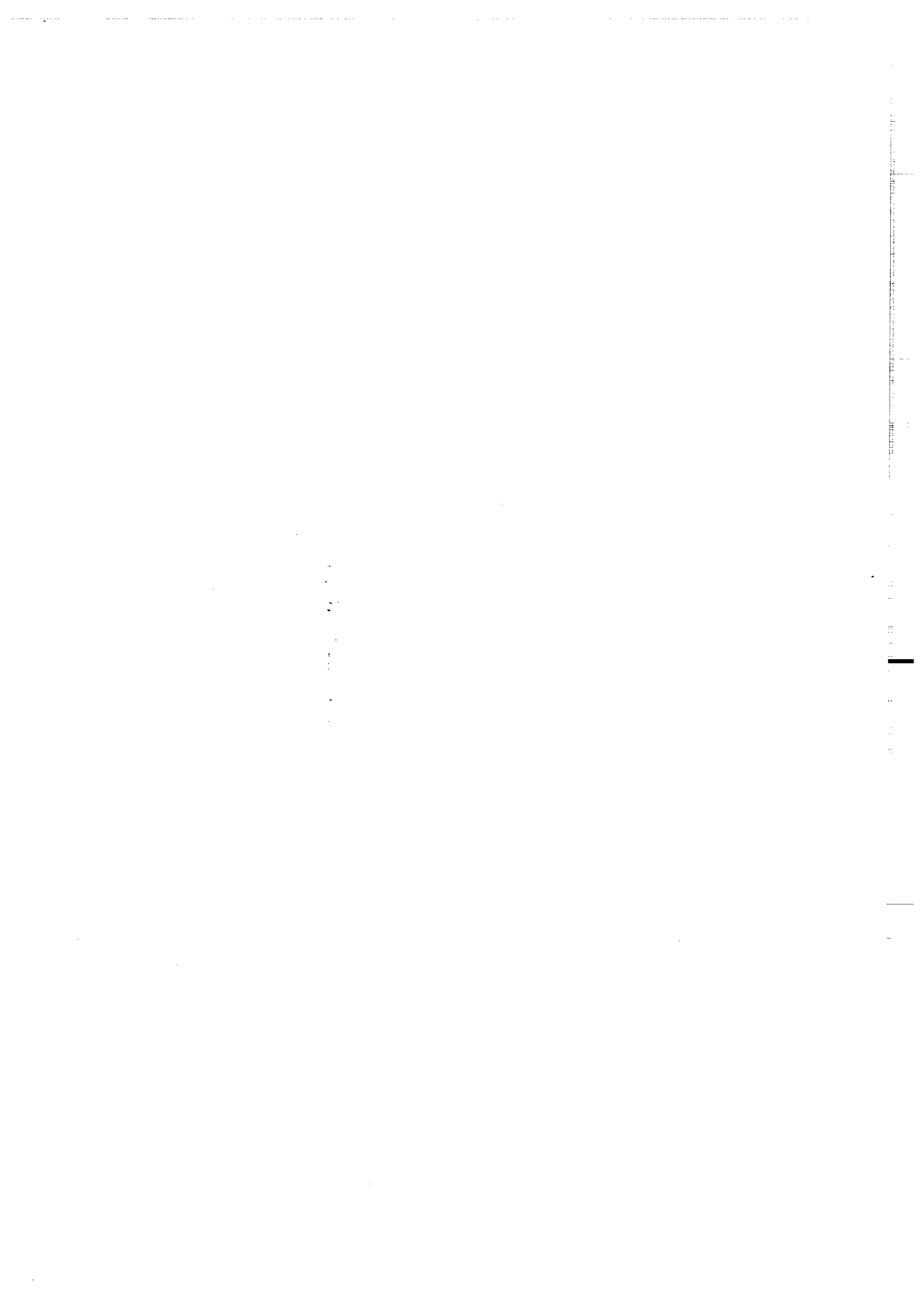
4.2.3. Les microplis déversés

Dans les ultramylonites apparaissent souvent, dans les stades ultimes de la déformation, des microplis isopaques dont le déversement indique le sens de cisaillement.

4.3. Conclusion

Les zones de cisaillement visibles à toutes les échelles peuvent être comparées à un modèle de déformation ductile (Ramsay et Graham, 1970). L'apparition de plans C et S associée à la cataclase des minéraux permet de définir, à mesure que la déformation va croissant, différents faciès de mylonites, depuis le faciès isotrope jusqu'au faciès ultramylonitique (Fig. 10) dans les matériaux isotropes à l'origine (diorite ou granite).

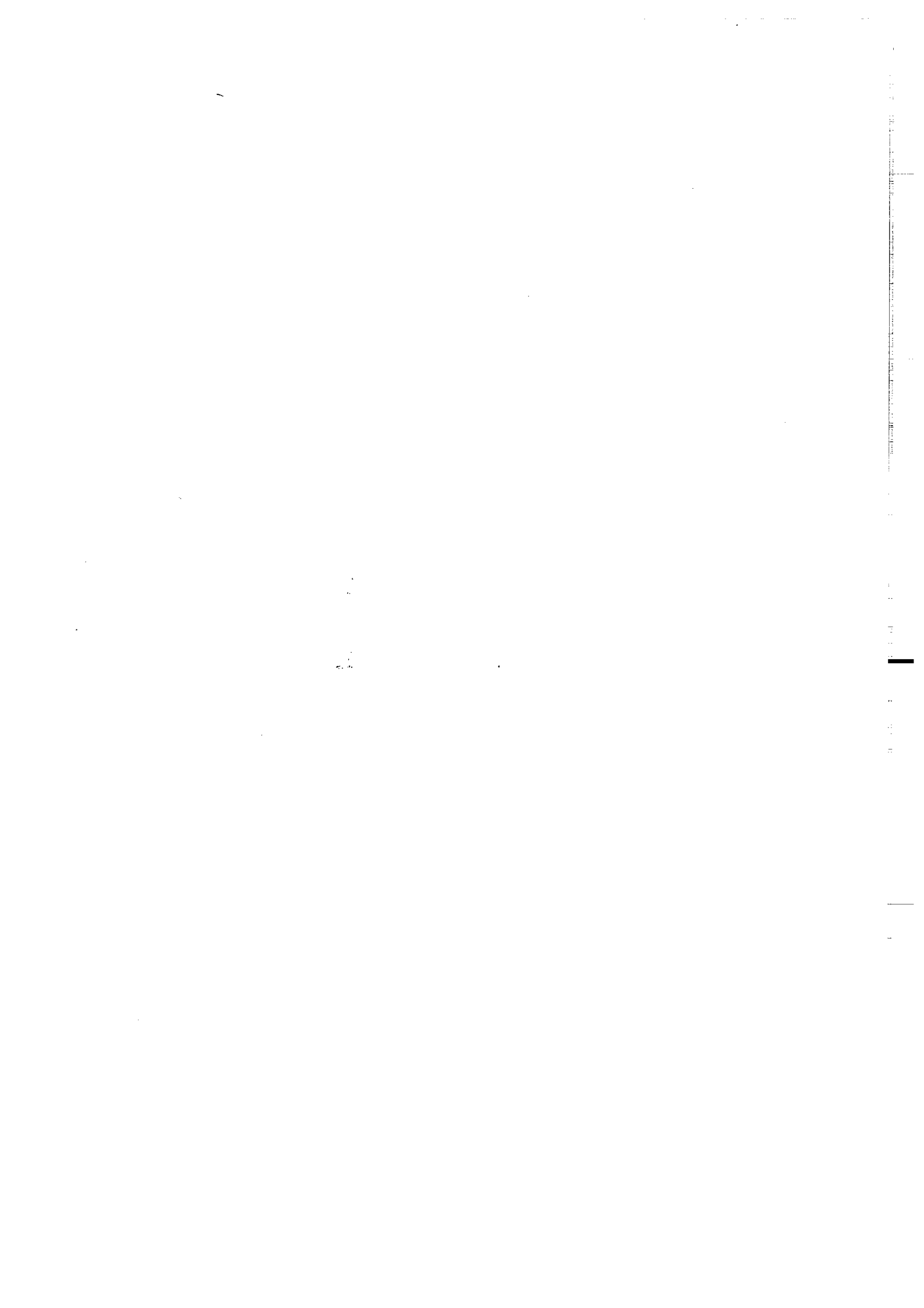
Dans les roches métamorphiques, anisotropes au départ, les critères de cisaillements externes autour des minéraux dont le volume s'accroît au cours de la déformation ne peuvent être utilisés. Il leur sera préféré les critères internes (quand ils existent).



CHAPITRE I

LA REGION
DE
COUTANCES - GRANVILLE

- LE SECTEUR DE COUTANCES -



I INTRODUCTION

1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE

Située dans la partie méridionale de la péninsule du Cotentin, la région de Coutances étudiée (Fig. 3 cadre CG) couvre une superficie d'environ 2000 Km². Cette zone, d'activité essentiellement agricole, au relief légèrement valonné n'offre à la faveur d'escarpements rocheux modestes et de petits cours d'eau, qu'une quantité et qu'une qualité d'affleurements médiocres, souvent occultés par une végétation envahissante, rendant ainsi souvent problématique l'interprétation des contacts entre formations.

2. CADRE GEOLOGIQUE

C'est dans cette région, limitée au Nord par les formations paléozoïques du bassin de Lessay et leur couverture permo-triasique et s'étendant vers le Sud jusqu'au synclinal de Montmartin, que les formations les plus anciennes du Protérozoïque supérieur normand occupent, selon un axe Coutances-Saint-Lô (NE-SW), le coeur d'une grande structure anticlinoriale (Graindor, 1957; Roblot, 1968).

Ces formations désignées sous le terme de Briovérien depuis Barrois (1895) (Briovéria : nom latin de Saint-Lô) sont recoupées et métamorphosées par une intrusion plutonique cadomienne : la diorite quartzique de Coutances.

3. RAPPELS HISTORIQUES

Le premier schéma stratigraphique et structural du Briovérien est établi par Graindor (1957, 1965) : il distingue un Briovérien inférieur volcanique et métamorphique suivi d'un Briovérien moyen à caractère phtanitique sur lequel repose en discordance un Briovérien supérieur flyschöide. Deux phases orogéniques (constantienne et viducaste) affectent le Briovérien dans son ensemble (Fig.4).

Des études récentes (Dupret, 1984) amènent aujourd'hui à subdiviser le Briovérien en deux groupes (inférieur et supérieur) (Fig.5).

II. LES DIFFERENTES UNITES LITHOLOGIQUES (Fig.11)

1. LES FORMATIONS DU GROUPE INFÉRIEUR

1.1. Les formations volcaniques

1.1.1. La formation de la Terrette

Localisée sur le flanc sud-est de la diorite de Coutances, entre les vallées du Lozon et de la Terrette, cette formation volcanique, d'orientation N 60, se présente comme une bande de 3 km de largeur sur 8 km de longueur (Fig. 11).

Ces volcanites sont uniquement représentées par des laves basiques, spilitiques, à débit en pillow lavas.

La paragenèse typique de ces volcanites est : clinopyroxène, olivine souvent serpentinisée et chloritisée, de nombreux microlites d'albite. Les minéraux accessoires sont la biotite chloritisée, la chlorite, la calcite.

La texture microlitique ainsi que les figures de trempe affectant les plagioclases et les olivines évoquent un épanchement sous-marin (Le Gall et al., 1986).

Des études géochimiques (Le Gall et al, 1986) sur éléments majeurs et éléments traces indiquent clairement que les spilites de la Terrette sont des tholéites typiques (Fig. 12), émises en contexte distensif (teneur élevée en TiO_2 et en éléments de transition, absence de fractionnement de spectres de terres rares). Pour ces auteurs, les tholéites de la Terrette, de type N-MORB, prennent naissance "dans un bassin arrière arc à partir d'un manteau non contaminé par l'influence de la subduction".

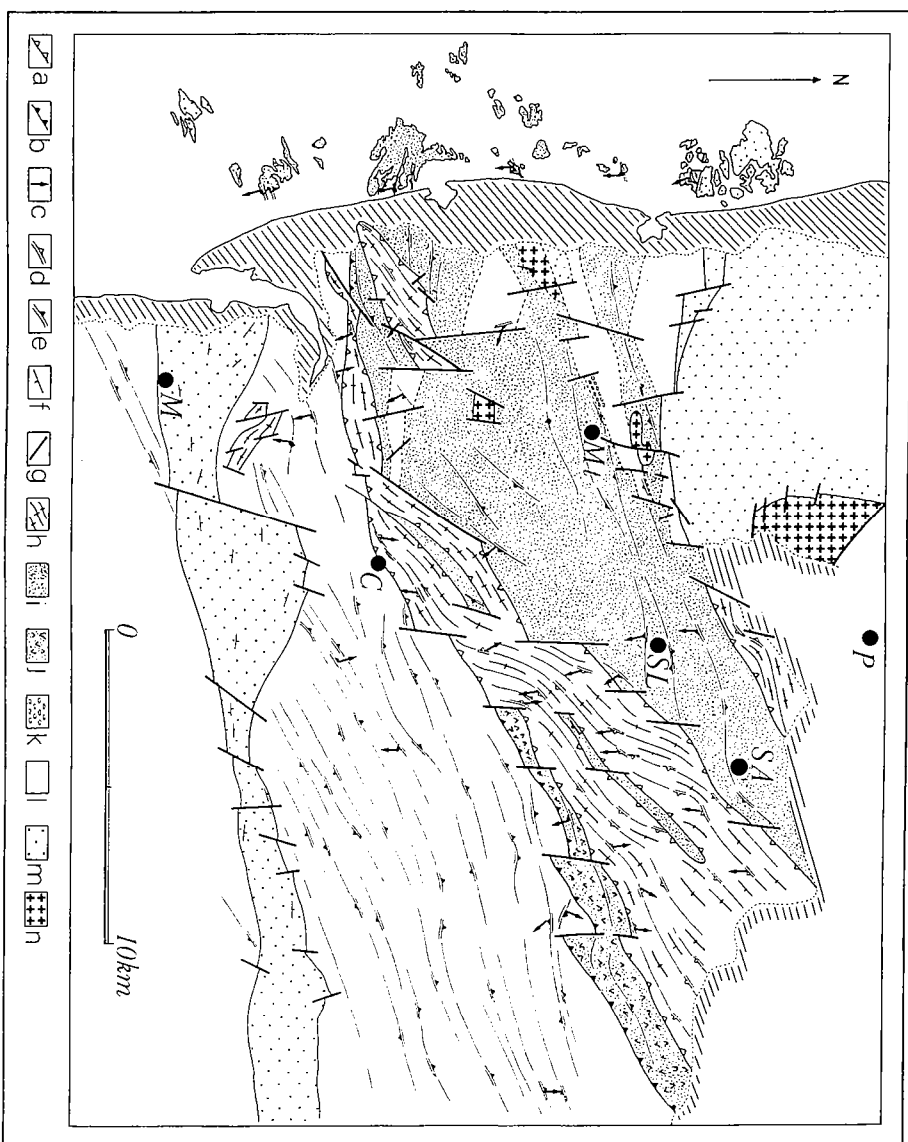


Fig. 11 - Carte géologique de la région de Coutances.

- a- contact anormal de la diorite ; b- chevauchements cadomiens ;
 c- linéation d'étirement ; d- foliation cadomienne dans la diorite ;
 e- schistosité cadomienne ; f- stratification ; g- failles tardives
 h- diorite ; i- formations métamorphiques du Nord de la diorite
 (Mortsurvent, amphibolites, ultrabasites) ; j- formation volcanique
 de la Terrette ; k- poudingue ; l- Briovérien non métamorphique ;
 m- Paléozoïque ; n- granite post-cadomien .
 P. - Périers ; S.A. - Saint Aubin du Perron ; M. - Montsurvent ;
 S.L. - Saint Leger ; C. - Coutances ; M. - Montmartin .

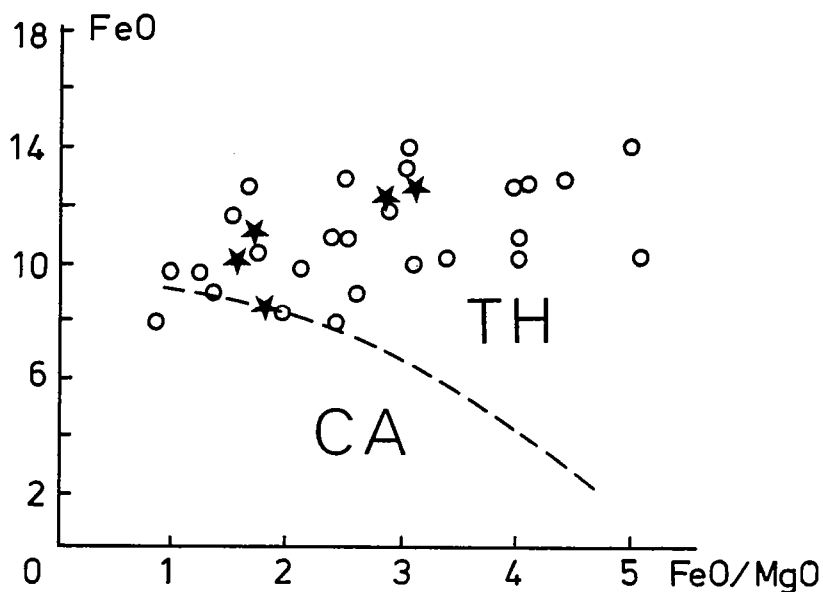


Fig. 12 - Caractère tholéitique des séries de Montsurvent ○ et de la Terrette ★ (d'après Dupret et al., 1985).

1.1.2. La formation de Montsurvent

Localisé au Nord-Ouest de la diorite de Coutances (Fig. 11) ce volcanisme est constitué d'une association de termes acides (40%) et basiques (60 %). Pour cette formation déjà bien étudiée (Dupret et al., 1985) nous intégrons ici notre propre étude pétrographique.

1.1.2.1. Les termes basiques

Principalement situés dans la région de Montsurvent, ils sont caractérisés par des laves (spilites) et des brèches (hyaloclastites). Ces roches présentent différentes textures : microlitique aphanitique à porphyrique, doléritique grenue à microgrenue et vacuolaire.

La composition minéralogique typique est : plagioclase, chlorite, épidote, calcite, sphène et quartz. A cette paragenèse s'ajoutent des minéraux tels que l'amphibole (hornblende), des clinopyroxènes (endiopside-augite), la biotite.

- le plagioclase : sa composition varie de l'albite (An_5) l'oligoclase (An_{10-20}). On le trouve en lattes automorphes dans les laves à texture doléritique et en fins microlites dans les roches à texture microlitique. Rarement altéré, il présente parfois à sa surface de fins cristaux d'épidote.

- la chlorite : souvent dispersée dans la lame, elle emplit les vacuoles (parfois associée à de l'épidote).

- le quartz : xénomorphe, à extinction roulante se trouve essentiellement dans de fines veines parcourant la roche. Il en est de même pour la calcite et l'épidote.

1.1.2.2. Les termes acides

Situés plus à l'Est, dans le prolongement des termes basiques, ces roches acides, dont les relations avec les précédentes formations ne peuvent nulle part être observées se rencontrent sous diverses formes :

- des laves microlitiques à phénocristaux : dans une matrice composée essentiellement de quartz et de séricite, des phénocristaux de quartz automorphe et d'albite (An_4) en partie séricitisé montrent une orientation préférentielle.

- des laves microlitiques à texture trachytique : des microlites d'albite (An_5) forment une texture plus ou moins fluidale. Du quartz, de la chlorite remplissent les espaces laissés vacant par le plagioclase.

Ces laves sont interstratifiées dans un ensemble de volcanoclastites et de tufs. La paragenèse principale rencontrée dans ces roches est une association de quartz, plagioclases : albite (An_5) et oligoclase (An_{10-20}), biotite, chlorite. Les minéraux accessoires sont l'épidote, la muscovite et les opaques.

Différentes textures sont mises en évidence :

- texture microlitique porphyrique : dans une matrice constituée par des microlites d'albite (An_{5-10}) flottent de nombreux phénocristaux de quartz automorphe et de plagioclases souvent altérés.

- texture sphérolitique : des sphérolites constitués par un agrégat crypto-cristallin de quartz et feldspaths occupent le fond de la lame.

Les différents termes acides et basiques précédemment décrits sont affectés par un métamorphisme. Ce métamorphisme sera traité ultérieurement. Deux variétés d'amphiboles ont été reconnues dans ces roches : une amphibole brun vert (hornblende) qui se destabilise aux extrémités en une amphibole fibreuse de type actinote.

Du point de vue géochimique, des études récentes (Dupret et al., 1985) montrent que ce volcanisme présente les caractères géochimiques typiques d'une série tholéitique (Fig. 12) d'arc insulaire liée à une zone de subduction. Pour ces auteurs, contrairement au volcanisme de la Terrette, les volcanites de Montsurvent montrent un caractère tholéitique de type compressif.

1.2. Le matériel ultrabasique

Des intrusions d'ultrabasites serpentinisées, à texture de cumulats, sont signalées au sein de ces volcanites.

Ces intrusions, décrites sommairement par Saunier (1982), feront l'objet d'une étude détaillée.

1.3. Les amphibolites

Considérées comme étant les témoins du métamorphisme de contact induit par la diorite de Coutances, (Graindor, 1957 ; Dupret, 1984 ; Dissler et al., 1988) ces métasédiments forment une bande étroite située au Nord de la diorite de Coutances.

1.3.1. Composition minéralogique

Les faciès pétrographiques observés montrent des amphibolites rubanées facilement discernables à l'oeil nu. Le rubanement est marqué par l'alternance de lits vert clair et de lits plus sombres.

Ces roches présentent une texture granoblastique hétérogranulaire à lépidoblastique.

Les minéraux principaux sont : l'amphibole, le plagioclase, l'épidote, le pyroxène, le grenat, la calcite, le quartz, la biotite et la chlorite. A ces minéraux essentiels s'associent des minéraux accessoires tels que le sphène, l'apatite et les opaques.

- l'amphibole : deux types sont distingués au microscope :

. une amphibole brun vert très pléochroïque, allongée dans la foliation, il s'agit d'une hornblende. On la trouve également parfois en phénocristaux. Des analyses faites à la microsonde (Saunier, 1982) permettent d'identifier des pargasites et des édénites (Leake, 1978).

. une amphibole bleu vert, peu pléochroïque, secondaire, elle provient de la rétro-morphose des hornblendes, il s'agit d'actinote.

- les plagioclases : souvent altérés, la composition la plus fréquente est celle d'une andésine (An_{40}). Toutefois, un second plagioclase plus petit apparaît, il s'agit d'oligoclase (An_{10-30}).

- le pyroxène : parfois précoce (entouré par la foliation) il s'agit d'un clinopyroxène souvent associé au grenat et à l'amphibole.

- les grenats : roses, ils sont rarement porphyriques. On les trouve associés à la calcite et sont syn-foliation.

- le quartz : xénomorphe, parfois à extinction roulante, il est orienté dans la foliation.

1.3.2. Métamorphisme

Deux paragenèses peuvent être distinguées, elles correspondent à deux phases métamorphiques :

- paragenèse I :

marquée par l'association minérale suivante : amphibole (hornblende) soulignant la foliation générale, pyroxène, grenat, calcite, plagioclase (An_{40} = andésine), biotite, épidote et quartz, cette paragenèse primaire est caractéristique de l'"amphibolite facies".

- paragenèse II :

L'association minérale suivante : amphibole (actinote) rétro-morphique mais également sécante par rapport à la foliation, muscovite, plagioclase (An_{10-30} = oligoclase), chlorite et épidote caractérise une rétro-morphose et correspond à la limite des faciès schistes verts-amphibolite.

Il faut noter que ces deux paragenèses sont également plus ou moins bien marquées dans la formation de Montsurvent. Ceci nous amène à penser que les formations mises en évidence au Nord de la diorite de Coutances ont été affectées par une même évolution métamorphique mais que l'enregistrement de ce dernier par les volcanites est moins marquée du fait de leur chimisme.

1.4. Les formations de l'étage de la Lande des Vardes

Ces formations, situées au Sud de la diorite de Coutances (Fig.11), sont connues sous le nom de schistes et phtanites de Saint Lô, ce dernier élément servant de repère à la stratigraphie du Briovérien du Nord-Est du Massif Armoricaïn (Graïndor, 1957 ; Roblot, 1968). Faisant l'objet d'études spécifiques (Dabard, à paraître), elles se composent de niveaux siliceux (phtanites) interstratifiés dans des formations détritiques terrigènes (wackes, siltstones, argilites).

1.4.1. Les wackes

La phase particulière est constituée de quartz mono-et poly-cristallin, de fragments d'origine plutonique, de fragments d'origine sédimentaire (grès, pélites noires) et métamorphique (micaschistes), de feldpaths potassiques (microcline, orthose), de muscovites et de biotites chloritisées. A cette minéralogie s'ajoutent des minéraux accessoires tels le zircon, l'apatite et le rutile.

La matrice constituée de quartz, chlorite, illite et muscovite est généralement abondante.

1.4.2. Les siltstones

Les constituants de ces roches sont le quartz, le plagioclase, (albite), la chlorite et la muscovite.

L'étude géochimique en cours (Dabard, à paraître) fait ressortir le caractère volcanogène de ces formations, ce qui remet en cause l'hypothèse émise par Chantraine et al. (1988).

2. LE COMPLEXE DE ROCHES ULTRABASIQUES (Fig. 13)

Situé dans la région de Saint Aubin du Perron, il n'avait jamais été cartographié jusqu'à ce que soit reconnu, au sein des volcanites métamorphisées, des petits pointements de serpentinite (Saunier, 1982).

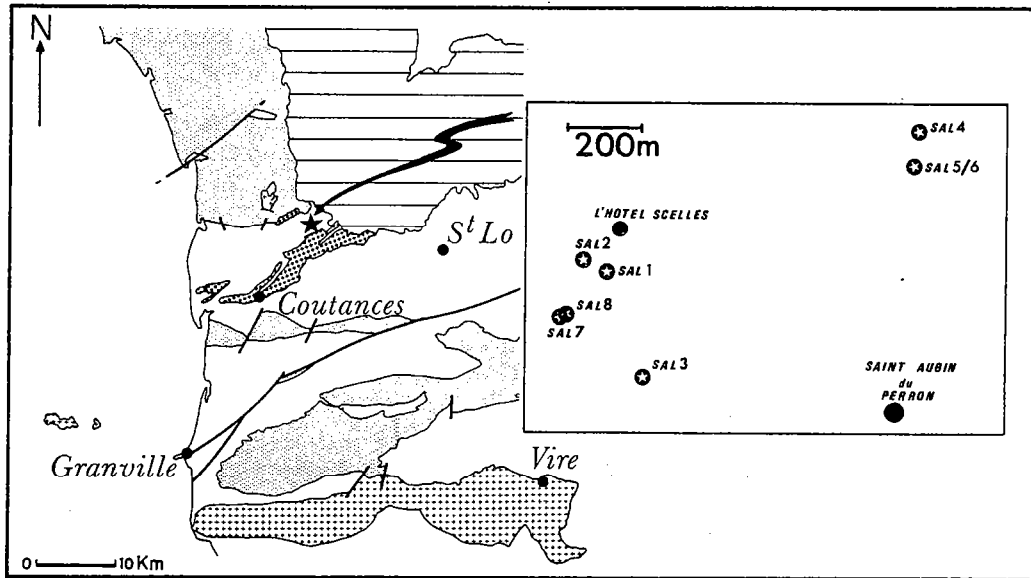


Fig.13 - Localisation des sondages de roches ultrabasiqnes.

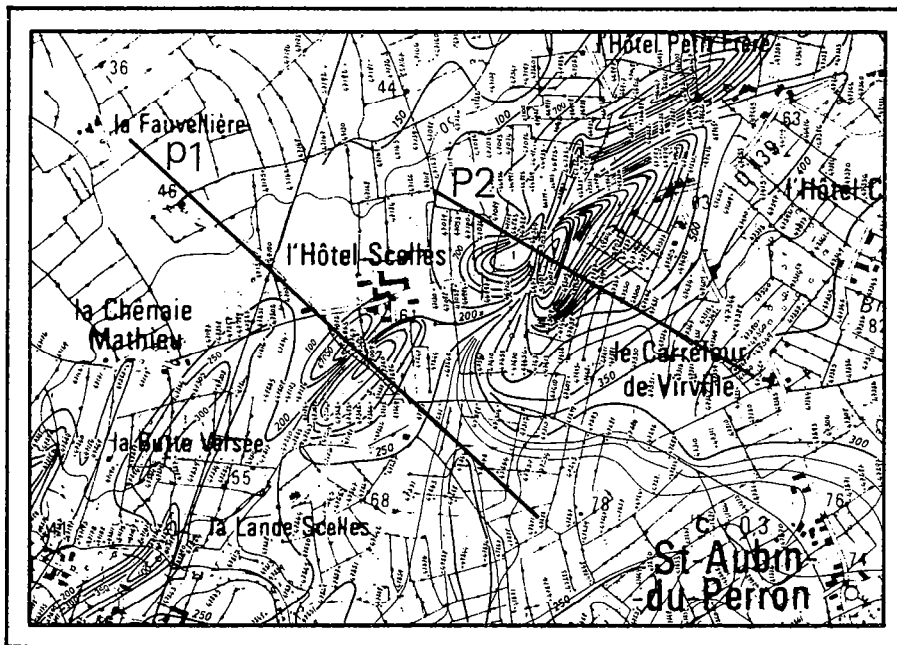


Fig.14 - Anomalies magnétiques situées à l'aplomb des sondages de roches ultrabasiqnes. P1 et P2 = profils magnétiques levés au sol.

Localisé grâce à la présence d'anomalies magnétiques importantes (jusqu'à 50000 gammas) sur la carte du champ total (document Pennaroya (Fig. 14)), ce complexe ultrabasique a été carotté en 8 points (Fig. 13). L'étude d'un de ces carottages SAL 1, fourni par le BRGM, permet de caractériser ces roches ultrabasiques.

2.1. Approche géophysique

2.1.1. Remarque sur la carte du champ total

Cette carte d'anomalies du champ total montre dans la zone de Saint Aubin-du-Perron un cortège d'anomalies positives orientées selon une direction N50-N60. Signalons que ces anomalies, dont l'amplitude, très élevée, atteint parfois 2000 gammas, se superposent à l'anomalie magnétique de Coutances-Jersey (paragraphe III-2.4.1).

2.1.2. Les levés magnétiques au sol

Dans le but d'estimer la profondeur du corps magnétique et de corrélérer ces anomalies avec l'anomalie existant sur la carte "volée" à 3000 m, une rapide campagne de levés magnétiques au sol a été réalisée pendant dans le courant du mois de mars 1986.

Les mesures brutes acquises sur le terrain lors du lever des profils interprétatifs, au moyen d'un magnétomètre portatif Géométrics G826, ont fait l'objet de corrections des variations diurnes.

Pendant la période du lever, les variations diurnes du champ magnétique ont été enregistrées à Rennes en continu sur un magnétomètre de type Elsec 7704 et à Saint Aubin-du-Perron (région située à 5 km des levés). La comparaison de l'allure des deux diurnes indiquant une bonne concordance des variations, les mesures enregistrées à Rennes ont été considérées comme significatives de celles existant dans la région étudiée et ont ainsi été utilisées pour la correction diurne. La réduction des mesures ayant été ramenée au 26 mars 1986 à 12 h.

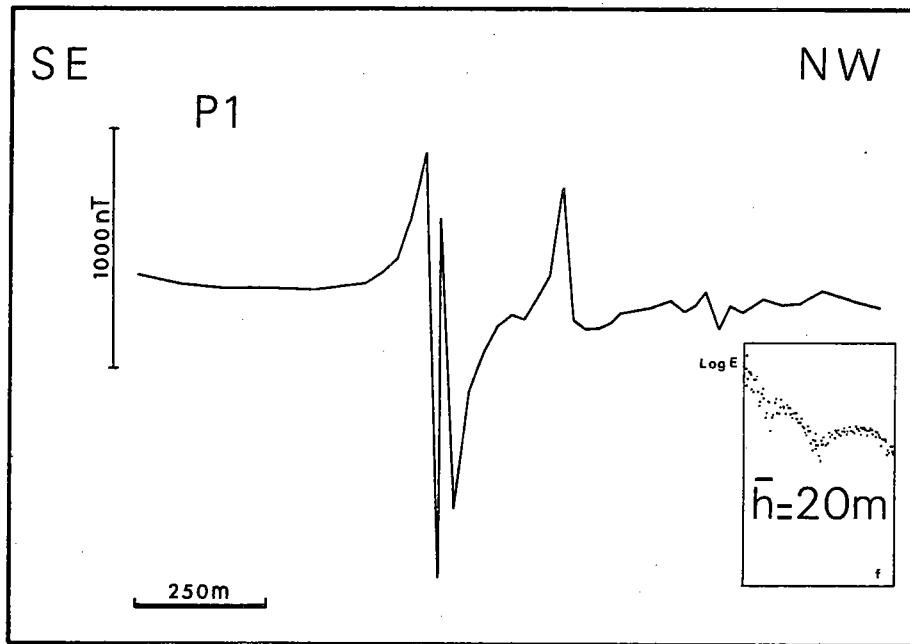


Fig.15 - Traitement par la méthode Spector et Grant du profil magnétique P1.

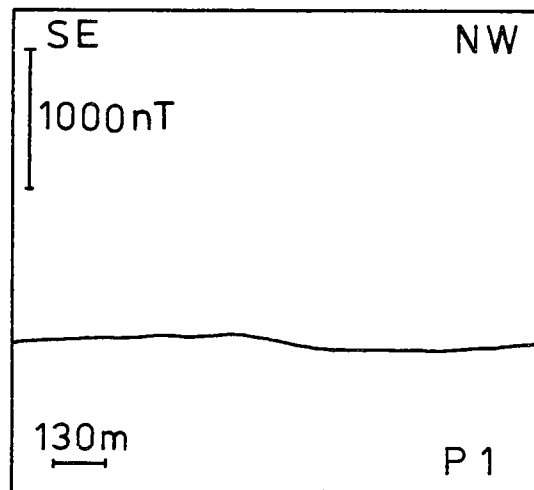


Fig.16 - Prolongement vers le haut (150 m) du profil P1.

2.1.2.1. Interprétation des profils magnétiques

Deux profils d'une longueur d'environ 3000 m ont été levés perpendiculairement à l'anomalie située à l'aplomb du hameau de l'"Hôtel Scelles" (Fig. 14). Ils se superposent également au sondage SAL 1 (sondage étudié) obtenu auprès des Divisions Minières du B.R.G.M. (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) de Nantes et Caen.

Le traitement fréquentiel des profils (méthode décrite dans la seconde partie de ce mémoire), nous indique pour chaque lever que la profondeur moyenne du toit du corps magnétique perturbateur se situe aux environs de 20 m (Fig. 15). Cette estimation de profondeur d'une vingtaine de mètres s'avère comparable et vérifiée (à l'erreur près de la méthode géophysique employée : 20 %) par l'étude des sondages.

2.1.2.2. Corrélation avec l'anomalie de Coutances-Jersey

Afin de comparer nos profils avec ceux de l'anomalie "volée" à 3000 m un prolongement vers le haut de nos levés magnétiques a été tenté. Il s'avère qu'au delà de 150 m l'anomalie observée sur le profil disparaît (Fig. 16). Le complexe ultrabasique, trop superficiel, n'est pas le corps source responsable de l'anomalie magnétique observée sur la carte du champ total de la France.

2.2. Etude du carottage SAL 1

Le sondage, d'une longueur totale 150 m, traverse les formations suivantes (Fig. 17) :

- 0 - 11,50 m : des fragments altérés dans lesquels on reconnaît du matériel ultrabasique lié à des amphibolites.
- 11,50 - 40,30 m : le complexe ultrabasique serpentinisé.
- 40,30 - 45,90 m : une zone broyée marquant un contact tectonique important.
- 45,90 - 110,50 m : un ensemble volcanosédimentaire non métamorphique.

SAL 1

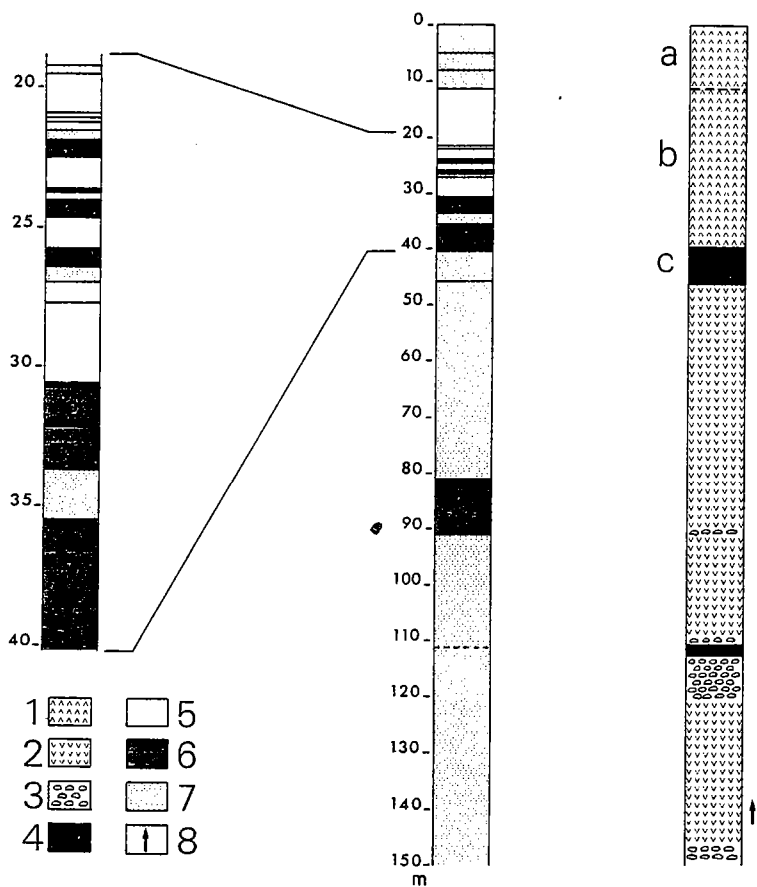
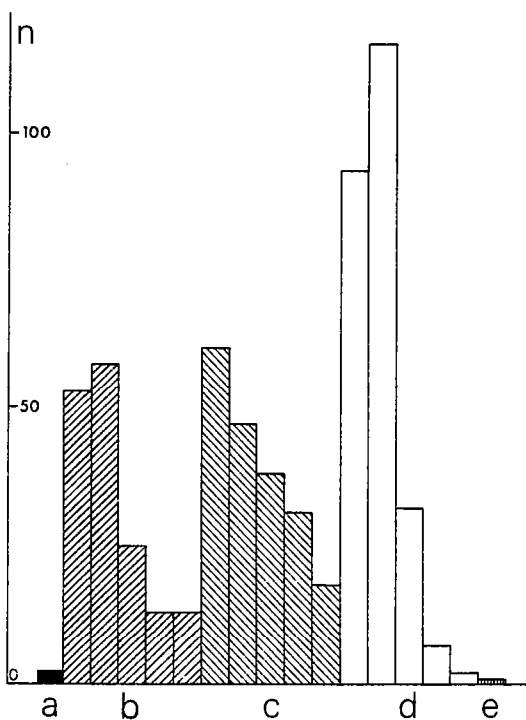


Fig.17 - Carottage SAL 1.

- 1- roches ultrabasiques :
 - a- zone d'altération ,
 - b- zone non altérée ;
- 2- ensemble volcanosédimentaire ;
- 3- zone bréchique ;
- 4- zone mylonitique ;
- 5- susceptibilité magnétique : 10^{-3} u.e.m. CGS ;
- 6- 10^{-4} u.e.m. CGS ;
- 7- 10^{-5} u.e.m. CGS ;
- 8- polarité des couches .

Fig.18 - Histogramme des susceptibilités magnétiques du sondage SAL 1.

- a- 10^{-6} u.e.m. CGS ; b- 10^{-5} u.e.m. CGS ;
- c- 10^{-4} u.e.m. CGS ; d- 10^{-3} u.e.m. CGS ;
- e- 10^{-2} u.e.m. CGS .



- 110,50 - 112,50 m : une zone broyée affectant les roches volcanosédimentaires.
- 112,50 - 150 m : un nouvel épisode volcanosédimentaire comparable à l'ensemble précédent.

Parallèlement à la détermination pétrographique, un log des susceptibilités magnétiques a été effectué (Fig. 17). Les mesures, au nombre de 535, effectuées au moyen d'un appareil portatif (Kappametter KT-5) ont confirmé la présence de roches magnétiques à proximité de la surface.

Les susceptibilités mesurées sur le complexe de roches ultrabasiques ont un ordre de grandeur (10^{-3} u.e.m. CGS) comparable à celui rencontré dans les roches ultrabasiques de la Baie d'Audierne (Lefort et Ségoufin, 1978).

Les valeurs les plus faibles (10^{-5} à 10^{-6} u.e.m. CGS) ont été déterminées dans l'ensemble volcanosédimentaire sous-jacent non métamorphique (Fig. 17 et 18).

Cet examen rapide du sondage SAL 1 montre que l'ensemble ultrabasique très magnétique et métamorphique repose par contact anormal sur l'ensemble volcanosédimentaire exempt de métamorphisme et non magnétique.

2.2.1. Caractéristiques pétrographiques des ultrabasites

Macroscopiquement, ces roches présentent une structure grenue. De couleur sombre, elles montrent un litage fruste et sont recoupées par de nombreux filonnets clairs (carbonates).

Au microscope, ces roches grenues présentent des textures de cumulats. Deux types peuvent être reconnus : des cumulats à pyroxène et olivine et des cumulats à pyroxène. Ces roches représentent des péridotites.

Les minéraux principaux sont : le pyroxène, l'olivine, la serpentine, les micas, l'épidote, des carbonates et l'amphibole. Les minéraux accessoires sont essentiellement représentés par les opaques.

- le pyroxène : à l'état de relique, il est entièrement serpentinisé par de l'antigorite à texture interpénétrative. Les caractères optiques (clivage à 87° dans les sections basales) permettent de déterminer un clinopyroxène de type diopside.

- l'olivine : minéral ayant pratiquement disparu et transformé en antigorite à texture maillée, la forme ancienne du minéral est tout de même reconnaissable grâce à des zones reliques d'altération en inddingsite de l'olivine.

- la serpentine : c'est le minéral principal, formant les trois quart de la minéralisation. Une détermination par diffraction aux Rayons X a permis de déterminer de l'antigorite et du chrysotile (les RX ont été effectués par le laboratoire de Pétrologie Sédimentaire et les déterminations ont été faites par Mme Bouillé).

- l'amphibole : on peut reconnaître, en petite quantité dans ces lames, des hornblendes marquant le métamorphisme déjà reconnu dans les roches situées au Nord de la diorite.

- les micas : deux types sont identifiables, la biotite en petite quantité et le talc.

- les carbonates : présents en assez grande quantité, ils forment essentiellement des veines. La dolomie et l'aragonite ont été déterminées grâce à une étude aux rayons X.

- les minéraux opaques : parmi ceux-ci, deux ont été déterminés: la chromite (Saunier, 1982) souvent automorphe et la magnétite. Ils sont extrêmement nombreux dans ces roches.

2.2.2. Caractérisations géochimiques des ultrabasites

Huit analyses chimiques (majeurs et traces) ont été effectuées sur des échantillons montrant une très forte susceptibilité magnétique.

L'étude géochimique des ensembles basiques et ultrabasiques métamorphisés doit tenir compte de la mobilité éventuelle de certains éléments au cours du métamorphisme. Différents auteurs (Hart, 1973 ; Miyashiro, 1975) ont abordé cette question. Pour Miyashiro (1975) ces migrations sont importantes dans le faciès schistes verts et beaucoup moins dès que l'on pénètre dans l'Amphibolite Facies.

2.2.2.1. Géochimie des majeurs

Les analyses rassemblées dans le tableau ci-dessous font ressortir les résultats suivants :

N° Ana. N° Ech.	9455 SNIA	9456 SNIB	9457 SNIC	9458 SNID	9459 SNIE	9460 SNIF	9461 SNIG	9462 SNIH
SiO ₂	39.85	17.11	39.08	33.38	44.36	39.20	31.88	38.02
Al ₂ O ₃	1.83	0.28	1.66	2.68	3.98	0.58	0.68	2.05
Fe ₂ O ₃	7.46	15.72	10.81	8.13	9.18	8.52	10.51	10.34
FeO	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0.16	0.25	0.15	0.15	0.17	0.10	0.17	0.22
MgO	25.64	20.15	35.35	24.06	24.69	36.11	29.65	32.36
CaO	8.55	17.92	0.63	10.80	7.46	1.64	3.26	3.15
Na ₂ O	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
TiO ₂	0.10	0.01	0.06	0.11	0.16	0.04	0.05	0.07
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P.F.	16.04	27.96	11.79	19.77	9.06	12.99	22.78	13.53
Total	99.63	99.42	99.53	99.08	99.07	99.29	98.98	99.74

- on remarque :

- . des teneurs en SiO₂ comprises en 31 % et 45 %, marquant le caractère ultrabasique.
- . des teneurs en MgO élevées (24 à 36 %).
- . des valeurs de Fe₂O₃ proches de 10 %.
- . des carbonates ayant des teneurs variant de 0,5 à 11 %.
- . à ces quatre éléments majeurs peut s'ajouter Al₂O₃ dans des proportions relativement faibles de 0,2 à 4 %.

- notons également :

- . des teneurs en MnO se situant autour de 0,15 %.
- . l'absence d'alcalins.
- . le faible pourcentage de TiO₂.
- . le très fort pourcentage d'éléments volatiles.

- seule l'analyse 9456 montre une teneur en SiO_2 très faible (17,11 %) et une teneur en CaO forte (17,92 %). Ces deux extrêmes peuvent s'expliquer par l'importance considérable des filonnets de carbonates qui parcourent la roche.

Ces analyses chimiques sont tout à fait compatibles avec la minéralogie observée en lames minces pour des roches ultrabasiques.

Pendant ces roches montrent des différences de chimisme qui s'expliquent par :

- . la présence de cumulats à clinopyroxène et olivine et de cumulats à clinopyroxène.

- . les processus métamorphiques qui ont sans doute fortement perturbés les roches.

2.2.2.2. Géochimie des traces

Trois éléments ont des concentrations relativement élevées (tableau ci-dessous) :

N° Ana. N° Ech.	9455 SNIA	9456 SNIB	9457 SNIC	9458 SNID	9459 SNIE	9460 SNIF	9461 SNIG	9462 SNIH
Nb	1	2	2	3	3	2	2	1
Zr	19	19	18	23	28	17	18	19
Y	1	0	0	2	5	0	0	2
Sr	25	110	3	63	17	8	23	10
Rb	1	1	1	1	1	1	1	1
Co	80	88	140	84	85	155	120	105
V	130	17	47	94	120	44	46	54
Ni	759	815	1283	1270	580	1762	1518	1122
Cr	3408	1559	4595	4870	2694	5422	4950	2921
Ba	131	166	111	107	21	88	14	41

- . le chrome avec des valeurs comprises entre 2 700 et 5 400 ppm. Cela explique le fort pourcentage de chromite dans les minéraux opaques.

- . le nickel.

- . le barium piégé dans les carbonates (dolomie et aragonite).

2.2.2.3. Conclusion

Les analyses effectuées permettent de mettre en évidence, dans le Cotentin, un massif de roches ultrabasiques briovériennes fortement déformées et métamorphisées. Les textures de cumulat rencontrées et les

analyses chimiques peuvent faire penser que nous sommes en présence d'un cumulat de base de série ophiolitique. Le contexte général régional caractérisé par un volcanisme tholéïtique (Montsurvent) et la présence de pillow-lavas (la Terrette) pourrait appuyer cette hypothèse d'autant plus que la présence d'enclaves gabbroïques dans la diorite pourrait témoigner de la présence en profondeur d'un massif basique (mis en évidence par géophysique, paragraphe III-2.4. Goguel, 1954).

Cette série ultrabasique repose par contact anormal sur un ensemble volcanosédimentaire non métamorphique. Il est intéressant de noter que ce sondage recoupant les terrains dans lesquels la diorite de Coutances est intrusive ne montre aucun signe de métamorphisme de contact.

2.2.2.4. Comparaison avec les ultrabasites nord armoricaines

Deux autres massifs de roches ultrabasiques briovériennes existent dans le Nord du Massif Armoricain : le complexe de Belle-Isle-en-Terre (Hirbec, 1979) et celui de Saint-Brieuc-Yffiniac (Barrois, 1899).

Si des différences géochimiques existent entre les ultrabasites de Coutances et celles de Belle-Isle-en-Terre (les analyses ayant été faites sur des basaltes), il n'en est pas de même avec le massif de Saint-Brieuc-Yffiniac (Tableau ci-dessous).

N°Ana.	9463
SiO ₂	40.89
Al ₂ O ₃	0.22
Fe ₂ O ₃	7.80
FeO	0.00
MnO	0.11
MgO	38.82
CaO	0.04
Na ₂ O	0.00
K ₂ O	0.01
TiO ₂	0.01
P ₂ O ₅	0.00
P.F.	12.48
Total	100.38

N°Ana.	9463
Nb	2
Zr	16
Y	0
Sr	2
Rb	1
Co	92
V	32
Ni	2556
Cr	2474
Ba	70

Une corrélation entre ces trois massifs basiques doit être tentée d'autant que leur alignement NE - SW, dans la direction des structures cadomiennes est remarquable (Fig. 19). L'âge de ces ultrabasites normandes, d'après cette constatation et par analogie avec les massifs de

Belle-Isle-en-Terre daté à 602 Ma (Peucat et al., 1981) et d'Yffiniac (602+8 Ma ; Guerrot et Peucat, in press) peut être considéré comme du matériel briovérien pré-dioritique (590 à 580 Ma) contemporain de l'orogénèse cadomienne.

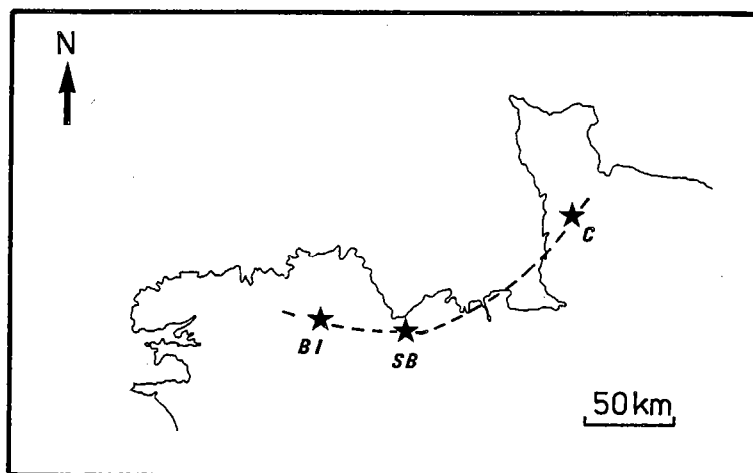


Fig.19 - Localisation des complexes ultrabasiques dans le Nord du Massif Armoricain.
 B.I. - Belle Isle en Terre ; S.B. - Saint-Brieuc-Yffiniac ;
 C. - Coutances .

3. LA DIORITE DE COUTANCES

3.1. Historique

Le massif dioritique de Coutances (Fig. 11) orienté selon une direction NE-SW est connu depuis fort longtemps.

Dès le début du XIX ème siècle, Brongniart (1814) avait classé la diorite parmi les "terrains syéniteux". Cette prétendue syénite devait, après des études minéralogiques et géochimiques (Jérémine, 1924) devenir la diorite quartzique de Coutances. De nombreux auteurs dont Bigot (1924), Goguel (1954) étudient ce massif dioritique, mais c'est Graindor (1957), lors de son essai de synthèse sur le Briovérien de Normandie, qui définit l'histoire de ce massif. Représenté par un corps orienté selon la direction générale des structures du Briovérien, le massif semble occuper une

position médiane au sein du complexe du Briovérien inférieur (axe de Coutances - Saint Lô) qu'il métamorphise lors de son intrusion dans ces séries. Lors de sa synthèse sur l'orogène cadomien, cet auteur détermine la première phase orogénique cadomienne (phase constantienne) par la mise en place syntectonique de la diorite.

Depuis, les quelques travaux existant (Saunier, 1982 ; Nefly, 1982; Dupret, 1984 ; Dissler et al, 1988) ont repris les travaux de Graindor n'y apportant que peu de changement si ce n'est une meilleure connaissance pétrographique et géochimique du massif. Seuls Guerrot et al. (1986) par une datation U-Pb sur zircon donnent un âge précis au pluton (584 ± 4 Ma) démontrant ainsi l'âge Briovérien de la diorite longtemps discuté (Graindor, 1966). Cet âge peut être rapproché de l'âge obtenu pour le massif dioritique de Fort-La-Latte (593 ± 15 Ma ; Vidal et al., 1974).

3.2. Caractérisation pétrographique de la diorite

Malgré des conditions d'affleurement souvent médiocres (diorite souvent altérée en boule, voire arénisée), il est possible de distinguer deux types principaux :

- un faciès isotrope, peu ou pas déformé localisé essentiellement au centre du massif,

- un faciès déformé où l'on observe le passage des termes mylonitiques aux termes ultramylonitiques, situé essentiellement sur les bordures nord et sud du massif.

Signalons également que des enclaves plus mélanocrates sont observables dans le faciès isotrope de la diorite.

3.2.1. Le faciès isotrope (Fig. 20)

Il est représenté par une diorite leucocrate, à texture grenue. Les minéraux principaux le composant sont : le plagioclase, le quartz, l'amphibole et la biotite. Le feldspath alcalin est accessoire ainsi que la muscovite, le grenat, la calcite, l'apatite, le zircon, le sphène, l'épidote et quelques opaques.

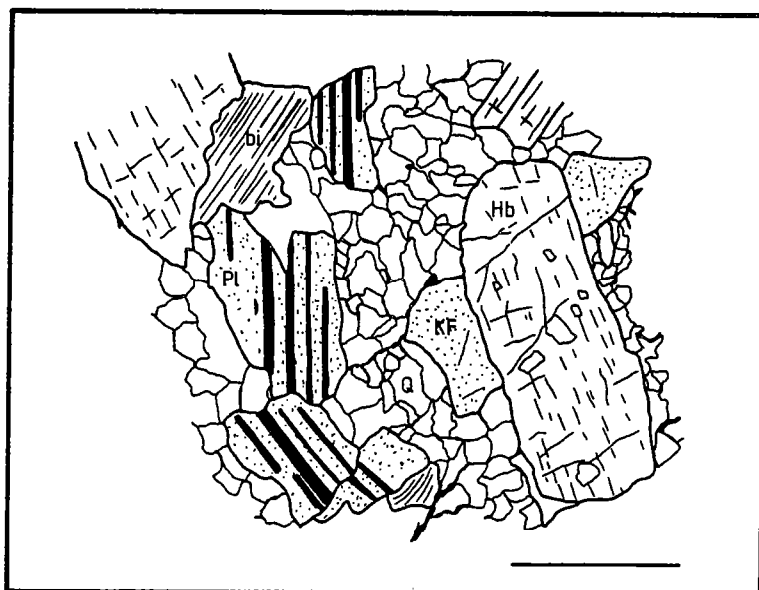


Fig.20 - Faciès isotrope de la diorite de Coutances.

- le plagioclase : automorphe, zoné et séricitisé, sa détermination est souvent rendue difficile par l'altération. On peut tout de même caractériser une andésine (An_{40-45}).

- le quartz : xénomorphe, parfois craquelé, il présente une extinction roulante franche. En grains de petite taille, il prend place entre les divers constituants de la roche.

- l'amphibole : en baguettes automorphes ou en sections basales, elle est parfois maclée et montre dans quelques cas une zonation. Elle est représentée par une hornblende verte.

- la biotite : deux aspects principaux la caractérisent : une biotite saine en quantité relativement faible et une biotite chloritisée flexueuse.

- le feldspath potassique : il s'agit d'orthose souvent altérée, zonée qui représente un faible pourcentage dans la roche.

Une analyse modale (Dupret, 1984) donne les résultats suivants:

plagioclase	51 %
quartz	21 %
amphibole	13 %
biotite	8,5 %
orthose	2,5 %

Elle situe la roche dans le champ des tonalites (classification de Streckeisen).

3.2.2. Le faciès déformé

Peu de différences dans la minéralogie s'observent quand on passe du faciès isotrope aux faciès déformés. Les minéraux qui se développent sont dus aux destabilisations qui accompagnent la mylonitisation soulignée par une variation de texture.

La composition minéralogique s'établit ainsi :

- le plagioclase : l'andésine (An_{40-45}) est toujours présente mais elle montre un aspect brisé, les cristaux automorphes ont tendance à s'arrondir et diminuer de taille.
- le quartz : la taille de son grain diminue.
- l'amphibole : la hornblende se tord, diminue en taille dans le faciès mylonitique pour disparaître dans les stades ultimes de la déformation.
- la biotite : elle devient fléchueuse et a tendance à disparaître également.
- le feldspath potassique : l'orthose subit les mêmes phénomènes d'écrasement que le plagioclase.
- la muscovite : elle devient abondante et prend une forme en poisson.

3.2.3. Les enclaves

Généralement de la taille d'un poing, il s'agit de roche mélanocrate, grenue, riche en hornblende. Les contacts avec la diorite encaissante sont toujours très francs. Elles apparaissent essentiellement dans la partie Est du massif et n'ont été trouvées que dans le faciès isotrope.

Les minéraux principaux sont : le plagioclase, la hornblende, la biotite et le quartz. Les minéraux accessoires sont : l'apatite, le zircon et de nombreux opaques.

- le plagioclase : altéré et zoné, il est automorphe et sa détermination permet de caractériser du labrador (An_{50-60}).

- l'amphibole : il s'agit d'une hornblende verte. Elle est présente en grande quantité dans la roche et contribue avec la biotite à donner le caractère mélanocrate de l'enclave.

- la biotite : en grande quantité, elle est parfois chloritisée.

- le quartz : xénomorphe, à extinction roulante, il est en faible quantité dans la roche.

De toute évidence, il apparait que ces enclaves sombres représentent un matériel plus basique que la diorite. Peut être s'agit-il d'un gabbro qui par différenciation magmatique permettrait d'obtenir la diorite. Une étude pétrographique et géochimique beaucoup plus approfondie apporterait sans aucun doute une solution.

3.3. Géochimie de la diorite

Une compilation des rares données géochimiques existant jusqu'à ce jour est faite (tableau ci dessous).

Références	J.F.S.	J.F.S.	J.	C.
SiO ₂	59.82	62.60	61.26	60.30
Al ₂ O ₃	17.67	17.78	17.23	17.21
Fe ₂ O ₃	-	-	1.57	-
FeO	5.78	5.23	4.46	5.55
MnO	0.10	0.09	0.19	0.19
MgO	3.17	2.83	1.65	3.21
CaO	6.57	5.74	5.82	4.79
Na ₂ O	3.89	4.01	3.99	3.78
K ₂ O	1.01	1.54	1.63	1.49
TiO ₂	0.55	0.51	0.80	0.61
P ₂ O ₅	0.18	0.16	0.16	-
P.F.	1.80	1.75	1.31	2.30
Total	100.54	102.24	100.07	99.43

Les analyses chimiques en éléments majeurs caractérisent des roches intermédiaires (SiO₂ : 60 %). La somme de FeO + MgO traduit la présence des minéraux colorés ferromagnésiens (amphibole).

La prédominance en lame mince du plagioclase sur le feldspath potassique est marquée nettement dans les analyses chimiques montrant des teneurs en sodium supérieures à celles en potassium.

Le calcul des normes CIPW montre que les points représentatifs de la diorite tombent dans le champ des tonalites de O' Connors confirmant ainsi le résultat de l'étude pétrographique (Fig. 21).

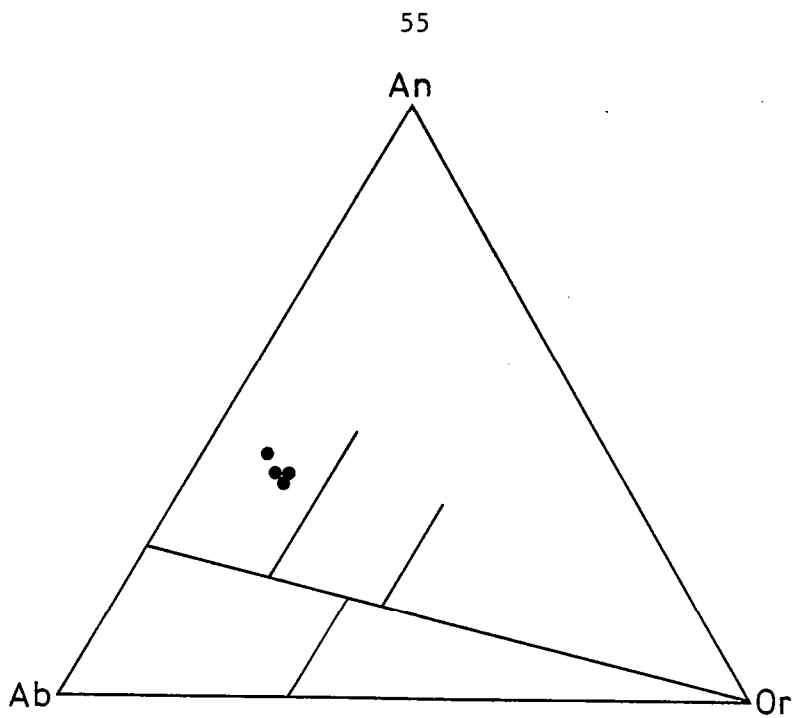


Fig.21 - Diagramme de O'Connors - ● Diorite de Coutances.

Le caractère calco-alcalin de la diorite de Coutances peut être admis (Fig. 22). Malgré le peu d'analyses chimiques les points sont bien groupés et sont tous situés dans ou à proximité du champ calco-alcalin. Ce caractère calco-alcalin est du reste semblable aux autres plutonites dioritiques cadomiennes du domaine dommonéen (La Hague, Dissler, 1987 ; Coëtmieux-Fort-la-Latte, Genestier, 1984 ; Squiffiec - Hallot, 1988)

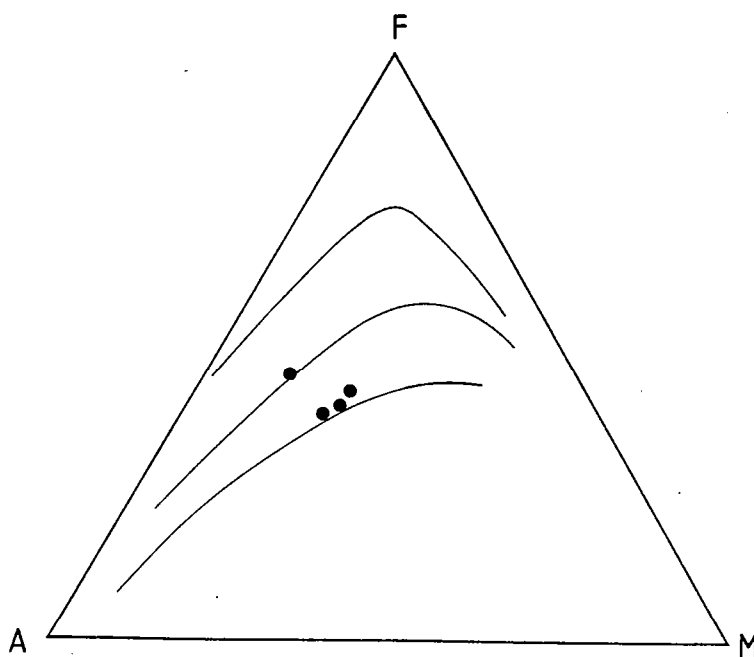


Fig.22 - Diagramme A.F.M. - ● Diorite de Coutances.

4. LES FORMATIONS DU GROUPE SUPERIEUR

Très peu représentées dans la région de Coutances, elles sont constituées de roches sédimentaires, alternances de grès et de siltites, dans lesquelles on observe la présence de niveaux conglomératiques (Monchaton).

III ANALYSE DE LA DEFORMATION CADOMIENNE DANS LES FORMATIONS BRIOVERIENNES DE LA REGION DE COUTANCES

Dans de ce paragraphe, la déformation cadomienne sera étudiée:

- dans les formations du groupe inférieur situées au Nord de la diorite de Coutances (formation de Montsurvent, amphibolite, ultrabasites).
- dans la diorite de Coutances.
- dans les formations situées du Sud de ce complexe dioritique.

Dans toutes ces formations, l'analyse de la déformation se fait depuis l'échelle de la carte jusqu'à l'échelle microscopique.

Les contacts entre ces différentes unités seront particulièrement étudiés. Les projections stéréographiques utilisent le canevas de Wulff (projection de la sphère inférieure).

1. ETUDE DE LA DEFORMATION DANS LES FORMATIONS SITUEES AU NORD DE LA DIORITE DE COUTANCES

1.1. La formation volcanique de Montsurvent

1.1.1. La schistosité - plan XY

Bien marquée sur le terrain malgré des lacunes d'observation dues à l'intensité du couvert végétal, elle s'exprime en effet parfaitement dans les termes les plus acides alors qu'elle apparait plus fruste dans les termes basiques. Sa direction moyenne est N 70 - N 80 avec des variations locales dues à une fracturation secondaire. La prédominance des pendages vers le Nord montre des valeurs de 60 à 70 ° N (Fig. 23a).

Cette schistosité de type fracture ne s'observe pas toujours en lame mince. On note sa présence uniquement dans les faciès acides des volcanites métamorphiques.

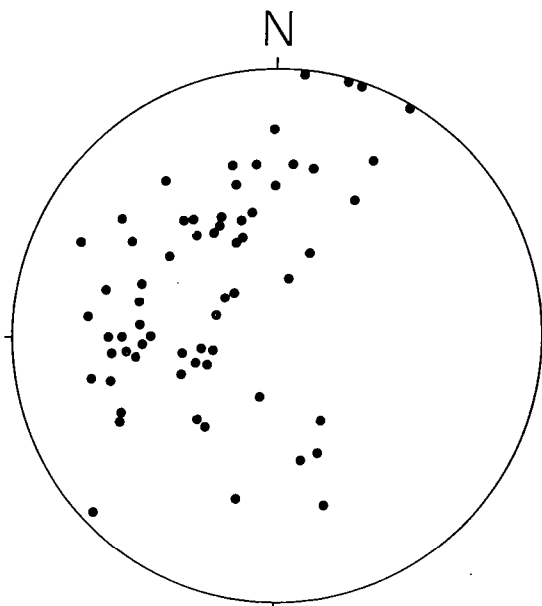


Fig.23a - Pôles des plans de schistosité dans les formations du groupe inférieur.

1.1.2. La linéation d'étirement - axe X

Relativement difficile à observer dans les volcanites basiques où elle est marquée par l'alignement des cristaux d'amphibole (axe C). Elle s'observe par contre de façon remarquable dans les termes acides où l'axe C des hornblendes et le grand axe des plagioclases automorphes la soulignent. Portée par le plan de schistosité, son orientation se fait selon une direction NNW-SSE (N 160) relativement constante (Fig. 23b).

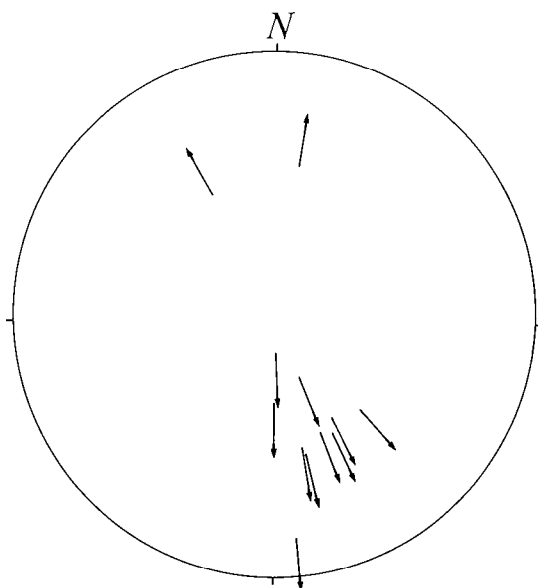


Fig.23b - Linéation d'étirement dans les formations du groupe inférieur.

1.1.3. Les marqueurs de la déformation

Peu de marqueurs existent dans ces volcanites. Cependant, tant à l'échelle macroscopique que microscopique on peut noter la présence de microplis.

- échelle macroscopique : sur le platier à l'Ouest de Coutainville affleurent des métavolcanites basiques. Au sein de ces volcanites s'observent des microplis synchisteux fortement déversés vers le Sud (Fig. 24).

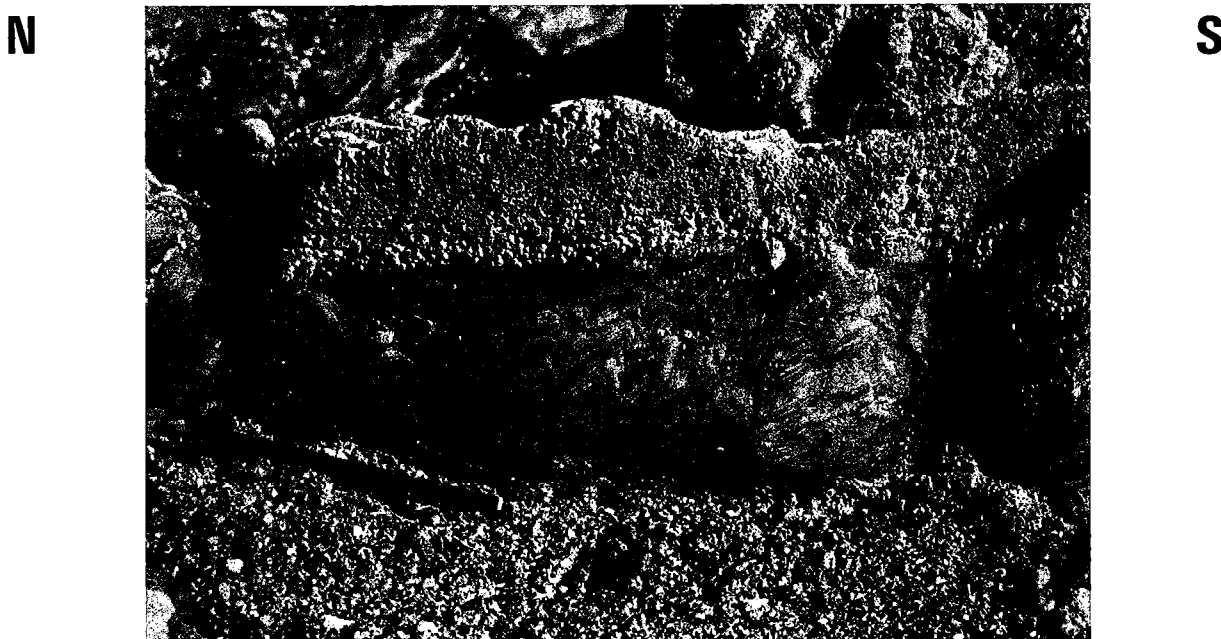


Fig.24 - Microplis synchisteux dans les formations métamorphiques du Nord de la diorite de Coutances (platier face à Agon-Coutainville).

- échelle microscopique : plus à l'Est dans les faciès acides, des critères de déformations cisailantes (pratiquement inexistant dans les faciès basiques) peuvent être déterminés. Des microplis montrant un déversement vers le Sud, analogue à celui déterminé à une plus grande échelle, indique un même sens de mouvement du Nord vers le Sud (Fig. 25).

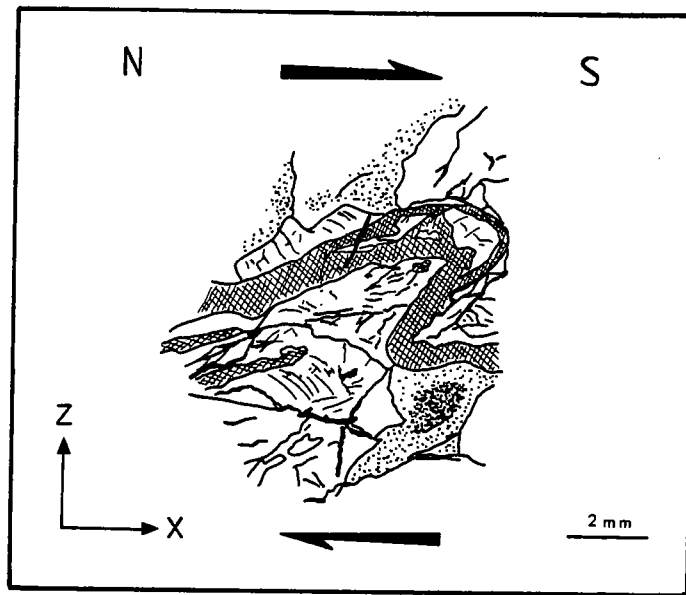


Fig.25 - Microplis en section XZ (échelle microscopique).

1.1.4. Conclusion

La déformation des volcanites de Montsurvent montre une prédominance de la fabrique L sur les tectonites de fabrique S. La compatibilité des sens de cisaillement aussi bien à l'échelle macroscopique que microscopique (dans le matériel basique et acide) indique un sens de déversement du Nord vers le Sud.

1.2. Les Amphibolites

Constituant le prolongement vers le SE des volcanites étudiées ci-dessus, elles affleurent particulièrement bien sur la bordure nord du massif de diorite.

1.2.1. La foliation - plan XY

Plus développée que dans les volcanites, elle se remarque sur le terrain par un litage minéral auquel est associé une schistosité principale. La direction moyenne des plans est N 30 à N 40 avec des pendages vers le Sud-Est de 30 à 40° (Fig. 26a).

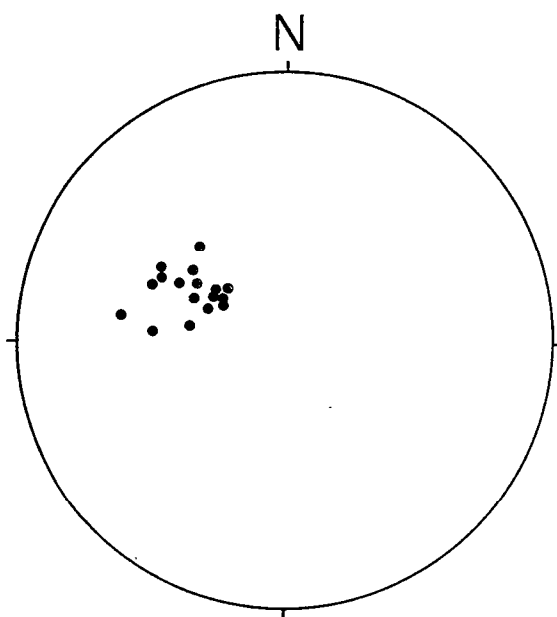


Fig. 26a - Pôles des plans de foliation dans les amphibolites.

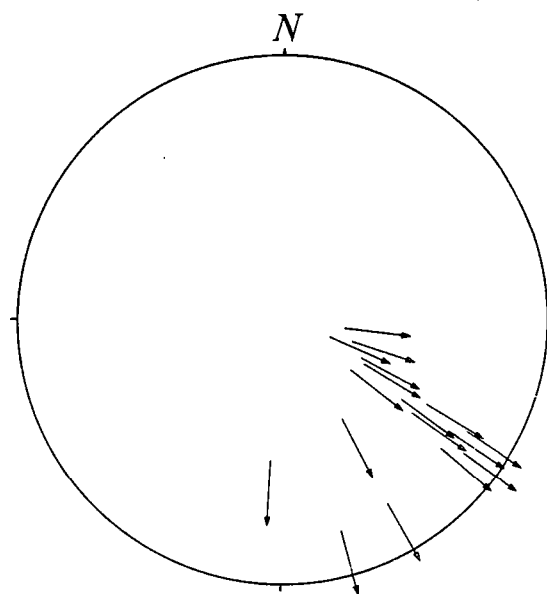


Fig. 26b - Linéation d'étirement dans les amphibolites.

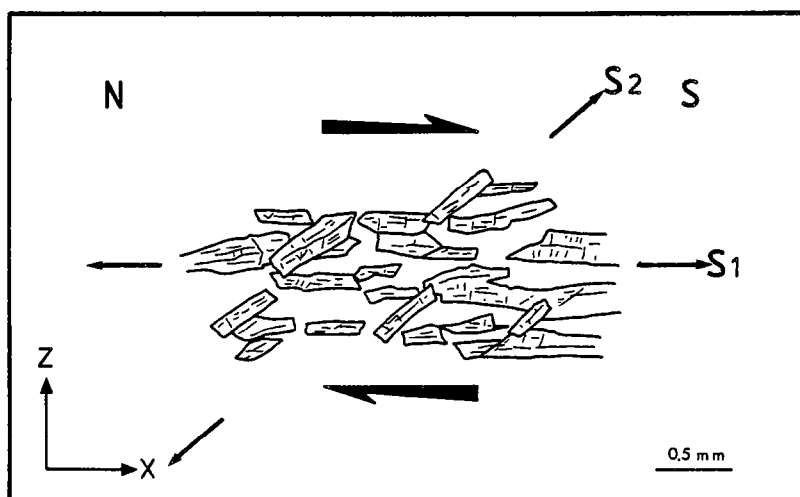


Fig. 27 - Amphiboles de la schistosité S2 sécantes par rapport à la schistosité S1 (section XZ).

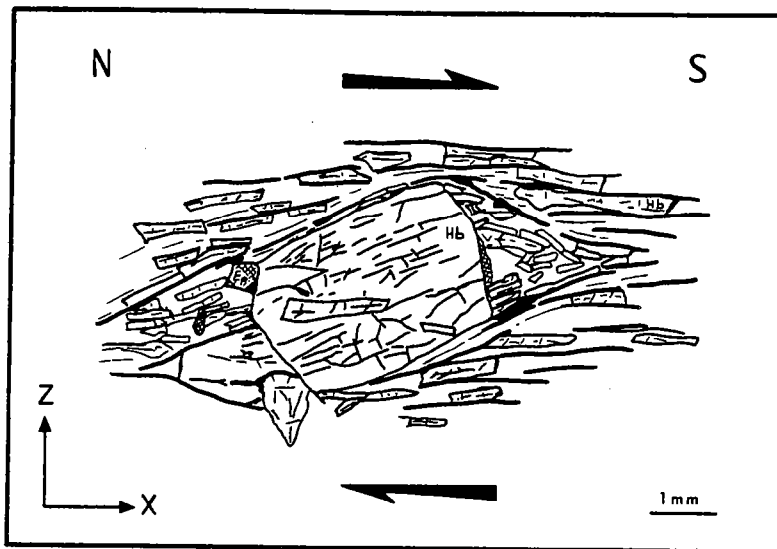


Fig.28 - Porphyroblaste d'amphibole anté à syn foliation principale S1 (section XZ).

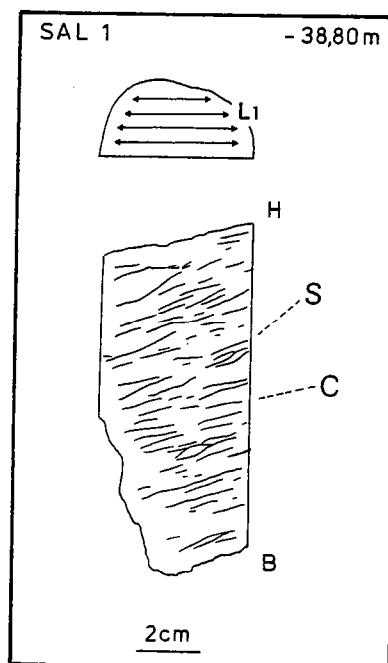


Fig.29 - Plans C/S dans le carottage SAL 1 (roche ultrabasique ; profondeur = -38,80m).

Une étude microscopique montre que cette foliation S_1 est marquée par les amphiboles primaires allongées selon une linéation L_1 dans le plan de foliation. Une seconde schistosité S_2 , non visible sur le terrain, et beaucoup plus fruste est soulignée par une seconde génération d'amphiboles obliques par rapport à la schistosité primaire S_1 (Fig. 27). L'obliquité de cette schistosité S_2 par rapport à S_1 indique un mouvement du Nord vers le Sud (dernier incrément de déformation dans la direction duquel cristallise l'amphibole).

1.2.2. La linéation d'étirement - axe X

Soulignée par l'axe C des amphiboles de la paragenèse primaire, cette linéation d'étirement, portée sur le plan de foliation a une direction qui oscille autour de N 130 (Fig. 26b) avec des variations (N 100 à N 190). Il faut noter ici une légère virgation dans la direction par rapport à la direction de la linéation observée dans les volcanites de Montsurvent.

1.2.3. Les critères de la déformation

- A l'échelle macroscopique : Dans la carrière de la Vallée au Sud-Est de Saint Sauveur-Lendelin, l'extension peut être déterminée également par des niveaux boudinés. Ce boudinage, orienté selon X dans le plan XZ affecte les niveaux les plus sombres.

- A l'échelle microscopique : les amphibolites montrent autour de phénocristaux d'amphibole anté à syntectonique des zones abritées dissymétriques. La foliation entourant ces phénoblastes est marquée par des amphiboles synschisteuses. L'étude des zones abritées (Fig. 28) montre, dans le plan XZ, une dissymétrie toujours constante soulignant un mouvement du Nord vers le Sud. Ce critère de déformation cisailante est en accord avec ceux observés dans les faciès moins déformés des volcanites de Montsurvent.

1.2.4. Conclusion

Les amphibolites observées caractérisent des tectonites L (Flinn, 1965). La forte linéation minérale (axe C des hornblendes) associée à un boudinage donnent une direction d'étirement NW-SE, alors que dans le plan

XZ, la dissymétrie des zones abritées, marquant le dernier incrément de la déformation, permet de définir un sens de cisaillement symmétamorphe du NW vers le SE.

1.3. Les ultrabasites

L'étude de la déformation dans les ultrabasites aurait été intéressante. Malheureusement, les carottages, effectués dans ces roches par la Société Pennarroya, n'ont pas été orientés. Cependant, une forte linéation minérale s'observe, marquée par la serpentine. Des sections parallèles à cette linéation ont été effectuées. L'étude macroscopique (Fig. 29) et microscopique de ces sections XZ indique la présence de nombreux plans C/S faisant un angle d'environ 30° . Dans les faciès les plus déformés, cet angle tend à diminuer et l'on note l'apparition de plan C'.

On peut penser que compte tenu de leur position stratigraphique dans les volcanites, ces roches ont subi la même déformation cisailante que les volcanites et les amphibolites et que par conséquent elles ont été transportées du Nord vers le Sud.

1.4. Conclusion à l'étude tectonique des formations métamorphiques situées au Nord de la diorite

L'étude de la déformation de ces formations aux différentes échelles envisagées peut se résumer de la façon suivante :

- à l'échelle du massif : l'ensemble de ces trois formations (volcanites de Montsurvent, amphibolites et roches ultrabasiques) est représenté par des tectonites de fabrique L (Flinn, 1965). Cette linéation fortement soulignée par l'orientation préférentielle des phénocristaux marque une légère virgation lors du passage des volcanites de Montsurvent aux amphibolites (NNW-SSE à NW-SE). Un régime de déformation non coaxiale caractérise ces formations.

- à l'échelle de l'affleurement : l'existence sur le platier rocheux face à Coutainville de microplis déversés vers le Sud et la présence dans les ultrabasites de plans C/S indiquant un sens de cisaillement du Nord vers le Sud permettent à cette échelle de caractériser une déformation non coaxiale, ductile.

- à l'échelle de la lame mince : la mise en évidence des plans C/S, de plans C' dans les faciès les plus déformés et de zones abritées dissymétriques autour des phénocristaux dans les amphibolites et les ultrabasites caractérisent une déformation cisailante non coaxiale suggérant un déplacement du Nord vers le Sud des différentes unités.

Ainsi, quelque soit l'échelle d'observation, une homogénéité existe dans la détermination du sens de mouvement de la déformation cisailante. Le trait principal qui ressort de l'étude structurale de ces formations métamorphiques est que la déformation cadomienne ne montre qu'une phase de déformation qui se caractérise essentiellement par la présence de cisaillements indiquant un déplacement du Nord vers le Sud.

2 ETUDE DE LA DEFORMATION DANS LA DIORITE DE COUTANCES

2.1. Rappel des données antérieures

Conjointement à leurs études pétrographiques du massif dioritique de Coutances, les anciens auteurs ne peuvent omettre le fait de la présence d'une cataclase intense dans la diorite. Dès 1926, Bigot parlait "d'un aspect rubané, pseudo-gneissique du à des phénomènes d'écrasement". Puis Graindor (1957, 1964) montre le caractère chevauchant de la diorite sur les formations de la Landes des Vardes situées plus au Sud. Depuis, peu de travaux ont été effectuées sur la diorite, seul Nefly (1982), mais surtout Dupret (carte géologique au 1/50000 de Coutances, à paraître) parlent d'une intrusion syncinématique se mettant en place dans une zone de cisaillement ductile cadomienne de direction sensiblement ENE-WSW.

2.2. Observation à l'échelle du Massif (Fig. 11)

L'étude de terrain du massif dioritique de Coutances permet de mettre en évidence une phase majeure de déformation se traduisant par des structures plano-linéaires que sont la foliation et la linéation.

2.2.1. Evolution de la déformation

Lors de l'étude pétrographique nous avons caractérisé deux faciès principaux liés ou non à la présence de déformation :

- un faciès peu à pas déformé, plus ou moins isotrope, situé essentiellement dans le coeur du massif.

- un faciès déformé, dans lequel un gradient de déformation est visible, montre tous les stades qui permettent de passer d'une protomylonite à une ultramylonite. L'observation de ces faciès se fait du coeur du massif vers ses périphéries Sud et Nord.

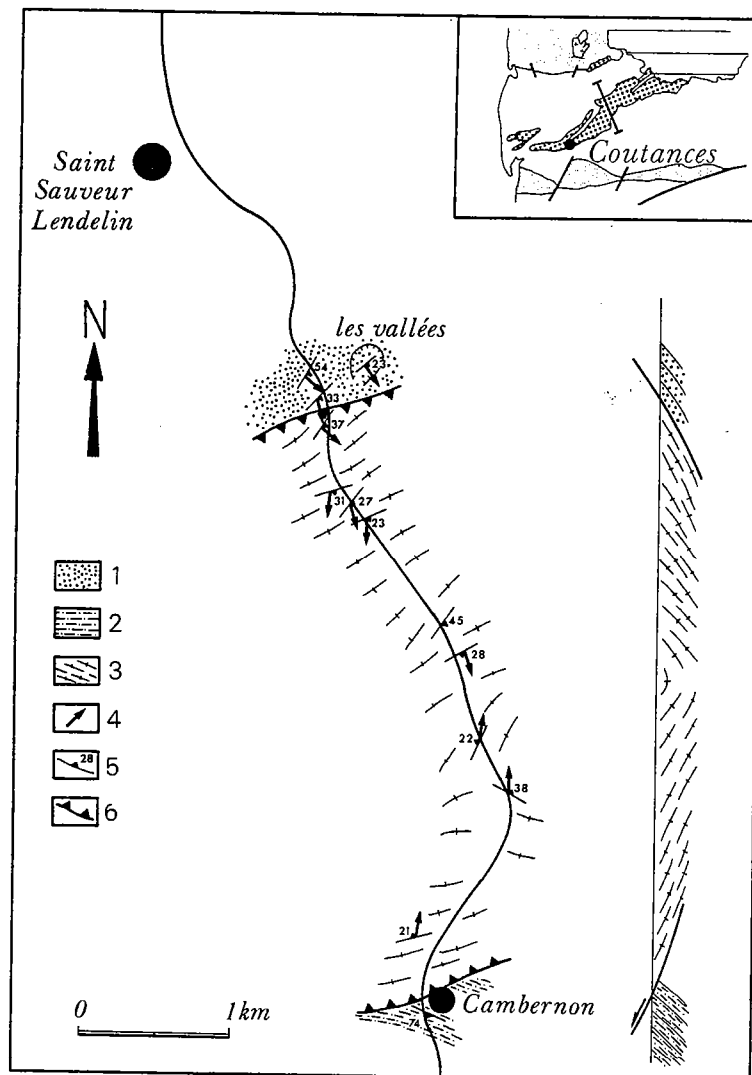


Fig.30 - Coupe de la voie ferrée.

1- amphibolites ; 2- formations volcanosédimentaires ;
3- diorite ; 4- linéation d'étirement ; 5- plans de
foliation ; 6- contact chevauchant .

En effet, il apparait, lorsque l'on effectue une coupe Nord-Sud de la diorite (Fig. 30), que le contact nord de la diorite avec les amphibolites, est anormal et plat (d'orientation N 40 avec des pendages sud de 25°). Il se traduit par la présence de faciès ultramylonitiques. La bordure méridionale du massif fortement mylonitisée présage du contact anormal de la diorite avec les formations volcanosédimentaires non métamorphiques situées au Sud de la diorite.

Ainsi, la diorite de Coutances ne nous apparait plus intrusive dans les séries du Briovérien inférieur mais allochtone par rapport à ces formations. Par conséquent l'hypothèse du thermométamorphisme lié à l'intrusion plutonique de la diorite, admise par les auteurs (Graindor, 1957 ; Dupret, 1984 ; Dissler et al., 1988) ne nous semble plus justifiée.

Cette hypothèse d'allochtonie de la diorite pose le problème de son enracinement . Lors de notre cartographie sur la région, deux autres pointements dioritiques, déformés comme la diorite de Coutances, sont considérés comme représentant la diorite autochtone :

- dans les rochers de Pirou plage, une diorite de "type Coutances" est observable et recouverte de façon transgressive par les formations paléozoïques débutant par un poudingue de base puis une quartzite cambrienne (Fig. 31).

- Au sud de Périers, un contact chevauchant vers le Sud d'un massif dioritique sur les formations du groupe inférieur est mis en évidence (Fig. 11).

2.2.2. Les plans de foliation

Ils sont bien visibles dans le massif. Ils présentent une orientation variable (Fig. 32a) avec des pendages qui vont en diminuant quand on se rapproche des bordures du massif.

La carte des trajectoires (Fig. 11) des plans de foliation réalisée en intégrant de proche en proche les mesures permet de mieux visualiser l'évolution de l'orientation des plans de foliation.

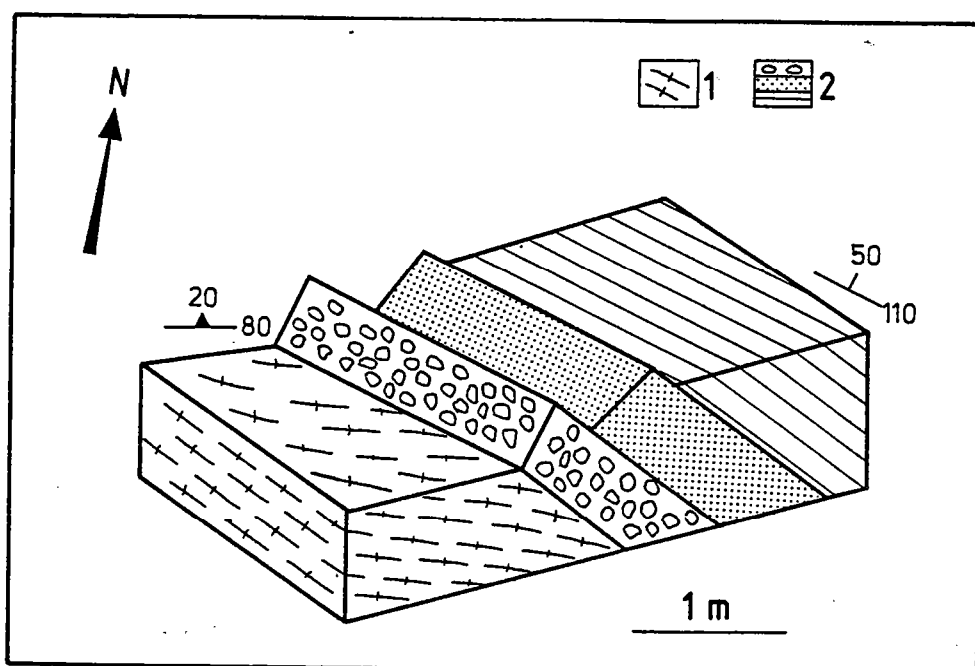


Fig.31 - Transgression du Paléozoïque sur la diorite de Coutances à Pirou Plage.
1- diorite ; 2- Paléozoïque .

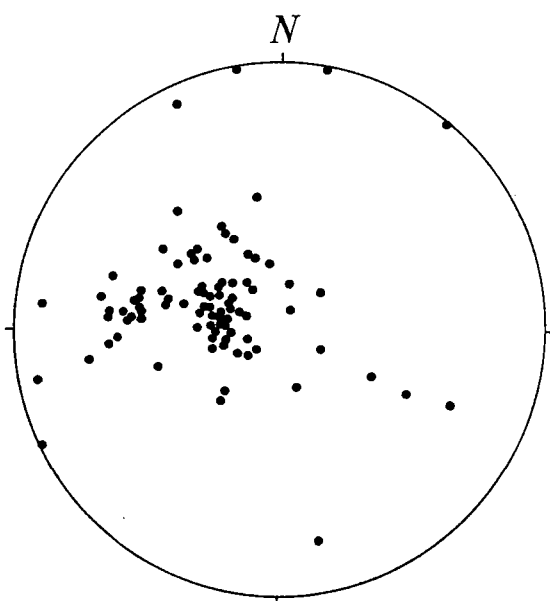


Fig.32a - Pôles des plans de foliation

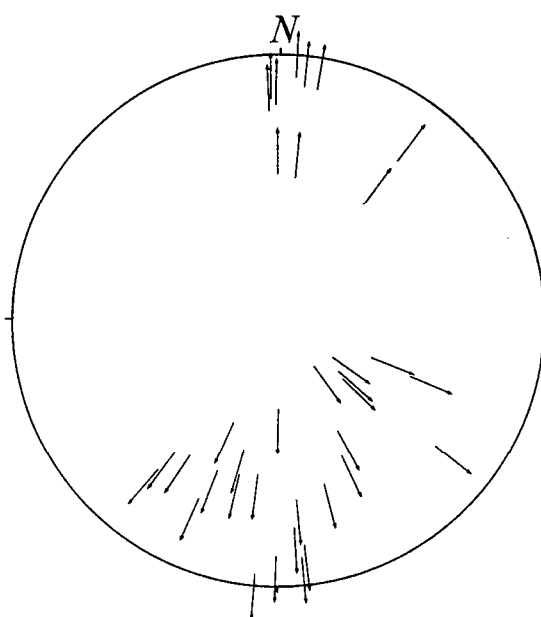


Fig.32b - Linéation d'étirement

dans la diorite de Coutances.

Cette carte montre que :

- L'orientation des plans de foliation présente des variations de direction se traduisant par une allure sigmoïde du tracé de ces plans. L'existence d'un cisaillement transcurrent dextre contemporain de la déformation principale peut expliquer cette allure sigmoïde. Localement, ces plans de foliation sont obliques sur les contacts cartographiques. Ces deux critères, obliquité et caractère sigmoïde des plans, montrent qu'en plus de la déformation tangentielle du Nord vers le Sud, existe une déformation transcurrente dextre Ouest-Est.

2.2.3. La linéation d'étirement

Elle est très facile à mettre en évidence sur le terrain dans les faciès les moins déformés où elle est soulignée par les phénocristaux d'amphibole. Dans les faciès ultramylonitiques, elle se distingue fort bien par une étude au microscope. Contenue dans les plans de foliation, sa direction oscille entre N110 et N210 (Fig. 32b) avec un maximum de mesures dans la direction Nord-Sud. Elle est soulignée par l'orientation préférentielle des quartz et des feldspaths souvent brisés dans la direction d'étirement X.

2.2.4. Les critères de cisaillement

Des bandes de cisaillement d'échelle métrique existent dans la diorite. Malheureusement, celles-ci n'ont été observées que dans les "boules" souvent déplacées, apportant ainsi souvent des informations imprécises et inutilisables.

2.3. De l'échelle de l'échantillon à celle de la lame mince

2.3.1. Evolution de la déformation

Le matériel de départ est représenté par une diorite quartzique isotrope occupant le centre du massif. Quand la déformation va croissante vers les bordures nord et sud du pluton, on note l'apparition de deux familles de plans (plans C et S) puis d'une troisième (plan C'), uniquement visible en lame mince.

Une étude microscopique montrant un stade peu déformé (Fig. 33) et plus déformé (Fig. 34) confirme l'observation macroscopique.

Un sens de cisaillement du Nord vers le Sud peut être identifié.

Signalons que ces mêmes structures planaires (avec même sens de cisaillement) sont observées dans les rochers littoraux de Pirou Plage et au Nord de Coutances. Dans ce dernier cas où le contact avec l'encaissant est observable, on note que la bordure sud du massif dioritique se caractérise par l'existence de faciès mylonitiques, suggérant la présence d'un chevauchement de la diorite sur l'encaissant.

2.3.2. Les critères microscopiques de cisaillement

2.3.2.1. Les zones abritées.

Dans les faciès déformés, en section XZ, les clastes principalement représentés par les plagioclases présentent des zones abritées dissymétriques. La dissymétrie observée est constante et indique un sens de cisaillement du Nord vers le Sud (Fig. 35a et b).

Lors de l'augmentation de la déformation (passage d'une protomylonite à une ultramylonite), on note progressivement une multiplication du nombre des zones abritées dissymétriques qui entourent les plagioclases brisés selon l'axe X. La diminution de l'angle entre les surfaces C et S (passant d'environ 45° à 0°), la réduction de la distance entre les plans C et leur multiplication en nombre argumentent également cette augmentation de la déformation.

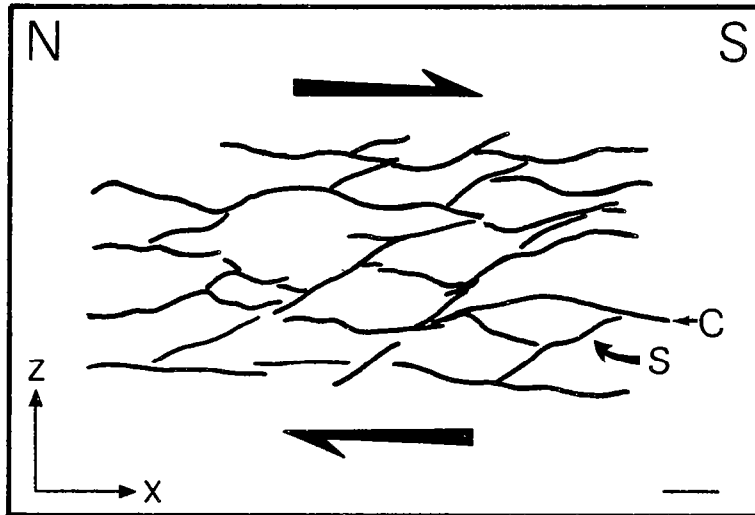


Fig.33 - Plans C/S dans la diorite de Coutances ; le trait = 1 mm (échelle macroscopique).

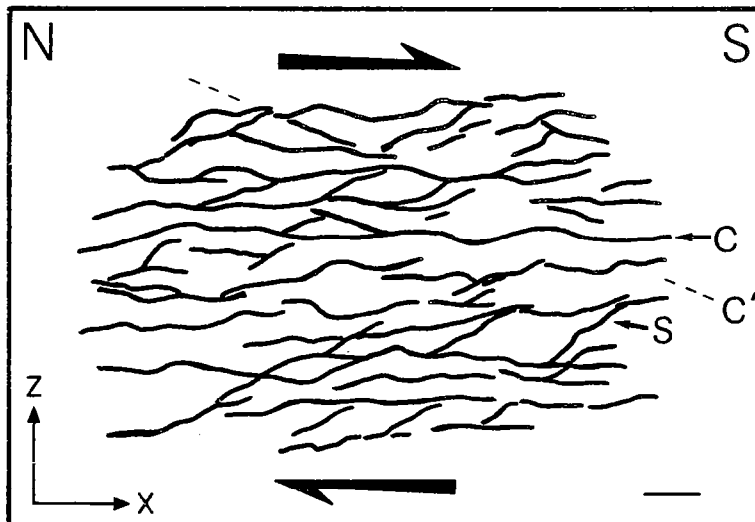


Fig.34 - Plans C/S et C' dans la diorite de Coutances ; échelle : 1 mm (échelle macroscopique).

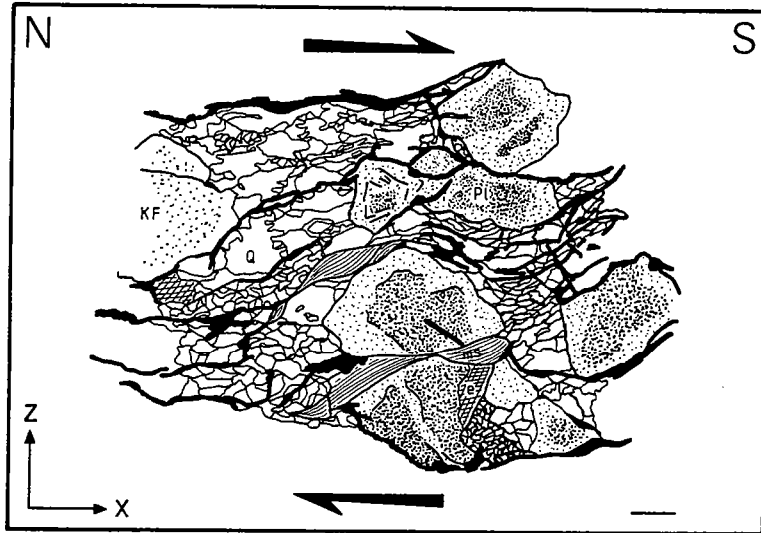
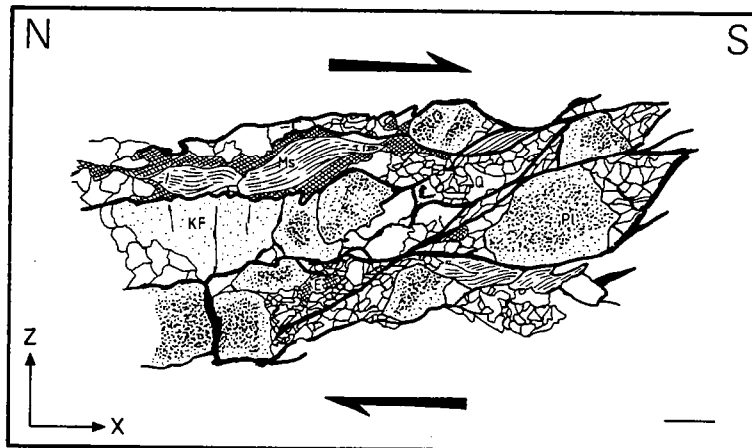


Fig.35 - a et b - Section XZ dans la diorite de Coutances ; échelle : 0.4 mm .
 KF- feldspath potassique ; Pl- plagioclase ; Q- quartz ;
 Ms- muscovite .



2.3.2.2. Les formes "en poisson" des muscovites

Un autre critère permet de déterminer le sens de cisaillement : il s'agit des formes sigmoïdes "en poisson" des muscovites (Fig. 35a et b). De même, elles indiquent un sens de cisaillement identique à celui observé pour les zones abritées.

2.4. Problème de l'enracinement de la diorite de Coutances

Des études gravimétriques (Goguel, 1954) suggèrent qu'en profondeur, à l'aplomb du massif dioritique, existe un massif basique lourd responsable de l'anomalie gravimétrique observable sur la carte gravimétrique de la France au 1/1000000ème.

Une approche géophysique par méthode magnétique est effectuée sur l'anomalie magnétique située un peu au Nord du massif de Coutances (anomalie CJ, Fig. 83). Les techniques de modélisation employées sont expliquées en introduction à la seconde partie de ce mémoire.

2.4.1. Modélisation de l'anomalie CJ

2.4.1.1. Recherche en surface d'un corps perturbateur

Le marqueur magnétique se présente sous la forme d'une anomalie de direction N 75° sur une longueur d'environ 80 km. La source responsable peut ainsi être assimilable à une structure bidimensionnelle et traitée comme telle par la méthode de Koulomzine et al. (1970).

La taille de l'anomalie et sa très forte amplitude (100 gammas sur la carte "volée" à 3 000 m) attestent la présence d'un corps source situé en profondeur. Toutefois pour vérifier cette hypothèse, une prospection à terre, pour un échantillonnage de mesures de susceptibilité magnétique, a été effectuée dans les différentes formations briovériennes situées au Nord de la diorite de Coutances (diorite comprise).

Les résultats donnés par l'histogramme (Fig. 36) montrent que d'un point de vue régional seule les roches ultrabasiques, les enclaves dans la diorite, et les volcanites des Mortes Femmes sont susceptibles de créer des anomalies magnétiques de forte amplitude.

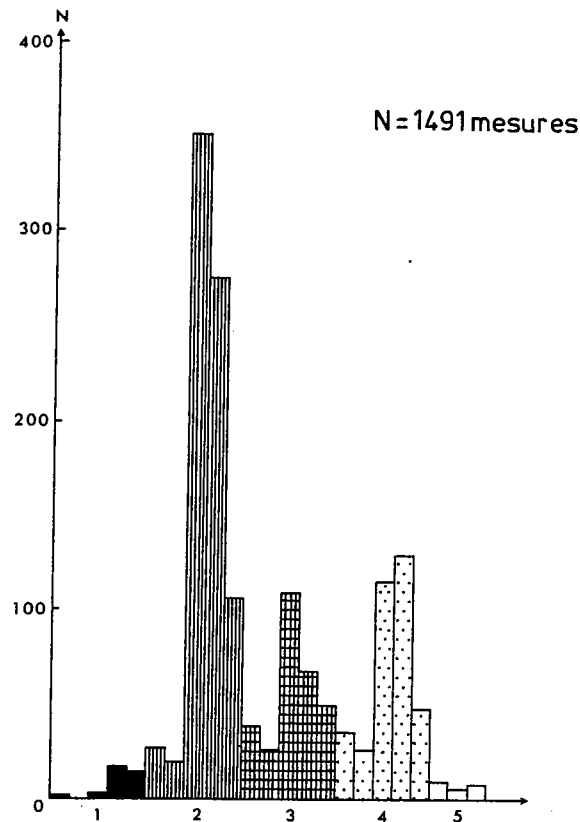


Fig.36 - Histogramme des susceptibilités magnétiques - région de Coutances.
 1 - 10^{-7} u.e.m. CGS ; 2 - 10^{-6} u.e.m. CGS ; 3 - 10^{-5} u.e.m. CGS ;
 4 - 10^{-4} u.e.m. CGS ; 5 - 10^{-3} u.e.m. CGS .

Nous avons vu (paragraphe 2 du chapitre I) que les roches ultrabasiques ne pouvaient être responsables de l'anomalie "volée" à 3000 m. Le platier des Mortes Femmes fera l'objet d'une étude dans un chapitre suivant mais nous pensons que les roches affleurant sur cet estran ne peuvent être impliquées dans une telle anomalie (leur surface à l'affleurement étant extrêmement réduite). La troisième solution reste donc l'existence d'un corps basique, gabbroïque en profondeur dont les traces en surface seraient les enclaves mélanocrates de la diorite.

2.4.1.2. Modélisation par un modèle de corps bidimensionnel

Une première approche a consisté à lever un profil général sur la ligne de vol L335 de la carte magnétique des anomalies du Champ Total passant par le maximum de l'anomalie (Fig. 37). Une régionale de 0,45 nT/km vers le Sud a pu être évaluée et préalablement enlevée.

La profondeur du toit du corps magnétique responsable de l'anomalie a été estimée au moyen de la méthode Spector/Grant indépendante du mode d'aimantation des sources (Green, 1972).

L'analyse du spectre d'énergie effectué sur le profil L335 a révélé une profondeur moyenne de 3050 m (Fig. 38).

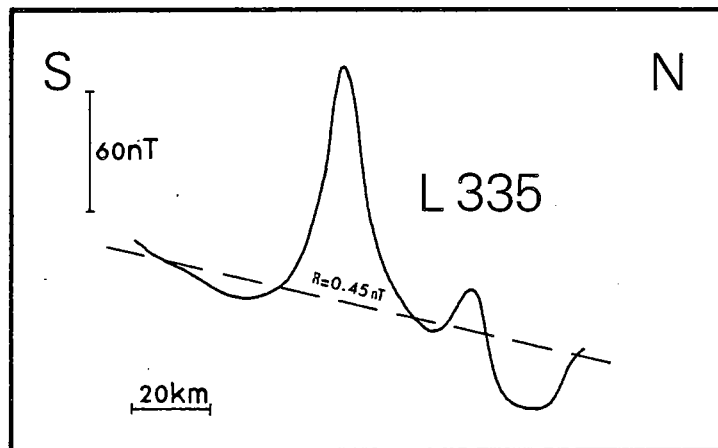


Fig.37 - Profil magnétique levé selon la ligne de vol L 335 (anomalie de Coutances-Jersey ; France , 3000 m) .

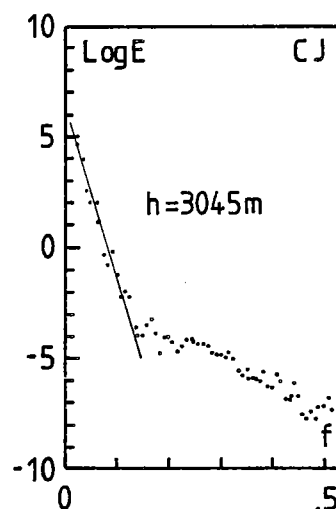


Fig.38 - Spectre d'énergie du profil magnétique "volé" selon la ligne de vol L 335 (CJ).

Une modélisation avec une aimantation purement induite, par la méthode Koulomzine, a par ailleurs été tentée afin de déterminer les paramètres physiques du corps source.

Un modèle de type filon, situé à une profondeur de 3 300 m avec un pendage vers le Nord de 63° , expliquerait ainsi de façon raisonnable l'anomalie observée (Fig. 39).

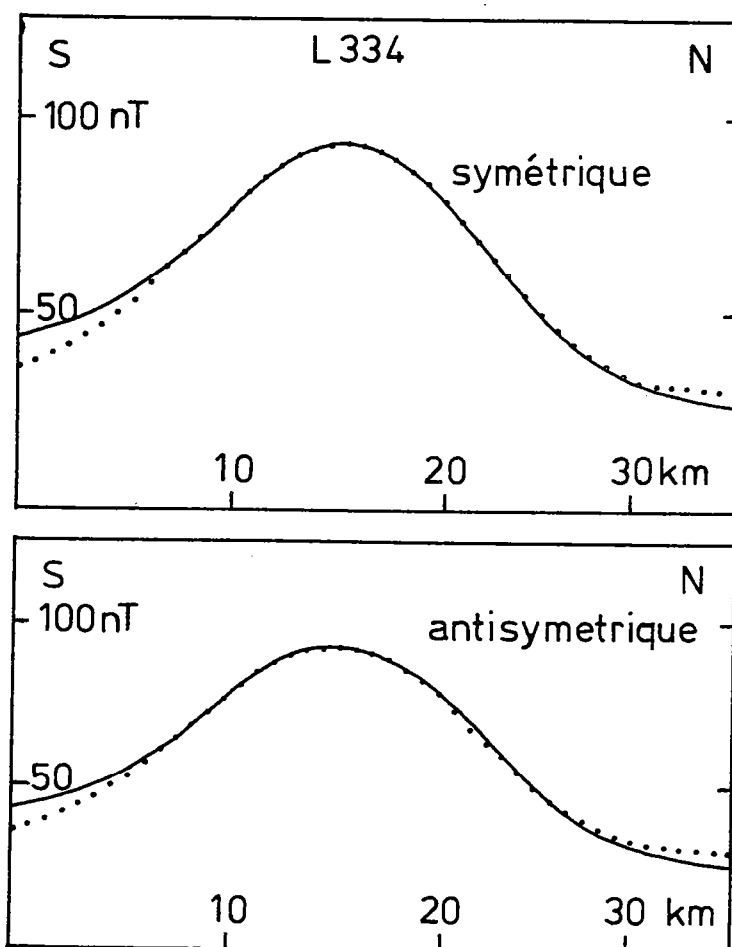


Fig.39 - Application de la méthode Koulomzine au profil rabattu L 334
(France , 3000 m) .

2.4.1.3. Extension de l'étude à l'anomalie entière

Afin de rechercher au mieux la source, une extension vers l'Ouest et l'Est des déterminations de profondeur du toit de la structure magnétique est envisagée. Par la méthode Spector/Grant, sur les lignes de vol L338 à l'Est à L332 à l'Ouest, une analyse des profils rabattus auquel a été enlevé une régionale de 0,45 nT/km est effectuée (Fig. 40).

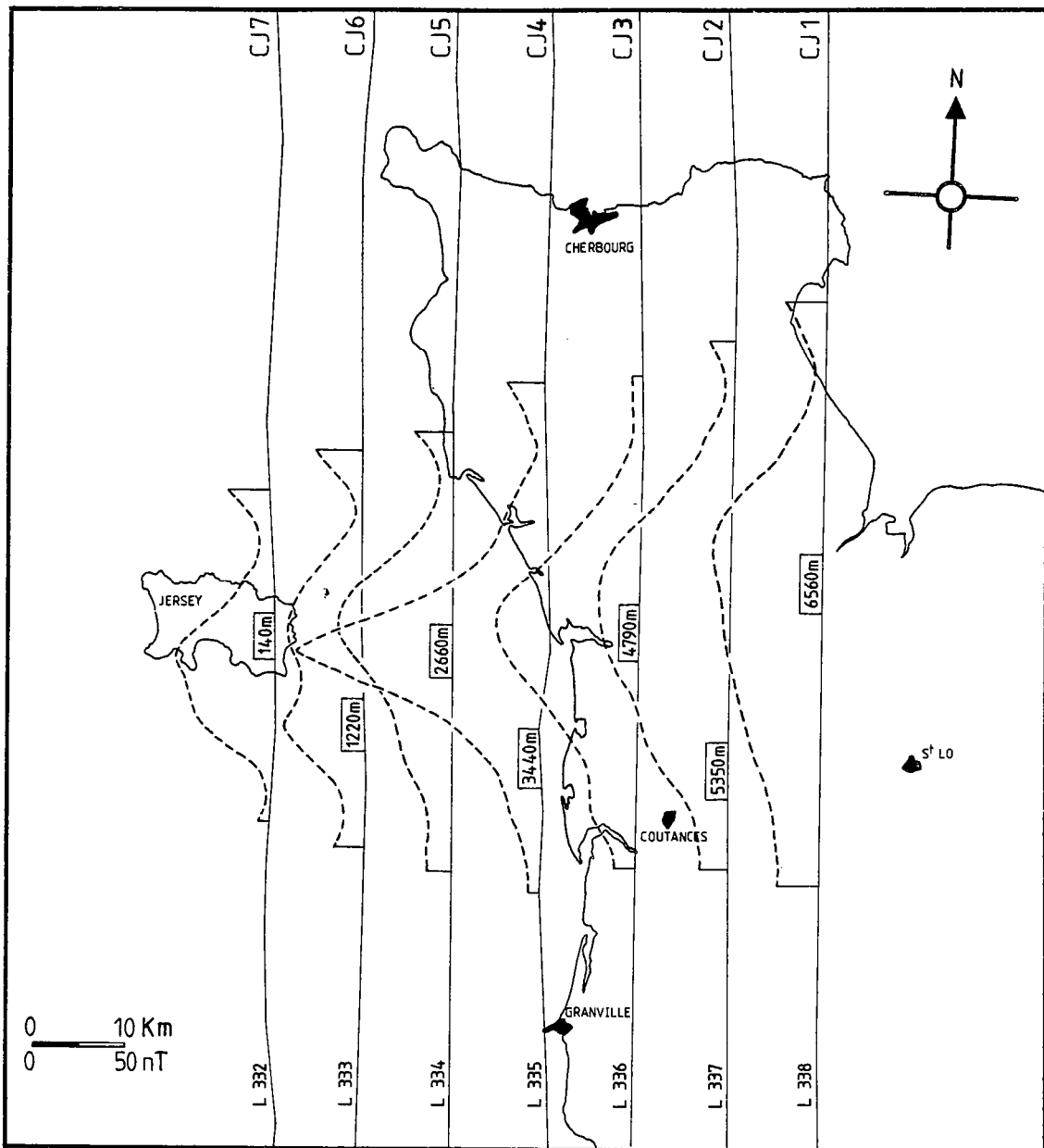


Fig-40 - Extension latérale de l'anomalie de Coutances-Jersey (France , 3000 m) .

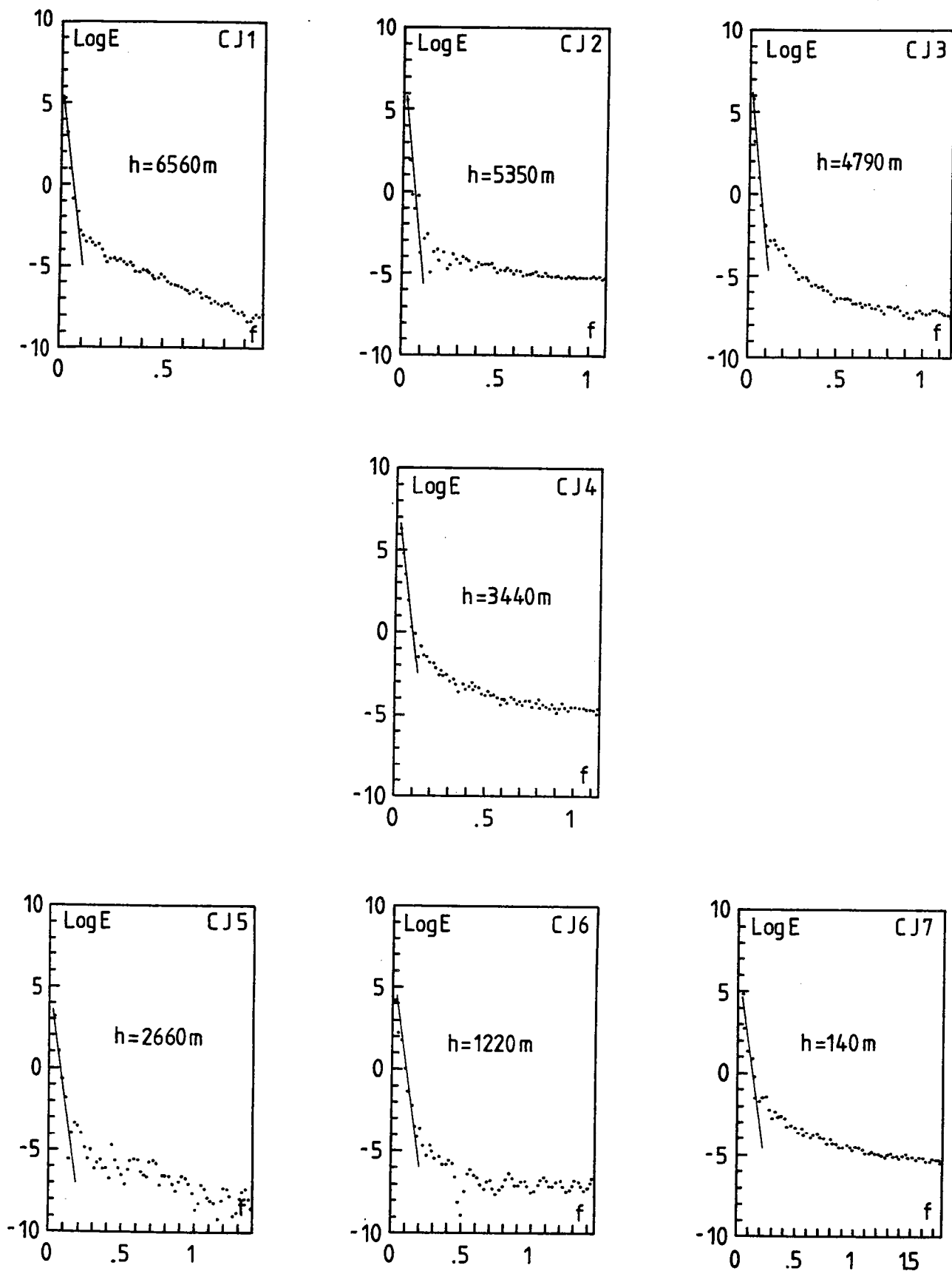


Fig.41 - Spectres d'énergie des profils CJ1 à CJ7 (anomalie de Coutances-Jersey).

Il ressort de l'étude des spectres d'énergie (Fig. 41) un approfondissement du toit de la structure vers l'Est. Par contre, on note que dans la région SE de Jersey l'anomalie est causée par un corps subaffleurant (140 m). Une corrélation avec le complexe plutonique existant est envisagée, mais aucun résultat déterminant ne peut être déduit du travail effectué.

Un travail plus approfondi sur l'île anglaise permettrait peut être de retrouver dans les roches affleurantes au SE de l'île un matériel basique susceptible de provoquer une telle anomalie.

2.4.2. Conclusion

Il apparaît donc qu'un corps basique localisé au Nord de la diorite et situé en moyenne à 3 km de profondeur pourrait être la zone d'enracinement de la diorite dont les reliques en surface seraient représentées par les enclaves sombres retrouvées au sein du massif dioritique. Ces enclaves ont en effet des valeurs de susceptibilité (1.10^{-3} u.e.m CGS) égales à celles reconnues pour le corps magnétique (Fig. 36 et 39).

L'enracinement au Nord du massif de diorite appuie également le sens de vergence vers le Sud de la chaîne cadomienne dans cette partie méridionale du Cotentin. Il y a donc ici corrélation entre les données géophysiques et les données de géologie structurale.

2.5. Conclusion à l'étude tectonique de la diorite de Coutances

Au vu des données structurales et géophysiques, le massif de Coutances nous apparaît comme une "nappe" allochtone venant du Nord. La partie "en place" représentée par les diorites de Pirou Plage et du Sud de Périers trouve un prolongement dans l'existence en profondeur d'un massif d'origine gabbroïque (représenté dans la diorite par les enclaves sombres) caractérisé par une structure à pendage Nord.

L'étude structurale de la diorite permet la mise en évidence d'un gradient de déformation (passage d'un état isotrope à un état mylonitique) caractéristique d'une déformation ductile non coaxiale. La présence de plans de cisaillement C couplés aux surfaces S ainsi que de nombreux critères de cisaillement à l'échelle du minéral permettent de déterminer un sens de cisaillement du Nord vers le Sud compatible avec la zone supposée d'enracinement de la diorite vers le Nord.

La mise en place synchronématique de la diorite de Coutances peut être datée à 584 ± 4 Ma (Guerrot et al., 1986), âge de la diorite. Cet âge permet de plus d'attribuer aux formations voisines, qui ont subi la même déformation marquée par une vergence des cisaillements et chevauchements vers le Sud, un âge à leur déformation. Tout cet ensemble est structuré au Cadomien par une seule phase de déformation (Balé, 1986 ; Balé et Brun, 1983 ; Rabu et al., 1983).

3. ETUDE DE LA DEFORMATION DANS LES FORMATIONS SITUÉES AU SUD DE LA DIORITE

3.1. La formation volcanique de la Terrette

Cette formation caractérisée par un volcanisme basique enregistre fort mal la déformation.

3.1.1. Les plans de schistosité

Peu exprimée sur le terrain en raison de la nature basique du matériel, cette schistosité de fracture, assez fruste, oscille autour de la direction N 70° (Fig. 42) avec des pendages sud et nord. Cette schistosité semble réorientée au contact de failles tardives d'orientation Nord-Sud.

3.1.2. La linéation d'étirement

Très peu marquée, elle est visible en lame mince et est soulignée par des plagioclases qui sont étirés et brisés selon une direction sensiblement Nord-Sud.

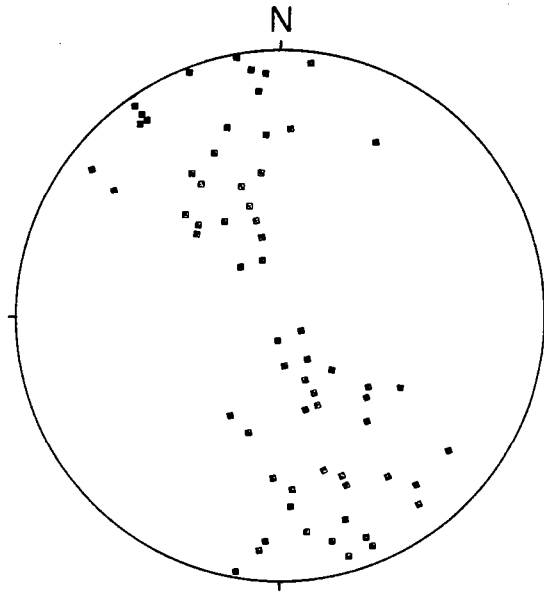


Fig.42 - Pôles des plans de schistosité dans les formations du groupe supérieur.

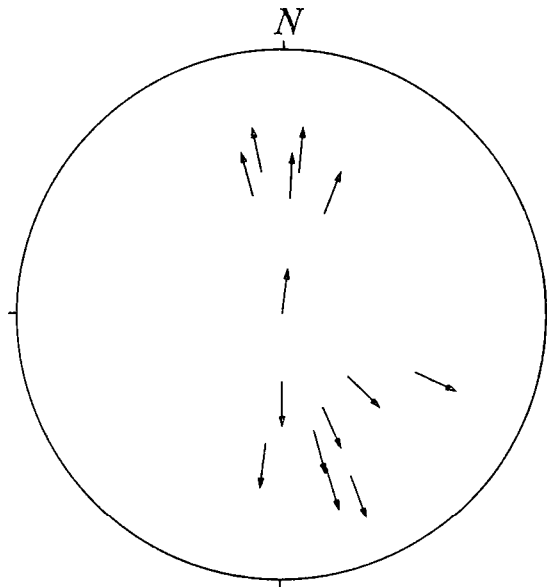


Fig.43 - Linéation d'étirement.

3.1.3. Conclusion

Cette formation bien qu'enregistrant mal la déformation est structurée d'une façon identique aux précédentes. Une déformation ductile, avec des éléments structuraux qui s'orientent selon les directions cadomiennes mises en évidence au Nord de la diorite, caractérise la structuration de cette formation volcanique non métamorphique.

3.2. La déformation des Formations de l'Etage de la Lande des Vardes et du groupe supérieur

L'étude de la structuration de ces formations situées au Sud de la diorite et de la formation de la Terrette est traitée dans un même paragraphe. En effet, il n'est pas possible d'un point de vue structural de différencier les formations de l'Etage de la Lande des Vardes (groupe inférieur) des formations du groupe supérieur.

3.2.1. La schistosité

Ces formations plissées par des plis isopaques sont affectées par une schistosité de plan axial orientée N 70° (Fig. 42) très fortement exprimée dans les différents faciès composant cet ensemble. Cette schistosité possède la même orientation que la schistosité décrite dans les formations métamorphiques du Nord de la diorite.

3.2.2. La linéation d'étirement

Discrète sur le terrain, elle apparaît néanmoins grâce à l'orientation préférentielle des quartz. Sa direction, relativement constante, est subméridienne (Fig. 43).

3.2.3. Les critères de déformation

L'examen microscopique des lames minces en section XZ, dans les faciès les plus déformés de ces formations, permet l'observation de critères de cisaillement marqués par des zones abritées autour des clastes de feldspaths et par de nombreux microplissements déversés.

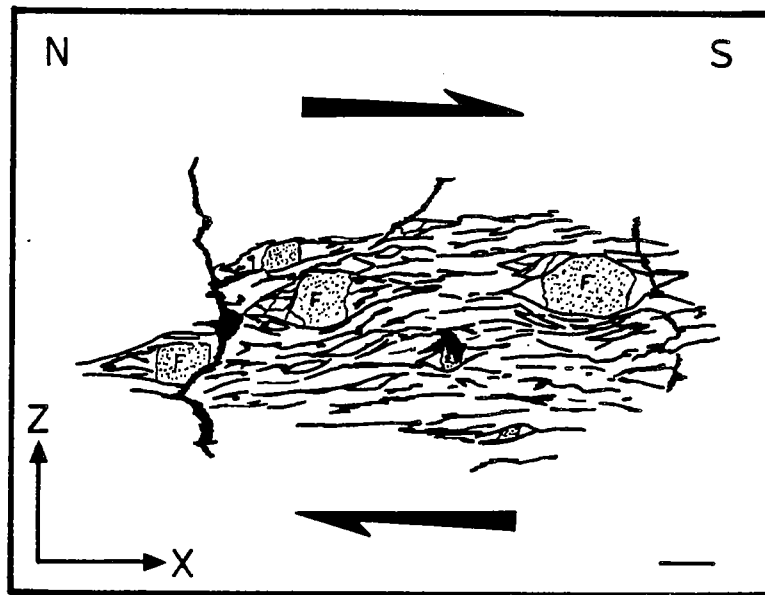


Fig.44 - Section XZ dans les faciès volcanosédimentaires du Sud de la diorite ; échelle 0,4 mm.
F- feldspath ; Q- quartz .

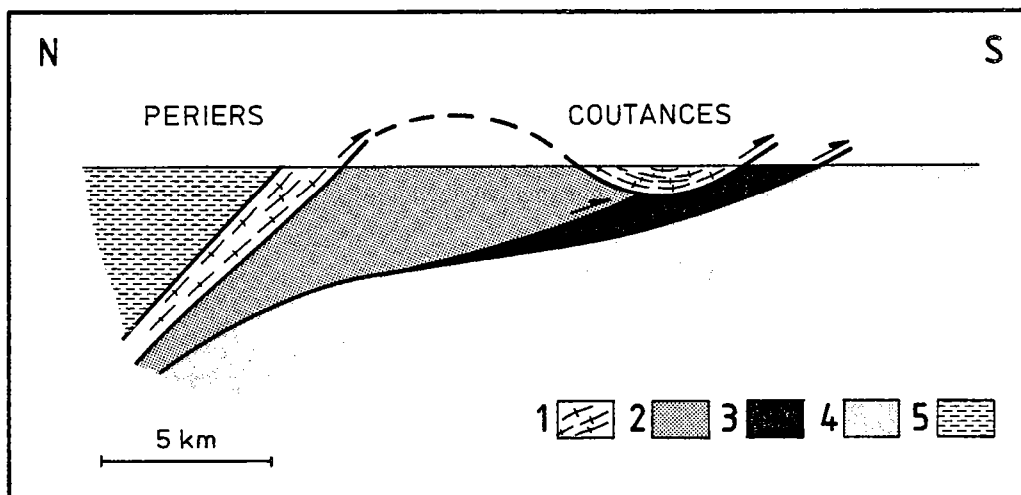


Fig.45 - Coupe d'interprétation de la région de Coutances .
1- diorite ; 2- ensemble métamorphique ; 3- formation de la Terrette ;
4- formation volcanosédimentaire ; 5- Paléozoïque .

3.2.3.1. Les zones abritées

Toujours présentes dans les faciès les plus acides, elles montrent autour des clastes de feldspaths (Fig. 44) des dissymétries indiquant un sens de cisaillement toujours identique du Nord vers le Sud.

3.2.3.2. Les microplissements

Confirmant les données microscopiques de zones abritées, des microplissements à déversement vers le Sud sont observables dans certaines sections XZ de lames minces indiquant pour ces formations un déplacement des zones septentrionales vers des zones plus méridionales.

3.2.4. Conclusion

Comme les unités précédentes, cet ensemble est affecté d'une déformation cisailante ductile à vergence Sud. Une seule phase tectonique est mise en évidence.

4. CONCLUSION A L'ETUDE DE LA DEFORMATION CADOMIENNE DANS LA REGION DE COUTANCES

Au cours de cette étude, il apparaît que toutes les formations briovériennes appartenant au groupe inférieur (Montsurvent, amphibolites, ultrabasites, Terrette, étage de la Lande des Vardes), à l'ensemble plutonique de la diorite de Coutances et aux formations du groupe supérieur sont déformées par une seule phase de déformation. Ceci est en accord avec les travaux récents effectués (Chantraine et al., 1980, 1982 ; Dupret, 1984 ; Dissler, 1987) pour la région Normandie et rejoint ceux de Balé (1986), Balé et Brun (1983), Rabu et al. (1983, 1988) pour la région Nord Bretagne. La polystructuration des auteurs anciens (Graindor, 1957 ; Cogné 1959, 1962 ; Jeannette, 1971) ne semble donc pas avoir de réel fondement.

Cette déformation unique cadomienne, peut être datée aux alentours de 580 Ma, âge de la diorite de Coutances. Le caractère syncinématique, ductile et cisailant de cette déformation visible et observable à différentes échelles (de la carte au microscope) s'inscrit dans un modèle de nappes chevauchantes à vergence sud (Fig. 45).

Le sens de cette vergence qui nous paraît à la vue des critères microstructuraux indiscutables, ne s'accorde pas au sens observé par Dupret (1984), Dissler (1987) et Dissler et al. (1988). Par contre ce modèle à vergence sud se rapproche de celui de Balé (1986), Balé et Brun (1983), Rabu et al. (1988) et Brun et Balé (1988).

Cette vergence Sud a pu être confirmée grâce à l'étude des carottages effectués par la Pennaroya. En effet, sur les sondages, on retrouve par contact anormal sous les formations ultrabasiques les séries volcano-sédimentaires acides des groupes inférieur et supérieur affleurant au Sud de la Diorite. L'épaisseur d'ultrabasites proche de 40 à 45 m permet d'indiquer que nous sommes proches d'un front de nappe.

On peut noter sur la figure 11 de nombreux accidents cassants d'orientation sensiblement Nord-Sud. Cette fracturation tardive (car présente dans le synclinal paléozoïque de Montmartin) affecte tout le Briovérien. Il s'agit de décrochements dextres ou senestres sans influence réelle sur la déformation cadomienne.

IV. METAMORPHISME ET DEFORMATION

I. INTRODUCTION

Les formations métamorphiques situées au Nord de la diorite de Coutances ont toujours été considérées comme résultant d'un métamorphisme de contact induit par l'intrusion du massif plutonique. Or il apparaît que cette dernière, de par sa position structurale n'est pas intrusive dans les formations encaissantes.

Dans ces formations, les amphibolites présentent des paragenèses significatives d'un métamorphisme régional, et apparaissent ainsi comme de bons marqueurs des évènements tectonométamorphiques.

Elles sont affectées par un métamorphisme progressif (zonations minérales) dans le faciès amphibolite (M1) puis dans le faciès schiste vert (M2).

On suivra l'évolution des paragenèses minérales successives en relation avec les variations de composition des minéraux (essentiellement les amphiboles) au cours des épisodes M1 et M2 du métamorphisme. On possède un bon contrôle de la pression P et de la température T par le jeu de substitutions à partir des pôles édénite, trémolite et magnésio-hornblende dans le réseau des amphiboles (Triboulet et Audren, 1985, 1988).

Conjointement, l'analyse structurale et microstructurale permettent une corrélation entre les différentes phases de déformation et les associations minérales successives à l'équilibre durant le métamorphisme.

L'évolution progressive et continue du métamorphisme enregistré par ces associations minérales successives et ces déformations successives définissent un chemin Pression - Température - déformation que l'on peut dater grâce à la diorite de Coutances qui a enregistré les mêmes phénomènes.

2. LES DIFFERENTES PARAGENÈSES

Deux épisodes principaux du métamorphisme régional sont visibles dans les amphiboles :

. M1 : épisode majeur caractérisé par la cristallisation de hornblende, \pm pyroxène, grenat, calcite, andésine, biotite, épidote et quartz. Cette paragenèse constitue un litage lié à la structuration principale S1.

. M2 : épisode rétro-morphique, caractérisé par des paragenèses minérales à actinote, muscovite, oligoclase-andésine, chlorite, épidote. Cette rétro-morphose destabilise plus ou moins les minéraux de la paragenèse antérieure et s'inscrit pour l'actinote dans une structuration secondaire, fruste et visible en lame mince uniquement (schistosité S2).

A ces deux épisodes principaux M1 et M2, il convient d'ajouter un épisode anté à syn-métamorphisme M1 caractérisé par des phénocristaux d'amphibole.

Cette chronologie du métamorphisme est corrélée à une succession des phases de déformation visibles dans la roche à l'oeil nu et en lame mince.

3. ASSOCIATIONS MINÉRALES ET MICROSTRUCTURES

A l'affleurement, la roche se débite suivant un plan principal de schistosité (plan S1) qui porte une forte linéation minérale L1 (marquée par l'axe C des amphiboles) d'orientation moyenne NW-SE plus ou moins parallèle à la linéation régionale orientée NNW-SSE.

La figure 46 schématise la structure d'un échantillon orienté dans les trois directions de l'espace X, Y et Z. L'axe X représentant la linéation d'étirement est orienté NW-SE.

. Dans le plan de schistosité (plan XY) une linéation d'étirement L1 est marquée par des amphiboles en section allongée (axe C).

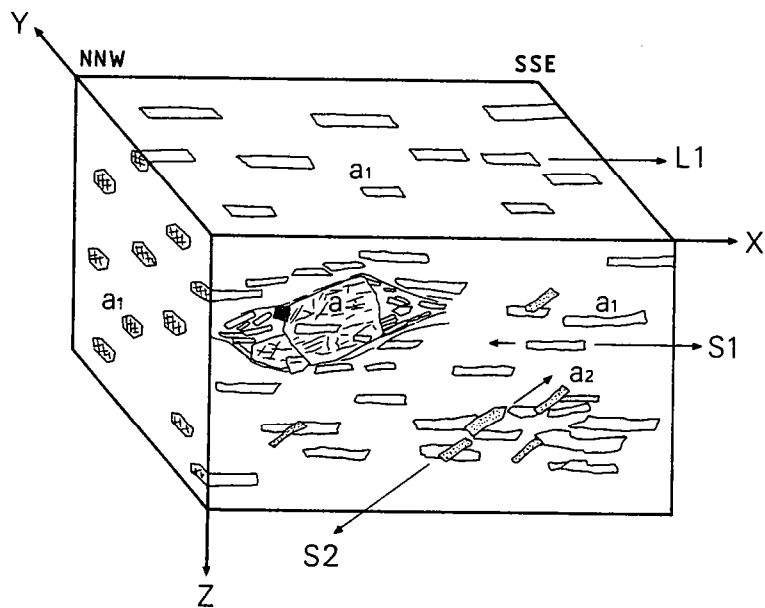


Fig.46 - Bloc diagramme montrant les microstructures d'un échantillon d'amphibolite orienté selon les axes XYZ (l'axe X est orienté NNW-SSE).

a- amphibole anté à syn foliation S1 ; a1- amphibole de la foliation S1 ; a2- amphibole soulignant S2 .

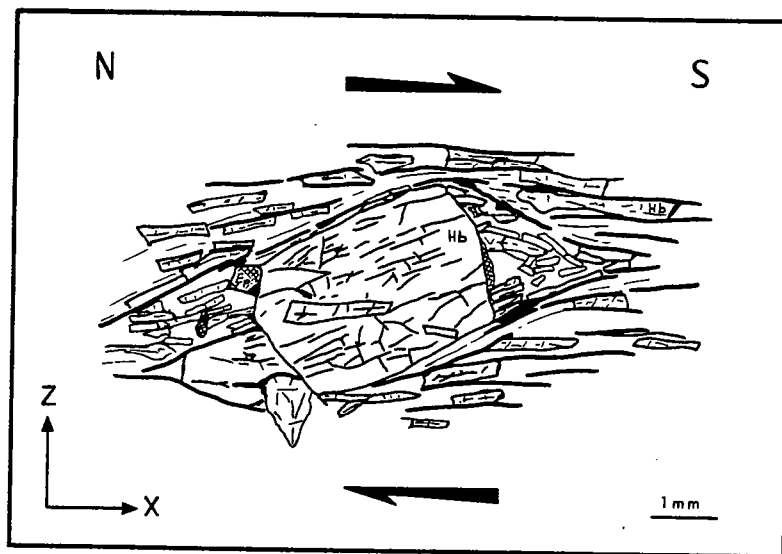


Fig.47 - Porphyroblastes d'amphibole anté à syn foliation principale.

. Dans le plan perpendiculaire à la schistosité et parallèle à la linéation (plan XZ), on distingue :

- dans certaines lames, des porphyroblastes d'amphiboles zonées contournés par la foliation principale. Ces amphiboles anté à syn-déformation S1 sont associées à de l'épidote. Au cours de la croissance de ces amphiboles, se forment des zones abritées dissymétriques syn-déformation dans lesquelles cristallisent des amphiboles dont les caractéristiques microscopiques permettent de les rattacher aux amphiboles de la foliation principale. Elles représentent l'interstade M1-M2 : tardi M1 et précoce dans M2 (Fig. 47).

- des amphiboles zonées soulignant la schistosité S1 très marquée dans la lame. Caractérisées par un coeur brun-vert plus ou moins limpide, elles présentent souvent une périphérie verte à verte bleue. Ces amphiboles zonées définissent avec d'autres minéraux la paragenèse d'un premier épisode de métamorphisme (M1).

- des amphiboles plus petites, plus trapues, également quelquefois zonées soulignent une deuxième schistosité S2 (visible en lame mince). Ces amphiboles associées à de la chlorite et de l'épidote caractérisent un second épisode de métamorphisme (M2).

Au cours de l'analyse de la déformation (paragraphe III), il a été montré que ces roches s'étaient formées durant un régime de déformation cisailante du NNW vers le SSE. Les amphiboles soulignant S2 (dans le plan XZ) obliques sur S1 montrent un sens de cisaillement correspondant au dernier incrément de cette déformation principale (Triboulet et Audren, 1985).

. Dans le plan perpendiculaire à la linéation d'étirement et perpendiculaire à la schistosité (plan YZ) on ne remarque que des sections basales d'amphibole.

4. ELABORATION DU CHEMIN PRESSION - TEMPERATURE - DEFORMATION

4.1. Méthode

Dans les roches à amphibole, épidote, chlorite, plagioclase, il est possible de relier quantitativement les activités de certains des pôles constituant l'amphibole aux conditions P et T dans lesquelles elle s'est formée (Holland et Richardson, 1979 ; Triboulet et Audren, 1985).

Des études thermodynamiques récentes (Triboulet et Audren, 1988) montrent que des substitutions de type trémolite/édénite et édénite/magnésio-hornblende dans des amphiboles zonées à l'équilibre avec du plagioclase, de la chlorite (zonée), de l'épidote (zonée) et du quartz sont sensibles aux variations de la pression et de la température.

Pour chaque équilibre entre les pôles amphiboliques définis ci-dessus, on peut définir un K_D (constante d'équilibre). Dans le champ Pression-Température, chaque valeur de K_D est caractérisée par une ligne appelée isopleth. L'intersection entre deux isopleths permet de caractériser un point dans l'espace Pression-Température.

- le rapport édénite/trémolite augmente avec P et T,
- le rapport magnésio-hornblende/édénite augmente avec T et diminue avec P (Triboulet et Audren, 1985).

Ainsi, l'étude chimique des minéraux zonés et des équilibres interminéraux successifs est un outil important pour la compréhension des conditions Pression-Température au cours du métamorphisme.

4.2. Compositions chimiques des minéraux

Une centaine d'analyses chimiques ont été effectuées sur les amphibolites situées au Nord de la diorite de Coutances depuis l'estran rocheux situé face à Coutainville jusqu'aux amphiboles de la carrière des Vallées (commune de Saint Sauveur Lendelin).

Les résultats de ces analyses déterminées à la microsonde (IFREMER, Brest) sont donnés en annexe à la fin de ce mémoire.

Quatre types d'amphiboles dans des positions structurales différentes ont été analysées :

- les phénocristaux d'amphiboles des microlithons,
- les amphiboles situées dans les zones abritées de ces phénocristaux,
- les amphiboles soulignant la foliation S1,
- les amphiboles de la schistosité S2.

Afin de déterminer au mieux les compositions chimiques des zonations, les analyses ont été, dans les quatre cas, toujours effectuées du centre du cristal vers la périphérie de celui-ci (Fig. 48).

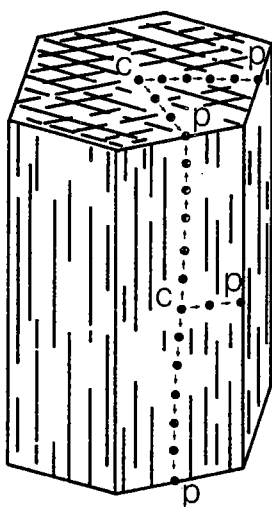


Fig.48 - Localisation des points d'analyses chimiques coeur (C) - périphérie (P) dans une amphibole .

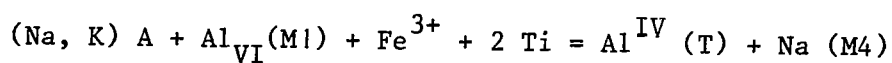
4.2.1 Les amphiboles

Sur la centaine d'analyses effectuées, 80 ont porté sur les amphiboles situées dans les quatre positions structurales déterminées.

Pour le calcul de Fe^{3+} les formules cationiques ont été déterminées sur les bases de calcul suivantes :

- (1) $T1 + T2 = 8,000$ (Sum Si)
- (2) $T1 + T2 + M1 + M2 + M3 = 13$ (Sum Mg)
- (3) $T1 + T2 + M1 + M2 + M3 + M4$ (Ca) = 15 (Sum Ca)
- (4) $T1 + T2 + M1 + M2 + M3 + M4$ (Ca, Na) = 15 (Sum Na)
- (5) $Fe^{2+} = Fe^{2+}$ total (Sum Fe^{2+})
- (6) $Fe^{3+} = Fe^{3+}$ total (Sum Fe^{3+})

Pour chacun des modes de calcul on vérifie l'équilibre des charges:



Parmi ces possibilités (1 → 6) on élimine les modes de calcul pour lesquels $(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg}) < 3,000$ (calcul impossible). Quand l'équilibre est réalisé à la fois dans les cas (2) et (3), on a écarté le mode de calcul (3) qui menait à remplir partiellement le site M4 de l'amphibole par Mg.

En fonction de ces critères, il a été choisi le mode de calcul (2) pour connaître Fe^{3+} .

Ces amphiboles sont toutes des amphiboles métamorphiques. Dans la classification de Leake (1978), ce sont des actinotes, des hornblendes plus ou moins zonées pour le métamorphisme M1 et des Mg-hornblendes actinotites zonées, pour l'épisode M2. Les amphiboles de S2 sont des actinotes.

4.2.2. Les plagioclases

Très peu abondants, ils sont souvent séricitisés. Quelques analyses ont été effectuées et aucune trace de plagioclase de haute pression/basse température (albite) n'a été observée, soit qu'il n'existe pas, soit qu'il correspond à la partie séricitisée des plagioclases. Dans ces conditions, il est impossible d'utiliser le géothermomètre plagioclase-hornblende.

4.2.3. L'épidote et la chlorite

L'épidote se présente associée avec les phénocristaux d'amphiboles anté foliation principale et avec les amphiboles de la foliation S1.

La chlorite pas ou peu visible dans les lames analysées n'a pas fait l'objet de mesures chimiques. Afin de pouvoir effectuer les calculs d'estimation des conditions Pression-Température, une valeur moyenne de composition chimique de chlorite a été choisie (analyses J.F. Saunier, 1982).

4.3. Estimations qualitatives sur les variations de P et T

4.3.1. Contrôle de la variable T

Afin de cerner l'influence de la température T, il est illustré sur la figure 49 les variations de Ti dans l'amphibole, en fonction de Na (A).

L'élément TiO_2 est en effet un marqueur fiable à la variable T (Zakrutkin, 1968 ; Raase, 1974). Il augmente dans l'amphibole quand la température augmente.

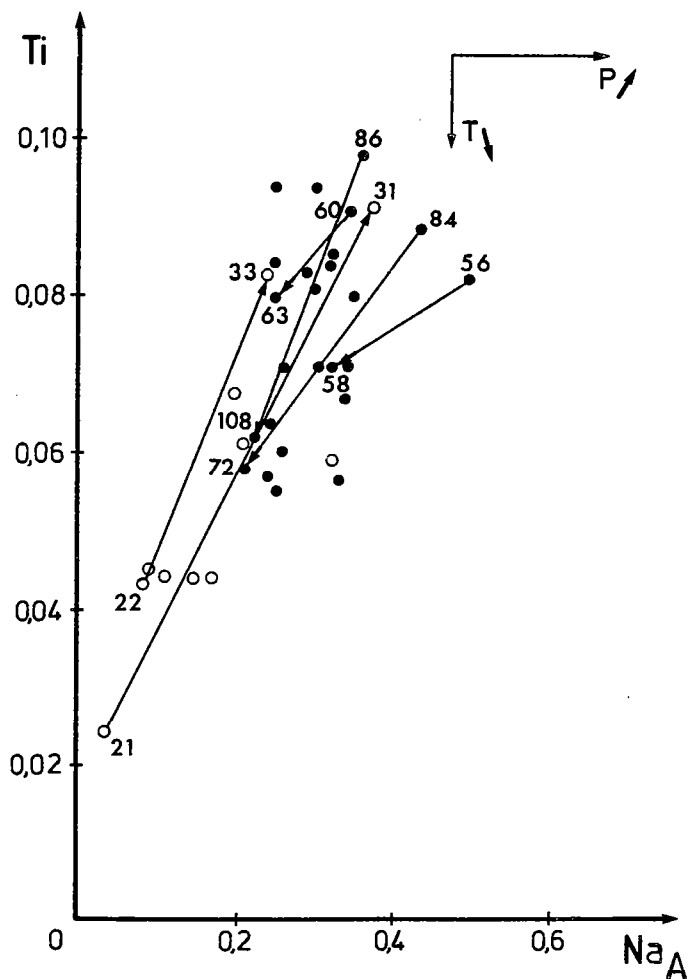


Fig.49 - Relations Ti - Na (A) .

- amphibole syn foliation.
- amphibole anté à syn foliation

Dans M1 des variations de teneurs en Ti s'observent et vont croissantes quand on passe du coeur à la périphérie du cristal (points 21 à 31 et 22 à 33). Ce métamorphisme M1 se caractérise par une augmentation de température. M2 marque au contraire une diminution de la température soulignée par une baisse des valeurs en Ti (du coeur à la périphérie du cristal (exemple : 86 à 108)).

4.3.2. Contrôle de la variable P

Connaissant les variations de température enregistrées par les amphiboles au cours des métamorphismes M1 et M2 (fonction des variations de Na (A), Fig. 49) on peut suivre les variations simultanées de P en suivant le remplissage du site M2 de l'amphibole par Al^{3+} (Al_{VI}) (Triboulet et Audren, 1985).

Si l'on relie T et P (Fig. 50), on peut suivre pour le métamorphisme M1 une augmentation de P couplée à une augmentation de T, alors que le métamorphisme M2, rétrograde est marqué par une diminution de P et T.

4.3.3. Conclusion

Les variations de composition des amphiboles (anté à synfoliation principale) indiquent pour le métamorphisme M1 une augmentation progressive de la pression et de la température, tandis que les amphiboles de M2 dénotent une diminution de pression et de température.

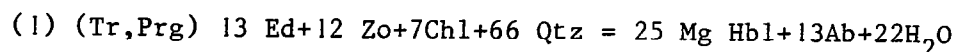
4.4. Estimation qualitative de P et T

Les amphiboles analysées peuvent être définies par quatre termes: Trémolite - Magnésio-hornblende- Edénite et Pargasite (Fig. 52).

Dans l'épisode métamorphique M1 ces amphiboles suivent l'évolution Trémolite → Mg hornblende → Pargasite ; c'est le contraire dans l'épisode métamorphique M2 (Fig. 51).

Tous les équilibres possibles entre ces membres peuvent être envisagés (in Triboulet et Audren, 1988).

Nous retiendrons pour nos calculs les équilibres suivants :



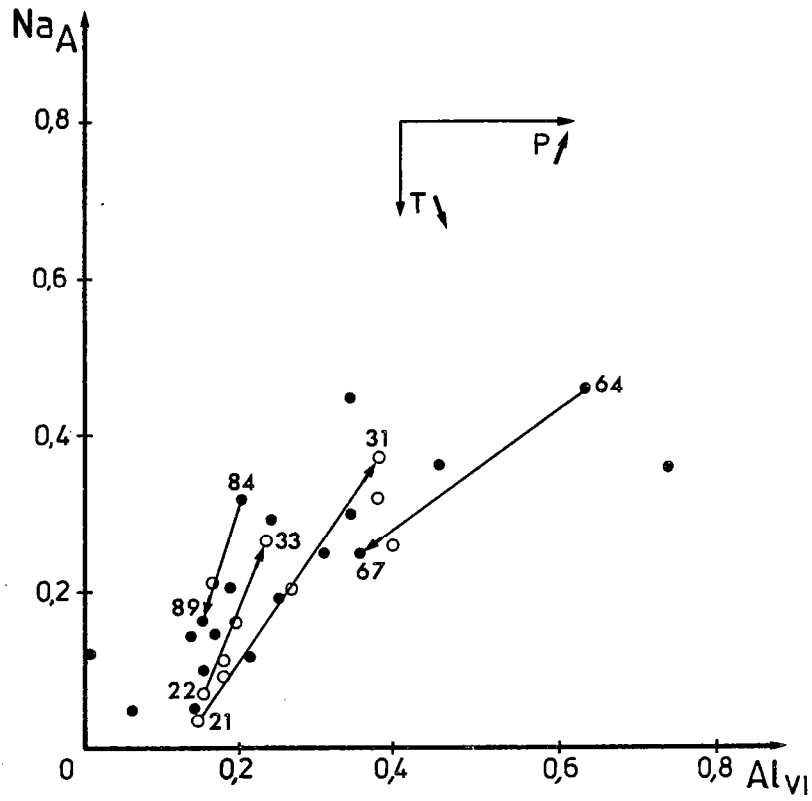


Fig.50 - Relations $Na (A) - Al_{VI}$; légende identique à la figure 49.

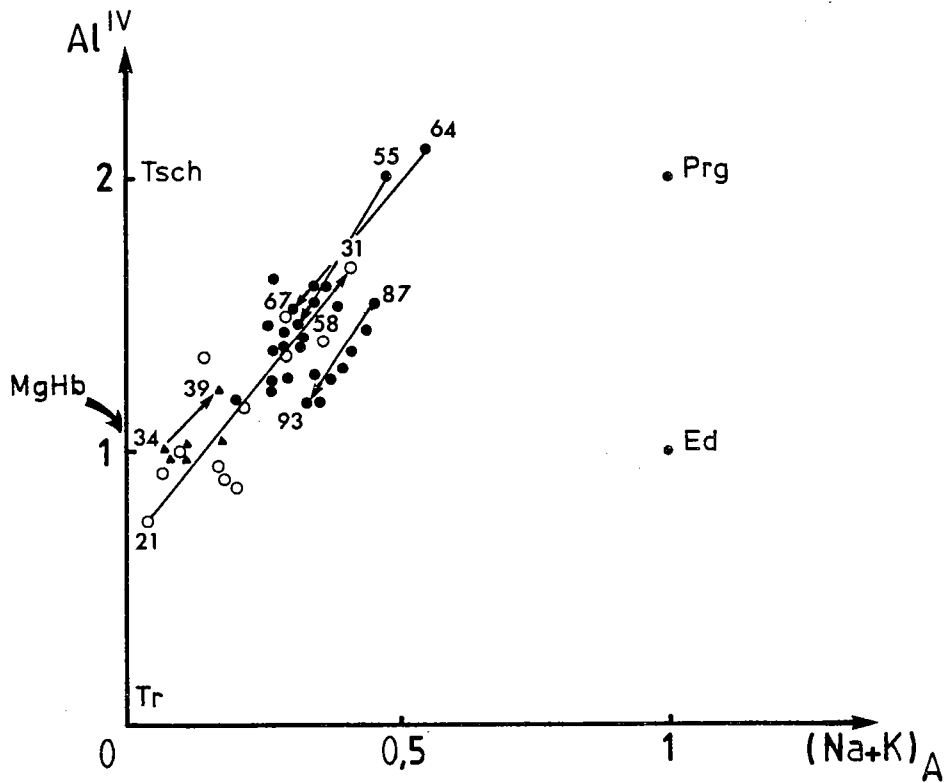


Fig.51 - Evolution des amphiboles dans le diagramme $Al^{IV} - (Na + K)_A$; légende identique à la figure 49.

Pour chaque équilibre entre deux termes amphiboliques i et j on peut déterminer un K_D tel que :

$$(2) \Delta G^\circ = -RT \ln K_{D(i,j)}$$

$$= \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ + \Delta V_s^\circ(P-1) + \int_{298}^T \Delta C_p^\circ dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{T^2} dT + nRT \ln f_{H_2O}$$

Dans le champ P-T, chaque valeur de $K_D(i,j)$ est caractérisée par une droite si $C_p^\circ = 0$ et si H_2O n'est pas impliqué dans la réaction. Dans le cas contraire, on a une courbe.

Pour chaque équilibre, on construit alors une ligne appelée isopleth.

L'intersection de deux isopleths ($K_D(i,j)$ et $K_D(i',j')$) correspondant à deux équilibres entre les phases i et j et i' et j' donne un point dans l'espace P-T.

Les valeurs de P et T ainsi, définies sont caractéristiques des conditions dans lesquelles a cristallisé l'amphibole.

La construction du chemin Pression-Température résulte donc des relations existant entre ces différents points.

Notons que quelque soit l'imprécision liée à la méthode (la présence de fer, dans l'amphibole, décale les points vers les hautes pressions, mais n'intervient que peu dans le calcul des températures, la présence ou non de chlorite n'influe également que très peu sur les valeurs de P et T) un des résultats fondamentaux est que la forme du chemin Pression-Température ne varie pas (Spear et Rumble, 1986).

4.5. Résultats

4.5.1. Le Chemin Pression-Température

Les résultats géothermo-barométriques obtenus à partir de la méthode prenant en compte l'activité des pôles trémolite, édénite et Mg-hornblende sont illustrés dans le diagramme Pression-Température (Fig. 52).

Ce diagramme traduit le chemin du métamorphisme enregistré par la roche. Il montre que cette roche a subi une évolution continue au cours du métamorphisme prograde puis rétrograde.

Ce chemin permet de mettre en évidence trois épisodes majeurs :

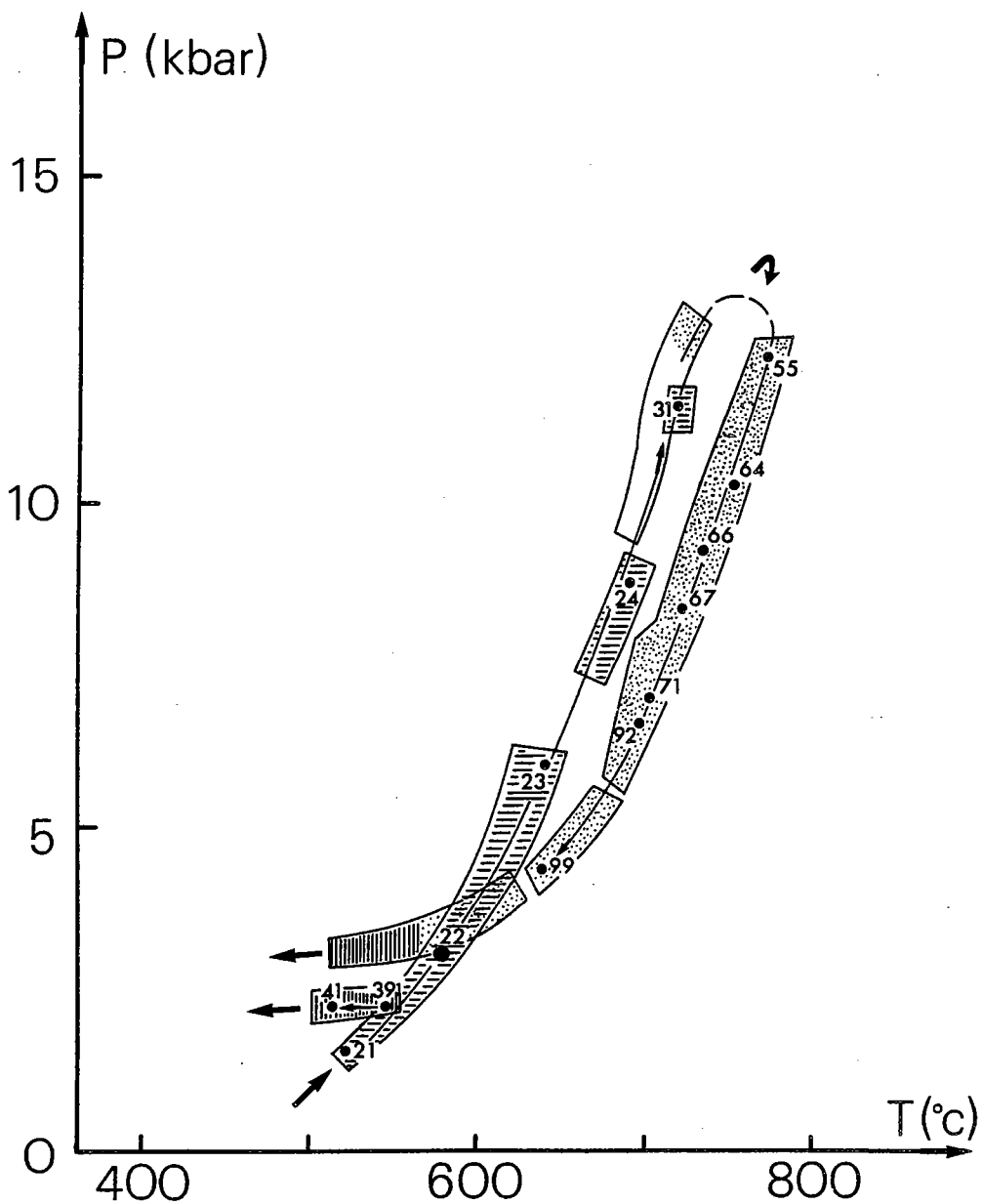






Fig.52 - Chemin Pression-Température .

-  porphyroblaste anté à syn S1;
-  amphibole dans zone abritée;
-  amphibole syn S1;
-  amphibole de S2;
- point représentatif d'une analyse chimique .

. épisode 1 : il définit un métamorphisme prograde caractérisé par une augmentation de la température (500 à 700°C) pour des pressions comprises entre 2 et 12 kb.

. épisode 2 : il définit un métamorphisme rétrograde caractérisé par une baisse de la température (750 à 600°C) accompagnée d'une chute de pression (12 à 4 kb).

Le passage entre l'épisode 1 et l'épisode 2 est défini par une continuité marquée dans les relations existant entre les phénoscristaux d'amphiboles et les amphiboles des zones abritées.

. épisode 3 : il définit un métamorphisme marqué par une baisse de température (600° à 500°C) pour une pression constante de 3,5 kb.

4.5.2. Relations : chemin Pression-Température et déformation

Chaque partie du chemin peut être caractérisée par un minéral situé dans une position structurale bien définie (Fig. 53).

L'épisode 1 peut se décomposer en deux sous épisodes :

. l'épisode 1A a pu être défini grâce à l'évolution des compositions chimiques (coeur vers périphérie) caractérisant les phénocristaux d'amphibole anté à synfoliation S1.

. l'épisode 1B, déterminé à partir des évolutions de composition chimique dans les amphiboles contenues dans les zones abritées, marque la fin du chemin prograde. Notons également qu'il y a superposition des compositions chimiques de ces amphiboles avec les compositions chimiques obtenues pour les bordures des phénoblastes d'amphibole. De même, on remarque que les compositions chimiques des coeurs de certaines amphiboles syn-foliation S1 sont semblables aux compositions chimiques déterminées pour la périphérie des amphiboles des zones abritées.

L'épisode 2 se rattache à l'évolution continue observée dans les amphiboles synschisteuses marquant la linéation minérale. Cet épisode 2 est contemporain de la phase de déformation principale mise en évidence dans cette région de Coutances. Par analogie avec la déformation syncinématique de la diorite de Coutances, cette phase 2 peut être datée à 585 Ma. Cette date nous permet ainsi de caler dans le temps une partie du chemin Pression - Température - déformation (Fig. 53).

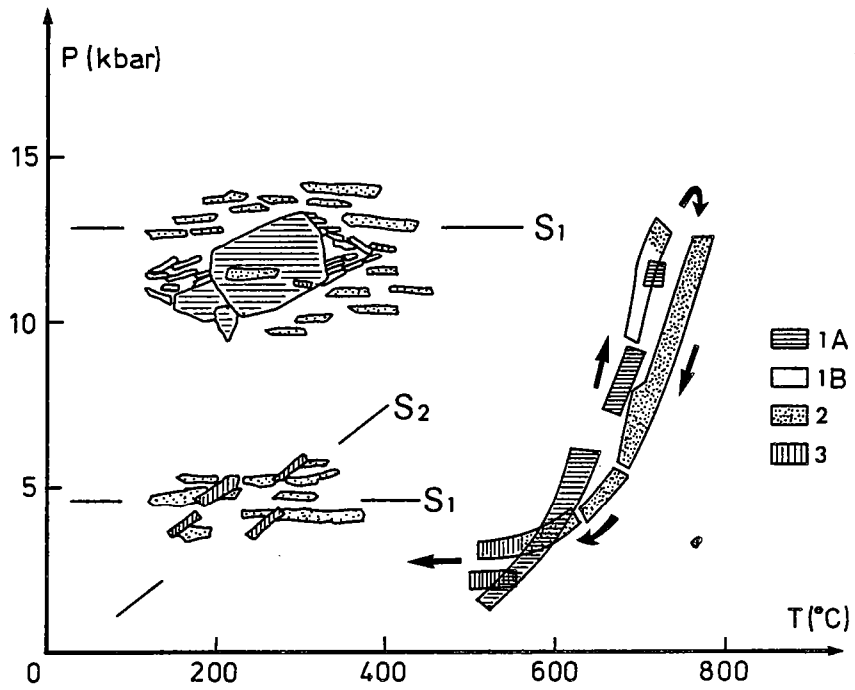


Fig.53 - Chemin Pression-Température-déformation .
Légende identique à celle de la figure 52 .

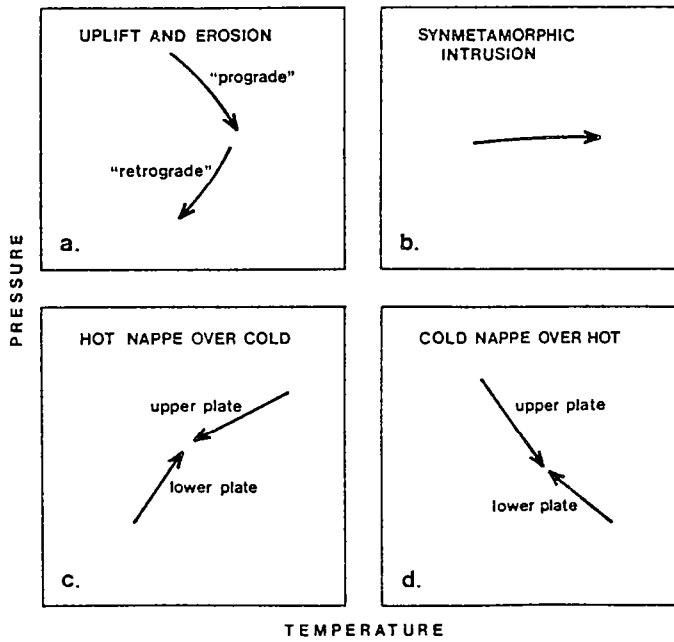


Fig.54 - Chemin Pression-Température et situations géodynamiques (d'après Spear et al., 1984).

L'épisode 3 peut être relié aux amphiboles tardives soulignant la schistosité S2 et marque le stade ultime du métamorphisme rétrograde.

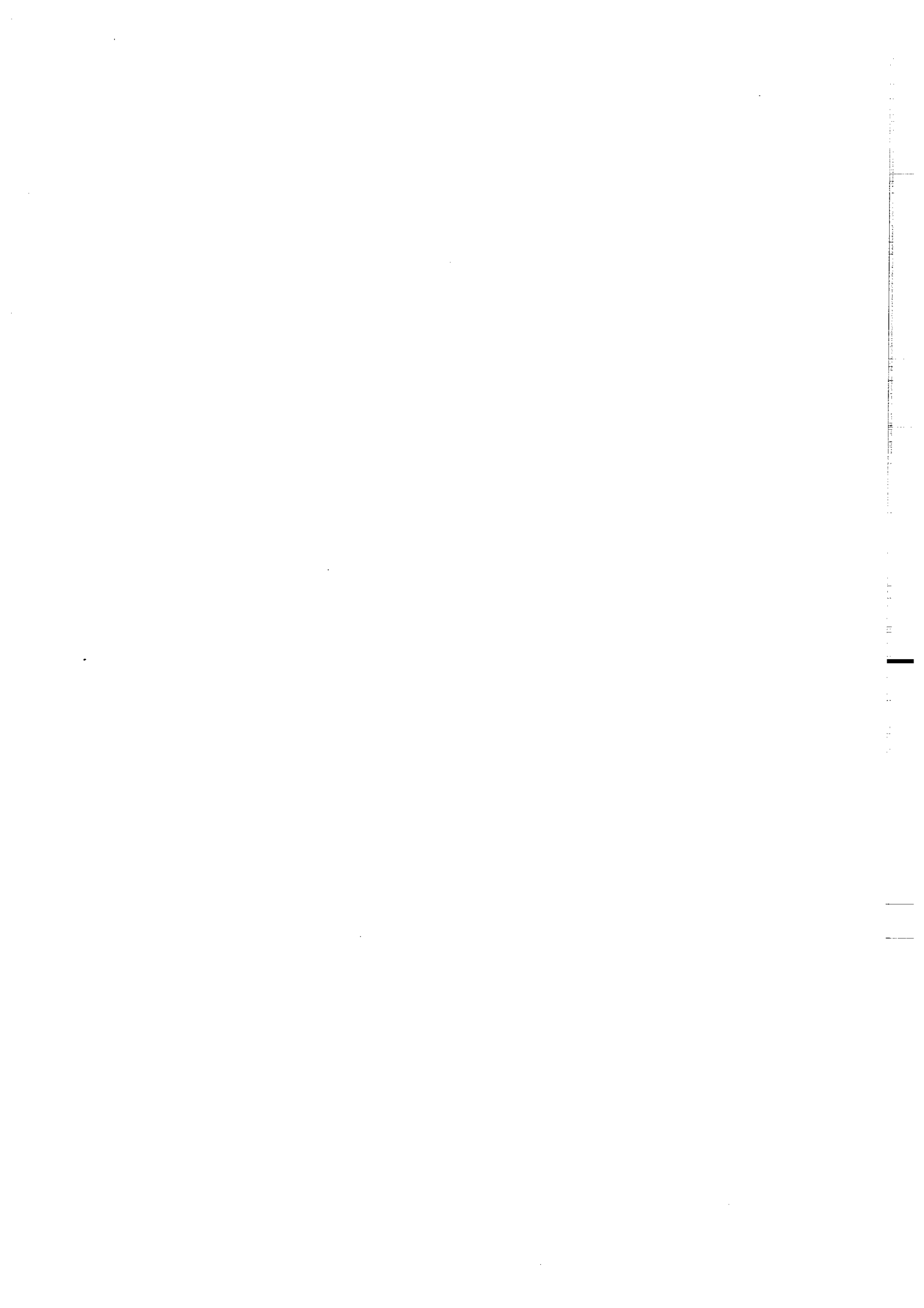
4.6. Conclusion

L'élaboration de ce chemin Pression - Température - déformation effectuée à partir d'un nombre important de points (100 analyses chimiques) permet dans un premier temps de caractériser l'évolution continue/discontinue du métamorphisme au cours de l'orogénèse cadomienne. D'autre part, il réfute l'existence d'un métamorphisme de contact créé par la diorite de Coutances. Son tracé est en effet en contradiction avec un tel modèle de métamorphisme (Fig. 54 (b)).

5. CONCLUSION

L'étude structurale de la région de Coutances permet de mettre en évidence une tectonique à régime cisailant s'inscrivant dans un modèle de nappes chevauchantes à vergence Sud.

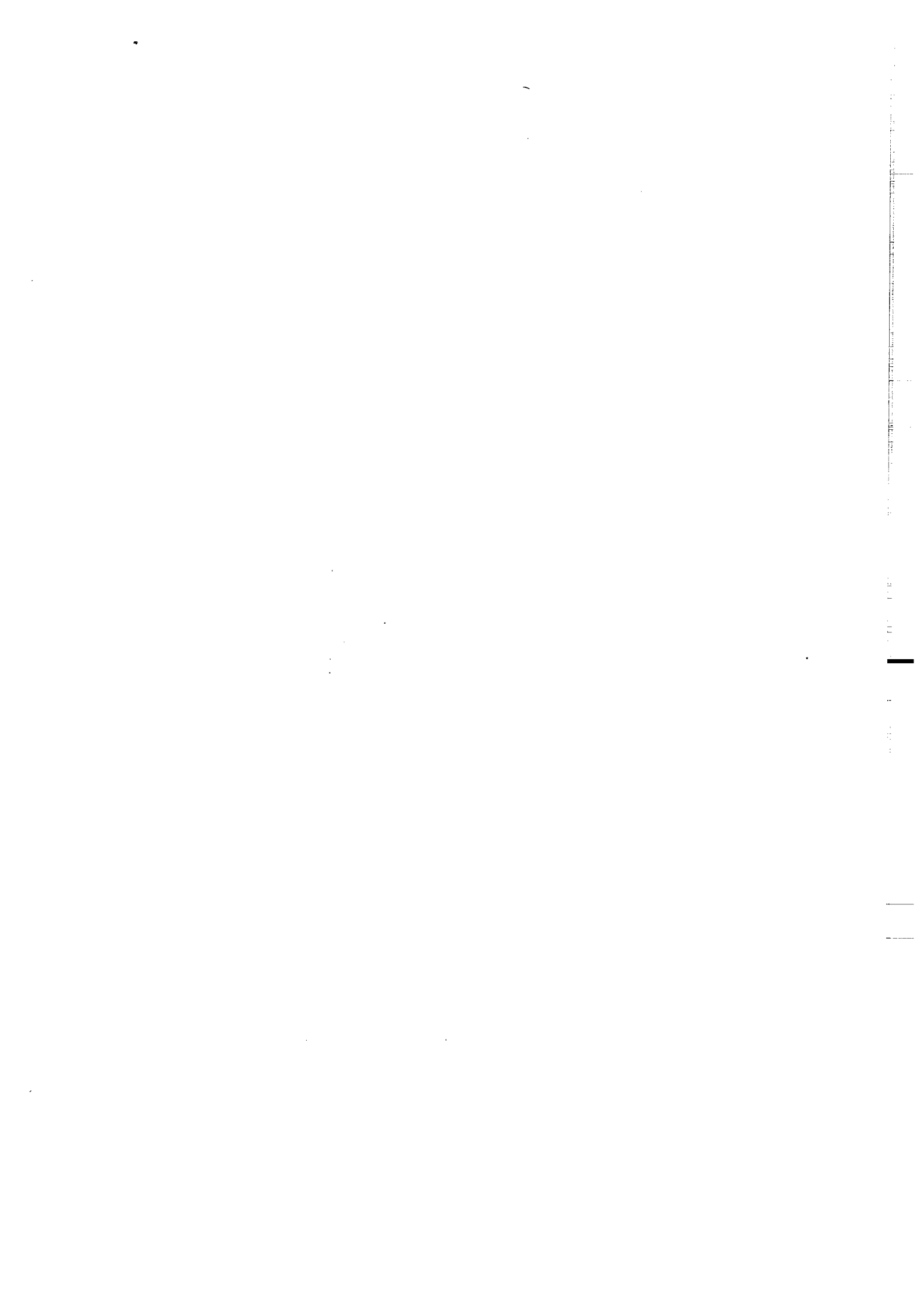
Cette hypothèse est renforcée par le modèle de l'évolution d'un métamorphisme défini par le chemin Pression-Température-temps-déformation qui s'inscrit dans les modèles définis par Spear et al. (1984), England et Richardson (1977), Triboulet et Audren (1985, 1988) caractéristiques d'un contexte géodynamique de collision selon le processus suivant : chevauchement → épaissement crustal → remontée → érosion (Fig. 54).



CHAPITRE II

**LA REGION
DE
COUTANCES - GRANVILLE**

- LE SECTEUR DE GRANVILLE -



I. INTRODUCTION

Située au Sud de la région de Coutances, cette région (Fig. 3, cadre CG) traversée d'Ouest en Est par l'accident de Granville (Dupret, 1974) a fait l'objet de deux coupes sensiblement Nord-Sud (Fig. 55).

- La première coupe, dans la région de Granville (s.s.) n'est en fait qu'une reprise des travaux antérieurs (Graindor, 1957; Dupret, 1974). Elle s'étend depuis Donville-les-Bains jusque dans la région de Saint-Pair-sur-Mer (Fig. 55a) sur une longueur d'environ 5 kilomètres.

- La seconde, localisée plus à l'Est, au Sud de Thorigny-sur-Vire (S.E. de Saint-Lô), dans la région de la Chapelle-du-Fest (Fig. 55b) recoupe l'accident de Granville. Elle traverse un massif de granite écrasé jusque là non étudié.

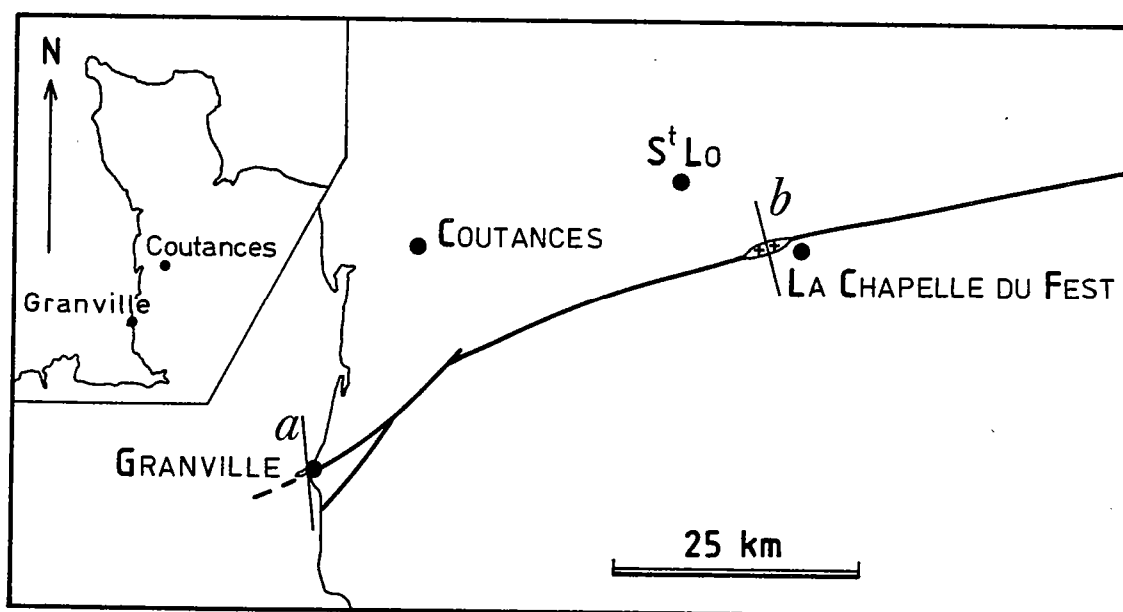


Fig.55 - Localisation des secteurs d'étude : Granville (a), la Chapelle du Fest (b) .

II. LA REGION DE GRANVILLE (s.s.)

Le Briovérien de cette région, essentiellement constitué par un matériel sédimentaire détritique appartient au groupe inférieur (région de Saint-Pair) et au groupe supérieur (région de Donville-Granville) (Dupret, 1984). Il affleure dans de hautes falaises s'étendant de Donville-les-Bains au Nord au platier de Saint-Pair-sur-Mer au Sud.

De nombreuses études lui ont été consacrées dont celles de Graindor (1957), Winterer (1963) et Dupret (1974).

Un accident de direction N70 marqué par un important filon de quartz traverse ces formations briovériennes, mettant en contact les formations des groupes inférieur et supérieur.

1. LES DIFFERENTES UNITES LITHOLOGIQUES

Deux grandes unités lithologiques peuvent être distinguées .

1.1. La formation de Granville

Trois faciès lithologiques distincts de cette formation appartenant au groupe supérieur du Briovérien ont été reconnus (Dupret, 1974, 1984) :

- une alternance de grès et de siltites, en séquences granoclassées turbiditiques renfermant quelques rares grès calcaireux.
- une diamectite hétérolithique à galets roulés ou non dans un matrice grauwackeuse ou silteuse. Une origine glaciaire (Wegmann et al., 1950; Graindor, 1957) avait été proposée pour cette diamectite. Il semble qu'à la lumière de travaux plus récents (Winterer, 1963; Doré et al, 1985; Garlan, 1985) cette origine glaciaire soit discutée et que les caractères sédimentologiques aillent dans le sens d'une mise en place par courant de débris (Doré et al., 1985) au sein d'un bassin de type flyschöide.
- des niveaux de conglomérats interstratifiés dans les alternances schisto-gréseuses. Ces niveaux contiennent des galets de grès, de quartz, de phtanites, de volcanites, de granitoïdes, de roches métamorphiques et de schistes, caractéristiques et appartenant en général aux formations du groupe inférieur.

1.2. La formation de Saint-Pair-sur-Mer

Représentant le terme ultime des formations du groupe inférieur du Briovérien, il s'agit d'une série détritique exclusivement terrigène. Une des caractéristiques de cette formation est son remarquable rubanement. Les différents faciès rencontrés sont des grès grauwackeux, des siltites et des argilites noires. Cette formation ne renferme aucune passée volcanique, conglomératique ou phtanitique remaniée.

2. LA DEFORMATION CADOMIENNE

Dans ces deux formations, la phase cadomienne est la déformation principale. Elle se manifeste par des plis synschisteux. La déformation hercynienne est essentiellement cassante (Dupret, 1974).

2.1. La Formation de Granville

2.1.1. La stratification So

La stratification est bien visible dans les faciès de schistes et de grès. Elle est également représentée par des niveaux conglomératiques. Sa polarité, inverse ou normale, permet la mise en évidence de structures plissées d'ampleur métrique à décamétrique.

La direction de cette stratification est N70 - N80 avec des pendages nord de 30 à 90° (Fig. 56).

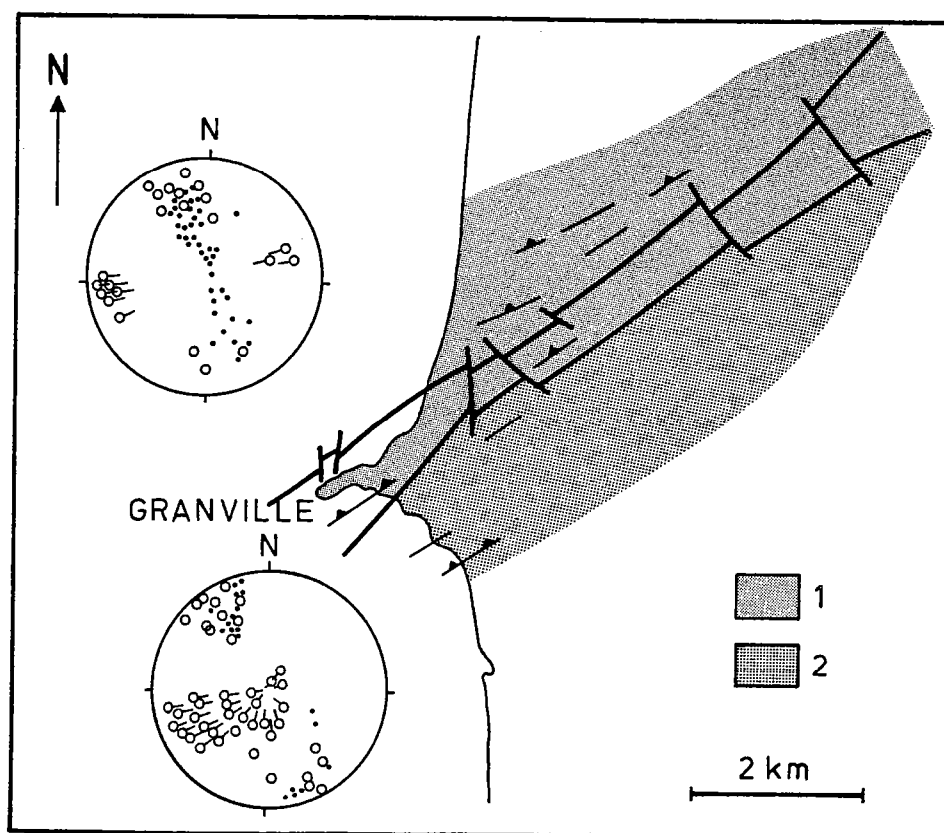


Fig.56 - Structuration cadomienne dans la région de Granville (d'après Dupret, 1984).

1 - formation de Granville ; 2 - formation de Saint-Pair-sur-Mer ;

● - stratification ; ○ - schistosité ; ○ - axe des plis cadomiens .

2.1.2. Les structures plissées

Bien visibles sur l'ensemble de la coupe, on les observe surtout dans les faciès schistogréseux où les charnières sont orientées N70 en moyenne à plongement vers le NE ou le SW de 10 à 35° (Fig. 56).

Dans les formations conglomératiques, les structures plissées peuvent être déduites de l'observation conjuguée de la stratification S_0 , de la schistosité S_1 et de la polarité des couches, marquées par le granoclassement ou les quelques figures de charge présentes. Les structures plissées d'amplitude métrique à décamétrique sont caractérisées par des plis de type concentrique aplati et des plis isoclinaux.

Tout au long de la coupe du Nord vers le Sud, on observe un déversement des structures plissées marqué par le pendage des plans axiaux vers le NNW. Ces pendages proches de 90° dans la partie Nord (région de Donville) passent à des valeurs de l'ordre de 30° vers le Sud où un important filon de quartz marque l'accident faillé (Fig. 57). Une schistosité S_1 de plan axial (Fig. 56) accompagne ces structures plissées.

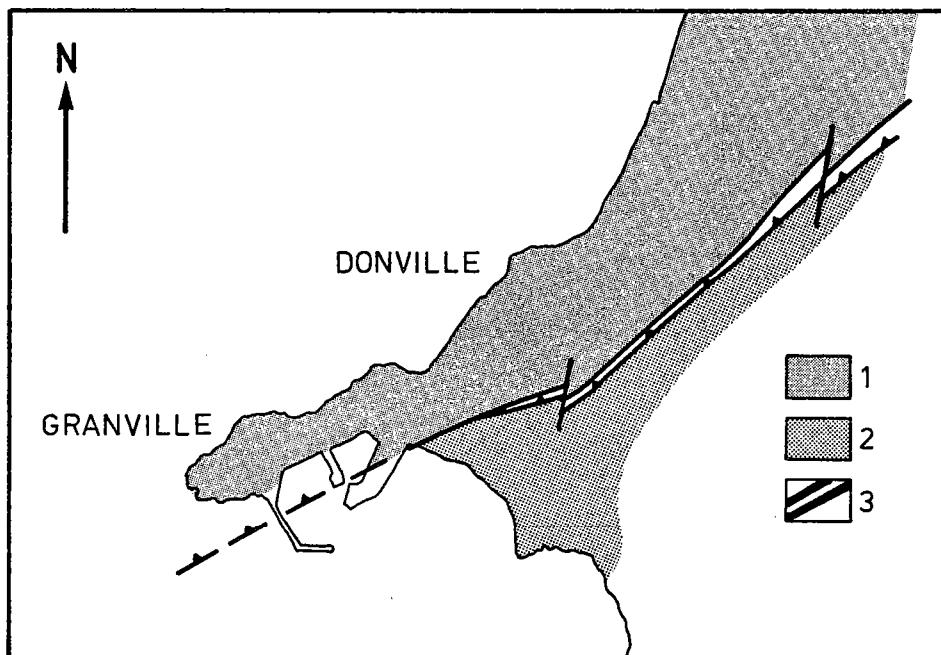


Fig.57 - L'accident chevauchant de Granville .

- 1 - formation de Granville ; 2 - formation de Saint-Pair-sur-Mer ;
- 3 - filon de quartz..

Il apparait ainsi que cette série de Granville, appartenant au groupe supérieur du Briovérien, en raison de sa structure plissée déversée vers le Sud chevauche la série sédimentaire de Saint Pair-sur-Mer située plus au Sud (groupe inférieur du Briovérien).

2.2. La formation de Saint Pair-sur-Mer

2.2.1. La stratification So

Très bien marquée par l'alternance et le rubanement schisto-gréseux, elle est associée sur le terrain à une schistosité qui lui est parallèle.

2.2.2. Les plis

Le caractère principal de cette formation réside dans l'existence de plis droits isoclinaux synschisteux d'amplitude centimétrique à métrique caractérisés par une forte dispersion axiale (Fig. 58).

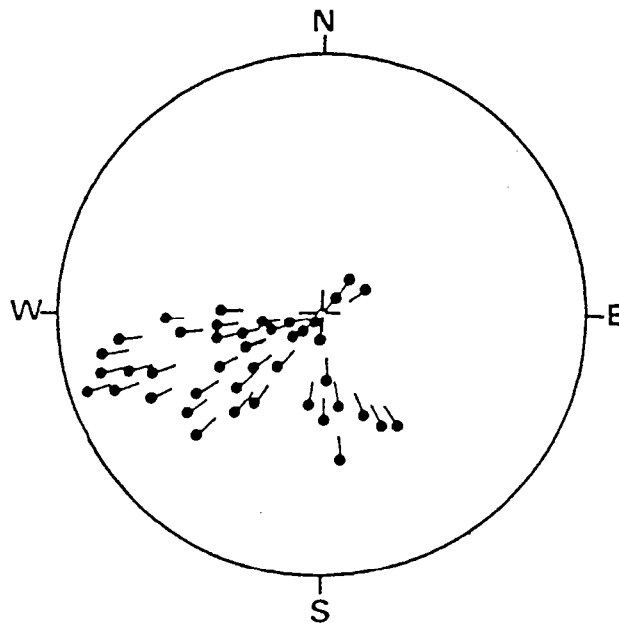


Fig.58 - Dispersion des axes des plis dans la formation de Saint-Pair-sur-Mer (d'après Dupret, 1974).

Cette série de Saint Pair-sur-Mer se différencie de la formation de Granville par son mode de plissement ainsi que par son mode de sédimentation.

Il ne s'agit ici que d'un rappel rapide des structures existant dans ces formations ; le résultat principal étant le chevauchement daté du Cadomien (Dupret, 1974) de la série de Granville sur la formation de Saint Pair-sur-Mer.

III. LA REGION DE LA CHAPELLE DU FEST

Sur les cartes géologiques existantes (1/320 000 Rennes-Cherbourg, 1/80 000 Granville - Villedieu - Saint-Lô - Thorigni-sur-Vire), l'accident de Granville peut être prolongé jusque dans la région de Caen. Cet accident affecte alors toutes les formations depuis le Briovérien jusqu'au Crétacé.

Dans la région de Condé-sur-Vire à la Chapelle-du-Fest, existe un granite qui jusqu'à aujourd'hui n'a fait l'objet d'aucune étude. Seule une note à l'Académie des Sciences (Graindor et Roblot, 1963) mentionne la présence d'un granite écrasé dans cette région.

Il nous apparaît ainsi que l'étude de ce granite, situé sur l'accident de Granville, est essentielle pour la caractérisation et la datation de cette structure.

1. CARACTERISATION PETROGRAPHIQUE DU GRANITE

Un faciès pétrographique plus ou moins écrasé selon les endroits est reconnu dans le granite de la Chapelle-du-Fest.

De texture grenue, sans phénocristaux, c'est un granite de couleur claire dont les minéraux principaux sont : le quartz, le plagioclase, le feldspath alcalin et les micas. Les minéraux accessoires sont l'apatite, le sphène, le zircon, très peu de cordiérite et quelques minéraux opaques.

- le quartz : xénomorphe, à extinction souvent roulante, il est limpide. On le trouve parfois brisé, marquant la linéation visible à l'oeil nu.

- le plagioclase : souvent altéré, il est quelquefois brisé selon la linéation. On reconnaît une andésine (An_{30-40}). Certains cristaux montrent des macles fléchueuses et sont parfois zonés.

- le feldspath alcalin : il s'agit d'un feldspath potassique, de l'orthose, brisé et altéré.

- la biotite : ce mica noir, en épais feuillets est présent en assez grande quantité dans la roche. Il est souvent altéré en chlorite.

- la muscovite : également présent dans la roche, ce minéral est souvent déformé et prend alors une forme en poisson.

La minéralogie de ce granite situé sur l'accident de Granville est analogue à celle des granites de la Mancellia décrits par Jonin (1981) et Georget (1986), situés juste au Sud de l'accident. Par analogie de faciès exclusivement, on adoptera, pour ce petit massif septentrional, un âge de 550 Ma (Pasteels et Doré, 1982 ; Graviou et al., 1988), âge du batholite mancellien . Une datation radiochronologique permettrait toutefois de dater précisément l'accident de Granville.

2. ETUDE DE LA DEFORMATION

A l'affleurement, ce granite se présente sous deux faciès structuraux différents. Dans la partie nord, un faciès peu ou pas déformé se poursuit vers le Sud du massif par le passage à un faciès mylonitique voire ultramylonitique, permettant ainsi la mise en évidence d'un gradient de déformation à l'échelle du pluton marqué par l'apparition de plans de foliation.

2.1. La linéation d'étirement (axe X)

Sur le terrain, elle est soulignée par des stries que traduisent l'orientation des feldspaths et des quartz. Au microscope, elle est facilement identifiable. Les plagioclases et les feldspaths potassiques allongés selon leur plus grand axe sont en effet fortement étirés et brisés dans le plan de foliation (plan XY). Elle est également marquée par l'orientation préférentielle du quartz.

Sa direction, sensiblement méridienne (Fig. 59) est similaire à celle observée dans les formations de la région de Coutances (volcanites de Montsurvent, amphibolites et formations situées au Sud de la diorite).

2.2. Les plans de foliation

Dans les faciès déformés, ils caractérisent le débit en dalles de ce granite. D'orientation moyenne N80, ils sont toujours à pendage nord (20 à 70°N) (Fig. 60) et portent la linéation d'étirement.

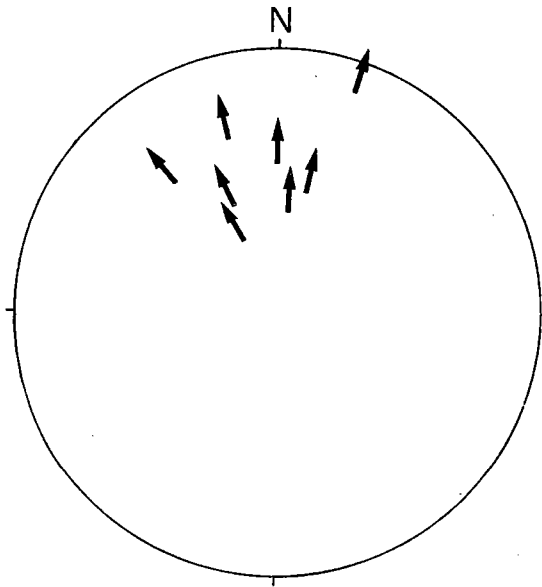


Fig. 59 - Linéation d'étirement

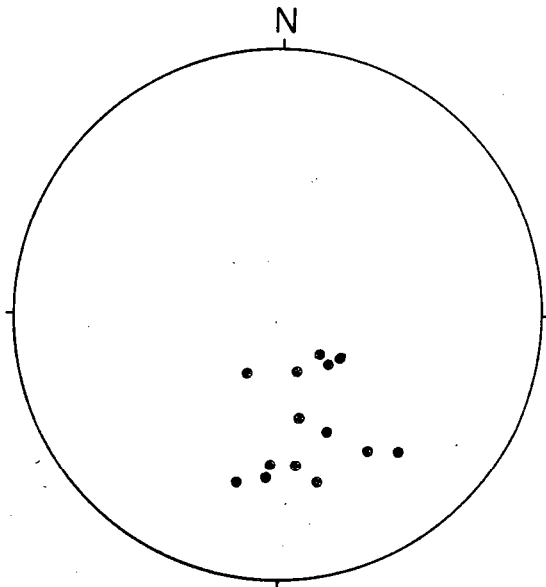


Fig. 60 - Pôles des plans de foliation

dans le granite de la Chapelle-du-Fest.

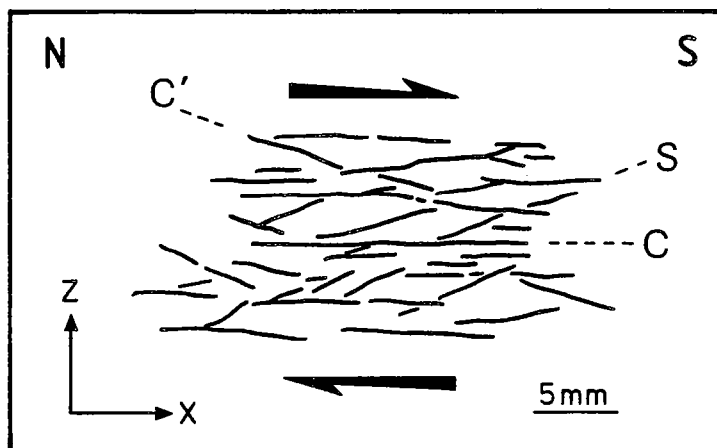


Fig. 61 - Plans C/S et C' dans le granite de la Chapelle-du-Fest (observation macroscopique).

On peut noter que les plans à fort pendage nord (valeurs proches de 70°) se trouvent de préférence dans le Nord du massif alors que les plans plus faiblement pentés (20 à 30° N) marquent le contact sud du massif avec les formations sous-jacentes.

2.3. Les critères de cisaillement

L'observation microscopique des faciès les plus déformés de ce granite montre dans le plan XZ et le plan YZ l'existence de plans C et de surfaces S. Dans le plan XZ, les faciès ultramylonitiques montrent la présence de plans C' (Fig. 61).

Dans le plan XZ, les plans C/S et C' indiquent une cinématique du Nord vers le Sud, alors que dans les plans YZ, un sens de mouvement senestre de l'Est vers l'Ouest est observable.

2.3.1. le plan XZ (plan parallèle à L1 et perpendiculaire au plan XY)

De nombreuses zones abritées entourent les plagioclases et les feldspaths potassiques étirés et brisés selon la linéation (Fig. 62). Leur dissymétrie toujours constante indique un mouvement du Nord vers le Sud. A ces zones abritées s'ajoutent une forme en poisson des muscovites (Fig. 62) qui confirme cette cinématique.

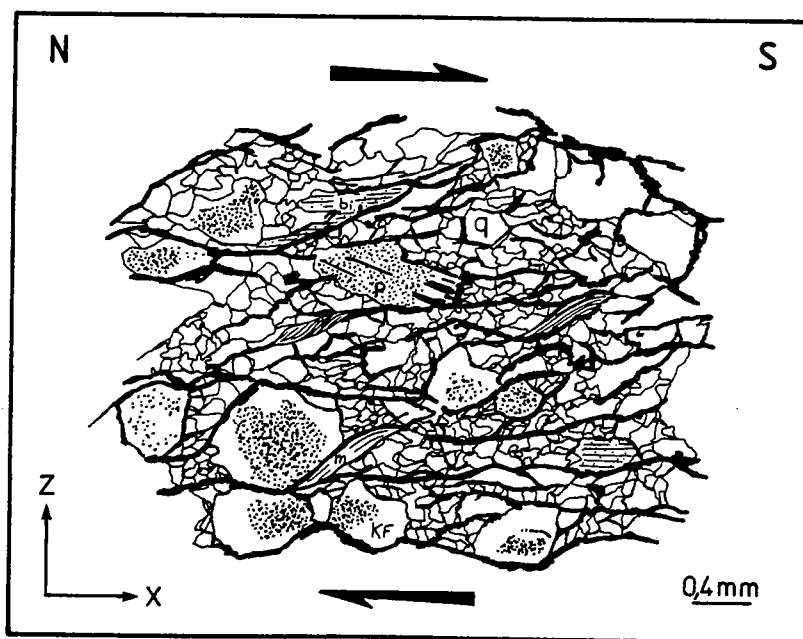


Fig.62 - Section XZ dans le granite de la Chapelle-du-Fest (observation microscopique).

q- quartz ; P- plagioclase ; m- muscovite ; KF- feldspath potassique .

2.3.2 le plan YZ (plan perpendiculaire à L1 et perpendiculaire au plan XY)

Dans certains plans YZ s'observent des formes en poisson de muscovite caractéristiques d'un mouvement tangentiel senestre (d'Est en Ouest). Cette déformation, n'est en aucun cas associée à une linéation minérale. Elle apparaît synchrone ou postérieure à la déformation observée dans le plan XZ. Elle caractérise une déformation tangentielle senestre déjà observable sur le même accident dans la région de Granville (Dupret, 1974).

2.4. Age de la déformation dans le granite

Cette déformation syncinématique, ductile, ne peut être datée avec précision. Cependant les similitudes pétrographiques permettent de penser que le granite de la Chapelle-du-Fest appartient au batholite mancellien daté à 550 Ma (Pasteels et Doré, 1982 ; Graviou et al., 1988). Aussi nous admettons que cette déformation a pour âge 550 Ma et appartient ainsi à la déformation fini-cadomienne.

3. CONCLUSION

La déformation mise en évidence dans le granite de la Chapelle-du-Fest est syncinématique de la mise en place du massif et est rapportée à l'orogène cadomien. Cette déformation se caractérise par deux événements synchrones dans le temps : un chevauchement du Nord vers le Sud et un mouvement tangentiel senestre de l'Est vers l'Ouest.

IV. CONCLUSION

L'accident de Granville orienté sensiblement NE-SW sur une distance de près de deux cent kilomètres a été caractérisé en deux points par une structure chevauchante (Dupret, 1974; ce travail) (Fig. 63). Le caractère décrochant senestre jusque là rapporté à une orogénèse post-cadomienne (Dupret, 1984) n'apparaît plus évident. Il semble que dès l'orogénèse cadomienne, ce caractère décrochant senestre existait.

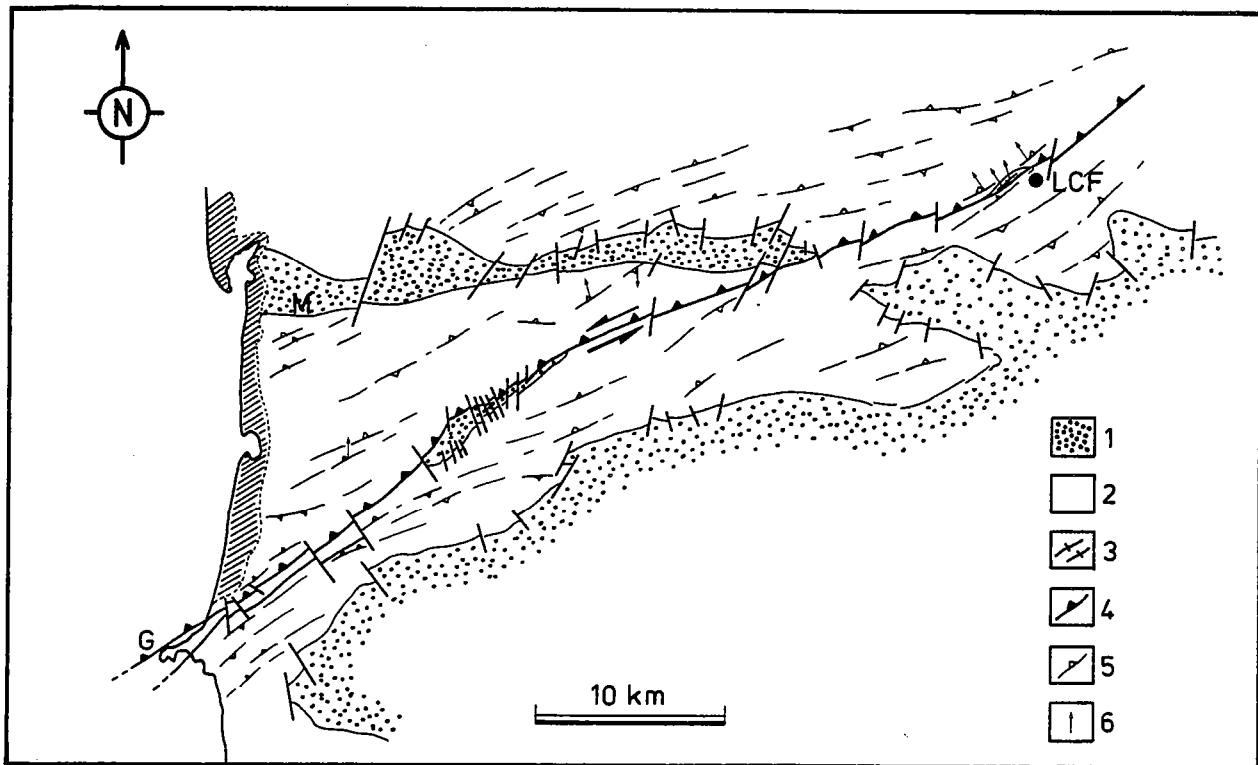


Fig.63 - Carte structurale de la région de Granville.

- 1 - Paléozoïque ; 2 - Briovérien ; 3 - granite de la Chapelle-du-Fest ;
 4 - chevauchement de Granville ; 5 - plan de schistosité ; 6 - linéation ;
 G - Granville ; M - Montmartin ; LCF - la Chapelle-du-Fest .

L'influence hercynienne, pourtant présente, apparaît dans le décrochement des formations paléozoïques mais ne coïncide qu'avec un rejeu tardif du décrochevauchement senestre (Bardy et Lefort, 1987).

Cet accident trouve sa continuité en Bretagne Nord dans l'accident séparant les formations migmatitiques de Saint Malo, des formations briovériennes sous-jacentes.

L'âge à 550 Ma de l'accident pose le problème de la polystructuration cadomienne. Or, il apparaît que la même cinématique du Nord vers le Sud affecte aussi bien les formations du groupe inférieur (région de Coutances) que les formations du groupe supérieur (région de Granville s.l.). Les déformations observées à la Chapelle du Fest représenteraient alors le stade terminal de la structuration cadomienne.

Les orogènes postérieurs marquent leur présence par le rejeu des structures existantes et par l'apparition de structures cassantes orientées sensiblement Nord-Sud.

Toute la région Coutances - Granville (Fig. 64) se caractérise donc par une déformation cadomienne continue avec mise en place de nappes à vergence Sud dont les premiers effets se font sentir dans la région de Coutances aux alentours de 585 Ma (âge de la diorite) et dont les derniers effets sont marqués par l'accident de Granville autour de 550 Ma. Le caractère décrochant senestre pouvant s'expliquer par des mouvements décrochants créés lors de la collision cadomienne. Une évolution semblable se retrouvant plus à l'Ouest (Bretagne Nord) a été décrite par Balé et Brun (1983), Balé (1986).

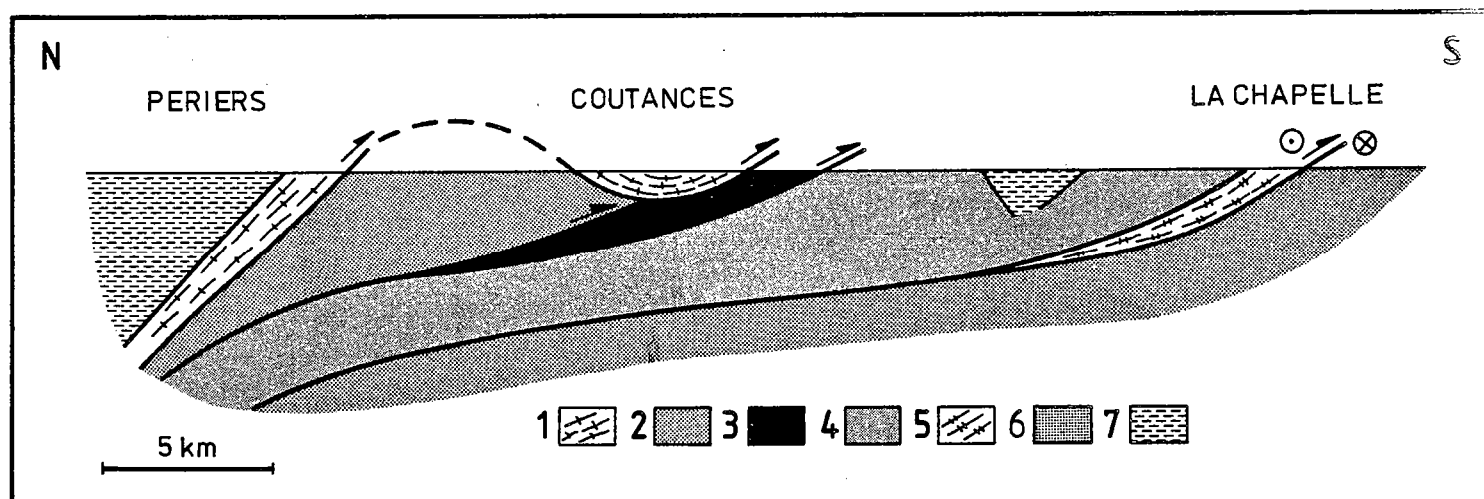
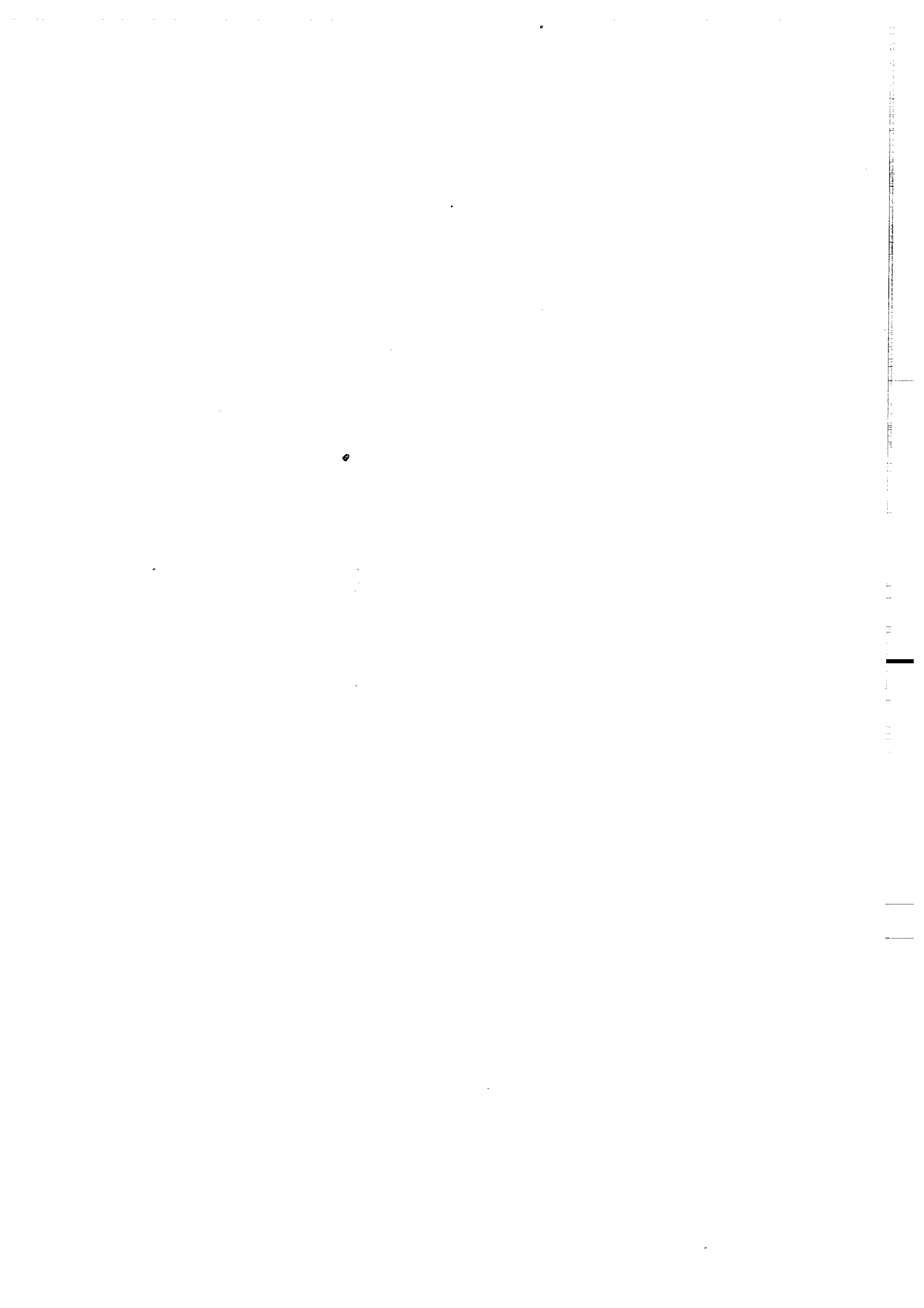


Fig.64 - Coupe synthétique de la région de Coutances-Granville .

1 - diorite de Coutances ; 2 - formations métamorphiques ; 3 - formation de la Terrette ; 4 - ensemble volcanosédimentaire ; 5 - granite de la Chapelle-du-Fest ; 6 - formation du groupe supérieur ; 7 - Paléozoïque .

CHAPITRE III

LA REGION DE LA HAGUE



I. INTRODUCTION

1. LOCALISATION ET CADRE GEOLOGIQUE

Constituant l'extrémité septentrionale du Massif Armoricaïn (cf Fig. 3, cadre H), la presqu'île de la Hague est essentiellement composée d'un ensemble plutonique cadomien intrusif dans un socle gneissique pentévrien formant le prolongement N.E. des terrains déjà connus dans le Trégor et dans les Iles Anglo-Normandes (Roach, 1957; Power, 1974; Auvray, 1979). La couverture paléozoïque représentée par le synclinal cambro-ordovicien de Jobourg, déversé vers le Sud, est en contact par faille avec les granitoïdes et constitue les terrains les plus récents rencontrés dans cette région.

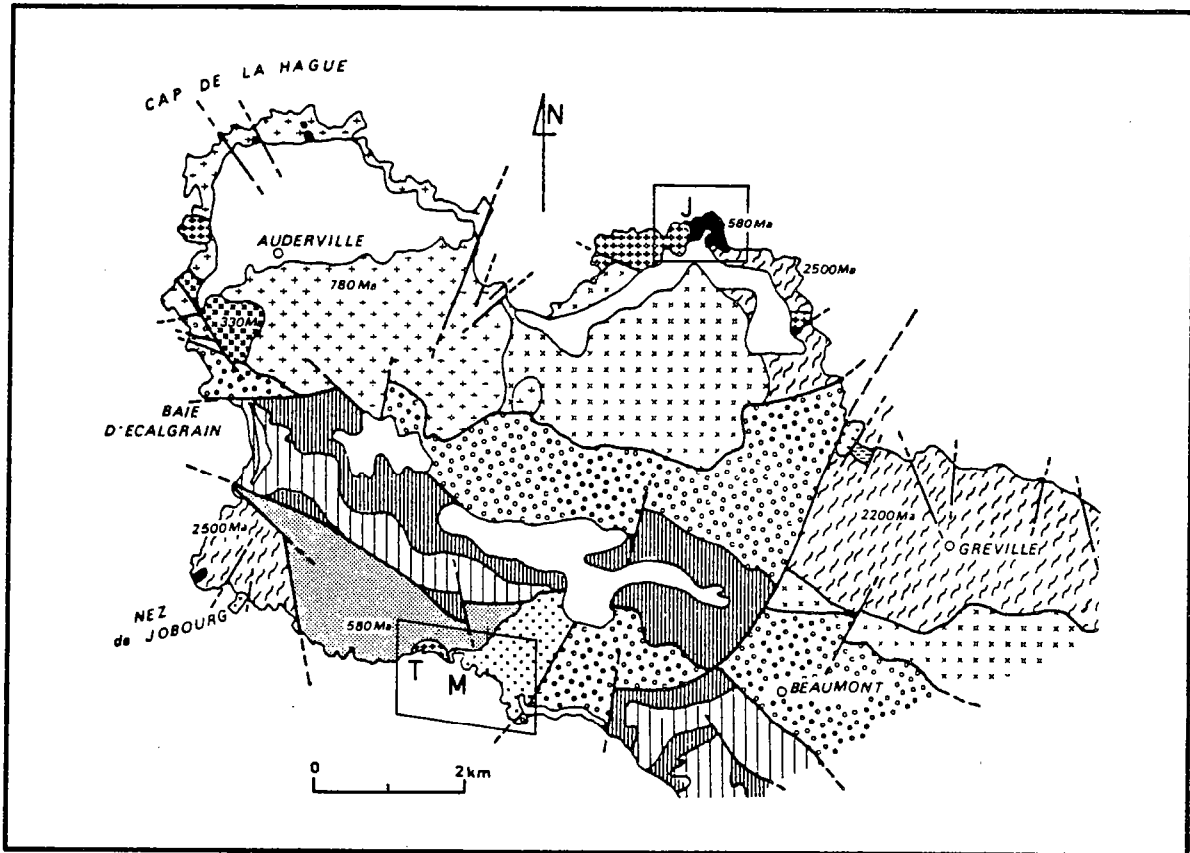
2. HISTORIQUE DES TRAVAUX ANTERIEURS

Dès le début du XIXème siècle, la nature cristalline de la presqu'île de la Hague est reconnue par de nombreux auteurs (Omalius d'Halloy, 1814; Dalimier, 1861; Bonissent, 1870; Bigot, 1882). Toutefois, il faut attendre les travaux de A. Jérémme (1930) pour que la première étude pétrologique et géochimique détaillée des granitoïdes de la Hague soit établie. Graindor (1957, 1960) mais surtout Power (1974) feront une cartographie détaillée des formations plutoniques.

En 1984, les travaux de cartographie du Laboratoire de géologie de Normandie Occidentale de Caen aboutissent à une cartographie complète et précise de tout le batholite (Fig. 65).

Les derniers travaux (Dissler, 1987) consistent surtout en une étude pétrographique et géochimique montrant le caractère calco-alcalin du batholite.

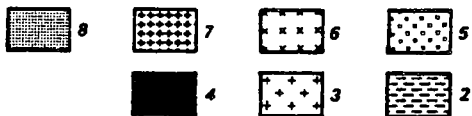
Le but de nos investigations dans la presqu'île de la Hague, outre un bref rappel pétrographique et géochimique concernant les diorites de Jardeheu (J) et du Moulinet (M) est l'étude structurale de ces deux massifs et leur intégration dans l'orogénèse cadomienne. Une extension à cette étude est effectuée sur la granodiorite du Tas de Pois (T), massif voisin de la diorite du Moulinet.



POST CADOMIAN FORMATIONS



UPPER PROTEROZOIC



LOWER PROTEROZOIC



Fig.65 - Carte géologique de La Hague (d'après Dupret, 1985).

J- diorite de Jardeheu ; M- diorite du Moulinet ; T- granodiorite du Tas de Pois ; 1- Pentévrien ; 2- Briovérien inférieur ; 3- granite d'Auderville ; 4- diorite ; 5- granodiorite ; 6- granite monzonitique ; 7- granite alcalin ; 8- orthogneiss ; 9- Cambrien ; 10- Arenig et Llanvirn ; 11- Llandeilo et Caradoc ; 12- granites varisques ; 13- Quaternaire .

II PETROLOGIE ET GEOCHIMIE DES MASSIFS DIORITIQUES ET GRANODIORITIQUES

1. PETROLOGIE-MINERALOGIE

1.1. La diorite de Jardeheu (Fig. 66)

1.1.1. Les types pétrologiques reconnus

Deux types pétrographiques principaux sont déterminés dans cette zone :

- les gneiss d'Omonville - la -Rogue étudiés en détail par Power (1974) et datés à 2 000 - 2 500 Ma (Leutwein et al., 1973 ; Piton, 1985).
- la diorite de Jardeheu dont aucune datation radiochronologique n'a été faite jusqu'à ce jour, mais qui est rapportée par analogie de faciès, aux diorites du Moulinet et de Coutances datées du Protérozoïque supérieur (Charlot, non publié ; Guerrot et al., 1986).

A ce complexe gneisso-dioritique, il convient d'ajouter un cortège de filons tardifs où deux générations peuvent être définies :

- . des filons acides orientés N 100 - N 110.
- . des filons basiques plus tardifs d'orientation moyenne Nord-Sud.

1.1.2. La diorite de Jardeheu

Macroscopiquement, il s'agit d'une roche grenue à grain moyen (5mm). En lame mince, la texture est localement porphyrique en raison des phénocristaux de plagioclase et d'amphibole. Les minéraux principaux sont : le plagioclase, l'amphibole, le quartz et la biotite. Les minéraux accessoires sont : le sphène, la chlorite, l'apatite, le zircon, l'épidote et les opaques.

- Le plagioclase : il est la plupart du temps automorphe et zoné. La zonation est très souvent soulignée par une altération séricitique. Représenté par un seul type, l'andésine (An_{30-40}), il ne renferme que peu d'inclusions.

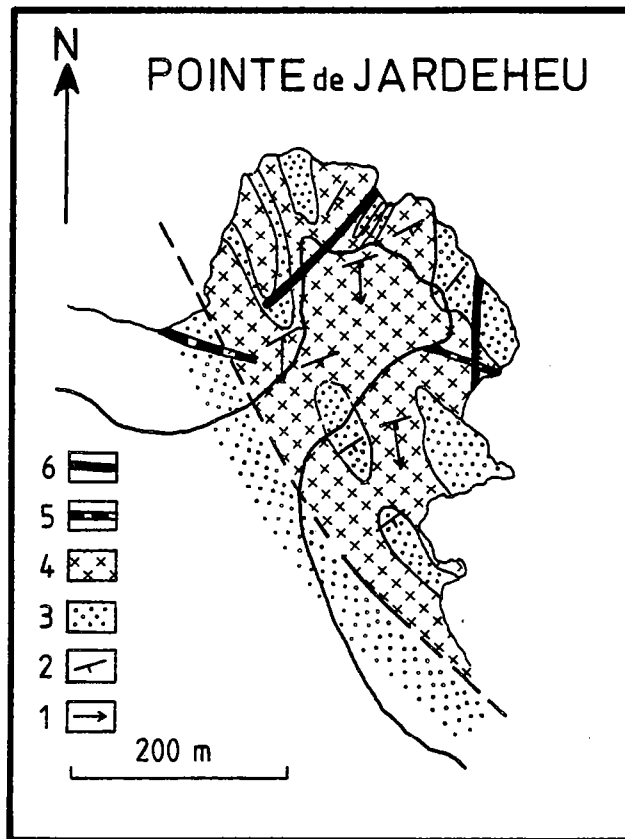


Fig.66 - Pointe de Jardeheu (d'après POWER, 1974).

1 - linéation d'étirement ; 2 - plans de foliation ; 3 - gneiss ;
 4 - diorite ; 5 - filons acides ; 6 - filons basiques .

- L'amphibole : il s'agit d'une hornblende verte soulignant la linéation minérale. Elle se présente en longues baguettes souvent automorphes pouvant atteindre un centimètre. Elle a tendance à se destabililiser en chlorite et épidote.

- Le quartz : il se présente en plages xénomorphes, et montre une extinction roulante. Localement il semble orienté dans la linéation.

- La biotite : ce minéral automorphe est rarement "frais" et apparaît destabilisé en chlorite.

- Parmi les minéraux accessoires, le sphène attire l'attention car, dans certaines lames, il apparaît en section losangique de grande taille (5 à 10 mm) dans les faciès les moins déformés.

La composition minérale nous permet de donner le nom de diorite quartzique à cet ensemble plutonique de Jardeheu. Dans le diagramme de Streckeisen (1976) les points représentant la diorite se situent dans le champs des monzodiorites et des monzogabbros (Fig. 67).

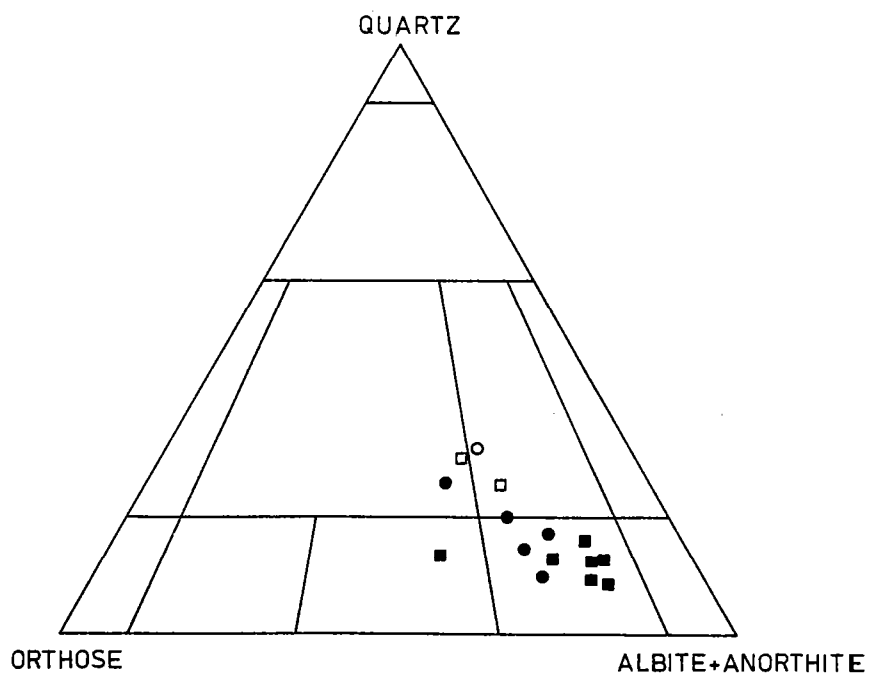


Fig.67 - Diagramme de Streckeisen - ● diorite du Moulinet ; ■ diorite de Jardeheu ; □ granodiorite de Jardeheu ; ○ granodiorite du Tas de Pois.

1.2. L'anse du Moulinet (Fig. 68)

1.2.1. La diorite du Moulinet

Sur la bordure méridionale de la presqu'île de la Hague affleure un complexe magmatique composé de plutonites intrusives dans les gneiss pentévriens. Une chronologie des venues magmatiques peut être perçue à la lumière des données géochronologiques. Une venue précoce marquée par l'orthogneiss du Moulinet vers 650 Ma (649^{+9}_{-12} , Charlot, non publié) précède un ensemble plus récent représenté par la diorite du Moulinet et le granite de Thiébot datées aux environs de 590 Ma.

La diorite du Moulinet affleure sur la côte sud de la presqu'île de la Hague. Son contact oriental, avec les formations paléozoïques se fait par faille orientée N 35 (Doré, 1969) alors que son contact occidental avec le granite de Thiébot se fait par simple différenciation magmatique (passage à la granodiorite du Tas de Pois).

Datée à 586 ± 12 Ma (Charlot, non publié) cette diorite est minéralogiquement comparable à la diorite quartzique de Jardeheu.

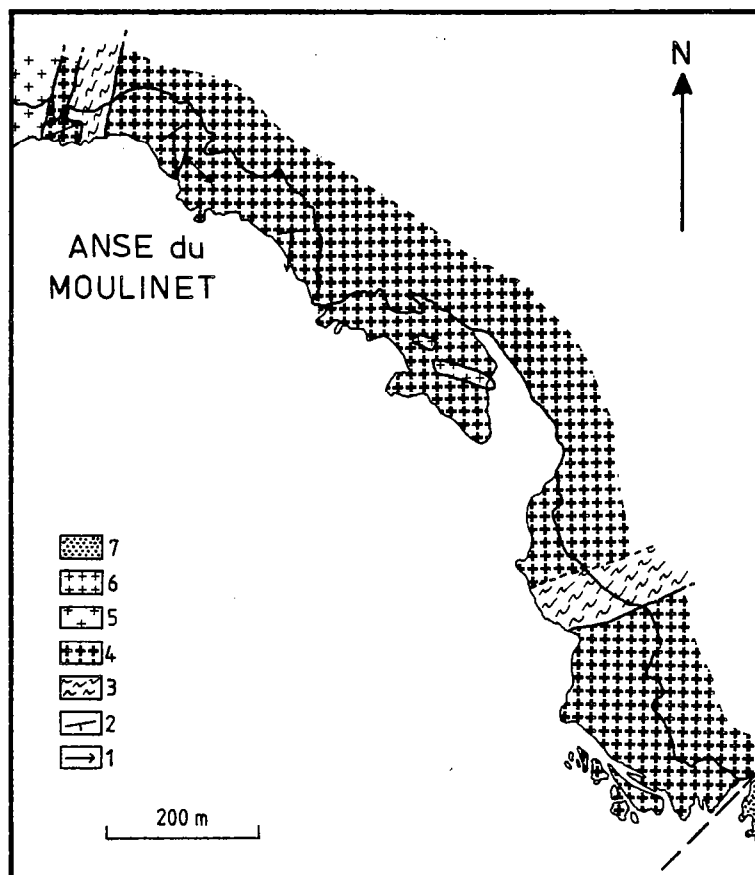


Fig.68 - L'Anse du Moulinet (d'après Power, 1974).

1 - linéation d'étirement ; 2 - plans de foliation ; 3 - gneiss ;
4 - diorite ; 5 - granite ; 6 - filon ; 7 - Paléozoïque .

La texture grenue se retrouve lors de l'étude des lames minces. Les minéraux principaux sont le plagioclase, l'amphibole, le quartz, la biotite et quelques feldspaths potassiques. Les minéraux accessoires sont : la muscovite, l'épidote, le sphène, le zircon, l'apatite et les opaques.

- Le plagioclase : il est automorphe et zoné. La zonation est soulignée par une altération en séricite. Sa teneur moyenne en anorthite (An_{40-45}) le situe dans le champ de composition de l'andésine.

- L'amphibole : minéral allongé selon la linéation d'étirement, on reconnaît une hornblende verte commune qui a tendance à se destabiliser en épidote.

- Le quartz : il est présent sous forme de plages xénomorphes et montre une extinction roulante. Il est moins abondant que dans la diorite quartzique de Jardeheu.

- La biotite : minéral automorphe, il apparaît plus ou moins chloritisé.

- Le feldspath alcalin : il s'agit d'une orthose fortement altérée.

Parmi les minéraux accessoires, le sphène ne se trouve plus, au contraire de celui de la diorite quartzique de Jardeheu, sous forme de cristaux automorphes.

Dans le diagramme de Streckeisen (Fig. 67) l'ensemble dioritique du Moulinet se trouve dans le champ des monzo-diorites.

1.2.2. La granodiorite du Tas de Pois

Située dans le prolongement occidental de la diorite quartzique du Moulinet, cette roche plus leucocrate est caractérisée minéralogiquement par une augmentation des plagioclases (An_{40} = andésine) souvent altérés marquant la linéation minérale, des feldspaths alcalins (orthose) et des quartz xénomorphes à extinction roulante.

Les minéraux colorés, biotite souvent chloritisée et hornblende, sont moins fréquents que dans la diorite du Moulinet et ne représentent plus que 10 à 15 % de la minéralogie de la roche.

Les minéraux accessoires sont : la muscovite, l'apatite, le zircon et parfois l'épidote. Notons l'absence de sphène.

2. GEOCHIMIE

Une compilation des données géochimiques (Power, 1974; Dissler, 1987) sur les massifs étudiés est effectuée. La composition moyenne en éléments majeurs des intrusions du Moulinet, de Jardeheu et du Tas de Pois est donnée dans les tableaux ci-après :

	DIORITE QUARTZIQUE DE JARDEHEU							GRANODIORITE DE JARDEHEU	
	G.M.P.3	G.M.P.4	G.M.P.5	P.S.38	P.S.52	P.S.68	J.2	P.S.62	P.S.67
SiO ₂	59.23	60.08	57.60	53.85	58.10	61.05	57.64	66.20	65.30
Al ₂ O ₃	16.77	16.67	17.99	17.92	17.52	18.35	17.99	16.00	16.00
FeO *	6.15	5.98	5.97	10.70	7.21	6.24	5.97	5.21	5.38
MgO	4.03	3.71	2.84	3.15	2.74	1.45	2.84	1.19	1.47
CaO	6.66	6.16	7.42	6.18	6.16	1.73	7.42	1.39	2.43
Na ₂ O	3.54	3.67	3.77	3.00	3.36	3.84	3.77	3.64	3.82
K ₂ O	1.90	2.04	1.87	2.12	1.94	5.19	1.87	3.61	3.20
TiO ₂	0.91	0.85	1.18	1.01	1.06	0.73	1.18	0.15	0.72
MnO	0.07	0.07	0.14	0.13	0.07	0.10	0.14	0.06	0.10
P ₂ O ₅	0.37	0.35	0.46	n.d.	n.d.	n.d.	0.46	n.d.	n.d.
P.F.	n.d.	n.d.	0.68	2.20	1.13	1.87	1.00	1.55	1.47
Total	99.63	99.58	99.92	100.26	99.29	100.55	100.28	99.00	99.89

	DIORITE DU MOULINET					GRANODIORITE DU TAS DE POIS
	F.G.91	F.G.92	F.G.95	G.M.P.1	G.M.P.2	F.F.G.96
SiO ₂	61.79	59.25	57.01	57.40	58.60	69.59
Al ₂ O ₃	17.06	16.52	16.86	17.49	17.49	14.56
FeO *	6.65	6.79	7.41	6.69	6.73	3.77
MgO	2.83	3.18	3.82	3.50	3.50	0.97
CaO	0.28	5.08	3.48	5.55	4.52	1.43
Na ₂ O	3.54	3.32	3.35	3.00	3.00	4.07
K ₂ O	3.62	2.48	2.92	2.93	3.30	3.36
TiO ₂	0.89	0.84	0.96	0.85	0.85	0.50
MnO	0.09	0.12	0.15	0.12	0.12	0.07
P ₂ O ₅	0.09	0.05	0.19	0.21	0.21	0.09
P.F.	2.91	2.19	2.52	1.82	1.78	1.63
Total	99.75	99.82	98.67	99.56	100.10	100.04

F.G. -- F. GRESSELIN
 G.M.P.-- G.M. POWER (1974)
 P.S. -- P. SIMON (1979)
 J. -- JEREMINE (1930)

2.1. Mise en évidence du caractère calco-alcalin

Les différentes compositions sont portées dans le diagramme AFM (Kuno, 1968). L'appartenance de ces différents massifs à une lignée calco-alcaline est parfaitement déterminée (Fig. 69).

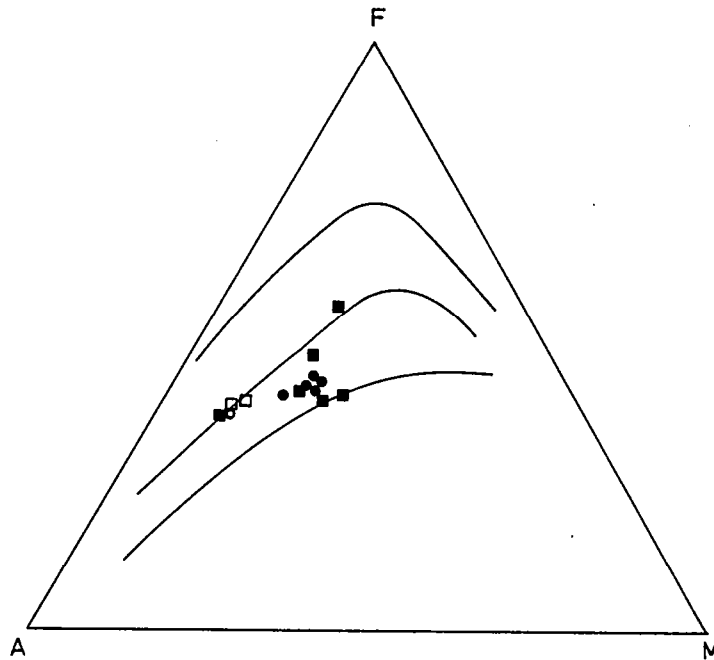


Fig.69 - Diagramme A.F.M. - ● diorite du Moulinet ; ■ diorite de Jardeheu ; □ granodiorite de Jardeheu ; ○ granodiorite du Tas de Pois.

2.2. Analyse des éléments traces

L'étude des compositions en éléments traces dans les granodiorites et granites du batholite de la Hague fait apparaître des teneurs moyennes proches de celles relevées dans le batholite Nord Trégorrois (Dissler, 1987).

3. CONCLUSION

La pétrographie des diorites du Moulinet et de Jardeheu laisse apparaître une analogie de faciès entre ces deux massifs.

La caractérisation géochimique de l'ensemble magmatique de la Hague permet de mettre en évidence :

- la tendance calco-alcaline de ce plutonisme cadomien.
- la similitude avec le batholite Nord Trégorrois.

De plus Dissler (1987) interprète les granitoïdes du batholite de la Hague comme des ensembles calco-alcalins subcontemporains représentant les différents stades d'un processus de cristallisation fractionnée affectant un ou plusieurs magmas issus d'une source profonde.

III STRUCTURATION CADOMIENNE

Au Nord de l'axe Coutances-Saint Lô considéré par Dupret et Le Gall (1984) comme une zone d'intense déformation cadomienne, seule une structuration varisque d'après ces mêmes auteurs affecte l'ensemble des formations briovériennes du Nord Cotentin.

Cependant, des travaux récents (Dupret et Dissler, 1986; Dissler, 1987, Dissler et Gresselin, 1987) apportent la preuve de la présence d'une structuration cadomienne dans la région du Val de Saire, sur le Platier de Bretteville en Saire et le long du littoral Cherbourg-la Hague.

L'étude de la déformation syntectonique des diorites de Jardeheu et du Moulinet vient confirmer la présence de cette structuration d'âge Protérozoïque supérieur.

1. Mise en évidence d'une déformation syn-mise en place

Echappant à la structuration hercynienne, les granitoïdes du Batholite de la Hague (Jardeheu, Moulinet et Tas de Pois), sont affectés par une déformation syncinématique. Les contraintes varisques engendrent cependant des "rotations de bloc" (Dissler, 1987) dans tout le batholite.

1.1. La diorite quartzique de Jardeheu

A l'affleurement, cette roche apparait déformée. Le passage de faciès plus ou moins déformés à un faciès mylonitique avec apparition de plans C/S voire C' dans les zones les plus déformées, nous montre le caractère cisailant et ductile de la déformation.

1.1.1. La linéation

Il s'agit d'une linéation d'étirement essentiellement marquée par l'axe C des hornblendes allongées selon l'axe X mais aussi par le grand axe des cristaux de plagioclase et par des sphènes automorphes.

Nettement visible à l'oeil nu, elle est portée par les plans de foliation et marque une direction d'étirement d'orientation générale NNW - SSE (N160) (Fig. 70a).

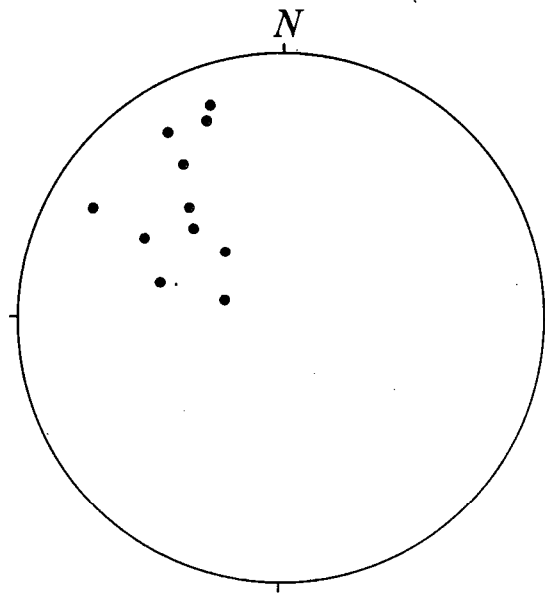
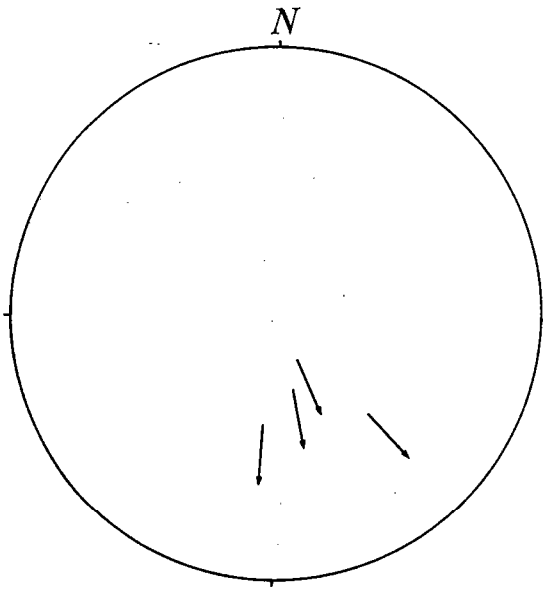


Fig.70a - Linéation d'étirement

Fig.70b - Pôles des plans de foliation

dans la diorite de Jardeheu.

1.1.2. Les plans de foliation

Orientés N20 à N70 et à pendage sud, ces plans sont clairement marqués dans le massif de la Pointe de Jardeheu (Fig. 70b). Ils correspondent aux plans de cisaillement C.

L'orientation de ces surfaces (N50) se fait selon une direction caractéristique des grands accidents cadomiens connus en Normandie.

1.1.3. Les critères de cisaillement

De nombreuses zones de cisaillement sont observables aussi bien à l'échelle de l'échantillon qu'à l'échelle de la lame mince.

1.1.3.1 A l'échelle de l'échantillon

L'apparition des surfaces C relativement espacées dans les faciès les moins déformés marque le début de la structuration. Dans les faciès les plus touchés par la déformation, l'augmentation de la déformation se concrétise par l'apparition de surfaces C'. L'orientation de ces surfaces C ou C' reste constante et montre dans tous les cas de figures un sens de cisaillement allant du Sud vers le Nord (Fig. 71).

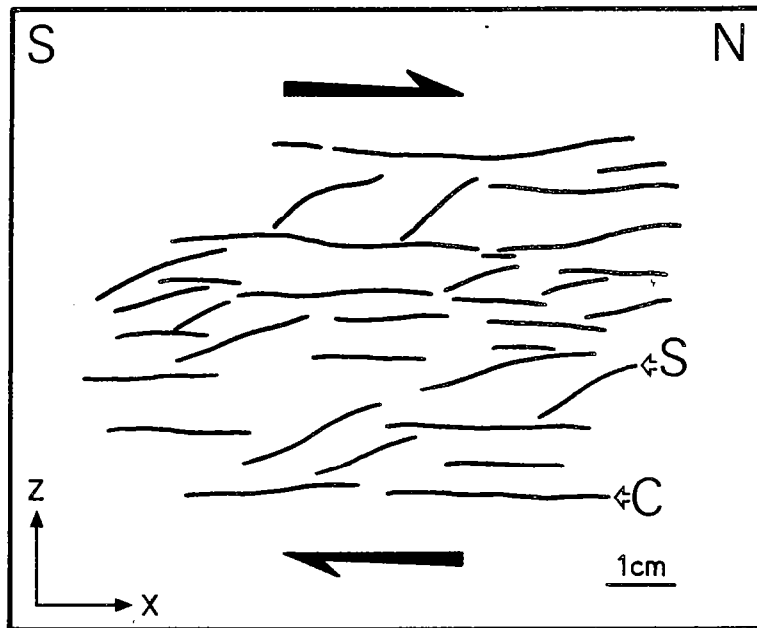


Fig.71 - Plans C/S en section XZ, échelle macroscopique.

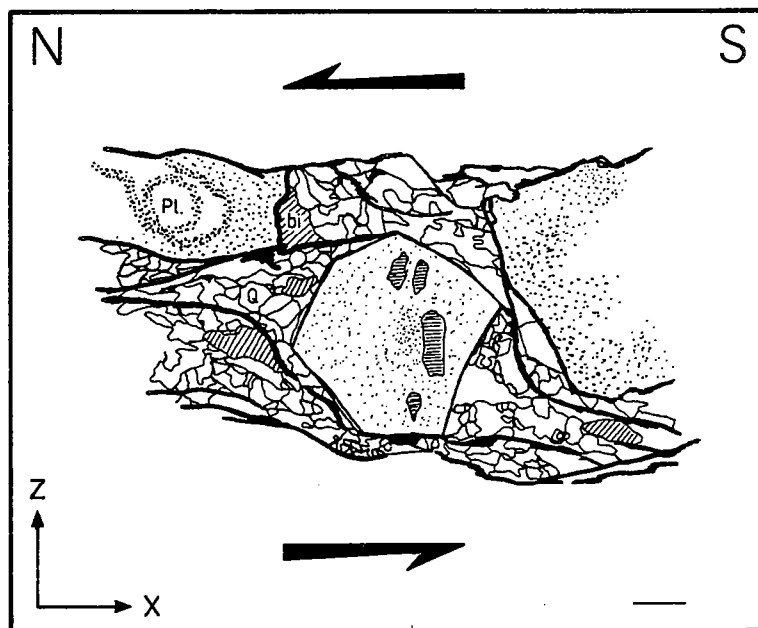


Fig.72 - Critère de cisaillement en section XZ, échelle microscopique - (le trait = 0,4 mm). PL - plagioclases ; bi - biotite ; Q - quartz.

1.1.3.2 A l'échelle microscopique

Dans les plans XZ, des critères de cisaillement dissymétriques peuvent être observés : les zones abritées autour des plagioclases, les quartz cristallisant selon une direction privilégiée. Dans chaque cas, le sens du cisaillement est constant et montre un mouvement du Sud vers le Nord (Fig. 72).

1.1.4. Conclusion

Le caractère cisaillant de la déformation syntectonique du massif de Jardeheu est donc mis en évidence. La transformation, au sein du massif, d'une diorite au faciès isotrope en une mylonite traduit une forte augmentation de la déformation (gradient de déformation).

Que ce soit à l'échelle de l'échantillon ou à celle de la lame mince, de nombreux critères de déformation sont observables.

Les critères de déformation sont tous des critères de cisaillement caractéristiques d'une déformation non coaxiale indiquant un sens de mouvement du Sud vers le Nord.

1.2. La diorite du Moulinet et la granodiorite du Tas de Pois

Cet ensemble plutonique daté à 586 ± 5 Ma (Charlot, non publié) et affecté par une déformation syncinématique apporte la preuve l'existence d'une déformation cadomienne dans le massif plutonique de la Hague.

1.2.1. La linéation

Il s'agit d'une linéation d'étirement essentiellement marquée par l'allongement des hornblendes (axe C) selon l'axe X ainsi que par le grand axe des plagioclases. Une fracturation interne associée caractérise également cette linéation d'étirement.

Dans les faciès plus leucocrates de la granodiorite de l'anse du Tas de Pois, la linéation d'étirement est soulignée par l'allongement des quartz et des feldspaths.

La direction, identique dans les deux massifs plutoniques, est sensiblement Nord-Sud (Fig. 73a).

1.2.2. Les plans de la foliation

D'orientation moyenne et constante dans tout le massif ces plans, orientés N50-N60 et à pendage sud, portent la linéation d'étirement (Fig. 73b). Ils sont bien visibles sur le terrain où ils permettent par endroit le débit en dalle de la granodiorite.

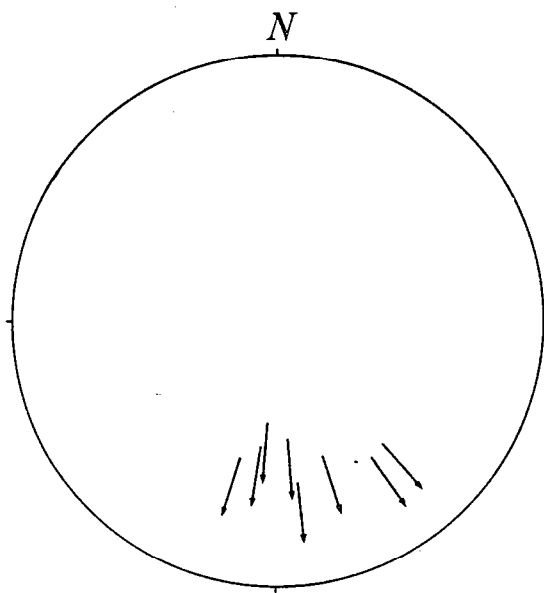


Fig.73a - Linéation d'étirement

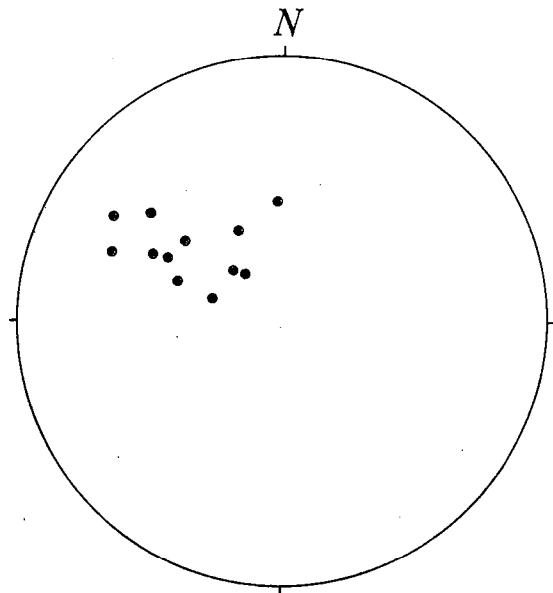


Fig.73b - Pôles des plans de foliation

1.2.3. Les critères de cisaillement

En section XZ de nombreux critères de cisaillement sont observables. Au cours du passage d'un faciès presque isotrope à un faciès mylonitique, on voit apparaître et se multiplier les plans de cisaillement C pour aboutir dans les stades ultimes observés (Fig. 74a et b), à l'apparition de plans de cisaillement C'.

En lame mince, la présence de zones abritées dissymétriques autour de feldspaths brisés (Fig. 75) permet de caractériser la cinématique de la déformation.

Que ce soit à l'échelle de l'échantillon ou à celle de la lame mince, le sens de mouvement est constant du Sud vers le Nord.

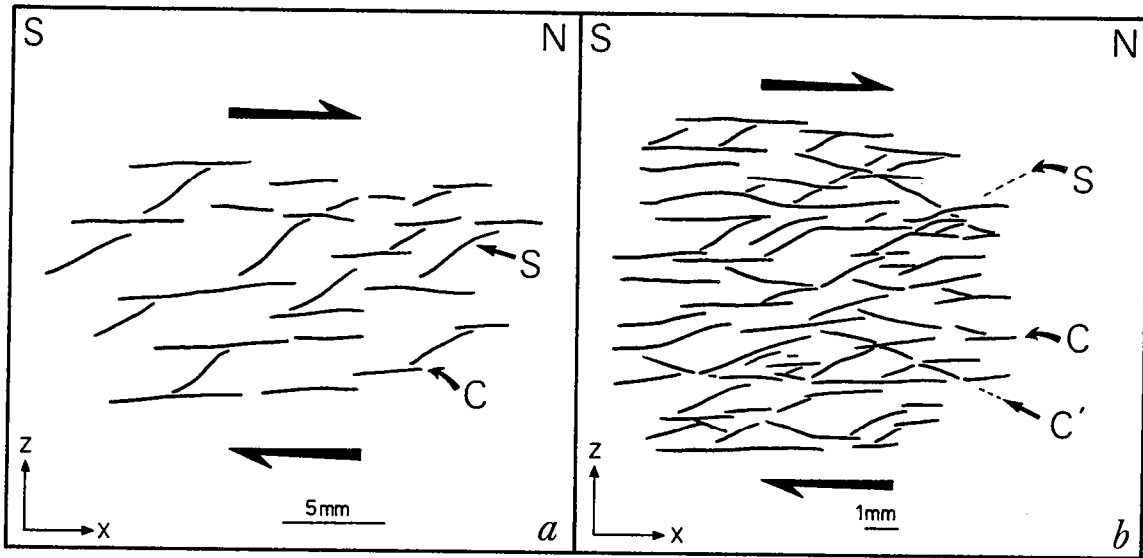


Fig.74 - Plan C/S et C'-en section XZ dans la diorite du Moulinet - échelle macroscopique.

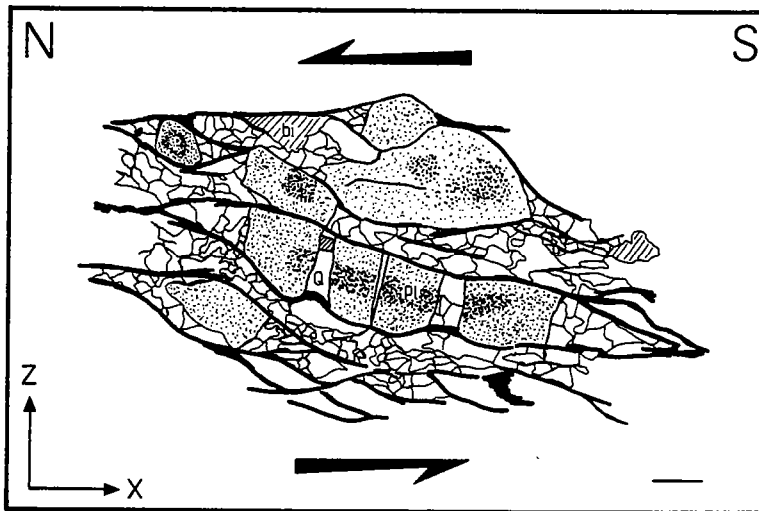


Fig.75 - Section XZ dans la diorite du Moulinet, échelle microscopique (le trait = 0,4 mm). Pl - plagioclases ; Q - quartz ; bi - biotite.

1.2.4. Conclusion

Le caractère cisailant et syntectonique de la déformation affectant les massifs du Moulinet et du Tas de Pois est donc mis en évidence. La présence d'un gradient de déformation, de critères de cisaillement traduisent le régime non coaxial d'une déformation ductile cadomienne.

Le sens de déplacement se fait du Sud vers le Nord comme l'indiquent les plans C/S et les critères de cisaillement dans les plans XZ (échelles macroscopique et microscopique).

2. CONCLUSION

Dans les différents massifs dioritiques cadomiens datés ou rattachés à l'orogénèse cadomienne par analogie de faciès, la cristallisation sous contrainte lors de la mise en place de ces plutons a été mise en évidence.

La déformation cadomienne (Fig. 76) est donc marquée par :

- une linéation d'étirement globalement N-S
- des plans de foliation orientés N50 à pendage sud.

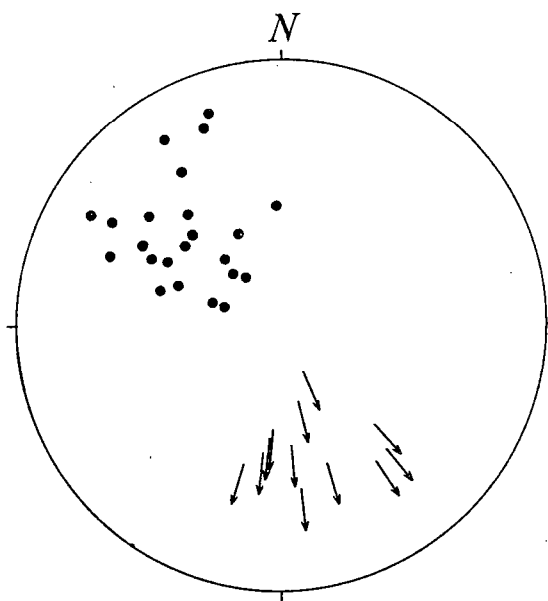
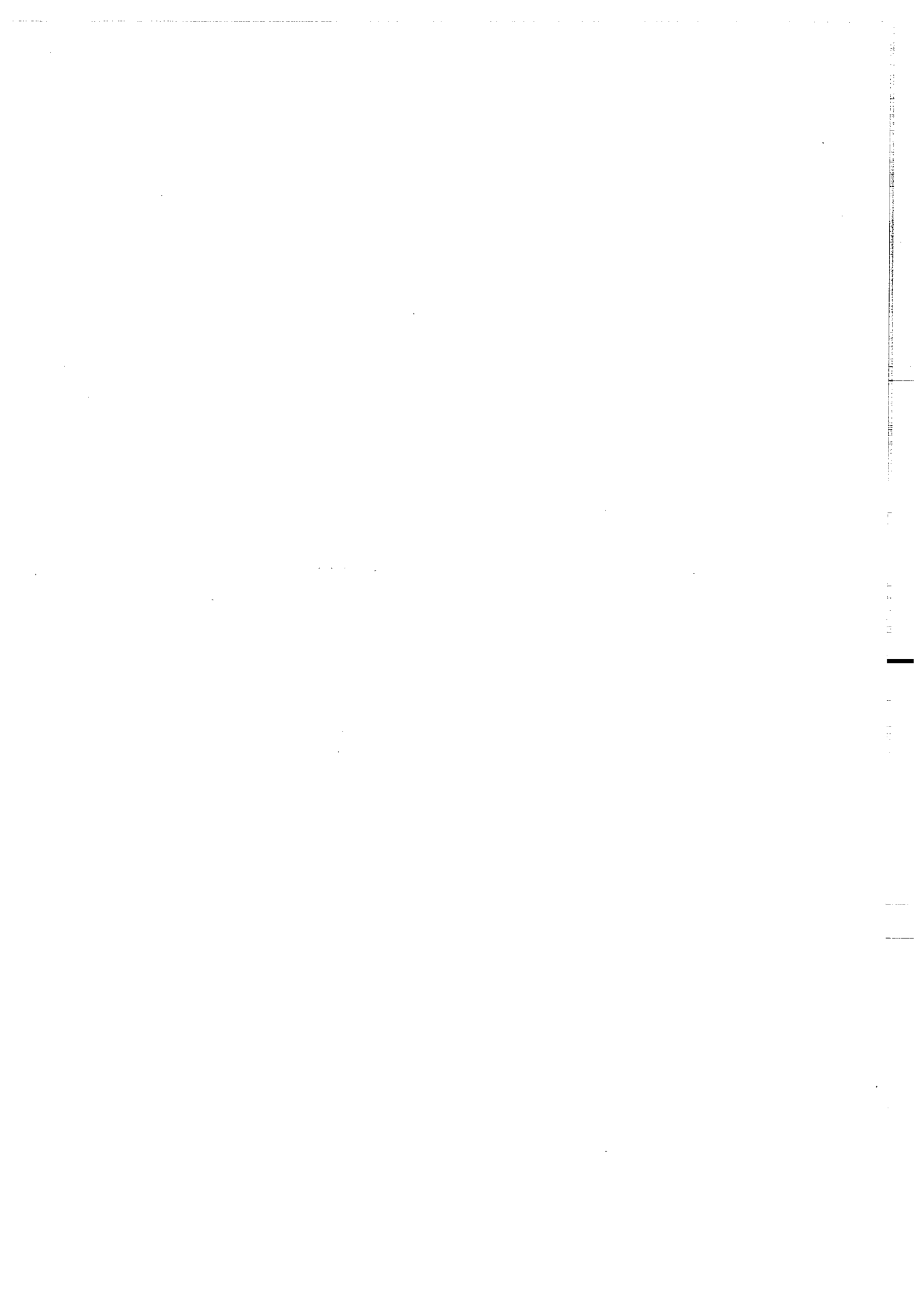


Fig.76 - Stéréogramme de la région de La Hague (Jardeheu, Moulinet et Tas de Pois).

- une déformation cisailante ductile visible à différentes échelles (terrain, échantillon, lame mince).
- de nombreux critères de cisaillement indiquant un sens de mouvement du Sud vers le Nord (des zones abritées dissymétriques autour des porphyroclastes de plagioclase).

Dans le batholite de la Hague, malgré l'existence d'une déformation hercynienne traduite par d'importants cisaillements engendrant des "rotations de bloc" (Dissler, 1987), l'existence d'une vergence nord pour la chaîne cadomienne ne semble faire aucun doute.



conclusion de la

1ère PARTIE

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

CONCLUSION DE LA 1ère PARTIE

D'un point de vue géologique (structural et métamorphique) l'orogénèse cadomienne en Normandie est marquée par la double vergence de la chaîne.

La vergence Nord visible dans le Nord du Cotentin, dans la presqu'île de la Hague, a été mise en évidence par le caractère syncinématique du plutonisme daté à 585 Ma. Cette vergence Nord s'accorde avec les travaux de Dissler (1987) qui, dans le Val de Saire (région située au Sud du granite hercynien de Barfleur), caractérise la déformation cadomienne par une chaîne à vergence nord.

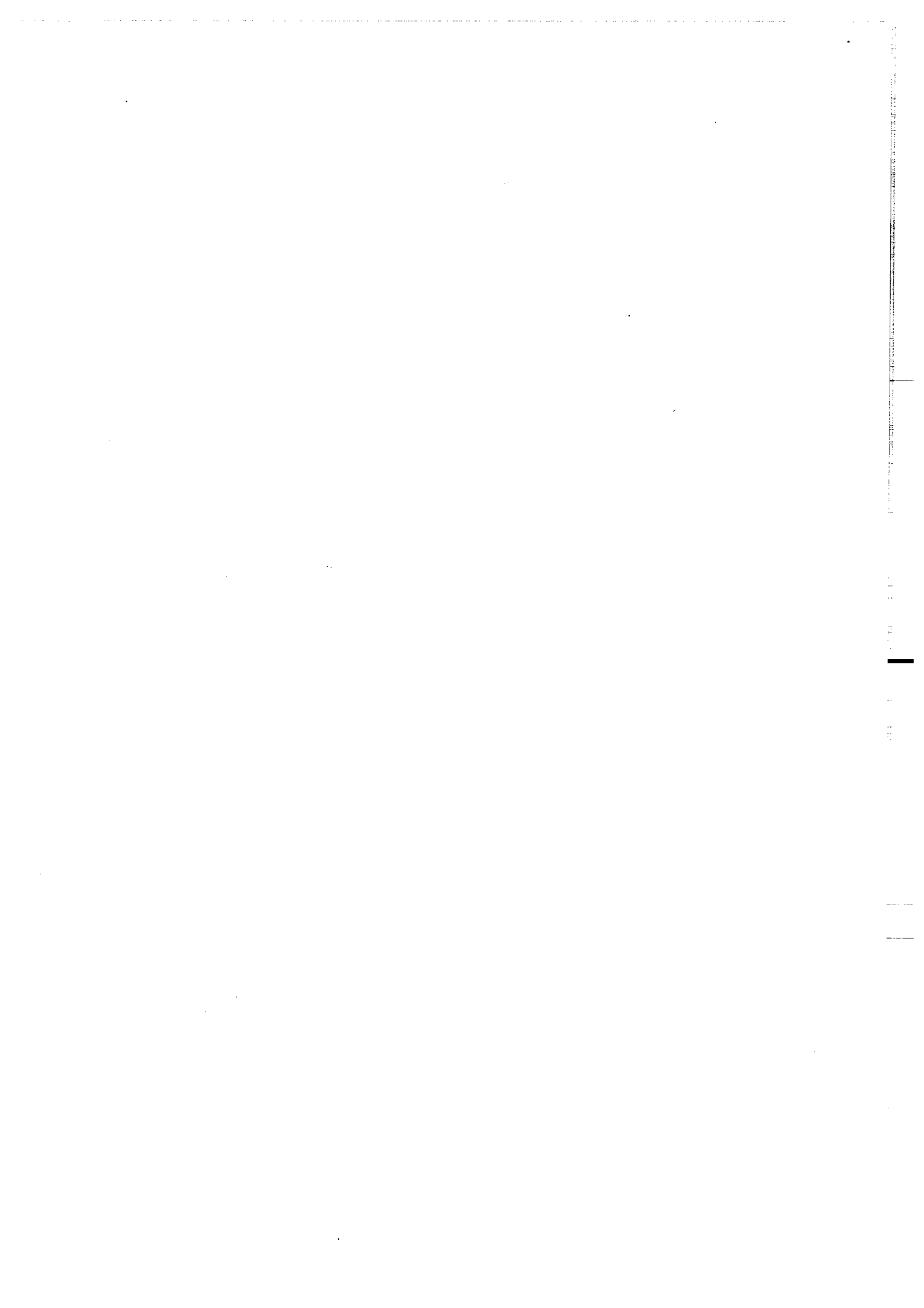
La vergence Sud caractérise la structuration de la région de Coutances - Granville où une déformation unique continue s'étendant sur la période 585-550 Ma peut être mise en évidence. Ce sens de vergence, vers le Sud, s'oppose au schéma de Dissler (1987), Dissler et al. (1988) et Dupret (1984) qui pour cette région comme pour la région nord du Cotentin propose une déformation cadomienne chevauchante vers le Nord. Par contre cette vergence Sud est en accord avec les travaux récents de Balé et Brun (1983), Balé (1986) portant sur l'étude de l'orogène cadomien en Bretagne Nord. L'étude du métamorphisme (construction d'un chemin Pression-Température) liée à une étude structurale de la région de Coutances confirme cette hypothèse de chevauchement vers le Sud en s'inscrivant dans un modèle caractéristique d'un contexte géodynamique de collision selon le processus : chevauchement → épaissement crustal → remontée → érosion.

Cette double vergence s'inscrit dans un modèle de subduction vers le SE où la vergence nord représente la trace de chevauchements synthétiques alors que la vergence sud caractérise les chevauchements antithétiques à la subduction (carte hors texte).

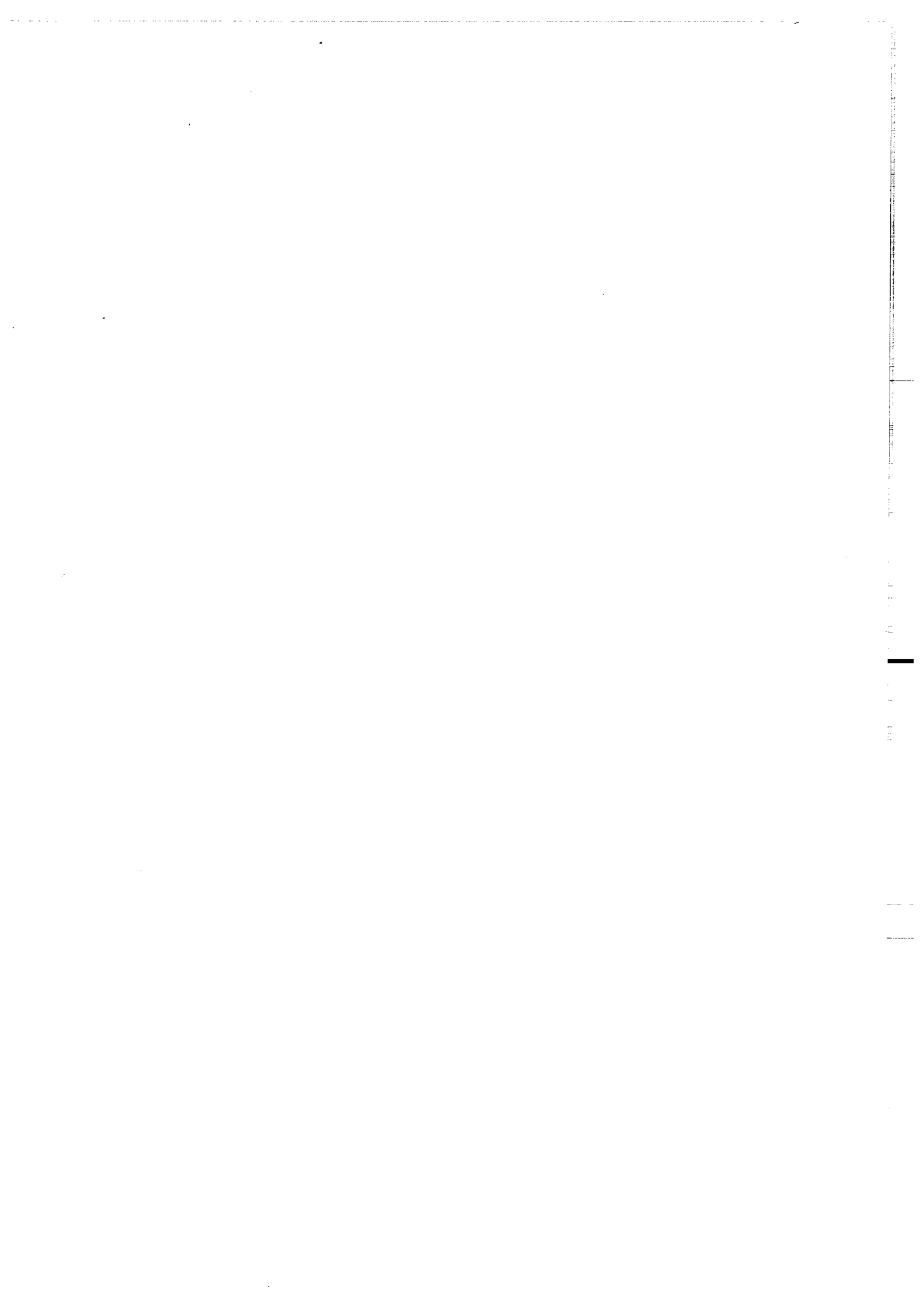
Afin de compléter cette étude de l'orogénèse cadomienne dans cette région nord-armoricaine, une étude essentiellement géophysique aussi bien à terre qu'en mer est l'objet de la seconde partie. Deux méthodes, magnétique et sismique, y seront développées et leurs résultats comparés à la structuration reconnue à terre. Nous verrons que la double vergence de la chaîne cadomienne est également envisagée après cette étude géophysique (tant magnétique que sismique). De plus ce travail a l'avantage de permettre de "combler le trou" existant entre la Normandie et la Bretagne Nord, facilitant ainsi un essai de synthèse de l'orogénèse cadomienne dans le Nord du Massif Armoricaïn.

2ème PARTIE

ETUDE GEOPHYSIQUE
DE L' OROGENE CADOMIEN
DANS LE NORD
DU MASSIF ARMORICAIN
ET EN
MANCHE OCCIDENTALE



INTRODUCTION AUX MODELISATIONS MAGNETIQUES



LES MODELISATIONS MAGNETIQUES

1. LES DONNEES

1.1. Origine des données

Les données magnétiques couvrant la région étudiée proviennent de différents levés. Leurs caractéristiques techniques sont exprimées dans le tableau A.




NOM DU LEVER	FRANCE	S.A.P.A.	GRANDE-BRETAGNE	
Zone de couverture			 PORTLAND WIGHT	
Année	1964-1965	1964	1965	
Opérateur	C.G.G.	S.A.P.A.	Applied Geophysical Unit Institut of Geological Sciences.	
Commanditaire	C.N.R.S.	S.N.P.A.	Geological Survey.	
Magnétomètre	C.S.F.	-	-	
Altitude de vol	3000 m.	600 m.	500 pieds 1000 " 1800 "	1000 pieds 1800 "
Espacement des lignes de vol	10 Km.	20 Km.	0.4 Km. 2 Km.	2 Km.
Orientation des profils	Nord-Sud	Nord-Sud	Nord-Sud	

Tableau A - Caractéristiques techniques des levés magnétiques aéroportés.

Deux méthodes de prospection ont été employées :

- les levés aéromagnétiques effectués à des altitudes diverses (fig.77):
 - . Lever aéromagnétique "volé" à 3 000 m (BRGM - CNRS, France).
 - . Lever aéromagnétique "volé" à 600 m (SAPA - SNPA, France).
 - . Lever aéromagnétique de Grande Bretagne (carte de Portland et de l'Ile de Wight).

En Manche Occidentale (Fig 77), on peut remarquer la très bonne couverture magnétique de la suture de la Manche proposée par Lefort (1975, 1977).

- le lever magnétique hydroremorqué (Edward, 1987). Effectué à l'aplomb des profils SWAT en Manche Occidentale et en Mer Celtique, il est jusqu'à ce jour confidentiel et ne pourra donc faire l'objet d'aucune étude approfondie.

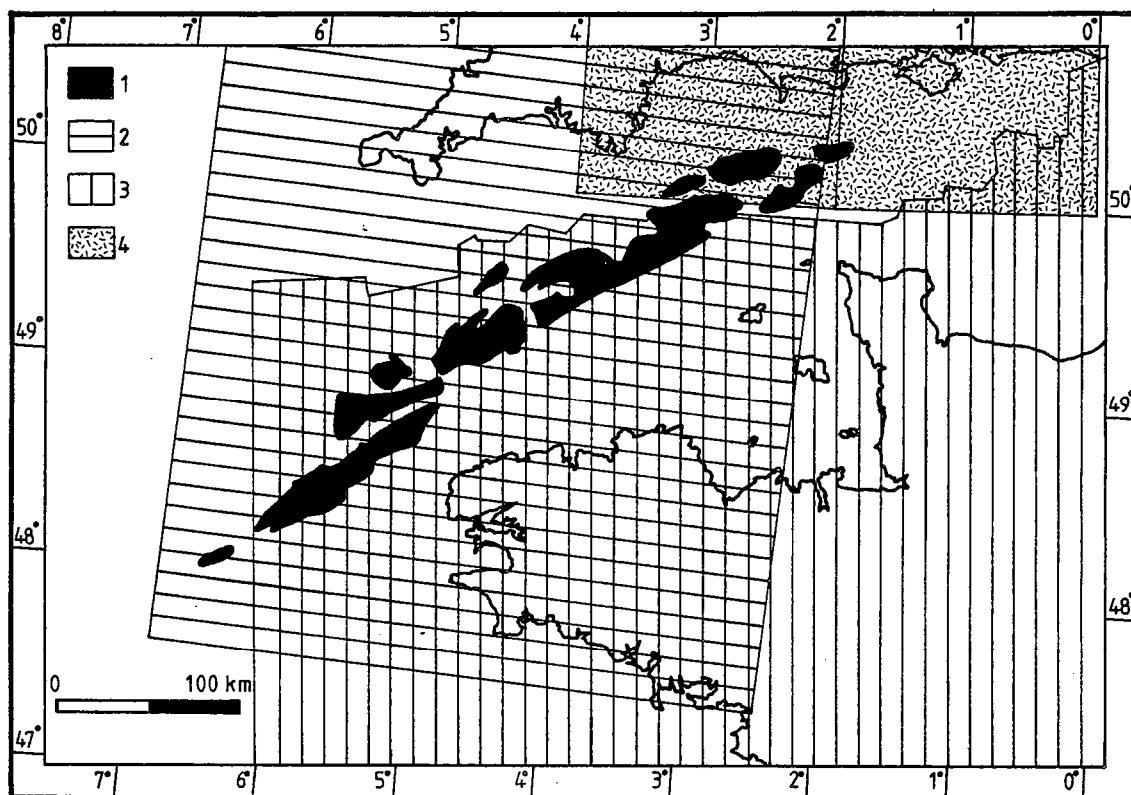


Fig.77 - Localisation des levés magnétiques aéroportés couvrant la zone étudiée.

1 - anomalie magnétique de la Manche ; 2 - lever SAPA-SNPA "volé" à 600 m ; 3 - lever BRGM-CNRS "volé" à 3000 m ; 4 - lever anglais .

1.2. Forme des données

Le but de toute prospection magnétique est d'obtenir des données, aussi détaillées que possible, sur le champ magnétique de la croûte terrestre. Les différences entre les propriétés magnétiques des formations géologiques engendrent des anomalies magnétiques. C'est à ces fins que des mesures de l'intensité du champ total, généralement acquises lors de levés le long de lignes, appelées profils magnétiques, après diverses corrections (dont l'enlèvement de la diurne) sont exploitables sous la forme d'anomalies de l'intensité du champ total.

Les profils magnétiques constituent les données brutes. Une interpolation des valeurs mesurées le long des différents profils d'un lever magnétique permet de tracer une carte magnétique d'isovaleurs ; celle-ci étant en fait, une carte d'anomalie du champ total. (Noter que l'information n'est réelle qu'à l'aplomb du profil le long duquel a été acquis l'information). C'est sous cette forme interpolée que sont disponibles les cartes suivantes .

1.2.1. Carte d'anomalies du champ total de la France

Cette carte, "volée" à 3 000 m, au 1/1000000 ème est disponible sous deux formes :

- La première : établie à partir des points P1 lissés sur 110 secondes (édition du CNRS, 1965), exprime particulièrement bien les anomalies qui ont pour source soit un corps, soit une structure d'origine profonde.

- La seconde : établie à partir des points P2 lissés sur 11 secondes (édition du BRGM, 1969) laisse apparaître les anomalies proches de la surface (Autran et Weber, 1971).

1.2.2. Carte d'anomalies du champ total effectuée par la SAPA-SNPA

Cette carte "volée" à 600 m, au 1/500 000ème, est disponible sous la forme suivante :

- Une feuille Est couvrant la Manche Occidentale.
- Une feuille Ouest couvrant la Mer Celtique.

Les lignes de vol espacées de 20 km et l'altitude de vol de 600 m rendent l'exploitation de cette carte délicate. Il faut, cependant, remarquer que les anomalies observées sur cette carte sont en tout point semblables à celles rencontrées sur la carte "volée" à 3 000 mètres.

Le prolongement vers le haut, à 3 000 m, de certains profils à d'ailleurs permis de comparer les deux levés aéromagnétiques : leur similitude nous amène à utiliser dans la plupart des cas la carte SAPA-SNPA avec le souci toujours présent d'effectuer des modélisations sur des profils situés à proximité des lignes de vol afin de minimiser les incertitudes.

1.2.3. Les cartes d'anomalies du champ total de Grande Bretagne

Réalisées par le "Geological Survey", elles sont, par suite de leur faible altitude de vol, porteuses d'une information dense se caractérisant souvent par une multitude d'anomalies dues à des structures voisines.

Parallèlement aux cartes d'anomalies du champ total existent des cartes transformées. Il est utile de souligner que ces traitements n'apportent pas d'informations nouvelles qui ne soient déjà contenues dans la carte d'anomalies du champ total. Les transformations apportées sont destinées à accentuer ou à préciser les anomalies de grandes longueurs d'ondes (structures, sources profondes) au détriment des anomalies de courtes longueurs d'ondes (structures, sources superficielles) ou inversement.

Les traitements existant sont le gradient vertical avec réduction au pôle et le prolongement vers le haut ou vers le bas.

Ainsi, d'une part existe pour la France à partir du lever France 3 000 m : la carte du champ réduit au pôle (3 000 m) (Le Mouel, 1970) et la carte du champ prolongé vers le haut à 13 km (le Mouel, 1969) ; d'autre part, pour la région étudiée (partie Est du Golfe Normano-Breton) une carte du gradient vertical réduit au pôle prolongé de 1 000 m vers le bas (à partir du lever "volé" à 3 000m). Cette carte (Lefort, inédit) ne fera l'objet d'aucune exploitation durant cette étude.

2. METHODES D'INTERPRETATION

"Un document résultant de mesures géophysiques n'a de valeur que par l'interprétation qui en est faite" (Gérard, 1973). L'interprétation des résultats géophysiques nécessite un aspect qualificatif et un aspect quantitatif. Afin d'apprécier au mieux ces deux aspects, l'interprétation de l'Anomalie de la Manche et des anomalies situées au Sud de ce marqueur magnétique a été appréhendée de la façon suivante :

- l'interprétation qualitative consiste à définir sur la carte la position et la forme des structures-sources à partir de l'anomalie observée. Après avoir reconnu sur cette anomalie son sens d'allongement (quand il existe), un profil magnétique rabattu sera effectué de façon à ce qu'il recoupe au mieux le sens d'allongement de l'anomalie. En pratique, le profil doit être le plus proche possible de la perpendiculaire au sens d'allongement.

Ayant ainsi isolé une anomalie, elle pourra être comparée à des abaques (Fig. 78) et nous permettra de trouver un modèle de source (filon, plaque mince, ou faille).

- l'interprétation quantitative consiste à évaluer les paramètres géométriques (profondeur et largeur du toit, pendage du corps) et physiques (susceptibilité) caractéristiques des sources.

Ainsi quelle que soit la méthode utilisée, cette interprétation se heurte à un obstacle majeur :

- si théoriquement, il est toujours possible de calculer l'anomalie due à un modèle (problème direct), le problème inverse reste indéterminé car à toute anomalie peut être associée une infinité de structures sources possibles.

Il faut donc jamais perdre de vue que la solution trouvée n'exclut aucunement la possibilité d'autres solutions toutes aussi semblables (Kiro, 1980).

Aussi, afin de contraindre nos modèles du mieux possible et de trouver la solution la plus probable, toute cette étude a été associée à une connaissance de la géologie des terrains voisins et à la détermination quand cela était possible de certains paramètres physiques ou géométriques des sources.

Signalons, d'autre part, que les méthodes d'interprétation utilisées dans cette étude, sont exclusivement bidimensionnelles.

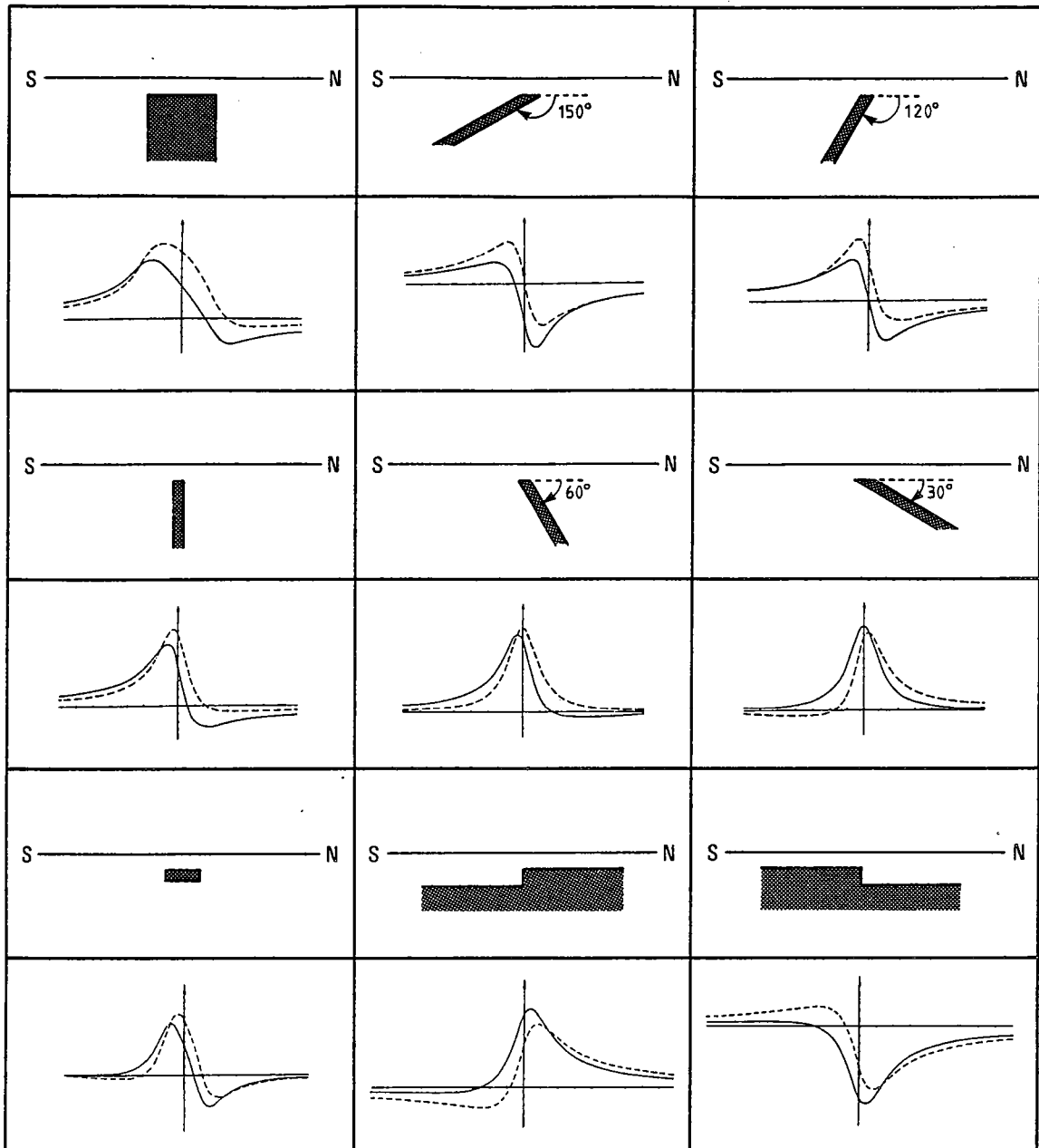


Fig.78 - Anomalies magnétiques théoriques obtenues dans l'hémisphère nord sous l'action de corps, filons, plaques minces et failles pour une inclinaison de 60° N.

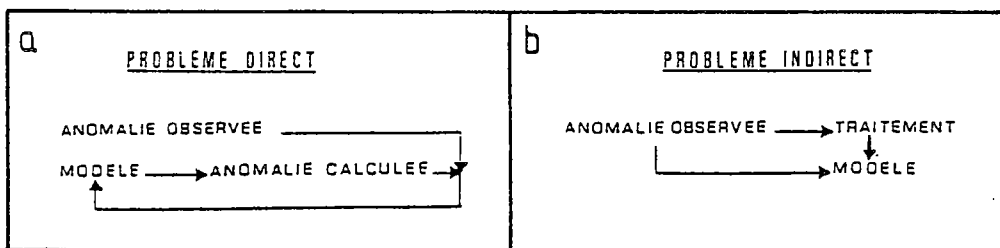


Fig.79 - Formulation du problème direct (a) et du problème indirect (b) (d'après Vignerresse, 1978).

2.1. Les méthodes directes

Ces méthodes énoncées en terme de problème direct (Fig. 79) consistent en une comparaison de l'anomalie observée avec différentes anomalies calculées à partir de structures de géométrie fixée. La structure reconnue comme "modèle source" est celle dont l'effet se rapproche le plus de l'effet observé.

Ces méthodes sont en outre celles de Talwani (1964) et de Vacquier (1972). Une description sommaire de la méthode de Talwani, seule méthode directe utilisée, est donnée au paragraphe suivant .

2.1.1. Méthode de Talwani et Heirtzler (1964)

Cette méthode informatisée dont un programme est adapté en langage conversationnel à la HP 9845 (de Poulpiquet, 1986) est basée sur le fait que, partant d'une certaine idée de la structure, on en calcule l'anomalie magnétique, puis par déformations successives de la structure, on retient celle qui conduit à la meilleure correspondance entre les valeurs observées et calculées (Vignerresse, 1978).

La section transversale d'un corps à deux dimensions de forme arbitraire est représentée par un polygone irrégulier. On exprime les expressions de l'intensité verticale, horizontale et totale de l'anomalie magnétique causée par ce corps dont l'aimantation peut être induite, rémanente ou mixte.

Bien qu'étant initialement un programme de calcul d'anomalies magnétiques causées par des structures à deux dimensions, ce programme, quand la probabilité d'existence d'une anomalie à deux dimensions est faible, fournit cependant une solution qui en première approximation est souvent acceptable (Talwani et Heirtzler, 1964).

Pour des compléments mathématiques, le lecteur peut se référer à l'article des auteurs.

2.2. Les méthodes indirectes

Ces méthodes énoncées en terme de problème indirect (fig. 79) consistent en une évaluation à partir de l'anomalie mesurée d'un certain nombre de paramètres géométriques (profondeur du toit de la structure, largeur du corps, pendage) et physiques (susceptibilité magnétique, aimantation des sources).

De nombreuses méthodes existent ; parmi celles-ci, la méthode de Koulomzine, Lamontagne et Nadeau (1970) et celle de Spector et Grant (1970) feront l'objet d'un développement particulier.

2.2.1. Méthode de Koulomzine, Lamontagne et Nadeau (1970)

Cette méthode s'applique aux structures à deux dimensions de type dyke, allongées indéfiniment suivant Oy, de largeur L ($L = 2e$) suivant Ox, de pendage p, et illimitées en profondeur (Fig 80). L'aimantation est supposée induite et uniforme sur le dyke.

Cette méthode (Fig. 81) comporte :

- une analyse mathématique utilisant des points conjugués choisis de part et d'autre du maximum de la courbe d'anomalie $F(x)$ permet de déterminer sur le profil l'aplomb du centre du dyke et la valeur du champ normal.

- puis l'anomalie $F(x)$ est décomposée en une composante symétrique $S(x)$ (arctangentielle) et une composante antisymétrique $A(x)$ (Logarithmique).

$$F(x) = S(x) + A(x)$$

- enfin l'interprétation elle-même qui est faite indépendamment sur les courbes $S(x)$ et $A(x)$

Les résultats obtenus pour la hauteur, la largeur et le pendage de la structure doivent être théoriquement comparables dans les deux cas.

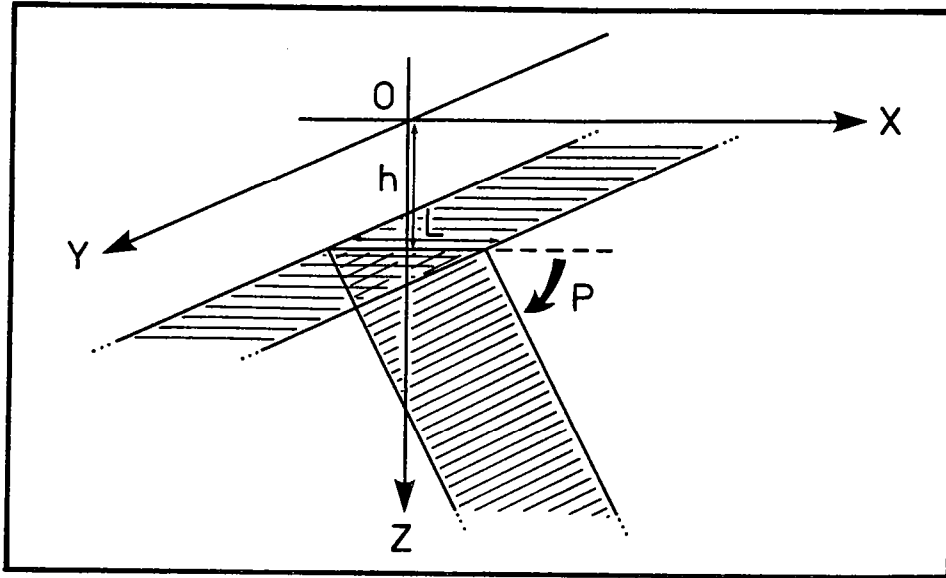


Fig.80 - Modèle de dyke infini (méthode de Koulomzine et al., 1970).

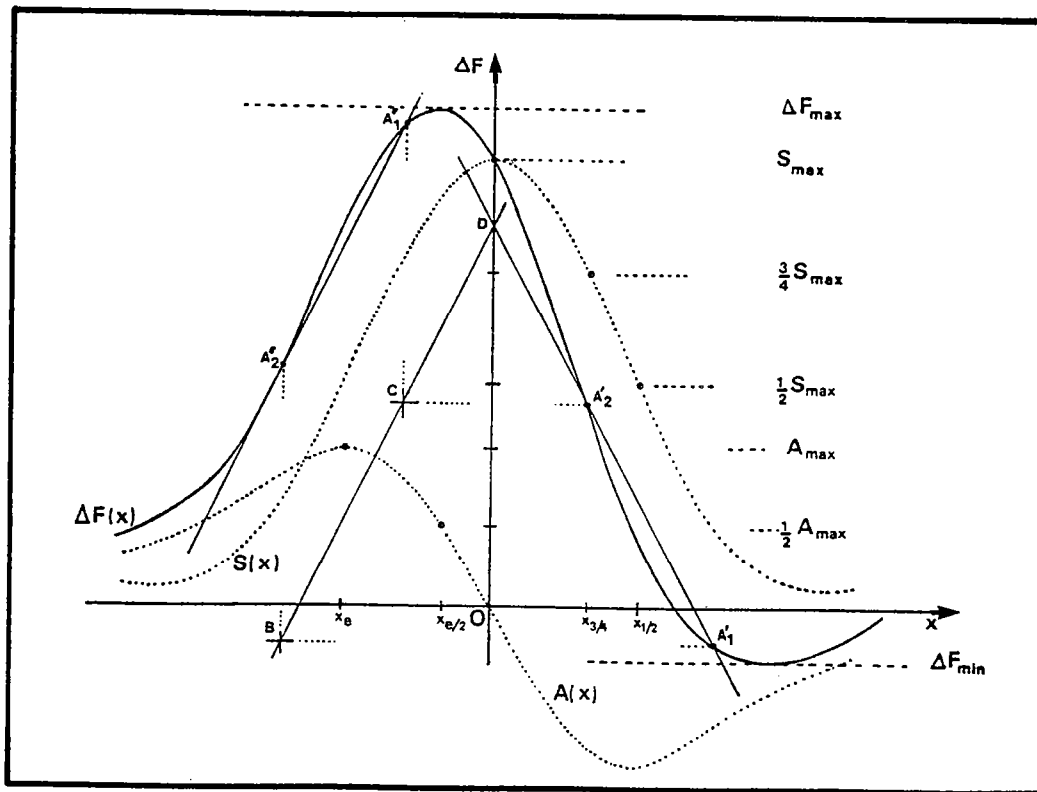


Fig.81 - Illustration de la méthode de Koulomzine, Lamontagne et Nadeau (1970). In Kothé, 1980.

Cette méthode est mise en défaut quand la structure responsable de l'anomalie n'est pas un dyke ; quand celle-ci est limitée en profondeur ou quand il y a une aimantation rémanente non négligeable.

Le lecteur intéressé par des compléments mathématiques pourra se référer à l'article de Koulomzine et al. (1970).

2.2.2. Méthode de Spector et Grant (1970)

Cette méthode initialement exposée par Spector et Grant (1970) est basée sur l'analyse des spectres d'énergie de cartes magnétiques (application tridimensionnelle). En 1972 et 1976, Green reprenait leurs travaux et adaptait leurs principaux résultats au cas des profils magnétiques (application bidimensionnelle) (Fig. 82).

Ayant pour but de donner des indications sur la répartition et la profondeur des sources dont la distribution considérée de façon statistique est censée s'organiser en un ou plusieurs ensembles de sources situées à diverses profondeurs, cette méthode, outre son intérêt majeur dans l'étude statistique des profils comportant plusieurs anomalies, permet l'étude des profils ne comportant qu'une seule anomalie (Green, 1976). C'est essentiellement sous ce second aspect que la méthode fréquentielle a été utilisée dans ce travail.

2.2.2.1. Le spectre d'énergie

Le spectre d'énergie est obtenu après analyse de Fourier du profil échantillonné (cas bidimensionnel). L'énergie contenue dans chaque fréquence du spectre est calculée à partir des coefficients complexes de Fourier A_j

$$E(f_j) = (\operatorname{Re}(A_j))^2 + (\operatorname{Im}(A_j))^2$$

Dans le cas d'un spectre d'énergie d'un profil ne recoupant qu'une anomalie, Green (1972, 1976) a montré que le spectre d'un profil correspondant à un corps magnétique situé à la profondeur h , de largeur $2e$ et d'épaisseur t (Fig. 82) pouvait se mettre sous la forme d'un produit de facteurs :

$$E(f) = 4\pi^2 K^2 R_T R_K SCP$$

Les termes K (moment magnétique par unité du volume), R_T (terme dépendant du champ magnétique) et R_K (terme dépendant du moment magnétique) sont indépendants de la fréquence f .

Les termes S (terme de largeur), C (terme d'épaisseur) et P (terme de profondeur) dépendent de la fréquence f .

Le terme profondeur P s'exprimant de la façon suivante :

$$P = e^{-4\pi hf} \quad (h = \text{profondeur du corps})$$

agit de façon prépondérante sur le gradient du spectre d'énergie. Ce dernier est caractérisé par une pente déterminant une source dont la profondeur est estimée à partir du calcul de la pente.

La valeur de la pente est en première approximation égale à $4h$ si on néglige l'influence du terme largeur (Gérard et Griveau, 1972 ; Le Prêtre, 1974 ; Negi, Agrawal et Rao, 1983).

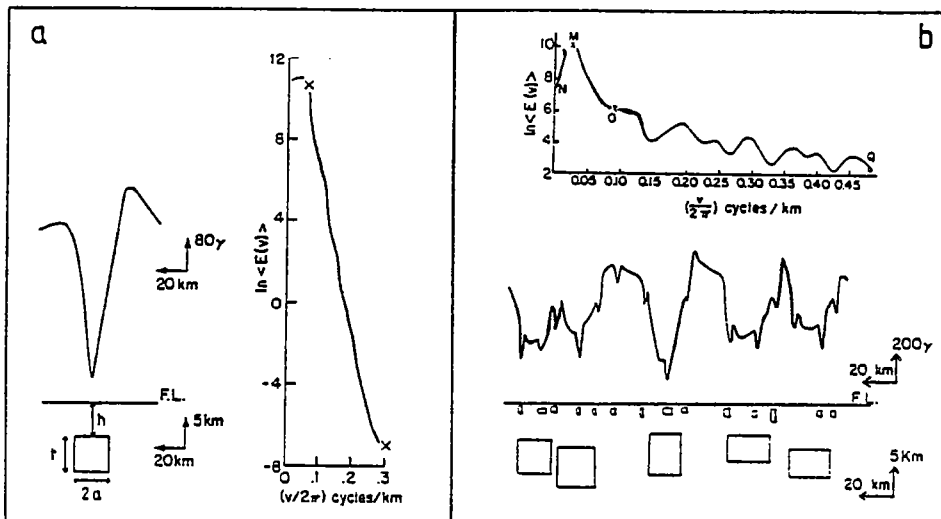


Fig-82 - a - profil magnétique ne comportant qu'une seule anomalie et spectre d'énergie correspondant (d'après Green, 1972) ;
 b - profil magnétique dû à deux ensembles de sources et spectre d'énergie correspondant (MNO : partie du spectre liée aux sources profondes ; OQ : partie du spectre liée aux sources superficielles) (d'après Green, 1972).

3. CONVENTIONS ADOPTEES POUR LA MODELISATION MAGNETIQUE

La modélisation magnétique a été faite en prenant comme hypothèse : une aimantation purement induite des sources. Ceci exige la connaissance préalable des paramètres locaux du champ de l'environnement immédiat de la source.

- l'intensité locale du champ a été déterminée à partir des cartes du champ total de la France (3 000 m), des cartes SAPA - SNPA (600 m) et des cartes anglaises.

- l'inclinaison magnétique du profil a été estimé à 64° sur l'ensemble de la zone étudiée.

- la déclinaison locale du champ comptée négativement vers l'Ouest a été établie à partir de la carte des isogones de la France établie à l'époque 1965,0 (Le Mouel, 1969).

- dans l'application de certains programmes (Talwani, Koulomzine) la déclinaison du profil considéré, écart angulaire existant entre la direction du profil et celle du Nord géographique est comptée négativement vers l'Ouest.

- pour le traitement des spectres d'énergie, les conventions suivantes ont été adoptées :

. la fréquence spatiale "f" figurant en abscisse est en cycle /Km.

. l'énergie figurant en ordonnée est exprimée sous la forme d'un logarithme népérien (Log E).

. la lettre "h" représente l'estimation de profondeur évaluée à partir du spectre d'énergie (pour une ou plusieurs anomalies). Elle correspond à la profondeur réelle du corps sous le niveau zéro après retrait de l'altitude de vol.

CHAPITRE I

MODELISATIONS MAGNETIQUES DANS LE COTENTIN



I. INTRODUCTION

Sur la carte magnétique des anomalies du champ total de la France "volée" à 3 000 mètres, il apparaît plusieurs anomalies de forte amplitude sur le Cotentin (Fig. 83). Un examen détaillé de cette carte permet d'établir une étroite relation spatiale entre les anomalies observées et les diverses formations géologiques rapportées au Briovérien.

Trois anomalies principales sont ainsi localisées à l'aplomb de :

- la région du Val de Saire qui a fait l'objet d'une étude géologique récente (Dissler, 1987),
- du platier des Mortes Femmes où un volcanisme rapporté au Briovérien a été décrit (Dupret, 1984; Dissler, 1987; Dissler et al., 1988),
- la région de Saint Germain-le-Gaillard où des émissions de volcanites acides constituent la semelle des formations cambriennes.

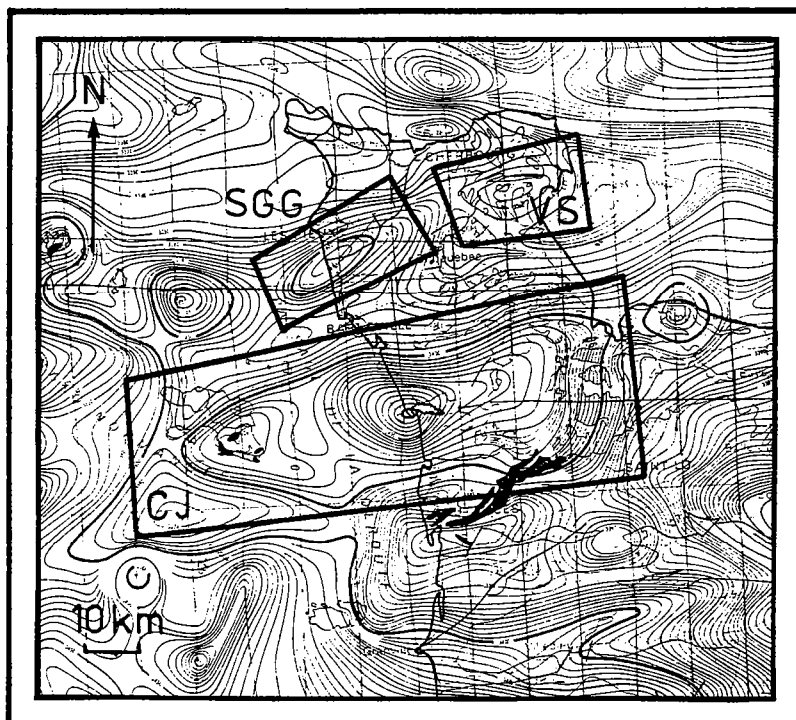


Fig.83 - Localisation des anomalies magnétiques dans le Cotentin .

CJ -anomalie Coutances-Jersey ; SGG - anomalie de Saint Germain le Gaillard ;
 VS - anomalie du Val de Saire .

Ces trois régions (Fig. 3, cadre V-M-G) ont toutes subi les effets de l'orogénèse cadomienne. De plus la nature basique de certaines formations et les structures existantes permettent de penser qu'il n'est pas illogique de rapprocher ces formations des anomalies magnétiques existantes. Ainsi dans le Cotentin, à l'étude purement géologique de l'orogénèse cadomienne s'ajoute une étude géophysique qui permet la comparaison des résultats des modélisations effectuées avec la structuration cadomienne existante.

II. LA REGION DU VAL DE SAIRE

Constituant la partie Nord-Est de la presqu'île du Cotentin, le Val de Saire doit son nom à la rivière qui le traverse d'Ouest en Est.

1. RAPPELS SUR LA GEOLOGIE DES FORMATIONS AFFLEURANTES DANS LE VAL DE SAIRE

Les formations rencontrées dans le Val de Saire se caractérisent par une importante couverture triasique recouvrant les terrains plissés d'un socle essentiellement constitué de Briovérien.

Dissler (1987) dans son étude sur l'évolution géodynamique cadomienne du Nord Cotentin, distingue quatre formations principales appartenant au Briovérien (Fig. 84) :

- . les formations du Briovérien inférieur, où cet auteur reconnaît :
 - la formation de Bretteville-en-Saire essentiellement composée de tuffites acides, phtanites, siltites et grauwackes;
 - la formation du Vast sur laquelle est centrée l'anomalie magnétique. Elle est constituée d'un assemblage de sédiments, de volcanites acides et basiques ;
 - la formation de Morsaline de composition semblable à la formation de Bretteville en Saire.
- . une formation du Briovérien supérieur représentée par le flysch de Saussemesnil.



Fig.84 - Esquisse géologique du Val de Saire (d'après Dissler, 1987).

FORMATIONS POST-VARISQUES



FORMATIONS PALEOZOIQUES

ORDOVICIEN



CAMBRIEN



- Schistes et grès de la Glacerie
- Conglomérats et arkoses du Becquet
- Ignimbrites des Héberts

FORMATIONS PRECAMBRIENNES

BRIOVERIEN SUPERIEUR



- Flysch de Saussemesnil

BRIOVERIEN INFERIEUR



- Siltites et grauwackes
 - Phtanites
 - Tuffites acides
- Formation de Bretteville-en-Saire



- Siltites
 - Rhyolites
 - Tuffites basiques
 - Tuffites acides
 - Cherts et épicastites
 - Siltites, grauwackes et épicastites
 - Phtanites
 - Schistes noirs
- Formation du Vast

BRIOVERIEN INFERIEUR (suite)



- Siltites et grauwackes
 - Phtanites
 - Tuffites acides
 - Ardoises de la Saire
 - Grès de Montaigu-la-Brisette
 - Diorite du Theil
- Formation de Morsalines

INTRUSIONS VARISQUES



- Granite de Barfleur
- Granite de Saint-Vaast-la-Hougue

ROCHES METAMORPHIQUES



- Cornéennes et schistes tachetés

A ces formations essentiellement volcaniques et sédimentaires, il convient d'ajouter un ensemble plutonique : la diorite quartzique du Theil.

Toutes ces formations orientées Est-Ouest ont une organisation cartographique permettant d'identifier un axe volcanique et dioritique séparant deux bassins comblés par des sédiments terrigènes à phtanites.

Elles sont caractérisées par la superposition des déformations synschisteuses cadomiennes et varisques. La structuration cadomienne est marquée par une schistosité de flux qui se surimpose systématiquement à la stratification des formations du Briovérien inférieur. Une linéation d'étirement est portée par les plans de schistosité et stratification.

Pour cet auteur, les terrains briovériens du Nord Cotentin sont engagés dans un plissement fini-cadomien qui déverse la chaîne cadomienne vers le Nord-Ouest entraînant aussi le développement d'une schistosité de flux. Ce déversement vers le Nord est conforme aux observations faites dans le secteur de La Hague (1ère partie - chapitre III).

2. MODELISATION MAGNETIQUE DE L'ANOMALIE DU VAL DE SAIRE (VS)

2.1. Les Spilites du Vast

Située à l'aplomb des terrains briovériens, cette anomalie peut trouver sa source dans les roches de la formation du Vast. Cette formation connue sous le nom de Spilites du Vast (Dissler, 1987) regroupe essentiellement des basaltes et des andésites spilitisés auxquels se mêlent de rares termes acides.

Les termes basiques riches en minéraux ferro-magnésiens et en minéraux opaques possèdent une susceptibilité magnétique moyenne de l'ordre de 10^{-4} u.e.m CGS (Fig. 85), ce qui en fait un matériel relativement magnétique au regard de l'état d'altération dans lequel se trouvent ces laves basiques.

Les termes acides, quant à eux, possèdent une susceptibilité magnétique très faible (de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-7} u.e.m. CGS) (Fig. 85).

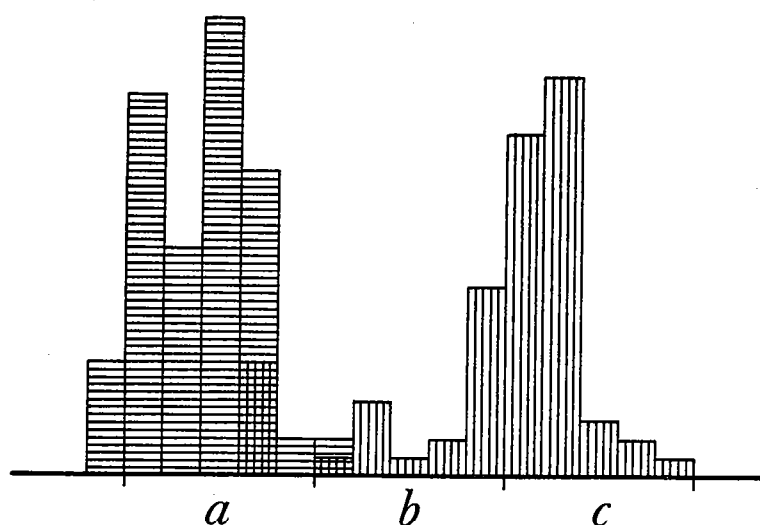


Fig.85 - Histogramme des susceptibilités magnétiques dans le Val de Saïre .
 a - 10^{-6} u.e.m. CGS ; b - 10^{-5} u.e.m. CGS ; c - 10^{-4} u.e.m. CGS ;
 ▨ termes basiques ; ▤ termes acides.

2.2. La modélisation magnétique

Sur la carte magnétique d'anomalies du champ total "volée" à 3 000 m apparaît nettement au niveau des terrains cités ci-dessus un marqueur magnétique orienté N 80. Cette anomalie d'une longueur d'environ 25 km sur une largeur de 8 km peut être assimilée à une structure bidimensionnelle et sera traitée comme telle (VS - Fig. 86).

Sur le profil rabattu L337 "volé" à 3 000 m (Fig. 87a), la forme de l'anomalie située à l'aplomb de cette structure suggère un modèle de type filon.

Après avoir préalablement enlevé une régionale, estimée au niveau du profil à un gradient de $-0,37$ nT/km vers le Nord, une estimation de la profondeur du toit de cette structure a été calculée au moyen de la méthode Spector et Grant (1970). La profondeur ainsi calculée est voisine de 460 m (Fig. 87b).

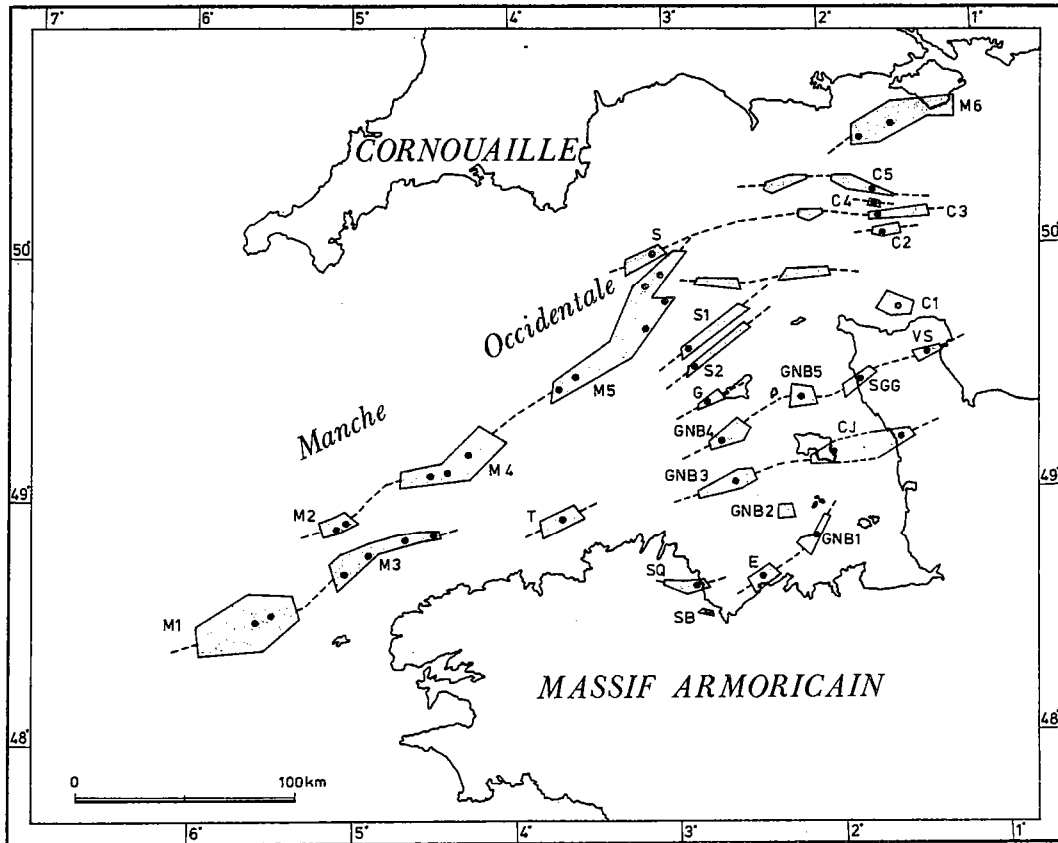


Fig.86 - Les différents corps magnétiques déterminés en Manche Occidentale depuis l'Anomalie de la Manche jusque sur le littoral septentrional du Massif Armoricain. Les contours théoriques des corps responsables des anomalies étudiées ont été tracés selon la méthode de Vacquier et al. (1951).

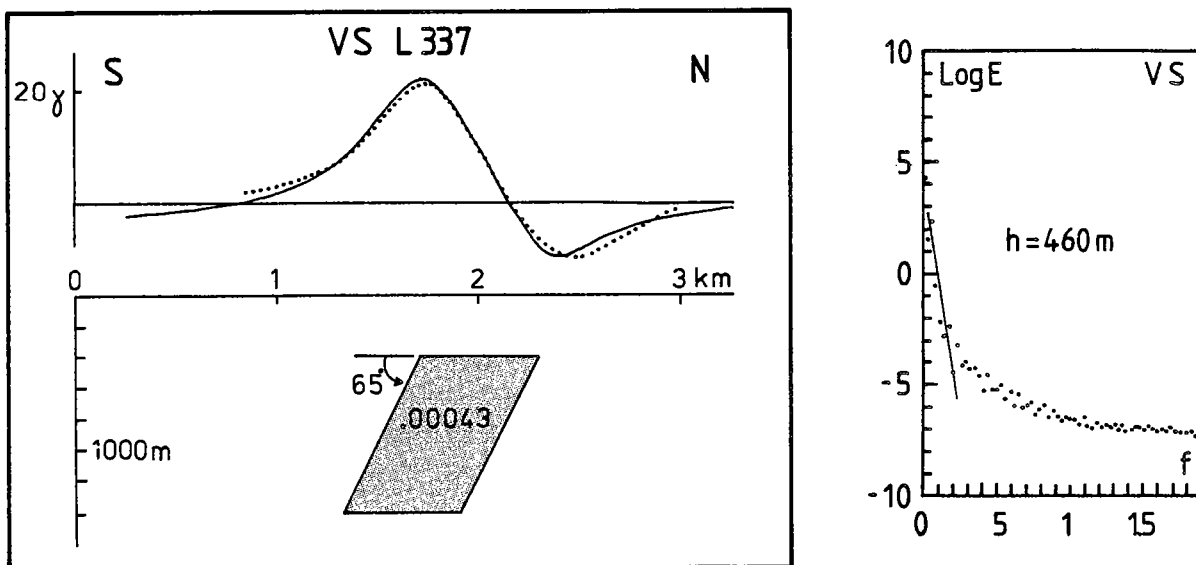


Fig.87a - Modèle magnétique VS (filon) établi à partir du vol L 337 (France, 3000 m).

Fig.87b - Spectre d'énergie de l'anomalie VS établi à partir du profil L 337.

A partir des indications fournies par la méthode de Spector et Grant (1970) un essai de modélisation de cette structure a été tenté à l'aide du programme Talwani (méthode de Talwani et Heirtzler, 1964) au niveau du profil L337 "volé" à 3 000 m.

L'anomalie semble s'expliquer par un modèle de type filon penté vers le Sud d'environ 65° et limité en profondeur à 1 400 m. Pour expliquer en intensité l'anomalie observée, une susceptibilité de $4.3 \cdot 10^{-4}$ u.e.m. CGS (de l'ordre de celles mesurées expérimentalement sur les basaltes et les volcanites basiques du Val de Saire) a été attribuée à la structure étudiée (Fig. 87a).

Le modèle proposé explique ainsi de façon satisfaisante l'anomalie observée.

2.3. Relations entre modèle et formations affleurantes

Des relations géométriques et physiques peuvent être établies entre les formations affleurantes et le modèle.

Nous avons vu que la vergence de la chaîne cadomienne, dans cette région, est Nord (Dissler, 1987); le pendage sud observé pour le modèle, bien que non représentatif de la déformation mais caractérisant les deux flancs du filon, s'accorde donc avec cette tectonique à vergence nord.

De même il faut noter que les susceptibilités calculées en surface (sur l'affleurement) sont identiques à celles qui permettent d'expliquer l'anomalie. De ce fait, la validité du résultat concernant la profondeur du toit du corps (400 m au dessous du sol) peut être mise en cause.

Au vu des mesures de susceptibilité, un modèle subaffleurant aurait été plus "harmonieux". Peut être peut-on expliquer cette différence de profondeur par l'utilisation de la carte "volée" à 3 000 m où les structures "dites" profondes semblent mieux enregistrées que les structures plus superficielles.

Néanmoins nous pouvons remarquer les bonnes relations qui existent entre la géologie de surface et le modèle déterminé grâce aux méthodes géophysiques.

3. CONCLUSION

Ainsi la modélisation magnétique effectuée sur l'anomalie du Val de Saire suggère la présence d'un corps peu profond à pendage sud pouvant caractériser la trace en profondeur des formations affleurantes. L'identité entre ces deux unités semble appuyée par une vergence des structures vers le Nord.

III. LE PLATIER DES MORTES FEMMES

1. RAPPELS SUR LA GEOLOGIE DU PLATIER DES MORTES FEMMES

La formation des Mortes Femmes s'étend sur le platier rocheux de Saint Germain-sur-Ay au Nord de Coutances (Fig. 88). Cette formation (Dissler, 1987), se composant de laves spilitiques associées à des tuffites, des cinérites et quelques brèches, a subi les effets d'une tectonique cadomienne intense qui occulte toutes traces d'éventuelles structures en pillow-lavas.

1.1. Les laves spilitiques

De couleur sombre, elles contiennent quelques phénocristaux de feldspath et d'amphibole dans une matrice essentiellement composée de microlites d'albite, de fibres d'actinote, de calcite et d'épidote. Ces spilites sont très riches en minéraux opaques qui leur confèrent un caractère extrêmement magnétique. Elles présentent sur le terrain un aspect massif et semblent à première vue exemptes de déformation.

D'après Dissler (1987), ces spilites de composition basaltique à dacitique caractérisent un volcanisme tholéïtique de type distensif traduisant un bassin intra-arc.

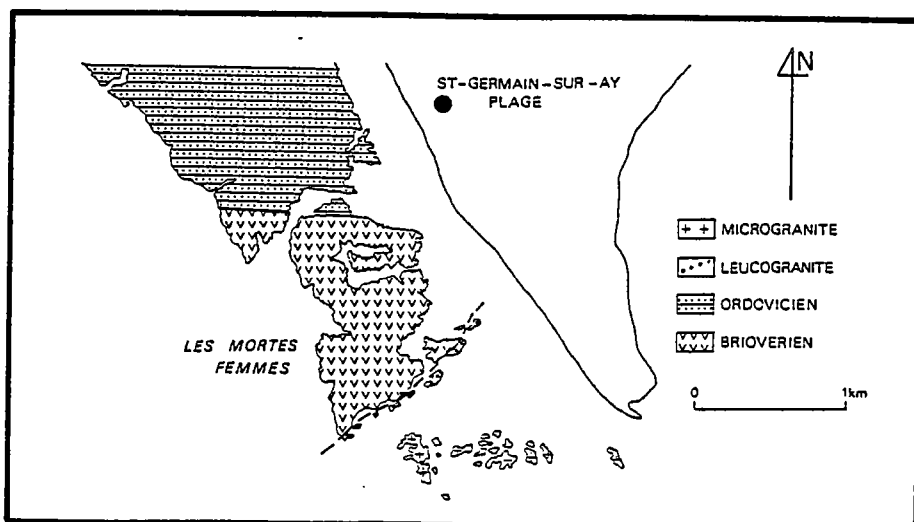


Fig.88 - Esquisse géologique du platier des Mortes Femmes (d'après Dissler, 1987).

1.2. Les laves plus acides

Accompagnant ces spilites de nature basaltique, les termes plus acides sont représentés par des andésites et des méta-rhyolites. Ces termes, beaucoup plus pauvres en minéraux opaques, semblent enregistrer de façon intense la déformation cadomienne (nous avons vu qu'il en est de même pour les termes acides de la formation de Montsurvent).

1.3. La déformation

Une déformation synschisteuse, attribuée au cycle cadomien, affecte ces formations. Cette déformation s'exprime particulièrement bien dans les termes les plus acides et dans les faciès volcano-sédimentaires.

Un mécanisme par aplatissement rotationnel, associé à un régime de déformation plane (Dissler, 1987) contrôle la structuration cadomienne, entraînant une vergence nord-ouest des structures.

Il est à noter que ces spilites des Mortes Femmes associées à deux autres pointements de Briovérien inférieur (les schistes du Mont Castres et les volcanoclastites d'Angoville) soulignent un important accident de socle "La Faille du Mont Castre" séparant les bassins paléozoïques de la Haye du Puits et de Lessay entraînant ainsi la remontée de ces terrains Protérozoïque inférieur (Doré et Poncet, 1977).

2. ETUDE MAGNETIQUE DU PLATIER DES MORTES FEMMES

L'anomalie magnétique Coutances - Jersey (Fig. 40) est centrée sur les formations affleurantes sur le platier rocheux des Mortes Femmes.

Une modélisation de cette anomalie par la méthode Koulomzine a été effectuée dans le chapitre I de la première partie. Les résultats montrent un corps magnétique situé vers une profondeur de 3 000 m et à pendage nord.

Une estimation de la profondeur le long du profil L335 (CJ4) à partir de la méthode Spector et Grant confirme cette profondeur (Fig. 89).

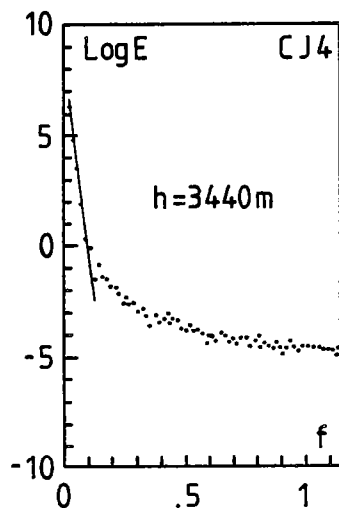


Fig.89 - Spectre d'énergie de l'anomalie CJ4 (profil rabattu L 335, France-3000 m, situé à l'aplomb du platier des Mortes Femmes).

Il apparaît ainsi qu'au vu de la modélisation magnétique à partir de la carte "volée" à 3 000 m, aucune corrélation possible ne peut être envisagée entre l'anomalie magnétique et les formations affleurantes.

Cependant, des mesures de susceptibilité magnétique ont été effectuées sur tout le platier des Mortes Femmes à l'aide d'un matériel portatif (Kappameter KT-5). Les résultats sont exprimés dans l'histogramme suivant (Fig. 90).

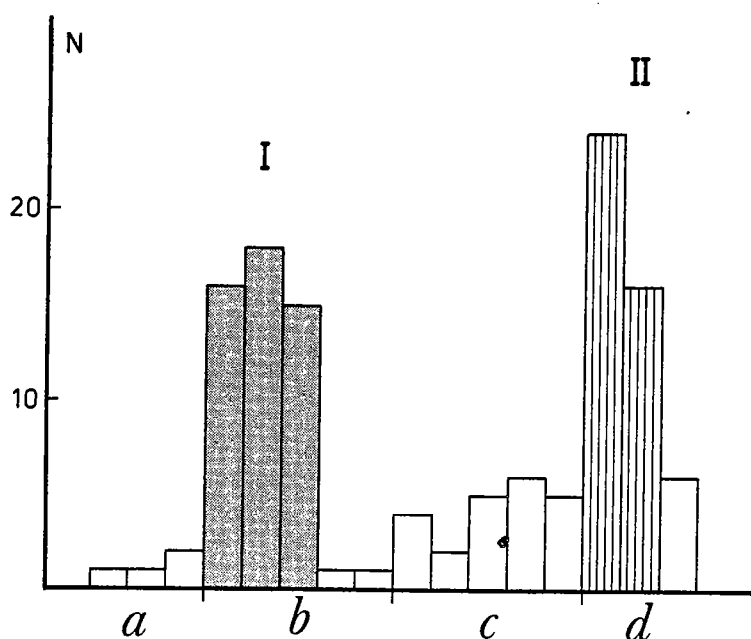


Fig.90 - Histogramme des susceptibilités magnétiques.

a - 10^{-6} u.e.m. CGS ; b - 10^{-5} u.e.m. CGS ; c - 10^{-4} u.e.m. CGS ;
d - 10^{-3} u.e.m. CGS .

Deux classes principales apparaissent :

- une classe I comprise entre 0.10^{-5} et 6.10^{-5} u.e.m. CGS,
- une classe II comprise entre 0.10^{-3} et 4.10^{-3} u.e.m. CGS.

Des corrélations étroites entre les mesures de susceptibilité magnétique et la lithologie sont envisagées et suggèrent que la classe II caractérisée par les plus fortes valeurs est composée essentiellement des spilites basiques riches en minéraux opaques alors que la classe I trouve son équivalence lithologique dans les termes les plus acides.

Lors du lever des mesures sur le terrain, une organisation spatiale nous est apparue. En effet, des bandes magnétiques ou non, larges de la dizaine de centimètres à plusieurs mètres, d'orientation moyenne N70-N80, s'individualisent et traduisent peut-être la mise en place de ces volcanites sous forme de coulée, permettant ainsi de mettre en évidence ce que les effets de la structuration cadomienne semblent occulter.

3. CONCLUSION

Bien qu'aucune corrélation ne soit possible entre l'anomalie Coutances - Jersey et les formations du platier des Mortes Femmes, une étude magnétique au sol, consistant en un échantillonnage serré des susceptibilités magnétiques des roches affleurantes permet de mettre en évidence une succession de faciès plus ou moins magnétiques qui s'alignent selon une direction briovérienne (N70-N80) caractéristique de la presqu'île du Cotentin. Cet argument bien que très éloigné et moins précis qu'une datation radiométrique s'ajoute à ceux déjà exprimés (Dissler, 1987) pour caler la formation des Mortes Femmes dans le Briovérien.

IV. LA REGION DE SAINT GERMAIN LE GAILLARD

1. RAPPELS GEOLOGIQUES

Situé sur la bordure méridionale du synclinal de Siouville, le massif de Saint Germain-le-Gaillard constitue l'extrémité orientale d'émissions de volcanites acides localisées le long d'un axe d'orientation SW-NE (Fig. 91) jalonné depuis l'Ouest par les volcanites acides du Trégor et de Jersey (Boyer, 1970 ; Boyer et al., 1972 ; Auvray, 1974, 1979).

Formant en Normandie la semelle des formations cambriennes, ces dernières sont en effet transgressives sur le massif de Saint-Germain-le-Gaillard; ces volcanites acides sont datées à 547 ± 56 Ma dans le Trégor (Auvray, 1979).

En Normandie, le massif de Saint Germain-le-Gaillard est constitué de roches effusives ignimbrtiques, pyroclastiques et volcano-sédimentaires.

Le faciès volcanique effusif est caractérisé par de nombreux phénocristaux de quartz, plagioclases altérés, feldspaths potassiques, de pyroxènes, d'amphiboles et de biotites chloritisées flottant dans une matrice quartzo-feldspathique très fine. De nombreux fuseaux à morphologie typique de fiammes s'observent dans la roche.

Tout cet ensemble volcanique a subi des phénomènes d'écrasement important marqué par de très nombreux minéraux brisés visibles tant à l'oeil nu qu'au microscope.

Ce massif volcanique est bordé au Sud par un important accident orienté N65-70 selon les directions cadomiennes définies en Normandie.

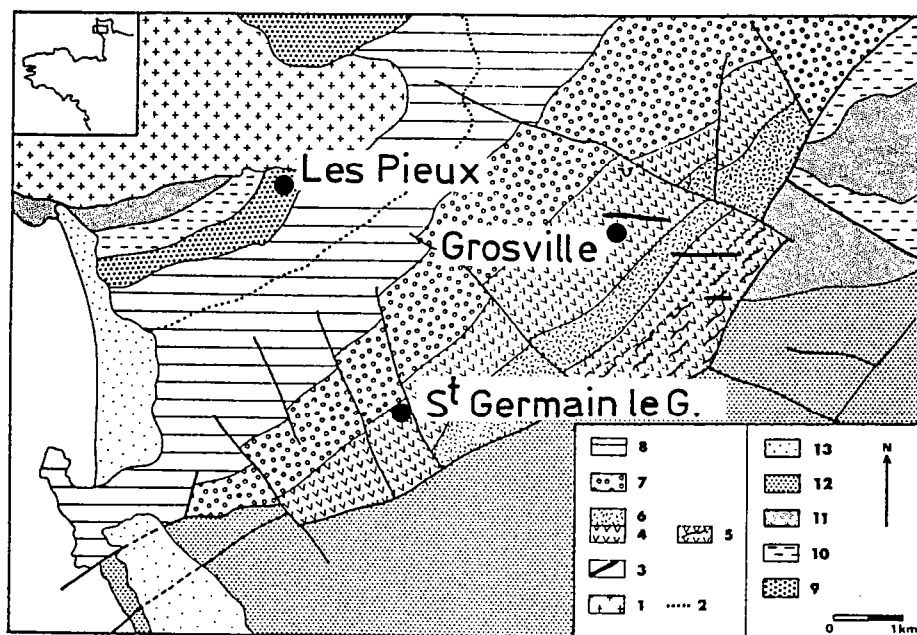


Fig.91 - Esquisse géologique de la région de Saint Germain le Gaillard (d'après Doré et al., 1984).

- 1 - granite de Flamanville ; 2 - limite de l'auréole de métamorphisme ;
- 3 - filons de microgranite ; 4 à 6 - complexe volcanique acide de Saint Germain le Gaillard ; 7 et 8 - Cambrien ; 9 à 11 - Ordovicien ;
- 12 - Silurien et Dévonien ; 13 - formations superficielles .

2. ETUDE MAGNETIQUE

Sur la carte magnétique d'anomalies du champ total "volée" à 3 000 m existe une anomalie magnétique d'orientation N 70 recouvrant le massif volcanique et sa bordure méridionale faillée. Sa forme elliptique suggère la présence d'un corps à caractère bidimensionnel comme responsable de cette anomalie.

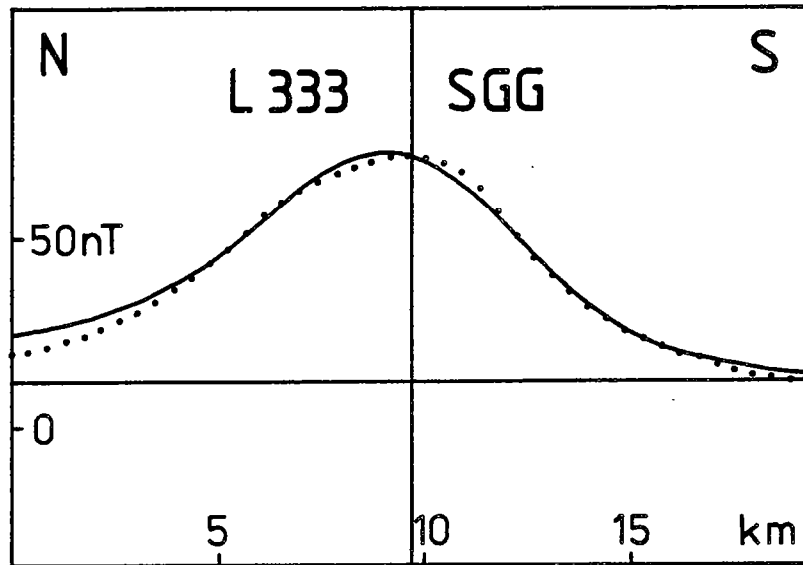


Fig.92a - Application de la méthode Koulomzine au profil rabattu L 333.
Anomalie de Saint Germain le Gaillard (France, 3000 m).

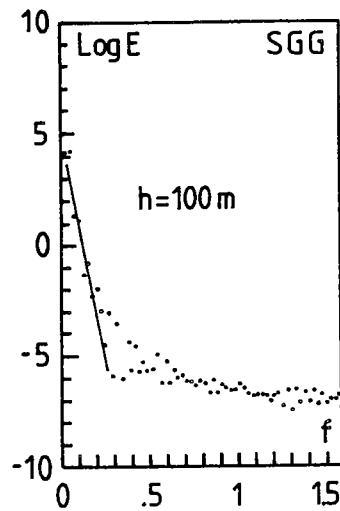


Fig.92b - Spectre d'énergie de l'anomalie SGG (profil rabattu L 333).

Ayant préalablement enlevé une régionale, estimée au niveau du profil L333 à 0,72 nT/km, la méthode Koulomzine s'est révélée applicable à l'étude de l'anomalie corrigée de la régionale.

Un modèle de type dyke semble bien rendre compte de l'anomalie observée. Les paramètres géométriques de cette structure sont une profondeur du toit de 320 m, un pendage nord de 51° et une largeur proche de 6 km alors que la susceptibilité magnétique (paramètre physique) est de 4.10^{-4} u.e.m. CGS (Fig. 92a).

Une estimation de profondeur a été tentée au moyen de la méthode Spector et Grant sur le profil L333 (SGG). La profondeur évaluée à partir du spectre d'énergie de ce profil (Fig. 92b) s'est avérée légèrement inférieure à celle obtenue par la méthode Koulomzine (corps subaffleurant).

De même un échantillonnage serré des mesures de susceptibilité magnétique a été effectué sur le terrain. Les valeurs obtenues (Fig. 93) se moyennent en $1,02.10^{-4}$ u.e.m. CGS. Cette valeur très légèrement inférieure à celle évaluée par la méthode de Koulomzine peut s'expliquer du fait de l'état d'altération des roches diminuant ainsi les valeurs observées.

3. CONCLUSION.

L'anomalie magnétique, observable dans la région sud de Flamanville, peut être le témoin de l'émission de volcanites acides fini-cadomiennes. Le pendage de la structure modélisée, s'il est en accord avec la possible vergence des émissions volcaniques vers le Sud, peut également être rapproché de l'hypothèse d'un accident à vergence Sud sur la bordure méridionale du massif.

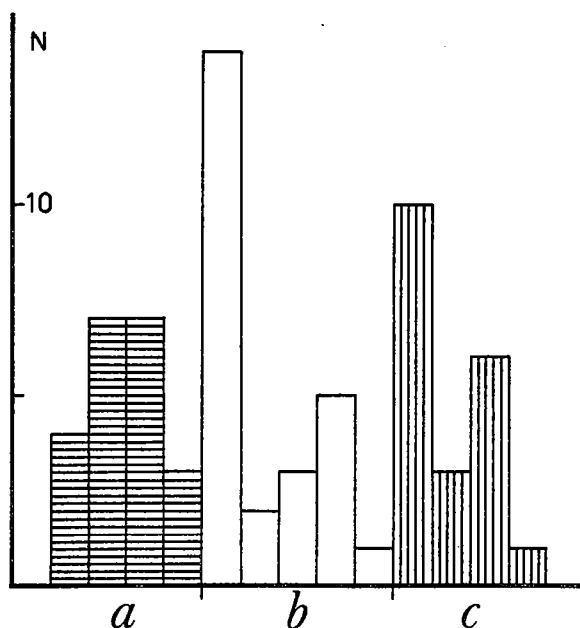


Fig.93 - Histogramme des susceptibilités magnétiques.

a - 10^{-6} u.e.m. CGS ; b - 10^{-5} u.e.m. CGS ; c - 10^{-4} u.e.m. CGS .

V. CONCLUSION

Il apparaît ainsi que les trois anomalies magnétiques les plus importantes du Cotentin se corrélient à trois formations datées du Briovérien et structurées par l'orogénèse cadomienne.

- l'anomalie de Coutances Jersey (CJ) bien que non imputable à la formation des Mortes Femmes trouve une explication dans l'existence d'un corps basique probablement source de la diorite de Coutances. Le platier des Mortes Femmes, centré sur cette anomalie, montre une alternance de roches magnétiques et non magnétiques qui peut être rapportée à des coulées volcaniques. La faible "dimension actuelle" de ces formations s'explique aisément par les raccourcissements cadomiens puis hercyniens ayant affecté cette région.

- l'anomalie du Val de Saire (VS) et l'anomalie de Saint Germain le Gaillard (SGG) suggèrent toutes les deux une relation étroite entre les formations affleurantes et les anomalies observées.

Dans les deux cas, des corps bidimensionnels de type filon expliquent de façon satisfaisante les anomalies.

De plus les vergences nord pour le Val de Saire et sud pour la région de Saint Germain le Gaillard s'accordent avec celles des accidents cadomiens reconnus à terre.

CHAPITRE II

L' ANOMALIE DE LA MANCHE



INTRODUCTION

1. EXPRESSION DU MARQUEUR ETUDIE

Sur les cartes magnétiques des anomalies du champ total au 1/1000000 "volée" à 3000 m (Edition CNRS, 1965 ; Edition B.G.R.M., 1969) et "volée" à 600 m (carte SAPA-SNPA, 1964) on constate qu'un marqueur magnétique de forte amplitude occupe la région centrale de la Manche Occidentale (Fig. 94).

Ce marqueur se distingue par une série d'anomalies magnétiques positives majeures (leur amplitude atteignant jusqu'à 200 gammas) alignées selon une direction NE-SW (N60). Il est connu sous le nom d'Anomalie de la Manche.

De nombreux auteurs ayant travaillé sur ce marqueur s'accordent à penser que sa représentation actuelle n'est en fait due qu'au jeu d'accidents cassants orientés N130-N150, faisant ainsi d'un marqueur homogène un marqueur morcelé. C'est pourquoi une étude complète de cette structure depuis l'anomalie d'Ouessant jusqu'à l'anomalie de l'Ile de Wight et son intégration dans le cycle cadomien nous a paru nécessaire à la compréhension de l'orogène cadomien d'autant plus que ce marqueur magnétique est considéré comme représentatif de la suture de l'océan de la Manche (Lefort, 1975 ; 1977).

2. RAPPELS GEOLOGIQUES

2.1. Les régions bordant l'anomalie

Notre propos n'est pas de faire une étude géologique détaillée de la Manche Occidentale. Nous nous contentons de resituer l'Anomalie de la Manche Occidentale dans le contexte géologique tel qu'il nous apparait après la lecture des cartes géologiques de la Manche (carte géologique du Socle Pérarmoricaïn, Lefort, édité par SNEAP, 1975 ; carte géologique du Socle submergé, Lefort, édité par SNEAP, 1973 ; Cartographie des sédiments du plateau continental français : type de dépôts définis en Manche, Larsonneur, 1977 ; carte géologique de la France et de la marge continentale, Edition du B.R.G.M., échelle 1/1500000, 1980).

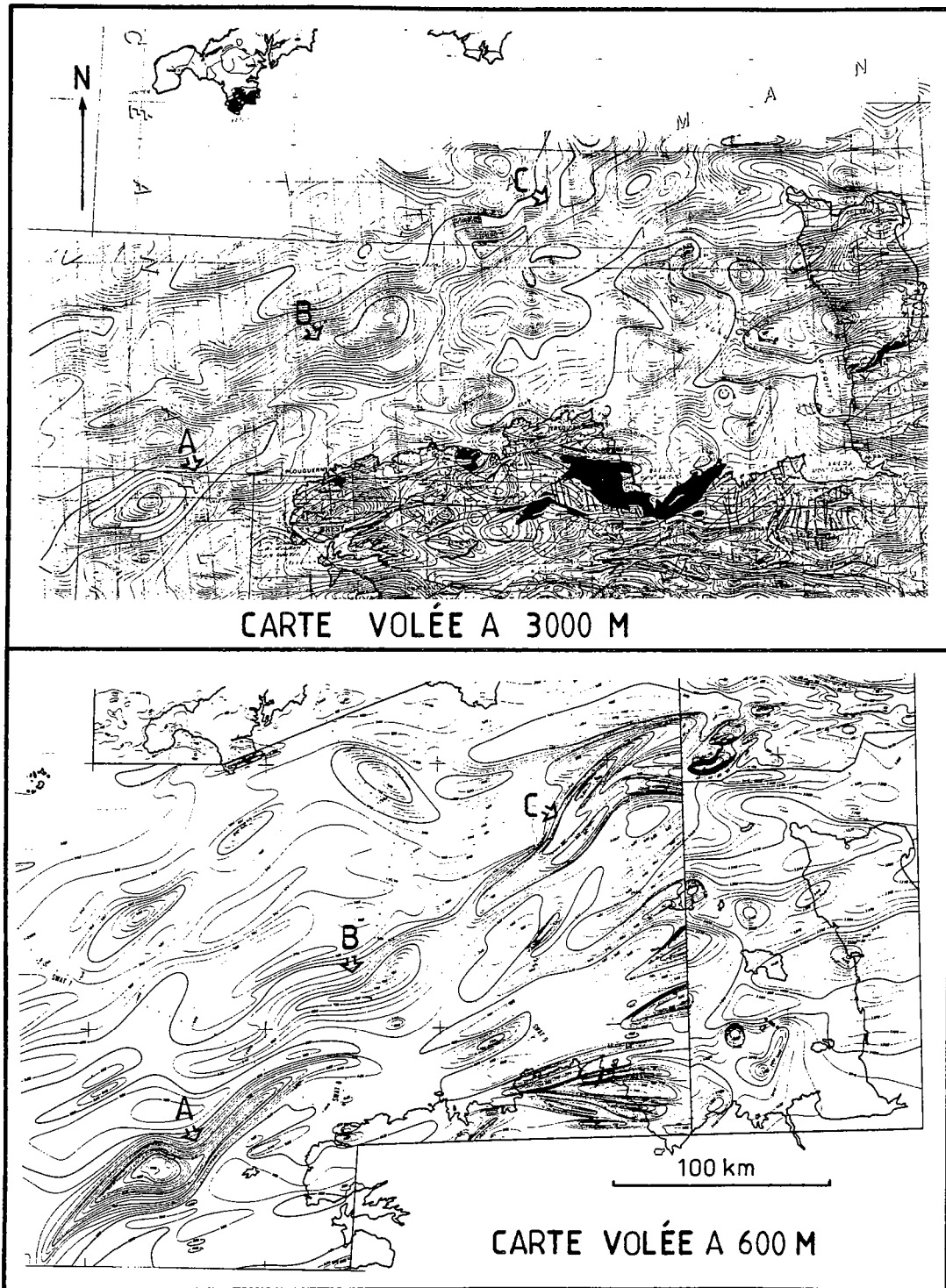


Fig.94 - Anomalie de la Manche (structures A-B-C). Comparaison des cartes "volées" à 3000 m (BRGM, CNRS) et 600 m (SAPA-SNPA).

Il nous apparait que le système magnétique de l'Anomalie de la Manche s'inscrit dans un grand réseau de fractures orientées N60 qui occupe la partie centrale de la Manche Occidentale. Ce marqueur s'appuie sur une fracture maîtresse de ce système : l'accident Aurigny-Ouessant qui sépare en deux régions, bien distinctes géologiquement, la Manche Occidentale (Curry et al., 1971 ; Lefort, 1975).

Au Nord de cet accident et de l'anomalie magnétique une couverture secondaire et tertiaire épaisse repose sur des formations paléozoïques puissantes impliquant ainsi une subsidence importante.

Au Sud, au contraire, la couverture tertiaire et secondaire est quasiment inexistante. Les terrains paléozoïques très peu épais (200 m) reposent sur un socle ancien induré rapporté à l'Antécambrien (Lefort, 1975).

2.2. L'Anomalie de la Manche

Si la connaissance géologique des régions voisines de l'anomalie est connue, c'est grâce aux études de sismiques réflexion, réfraction et aux carottages entrepris entre le Massif Armoricain et l'Angleterre (Avedik, 1975 ; Lefort, 1975).

Au contraire, le corps responsable de l'Anomalie de la Manche, n'a jamais été carottée, du fait de sa profondeur voisine de 3000 m. Toutes les spéculations sur sa nature sont alors permises. Cependant, nous nous rattacherons aux travaux de Lefort et Ségoufin (1978) qui par une étude comparée des anomalies de la Manche et de la Baie d'Audierne (celles-ci se prolongeant à terre où une série ophiolitique a été décrite ; Peucat, 1973 ; Peucat et Cogné, 1974), en font un cortège ophiolitique.

Ce marqueur limité au Sud par l'accident Aurigny-Ouessant apparait tronçonné par de nombreuses failles tardives d'orientation N130-150 (Lefort, 1973 ; Lefort et Ségoufin, 1978).

2.3. Age de l'anomalie

L'âge de cette structure magnétique, de même que sa nature pétrographique ne pourront être déterminés avec précision que le jour où des échantillons "réels" seront recueillis. Ceci relevant de l'utopie, il convient donc de s'appuyer sur les connaissances géologiques de la région pour dater ce cortège de roches magnétiques.

Le corps responsable de cette anomalie est "coincé" entre deux accidents hercyniens : le Front du Lizard au Nord et le Cisaillement Sud Armoricaïn au Sud (Fig. 95). De ce fait, un âge antéhercynien nous semble probable (Lefort et Bardy, 1987). D'autre part sa direction SW-NE, direction reconnue comme cadomienne, et les modélisations effectuées en Normandie (chapitre précédent) où les anomalies de forte amplitude et de direction voisine de l'Anomalie de la Manche ont pu être géologiquement rapportées à des formations briovériennes permettent le rattachement de l'anomalie magnétique à l'orogénèse cadomienne. Ainsi attribuons-nous un âge Protérozoïque supérieur au corps responsable de l'Anomalie de la Manche (Gérard, 1973; Lefort et al., 1988).

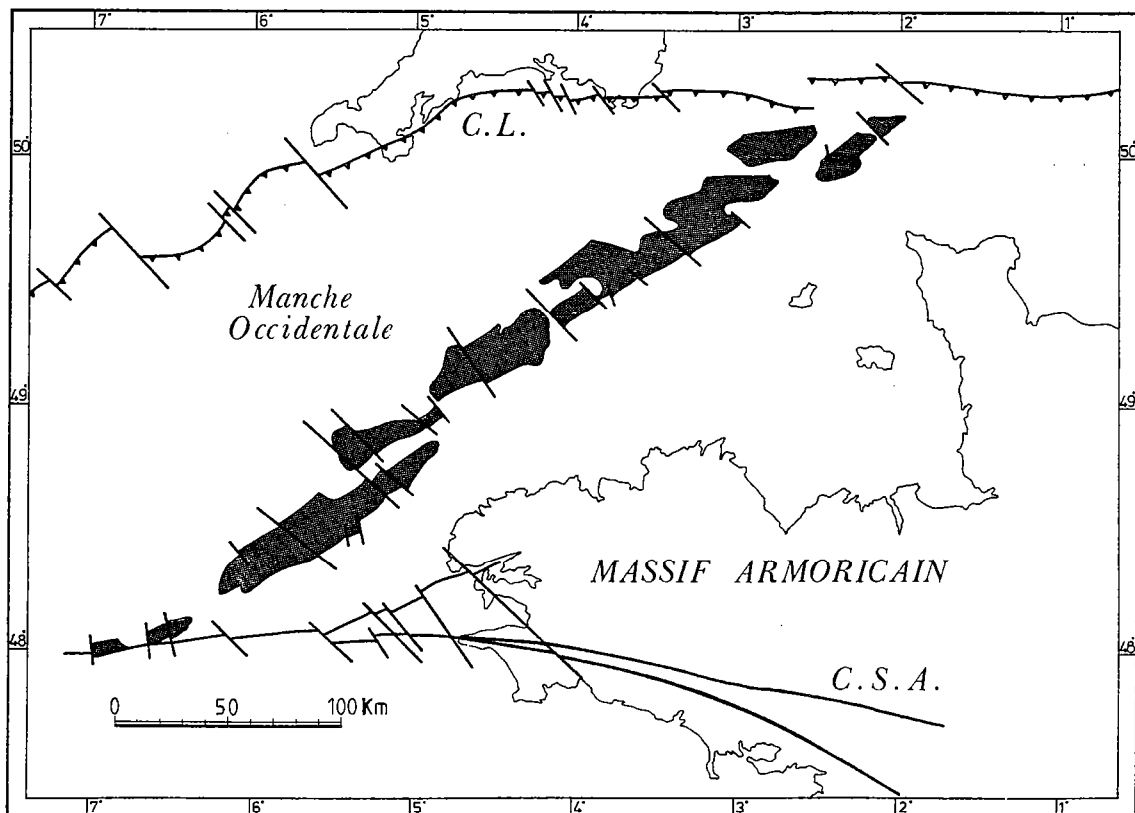


Fig.95 - Anomalie de la Manche.

CL- chevauchement du Lizard ; CSA- Cisaillement Sud Armoricaïn .

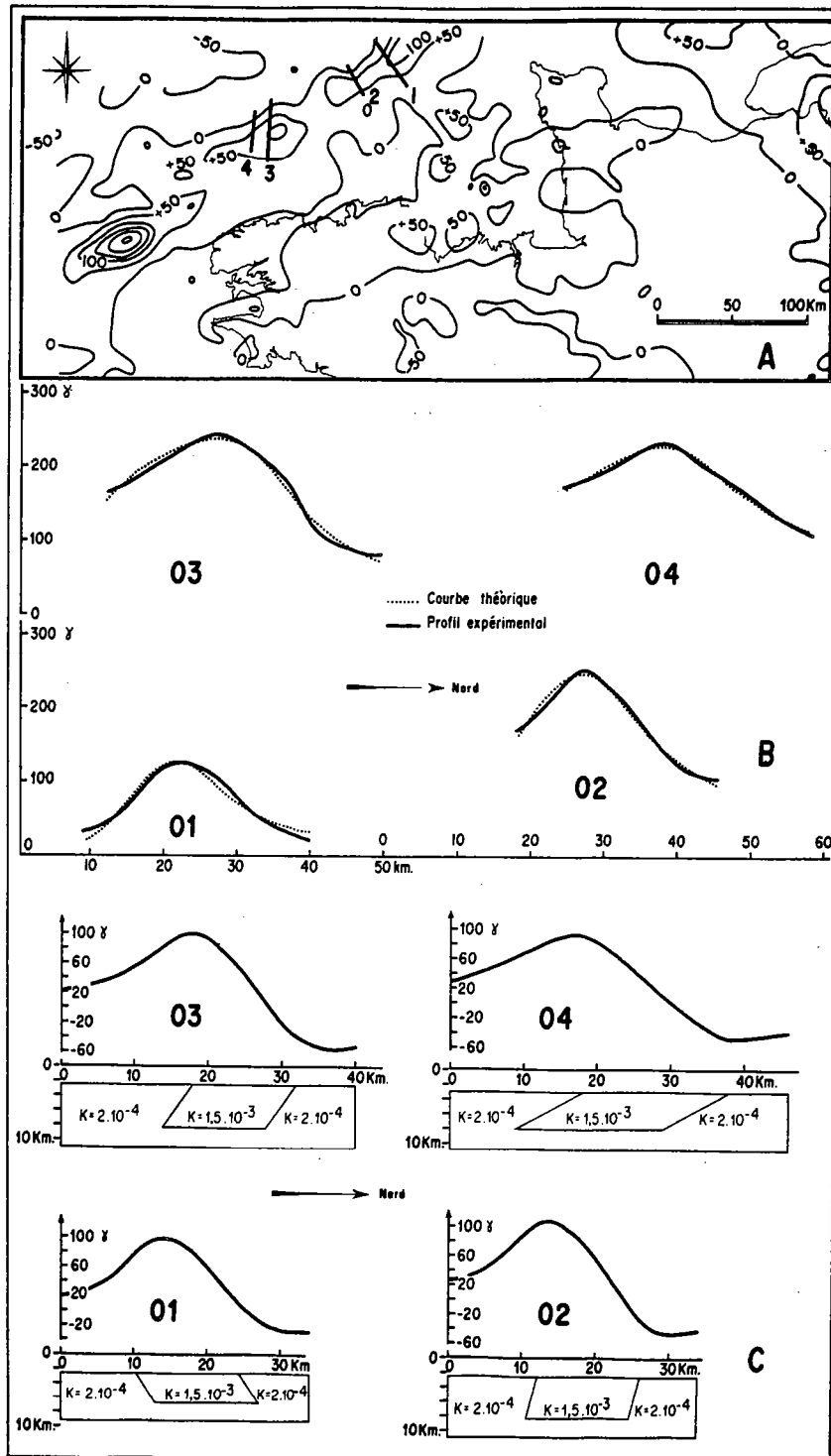


Fig.96 - Modélisation de la structure magnétique considérée comme l'Anomalie de la Manche (Lefort et Ségoufin, 1978).

3. Historique des travaux antérieurs

Nombreux sont les auteurs qui depuis les parutions des cartes magnétiques de la France au 1/1000000 se sont intéressés à l'Anomalie de la Manche. Peu, par contre, ont tenté une modélisation de ces structures. Parmi ces précurseurs on peut citer les travaux de Gérard (1973, 1975), Gérard et Griveau (1972), Lefort (1975, 1977), Lefort et Ségoufin (1978).

Si tous s'accordent à donner à l'anomalie une profondeur moyenne de l'ordre de 3000 m (Gérard, 1973 ; Gérard et Griveau, 1972 ; Lefort et Ségoufin, 1978) leurs avis divergent en ce qui concerne le nombre de structures et leurs pendages.

Ces différences peuvent s'expliquer aisément par les moyens et les méthodes employés. Gérard et Griveau (1972) travaillent en effet sur des cartes transformées du gradient vertical alors que les différents travaux de Lefort sont basés sur les cartes magnétiques de la France "volées" à 3000 m.

C'est pourquoi, travaillant également sur ces cartes de la France, il nous paraît plus judicieux de baser nos propres travaux sur ceux de Lefort (1975) et Lefort et Ségoufin (1978), tout en gardant à l'esprit l'interprétation de Gérard et Griveau (1972).

3.1. Les travaux de Lefort et Ségoufin (1978)

Ces auteurs ont effectués quatre coupes sur la carte magnétique de la France dans des anomalies d'amplitude allant jusqu'à 160 gammas. Supposant que les corps perturbateurs pouvaient être assimilés à des dykes, leur modélisation utilise la méthode de Mc Grath et Hood (1970). Les résultats obtenus (Fig. 96) suggèrent que les quatre corps perturbateurs responsables des anomalies sont assimilables à des dykes à pendage sud (pour trois d'entre eux) caractérisés par une susceptibilité magnétique de $1,5 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS et dont le toit serait à une profondeur comprise entre 3000 et 3600 m.

II. MODELISATION DE L'ANOMALIE DE LA MANCHE

L'Anomalie de la Manche est essentiellement composée de six structures magnétiques assimilables à des corps (M1 à M6, Fig. 86) allongés selon la direction NE-SW. Ces structures s'étendent sur 500 Km depuis le

large de l'Ile d'Ouessant par 48° N et 6° W jusqu'à l'Ile de Wight par $50^{\circ}30'$ N et 1° W. La forme elliptique de ces anomalies permet de les assimiler à des structures ou des corps bidimensionnels et de les traiter comme tels (Lefort, Bardy et de Poulpiquet, 1988).

1. MODELISATION DE L'ANOMALIE A

Limité au Sud par le Cisaillement Sud Armoricaïn (Fig. 95) ce marqueur magnétique situé au large de l'Ile d'Ouessant laisse apparaître aussi bien sur la carte magnétique "volée" à 3000 m (Fig. 97) que sur la carte "volée" à 600 m (SAPA-SNPA in Lefort, Bardy et de Poulpiquet, 1988) deux structures principales (numérotées M1 et M3, Fig. 97). De formes allongées selon la direction NE-SW elles peuvent être assimilées à des structures bidimensionnelles.

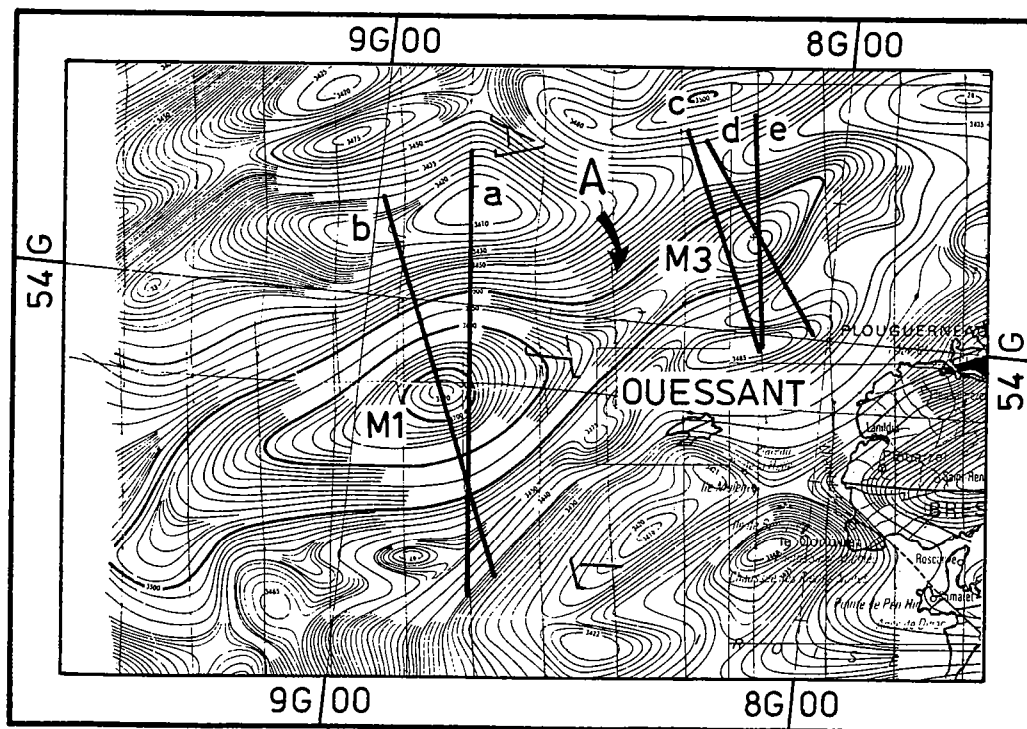


Fig.97 - Anomalie A (carte magnétique "volée" à 3000 m).

a, b, c, d, e : profils magnétiques rabattus sur les structures M1 et M3.

1.1. Modélisation de la structure M1

Sur la carte magnétique des anomalies du champ total "volée" à 3000 m, cette structure M1 est bien individualisée.

Sur les profils rabattus (profils a et b localisés sur la figure 97), correspondant pour le premier à la ligne de vol L 306 recoupant obliquement l'anomalie M1 et pour le second à un profil rabattu recoupant l'anomalie M1 perpendiculairement à son allongement, la forme de l'anomalie située à l'aplomb de la structure M1 suggère un modèle de filon mince (dyke) qui a été testé dans les deux cas au moyen de la méthode Koulomzine (automatisée sur le HP 9821).

1.1.1. Modélisation selon le profil a situé le long de la ligne de vol L 306

Si ce profil de part sa localisation prend en compte l'information vraie, son orientation oblique par rapport à l'anomalie N 60 conduira lors de la modélisation à une erreur certaine. Cependant, il nous a semblé intéressant de comparer les résultats obtenus avec ceux du profil b. La méthode Koulomzine s'étant révélée applicable à l'étude du profil rabattu, le dyke retenu comme modèle est caractérisé par un pendage nord de 55°, un toit relativement profond (4800 m) et une susceptibilité magnétique de $2,7 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS (Fig. 98a).

1.1.2. Modélisation selon le profil b perpendiculaire à l'anomalie

Contrairement au profil a, ce profil coupe l'anomalie selon la meilleure direction possible (Fig. 97).

La méthode Koulouzine applicable également à l'étude du profil rabattu permet de retenir comme solution un modèle de dyke à pendage nord (54°), dont le toit est situé à 2700 m et dont la susceptibilité magnétique est voisine de $2,2 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS (Fig. 98b).

1.1.3. Comparaison des deux modélisations.

Le trait majeur de ces modélisations est l'homogénéité des résultats. Excepté la profondeur (le corps restant malgré tout intrasocle), le pendage nord et la susceptibilité magnétique sont semblables.

On peut donc penser que le dyke modélisé à partir de la méthode Koulomzine est bien représentatif de la structure M1 et par conséquent de l'anomalie située à l'aplomb de cette structure.

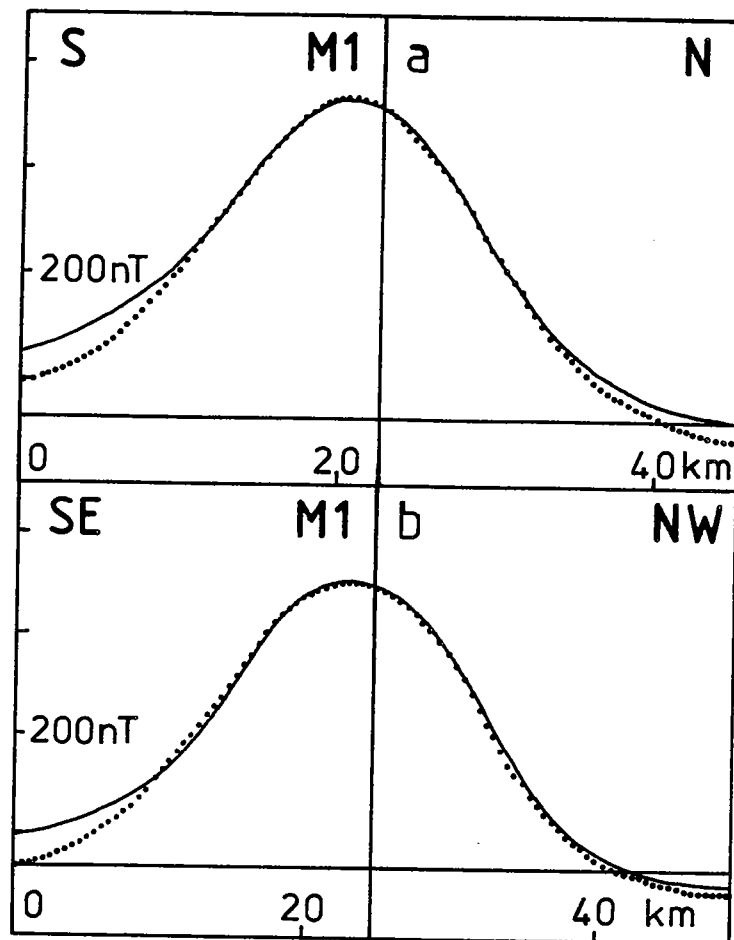


Fig.98 - Application de la méthode Koulomzine aux profils a (ligne de vol L 306 oblique par rapport à la structure M1) et b (perpendiculaire à la structure M1).

1.2. Modélisation de la structure M3

Située dans le prolongement nord-est de la structure M1 (Fig. 97), cette anomalie de plus faible longueur d'onde et de moindre amplitude à fait l'objet de plusieurs coupes (c, d, e) plus ou moins perpendiculaires à son allongement.

A partir des indications fournies par la méthode Spector et Grant (quatre profondeurs voisines de 3000 m, Fig. 99) un essai de modélisation de cette structure a été tenté à l'aide du programme Talwani (adapté à la HP 9845) au niveau du profil d (Fig. 97). Il a été retenu comme modèle un filon mince dont le toit se situerait à une profondeur moyenne de 3000 m et dont le pendage avoisinerait 20° Nord. Pour expliquer en amplitude

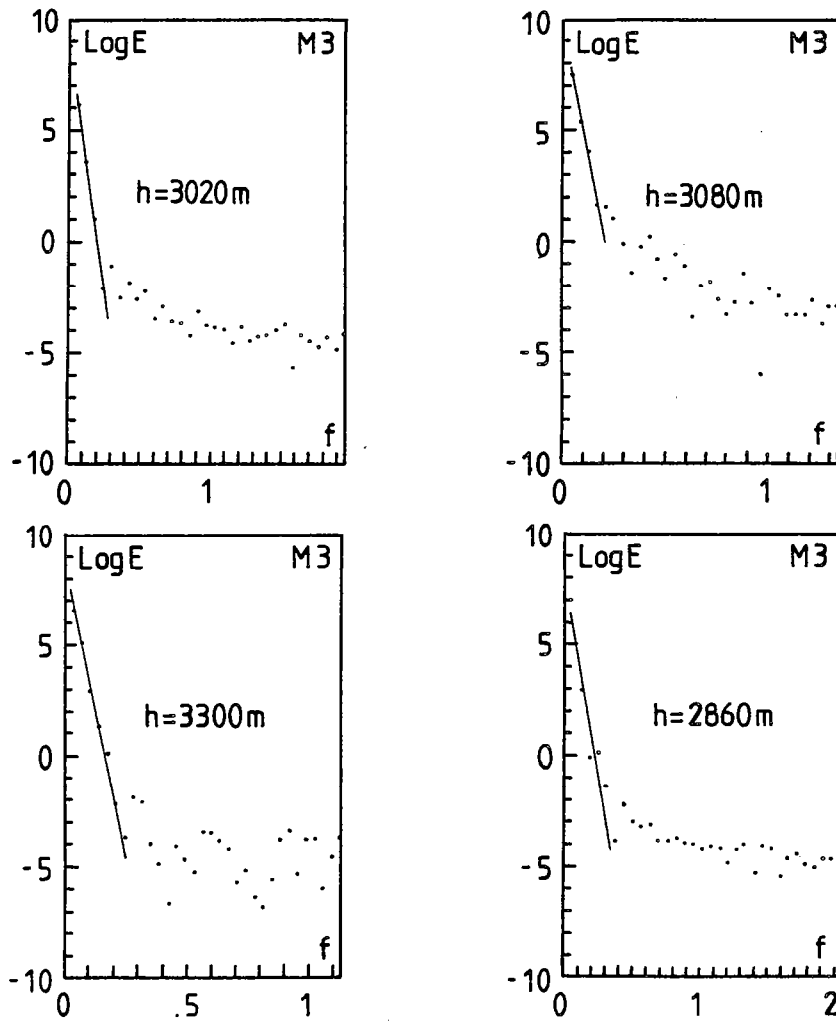


Fig.99 - Spectres d'énergie de l'anomalie M3 correspondant aux différents profils c, d, e (carte "volée" à 3000 m).

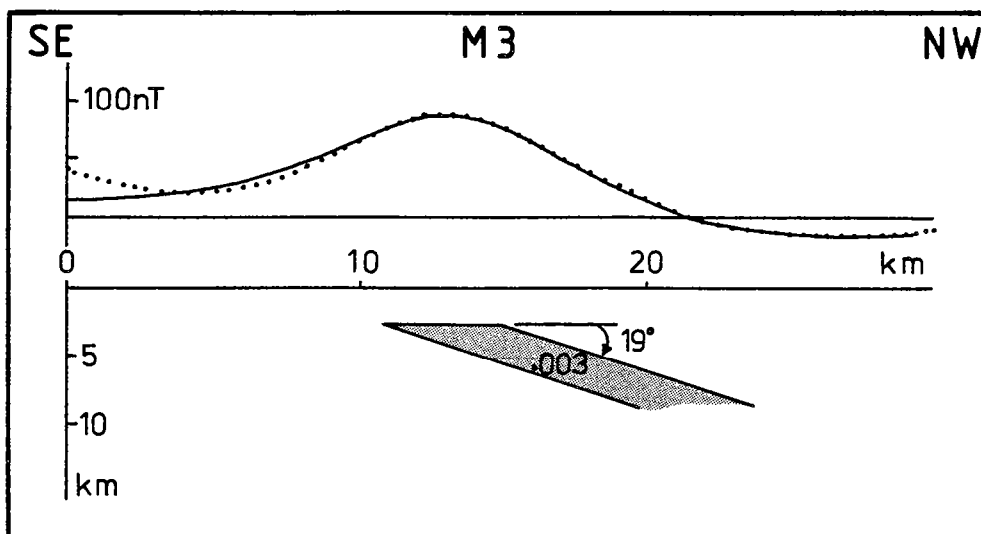


Fig.100 - Modèle magnétique (dyke) représentant la structure M3 selon le profil rabattu d.

l'anomalie observée au niveau du profil d, une susceptibilité magnétique de $3 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS a été attribuée à la structure étudiée.

Le modèle ainsi proposé (Fig. 100) explique de façon satisfaisante l'anomalie observée sur la carte "volée" à 3000 m.

1.3. Relation entre structure M1 et M3

Au vu des modélisations effectuées, il semble que l'anomalie A soit constituée de deux corps (M1 et M3) à pendage nord, intrasocle (profondeur proche de 3000m sous le niveau de la mer), aux susceptibilités magnétiques voisines (10^{-3} u.e.m. CGS) et caractéristiques des complexes ophiolitiques (Lefort et Segoufin, 1978).

2. MODELISATION DE L'ANOMALIE B

Représentant l'anomalie centrale du marqueur magnétique de la Manche, cette structure très bien individualisée sur la carte magnétique "volée" à 3000 m se trouve également fortement marquée sur la carte SAPA-SNPA "volée" à 600 m. Dans les deux cas (Fig. 101), les deux structures M2 et M4 assimilables à deux corps aux caractéristiques bidimensionnelles conditionnent la forme de ce marqueur magnétique B.

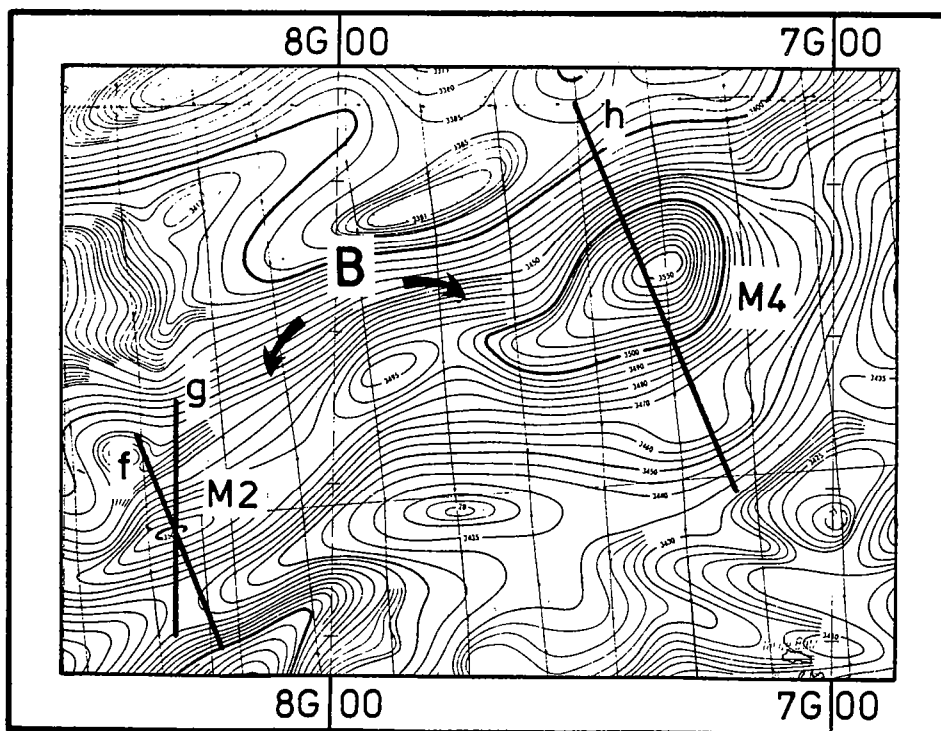


Fig. 101 - Anomalie B (carte magnétique "volée" à 3000 m).

f, g, h : profils magnétiques rabattus sur les structures M2 et M4.

La structure M4 a déjà fait l'objet d'une étude magnétique (Lefort et Ségoufin, 1978). Les résultats obtenus par la méthode Mc Grath et Hood (1970) sont représentés sur la figure 96 (profils 03 et 04).

2.1. Modélisation de la structure M2

Une estimation de la profondeur du toit de la structure M2 a été tentée à partir de l'analyse des spectres d'énergie de deux profils (f et g) recoupant la structure (Fig. 101). Les résultats fournis par cette analyse (Fig. 102a) indiquent que la structure M2 se situe à une profondeur voisine de 3000 m.

C'est à partir de ces indications données par la méthode de Spector et Grant (1970) qu'un essai de modélisation de la structure M2 au moyen de la méthode de Talwani sur le profil g est envisagé.

Dans l'hypothèse raisonnable d'un corps de type filon il a été retenu comme solution possible un dyke dont le toit se situerait à 3500 m, possédant une largeur d'environ 6 Km et un pendage sud de 67°. Afin d'expliquer en intensité l'anomalie observée au niveau du profil g, une susceptibilité de $1,2 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS a été attribuée à la structure M2 (valeur voisine de celle envisagée par Lefort et Ségoufin (1978) pour la structure 04 (Fig. 96)).

Il apparaît (Fig. 102b) que ce modèle explique de façon raisonnable l'anomalie observée sur la carte volée à 3000 m.

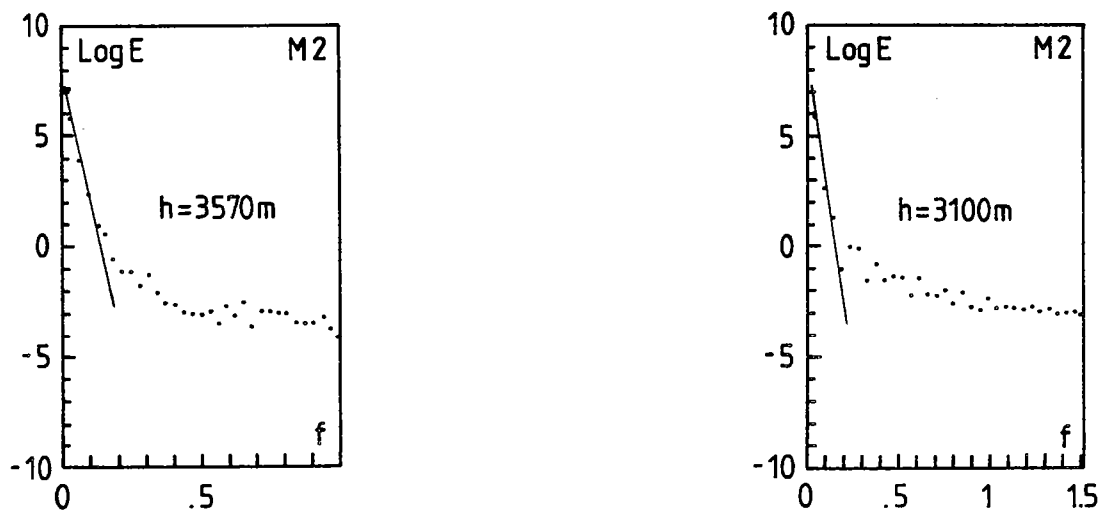


Fig. 102a - Spectres d'énergie de l'anomalie M2 correspondant aux profils f et g (carte "volée" à 3000 m).

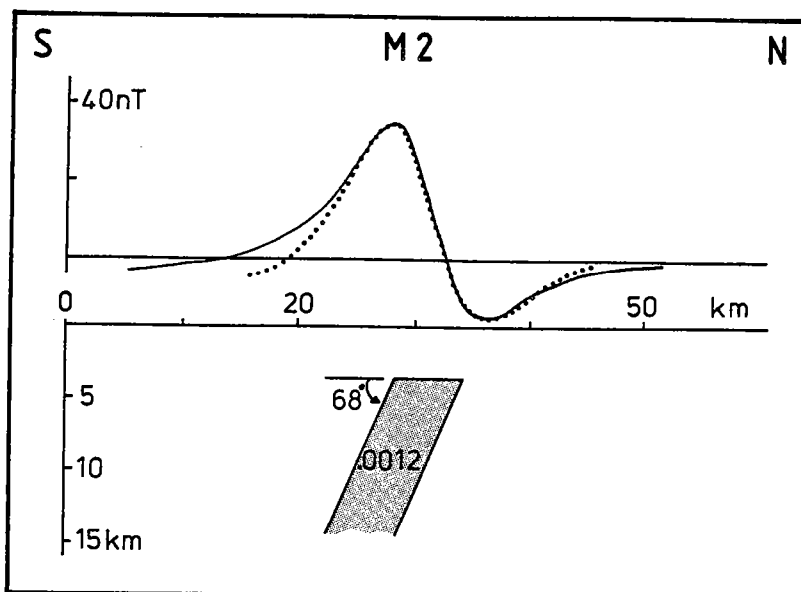


Fig. 102b - Modèle magnétique (dyke) représentant la structure M2 selon le profil rabattu g.

2.2. Modélisation de la structure M4

De même que pour la structure M2, une estimation de la profondeur du toit magnétique par la méthode Spector et Grant (Fig. 103a) est envisagée pour la structure M4. Les résultats obtenus confirment les profondeurs évaluées par Lefort et Ségoufin (1978) et montrent le caractère intra-socle de ces deux structures.

Un essai de modélisation à partir de la méthode Talwani est ensuite tenté. Le modèle suggéré par la forme de l'anomalie le long du profil rabattu h (Fig. 101) est un dyke dont les propriétés géométriques se définissent ainsi : une profondeur de 3900m, une largeur voisine de 15 km est un pendage sud de 61° . La susceptibilité magnétique choisie pour expliquer l'amplitude de l'anomalie est de $9,5 \cdot 10^{-4}$ u.e.m. CGS (Fig. 103b).

Le modèle proposé pour la structure M4 explique ainsi de façon satisfaisante l'anomalie observée. Par comparaison avec le modèle de Lefort et Ségoufin (1978) on note de légères différences dans les valeurs des susceptibilités magnétiques ($1,5 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS contre $9,5 \cdot 10^{-4}$ pour notre modélisation). Sinon, il apparaît que quelque soit la méthode utilisée (Mc Grath et Hood ou Talwani) la forme générale du corps reste la même.

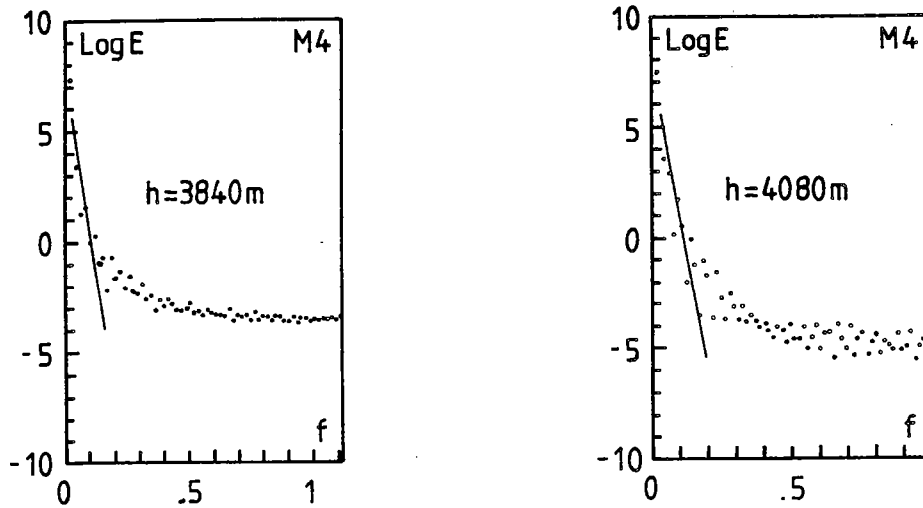


Fig. 103a - Spectres d'énergie de l'anomalie M4 correspondant au profil h (carte "volée" à 3000 m).

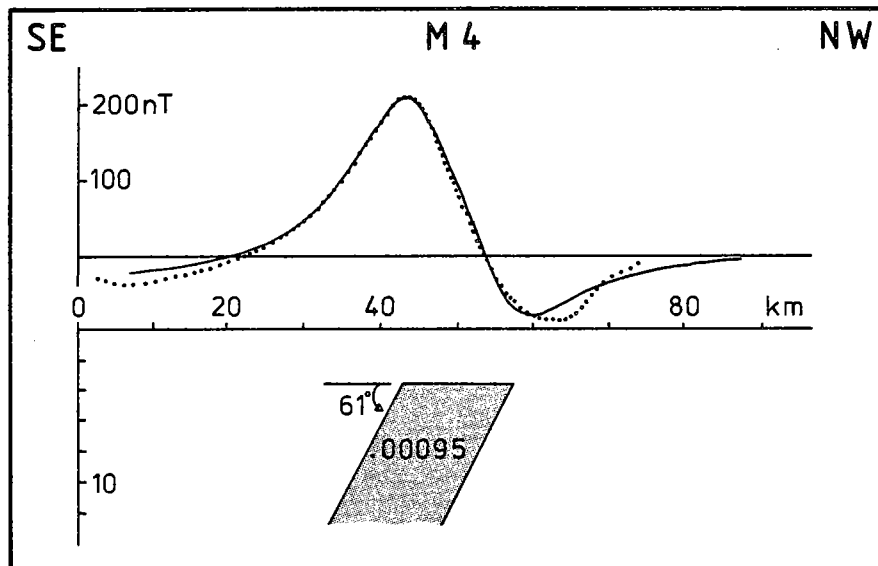


Fig. 103b - Modèle magnétique (dyke) représentant la structure M4 selon le profil rabattu h.

2.3. Relation structure M2-M4

Ainsi qu'il apparait sur les cartes magnétiques du champ total, l'homogénéité des structures constituant l'anomalie B se trouve confortée par les deux modélisations amenant à des structures très proches géométriquement et physiquement.

3. MODELISATION DE L'ANOMALIE C

Limitée au Nord par le chevauchement du Lizard, l'anomalie C représente l'extrémité NE de l'Anomalie de la Manche.

Sur la carte magnétique du champ total "volée" à 3000 m (Fig. 104a) seule son extrémité SW est visible ; l'extrémité NE se situe au delà du lever magnétique français. Sur la carte magnétique de la SAPA-SNPA (Fig. 104b) ce marqueur C est visible dans sa totalité.

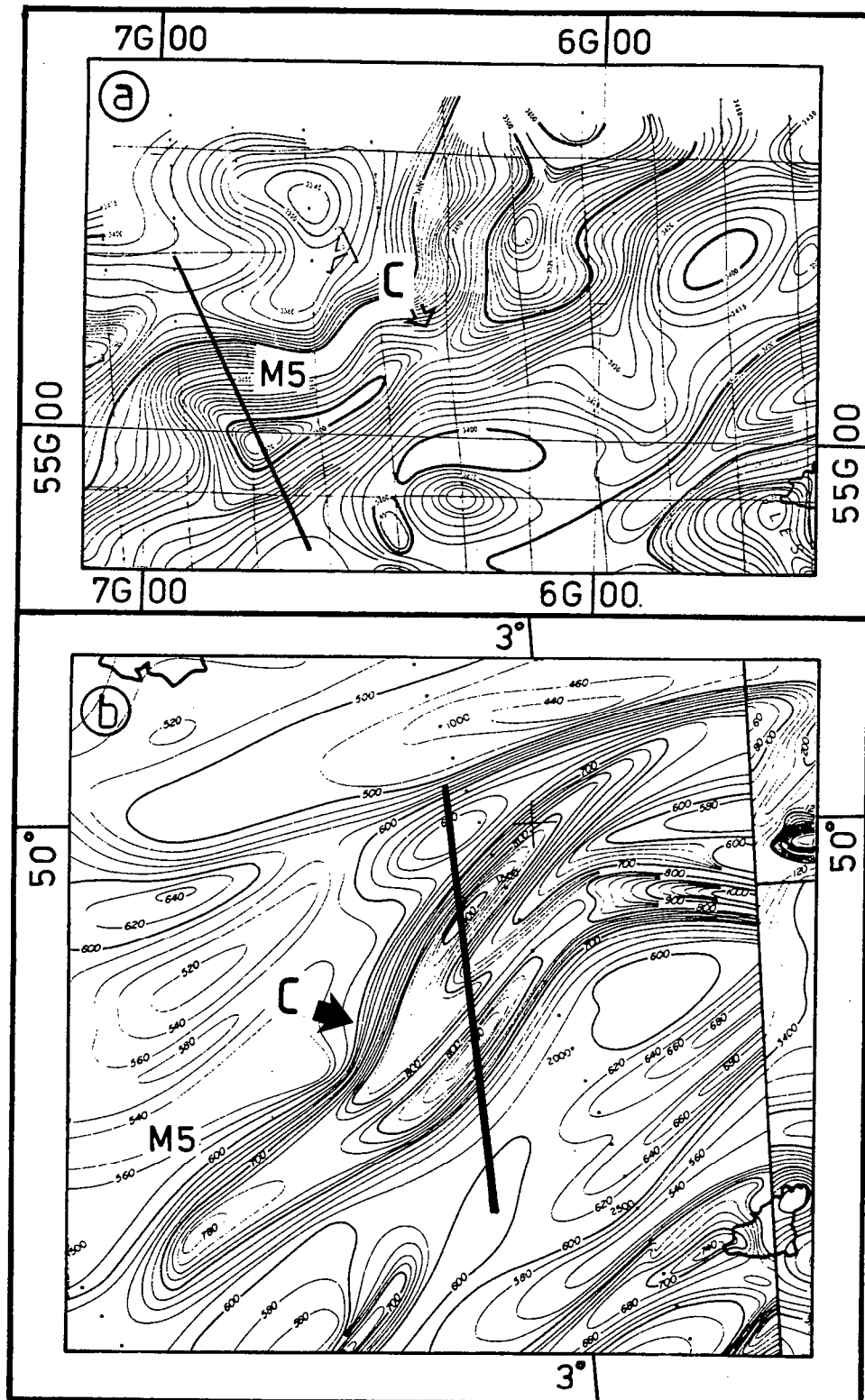


Fig. 104 - Anomalie C (a- carte "volée" à 3000 m ; b- carte "volée" à 600 m).

Sur les deux cartes, la zone sud-ouest montre une structure allongée SW-NE (M5) alors que la zone NE visible sur la carte SAPA est caractérisée par une zone où interfèrent différentes structures.

Si une modélisation de la structure M5 a été possible dans la région SW, du fait de l'interférence existant entre les anomalies de la zone NE, aucune modélisation n'a semblé représentative des anomalies observées dans cette zone. Aussi dans cette région, seule une estimation des profondeurs est envisagée.

3.1. Modélisation de la structure M5 dans la zone SW

Cette modélisation effectuée à partir de la carte "volée" à 3000 m sur un profil recoupant l'anomalie perpendiculairement à son plus grand axe a été traitée par la méthode de Talwani.

Ayant au préalable par la méthode Spector et Grant évalué la profondeur du toit de la structure magnétique (Fig 105a) un modèle de dyke a ensuite été choisi pour tenter d'expliquer l'anomalie observée. Le modèle solution est caractérisé par un toit situé à une profondeur de 3,6 km, un pendage sud de 63° et une largeur de 14,5 km environ. Sa susceptibilité magnétique a été fixée à 8.10^{-4} u.e.m. CGS.

Le modèle ainsi défini semble expliquer de façon satisfaisante l'anomalie observée sur la carte "volée" à 3000 m (Fig. 105b).

Notons tout de même que Lefort et Ségoufin, en 1978, avaient, par la méthode Mc Grath et Hood, proposé pour cette anomalie un corps à pendage nord comme "résultant probablement d'interaction entre l'Anomalie de la Manche et les anomalies du Sud de Start Point" .

Cette importante différence dans le sens du pendage de la structure ne nous semble pas imputable aux méthodes employées (nous venons de voir pour l'anomalie B l'homogénéité des résultats pour les structures 04-03 et M4) mais plutôt dans le choix du profil rabattu et de son emplacement par rapport au maximum et à l'allongement de l'anomalie. Notre profil coupe l'anomalie par son maximum, perpendiculairement à son axe le plus long, alors que le profil 01 de Lefort et Ségoufin (Fig. 95) semble légèrement excentré par rapport aux maxima de l'anomalie.

Cependant, remarquons qu'il existe une corrélation entre notre modélisation et celle de Lefort et Ségoufin (1978), située plus à l'Ouest (profil 02 , Fig. 96).

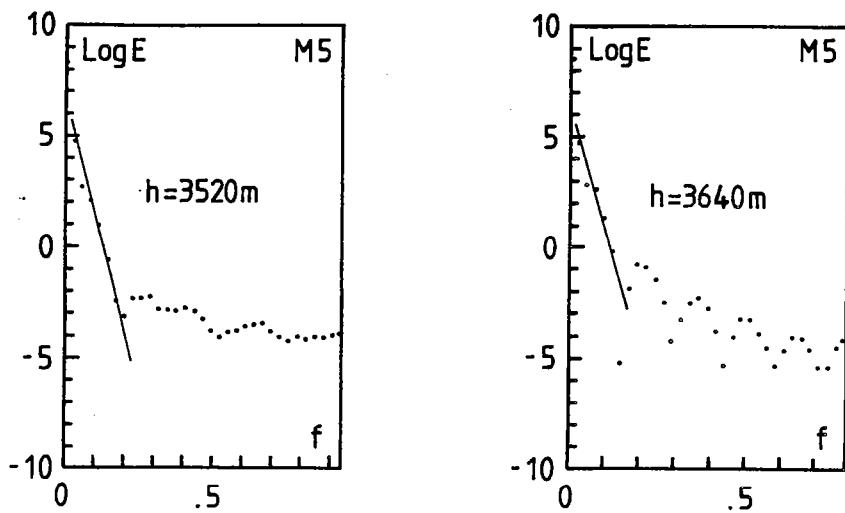


Fig. 105a - Spectres d'énergie de l'anomalie M5 (carte "volée" à 3000 m et carte "volée" à 600m).

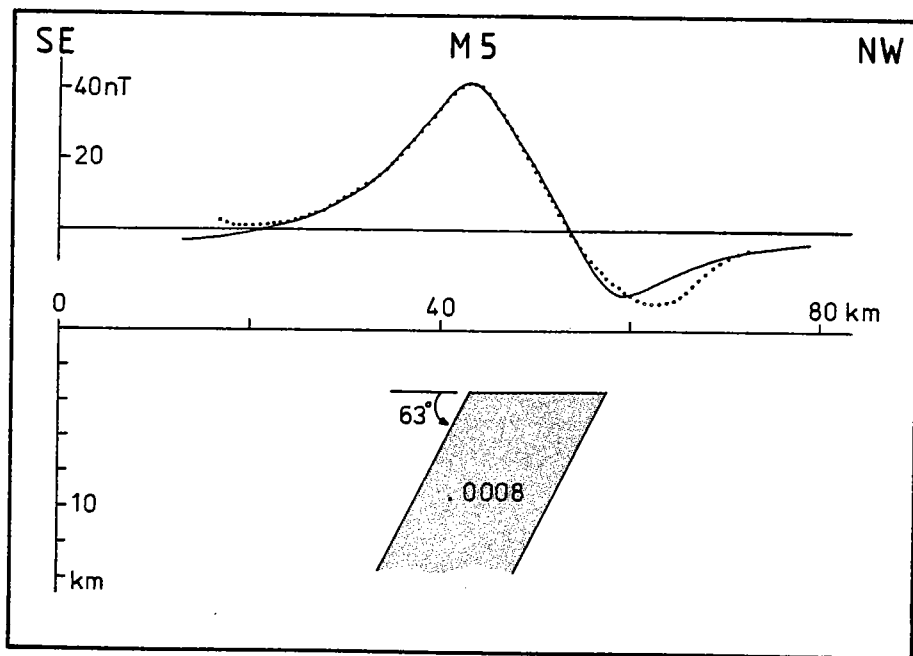


Fig. 105b - Modèle magnétique (dyke) représentant la structure M5 (carte "volée" à 3000 m).

3.2. Etude magnétique de la zone NE

Uniquement visible sur la carte "volée" à 600 m (SAPA-SNPA), la zone NE de l'anomalie C se caractérise par la présence de plusieurs anomalies interférentes, rendant ainsi la modélisation fort délicate.

Aussi, nous proposons, pour cette zone, une estimation de la profondeur moyenne des toits des corps responsables de ces anomalies à partir de l'utilisation de la méthode de Spector et Grant. La profondeur moyenne est alors estimée à 2700m (Fig. 106).

Le caractère intrasocle de cette anomalie C semble de nouveau acquis.

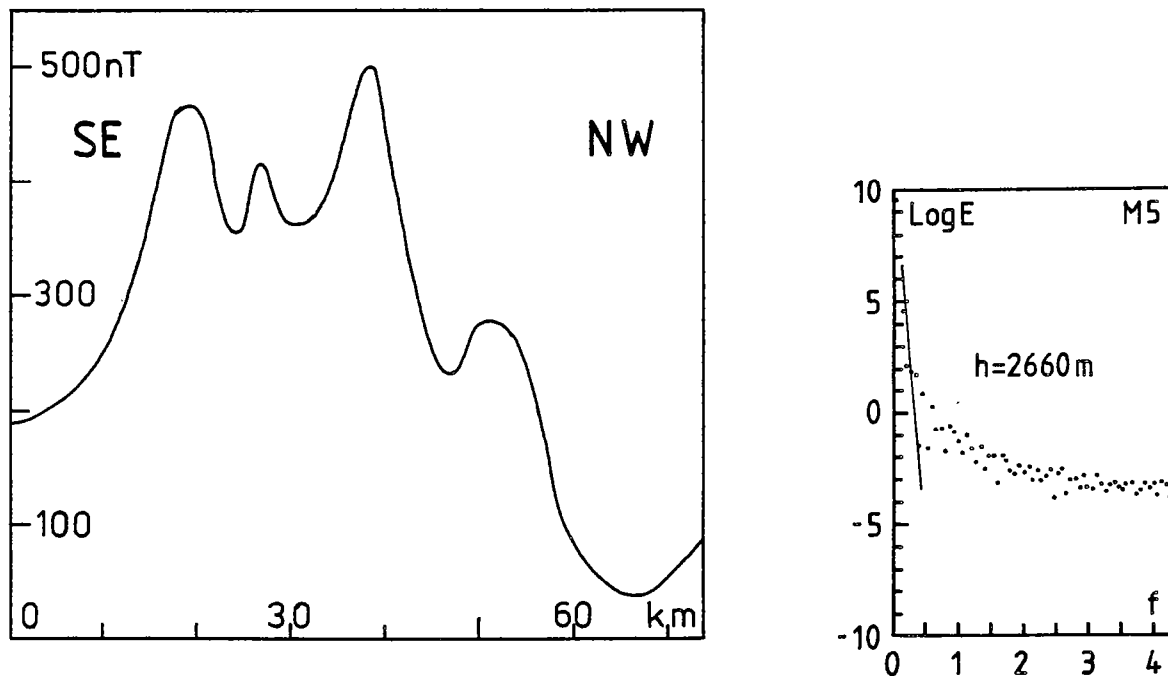


Fig. 106 - Profil magnétique rabattu, zone Nord-Est (carte "volée" à 600 m). Spectre d'énergie correspondant au profil rabattu de cette zone N.E.

3.3. Conclusion

L'anomalie C se caractérise dans sa partie SW par la présence d'un corps (M5) à pendage Sud confortant ainsi les modélisations des corps M2 et M4. Elle montre le caractère homogène de l'Anomalie de la Manche dans cette région et implique que nous avons à faire à une même structure.

Dans sa partie NE on note une légère remontée du socle magnétique.

III. ESSAI DE PROLONGEMENT DE L'ANOMALIE DE LA MANCHE VERS LE NE

Les trois paragraphes précédents traitent de l'Anomalie de la Manche telle qu'elle a été décrite par les principaux auteurs qui l'ont étudiée. Or, il apparait sur les cartes magnétiques françaises et anglaises (lors d'une compilation des données in Lefort, Bardy et de Poulpique, 1988) que ce marqueur magnétique médian se prolonge vers le Nord Est par l'anomalie magnétique de l'Ile de Wight. Cette anomalie légèrement décallée en dextre par le chevauchement du Lizard apporterait la preuve, si son appartenance au système "Anomalie de la Manche" est démontrée, que le marqueur magnétique est bien anté hercynien (Fig. 107).

1. Modélisation de la structure de l'Ile de Wight (M6)

Caractérisée par un marqueur allongé SW-NE, cette structure M6 (Fig. 107) présente les caractéristiques principales des autres anomalies constituant l'Anomalie de la Manche (amplitude de 100 gammas, longueur d'onde d'environ 6 Km, axe principal d'une longueur supérieur à 10 Km).

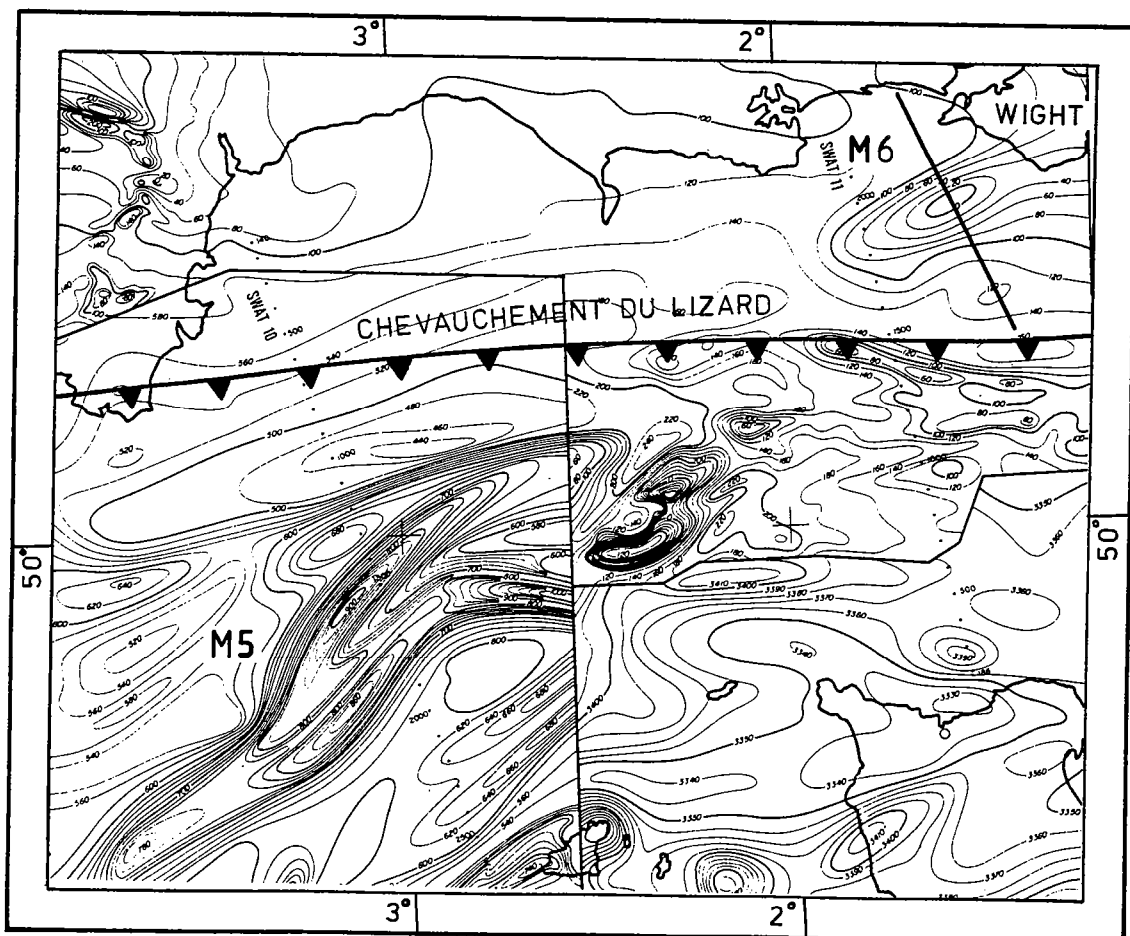


Fig. 107 - Carte magnétique représentant la terminaison Nord-Est de l'Anomalie de la Manche (structures M5 et M6) décallée par le chevauchement du Lizard.

Sa forme allongée permet d'assimiler cette structure à une structure bidimensionnelle. Un modèle de type dyke semble bien rendre compte de l'anomalie observée sur le profil rabattu (Fig. 107). Les différents paramètres évalués au moyen de la méthode Koulomzine (Fig. 108a) sont les suivants : profondeur du toit magnétique = 3300 m, largeur du corps = 7,5 km, pendage = 63° N et susceptibilité magnétique de 1.10^{-3} u.e.m. CGS.

Une nouvelle estimation de profondeur est tentée au moyen de la méthode Spector et Grant sur un profil rabattu perpendiculaire à l'axe d'allongement de la structure. Les profondeurs évaluées à partir des spectres d'énergie se sont avérées voisines de la profondeur estimée à partir de la méthode de Koulomzine (Fig. 108b).

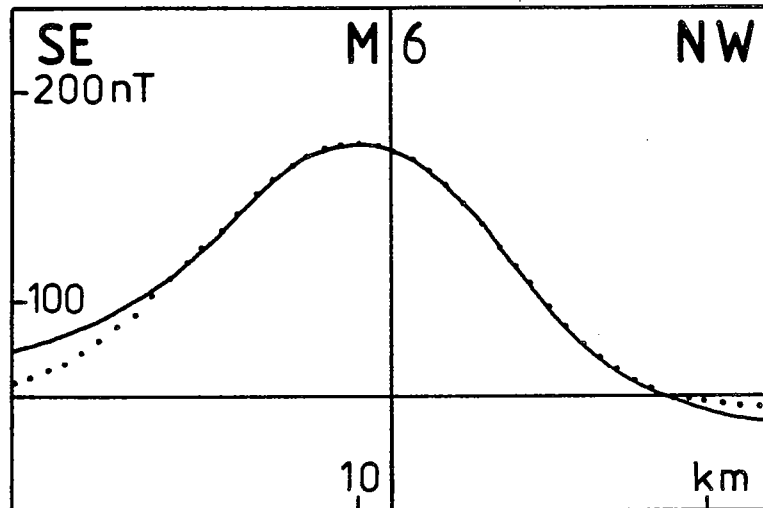


Fig. 108a - Application de la méthode Koulomzine à l'anomalie magnétique provoquée par la structure M6.

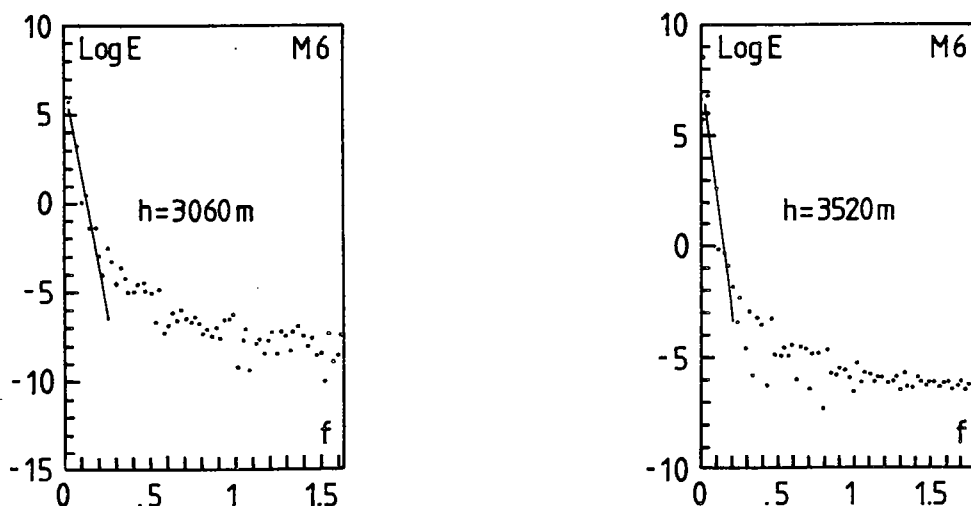


Fig. 108b - Spectres d'énergie de l'anomalie M6 (carte anglaise).

2. Comparaison avec les structures M1-M2-M3-M4-M5

Au terme de la modélisation de la structure magnétique M6 de l'Ile de Wight, nous pouvons dire que cette structure possède tous les caractères de l'Anomalie de la Manche.

- la profondeur est voisine des profondeurs des corps M1 à M5, elle définit le corps M6 comme une structure intrasocle.

- la susceptibilité magnétique, de l'ordre de 10^{-3} u.e.m. CGS est semblable à celle du corps ophiolitique de la Manche Occidentale.

- enfin les propriétés physiques tels que le pendage ou la largeur sont compatibles avec ceux des corps M1 à M5.

De ce fait, l'anomalie de l'Ile de Wight marque bien le prolongement vers le NE de l'Anomalie de la Manche.

IV. CONCLUSION

Par comparaison avec la profondeur du toit du socle magnétique estimée dans cette zone à environ 2500 m (Lefort, Bardy et de Poulpiquet, 1988), les diverses profondeurs calculées pour l'Anomalie de la Manche (de l'Ile d'Ouessant à l'Ile de Wight) d'après les données du magnétisme aéroporté s'avèrent compatibles avec un caractère nettement intrasocle.

Cette structure magnétique peut être interprétée après modélisation, comme un dyke intrasocle.

Deux "familles" de pendages (vers le NW et le SE) sont mises en évidence. Toutefois, il convient de remarquer que les structures à pendage nord caractérisent les anomalies les plus méridionales alors que les anomalies à pendage sud sont toutes situées dans la partie nord du marqueur magnétique permettant ainsi de tracer un axe de divergence au niveau de l'anomalie. Cette double vergence dont on retrouve la trace sur les profils SWAT (chapitre IV, Lefort et Bardy, 1987 et Lefort, 1988) et à terre dans le Cotentin (1ère partie) suggère le caractère contemporain de la tectonique cadomienne et du corps magnétique médian de la Manche Occidentale.

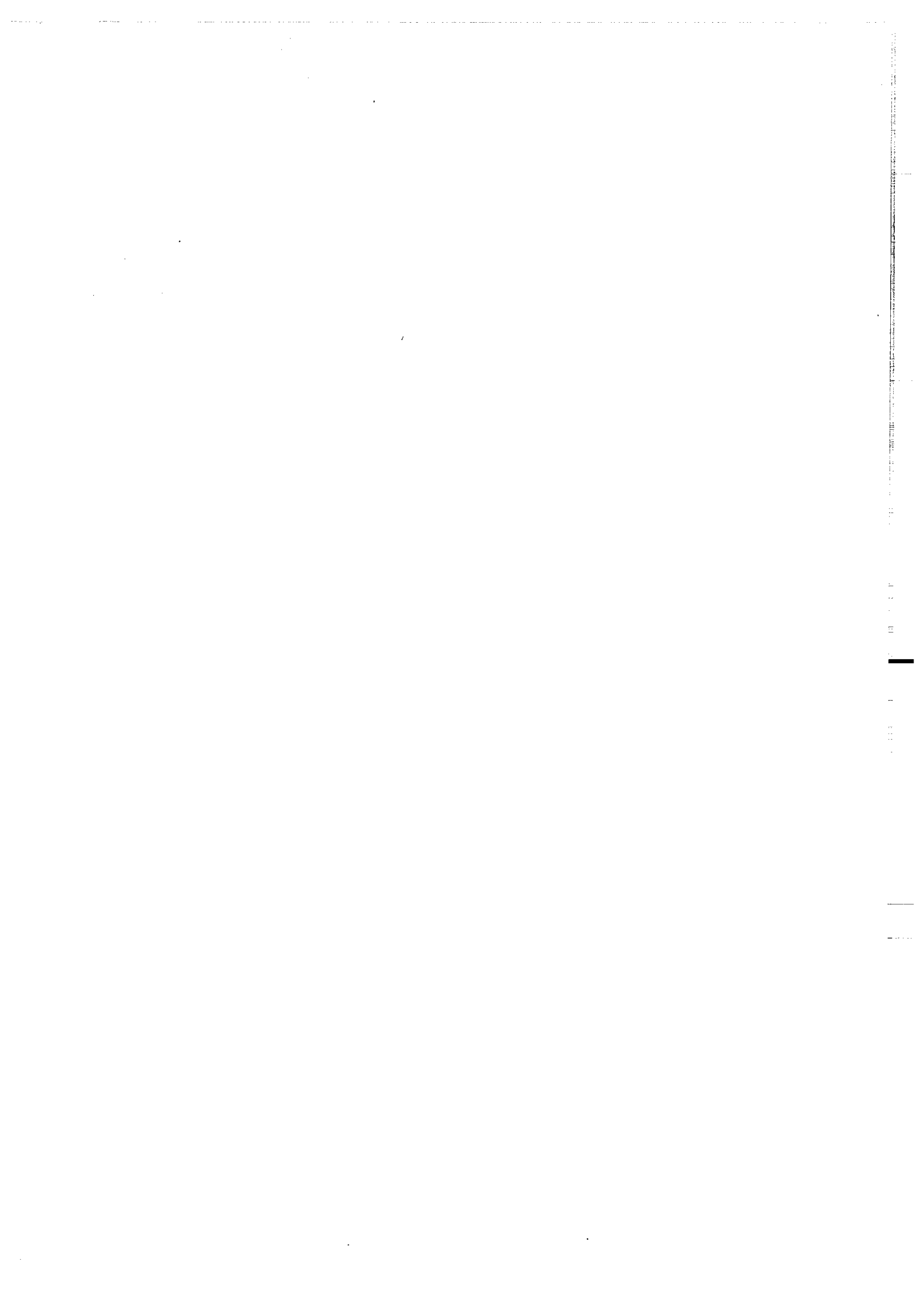
Les différentes valeurs de susceptibilités magnétiques déterminées pour chacune des modélisations (de $0,8 \cdot 10^{-4}$ à $2,7 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS) sont compatibles avec les déterminations faites sur les cortèges ophiolitiques (Weber, 1973 ; Lefort et Ségoufin, 1978).

Enfin, il nous apparait qu'un âge anté-hercynien (Fig. 95) sûr, probablement Cadomien peut être donné à l'Anomalie de la Manche.

Ainsi, compte tenu de l'hypothèse, bien étayée à terre (Auvray, 1979) on peut admettre que l'anomalie médiane de la Manche est provoquée par un corps ophiolitique unique à l'origine, suggérant la trace d'une suture. Les pendages vers le Sud indiqueraient la possible pente du plan de subduction plongeant vers le Sud-Est (Auvray et Lefort, 1980).

CHAPITRE III

LE GOLFE NORMANO - BRETON



I. INTRODUCTION

La lecture des cartes magnétiques des anomalies du champ total (France, 3000 m et SAPA-SNPA, 600 m) permet l'observation de nombreuses anomalies magnétiques dans le Golfe normano-breton. Souvent de fortes amplitudes, elles sont localisées au Sud du marqueur magnétique de la Manche.

Ces corps (Fig. 86) pour la plupart assimilables à des structures bidimensionnelles s'orientent selon deux directions principales :

- une direction NE-SW, parallèle à l'orientation N 60 de l'Anomalie de la Manche et des structures cadomiennes reconnues en Bretagne Nord et en Normandie. Ces anomalies, toutes regroupées dans le Golfe normano-breton, s'alignent selon des axes parallèles (Fig. 86).

- une direction E-W, au large de l'extrémité septentrionale du Cotentin, reprend l'orientation hercynienne de l'accident chevauchant du Lizard. Ces corps E-W décalent et séparent de façon notable l'Anomalie de la Manche en deux tronçons (au SW les anomalies A-B-C ; au NE l'anomalie de l'Ile de Wight).

Jusqu'à présent, les seuls travaux géophysiques (modélisations magnétiques) se sont concentrés sur l'Anomalie de la Manche (Gérard, 1973; Gérard et Griveau, 1972 ; Lefort et Ségoufin, 1978). Aussi nous pensons que les synthèses sur l'orogène cadomien (telles qu'elles sont envisagées) entre le Cotentin et la Bretagne Nord sans une étude préalable de la partie submergée sont incomplètes.

Afin de combler le manque d'information, un essai de modélisation des anomalies magnétiques situées au Sud de l'Anomalie de la Manche dans le Golfe normano-breton a donc été envisagée (quand la forme et la dynamique de l'anomalie le permettent).

II. RAPPELS SUR LA GÉOLOGIE DU GOLFE NORMANO-BRETON

C. R. Acad. Sc. Paris, t. 304, Série II, n° 16, 1987

997

Publié avec l'aimable autorisation de :

l'Académie des Sciences de Paris.

GÉOLOGIE MARINE. — *Structure et stratigraphie des formations antémésozoïques du golfe normano-breton d'après l'interprétation de données sismiques.* Note de Philippe Bardy et Jean-Pierre Lefort, présentée par Xavier Le Pichon.

L'interprétation des profils sismiques enregistrés dans la partie méridionale du golfe normano-breton met en évidence une structuration WSW-ENE d'âge Cadomien probable caractérisée par des décrochevements à vergence sud; recoupée par un système de failles N130. Cette étude a en outre permis de préciser l'âge Paléozoïque inférieur des « séries rouges » immergées.

MARINE GEOLOGY. — The pre-mesozoic structures and stratigraphy of Golfe Normano-Breton after seismic data.

South of Golfe Normano-Breton a WSW-ENE belt, probably of Cadomian age, is characterized by north dipping strike-slip overthrusts, cross-cut by a N130 fault system. This study also suggests to attribute a lower Paleozoic age to the "Red beds" Formation.

I. LES DONNÉES ANTÉRIEURES. — Nos connaissances actuelles sur l'organisation géologique du socle de la partie méridionale du golfe normano-breton et sur sa structure résultent essentiellement des travaux de Kerforne et Dangeard [1], de Dangeard [2], de Lefort et Deunff [3], de Lefort ([4], [5], [6]), et de Deunff, Lefort et Paris [7].

Dans la région qui s'étend en mer entre 48°35'N et 49° de latitude et entre 1°45'W et 2°55'W de longitude (fig. 1), on peut distinguer deux ensembles principaux :

- d'une part au Nord, un vaste synclinal de terrains briovériens, au cœur occupé par des séries paléozoïques qui prolongent les formations de la baie de Saint-Brieuc; ces terrains sont intrudés par des massifs plutoniques et des coulées volcaniques cadomiennes;
- d'autre part au Sud le prolongement du dôme gneissique de Saint-Malo dont le cœur, occupé par des migmatites, est entouré par des séries micaschisteuses.

Deux systèmes de failles affectent ces séries : le premier orienté N40/N60 [5] est recoupé par un second orienté N130-N150 [5].

II. LES DONNÉES NOUVELLES D'ORDRE STRUCTURAL (fig. 1). — 400 km de profils sismiques Sparker (300 J) ont été enregistrés dans cette partie du golfe selon 20 profils orientés suivant les directions WSW-ENE et NW-SE. Ils recoupent les principales structures déjà reconnues en mer ([4], [5]).

(A) *Les terrains briovériens.* — Ils correspondent en général à des séries peu métamorphiques qui ont été carottées à de nombreuses reprises [5]; leur image sismique ne révèle habituellement que des réflecteurs à forts pendages. Parce qu'à terre, la schistosité est très faible et très souvent confondue avec la stratification, ces réflecteurs correspondent probablement au litage originel. Une corrélation étroite entre profils nous a cependant permis de cartographier des marqueurs qui s'organisent selon des couches concentriques autour des migmatites de Saint-Malo (fig. 1); sachant que sur le continent, les directions de schistosité dessinent des enveloppes régulières autour de ce dôme ([8], [9] et [10]) nous pensons que les enregistrements sismiques peuvent aussi parfois montrer la schistosité.

Contrairement aux observations anciennes effectuées à terre ([8], [11], [12]), le schéma établi à partir de la sismique ne permet pas de distinguer deux phases de déformation dans les terrains briovériens; et nous pensons en accord avec les travaux récents ([13], [14]) qu'il n'existe qu'une seule phase de déformation cadomienne dans la région.

(B) *Les terrains paléozoïques.* — Ceux-ci correspondent à des grès et des schistes regroupés sous le terme de « séries rouges ». Ils montrent des réflecteurs à faibles pendages

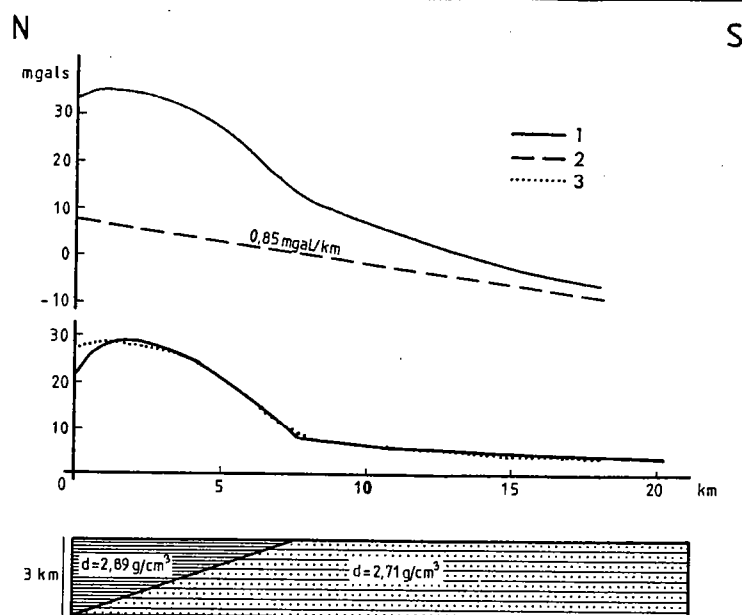


Fig. 2. — Modélisation de l'anomalie gravimétrique située à l'Ouest de la Baie de la Fresnaye (les densités correspondent à des densités mesurées sur le terrain [Lefort et Bardy (sous presse)]. 1, anomalie observée (en haut) et calculée (en bas); 2, anomalie régionale (0,85 mgal/km); 3, anomalie résiduelle.

Fig. 2. — Gravity modelling of a thrust known west of Baie de la Fresnaye (after Lefort and Bardy, in press). 1. Observed (top) and calculated (bottom) anomaly; 2, regional anomaly; 3, residual anomaly.

(20-30°) qui sont sans ambiguïté liés à la stratification, aucune schistosité n'ayant été observée sur les échantillons carottés [5]. En deux points précis (profils n° 72NB 53 et 72NB 56; fig. 1) le Paléozoïque est apparu transgressif sur le Briovérien. La structuration du Paléozoïque est caractérisée par des plis orientés d'Est en Ouest et ne peut donc être confondue avec la structuration attribuée à l'orogénèse cadomienne.

(C) *Les failles.* — La superposition des deux familles d'accidents mises en évidence par magnétisme [5], a été confirmée. On distingue ainsi :

(1) un système N 40°/N 60°, qui regroupe lui-même deux catégories de failles :

— la première qui a vraisemblablement joué en décrochement [14] est localisée sur le flanc ouest de la baie de Saint-Brieuc au nord d'Étables-sur-mer. Ces failles constituent le prolongement submergé des failles du Trégorrois et de Tréguier;

— la seconde située plus au Sud, montre plus de continuité et se prolonge en mer vers l'Est jusqu'aux îles Chausey. Une de ces fractures se raccorde à l'accident de la baie de la Fresnaye considéré comme un décrochevauchement cadomien [14].

Une modélisation à deux dimensions a été tentée pour expliquer l'anomalie gravimétrique située en bordure de cet accident (fig. 2). Le modèle géophysique (fig. 2) montre que l'anomalie pourrait être créée par le chevauchement d'un ensemble basique de densité 2,89 g/cm³ sur un ensemble sédimentaire et métamorphique de densité 2,71 g/cm³. Ces densités sont aussi celles mesurées sur des échantillons prélevés sur le terrain [15].

L'interprétation du profil sismique SWAT 10 [15] enregistré plus au Nord montre encore qu'il existe, à une douzaine de kilomètres de profondeur, et à 35 km au Nord, des accidents chevauchants qui sont en parfaite continuité avec ceux que nous avons

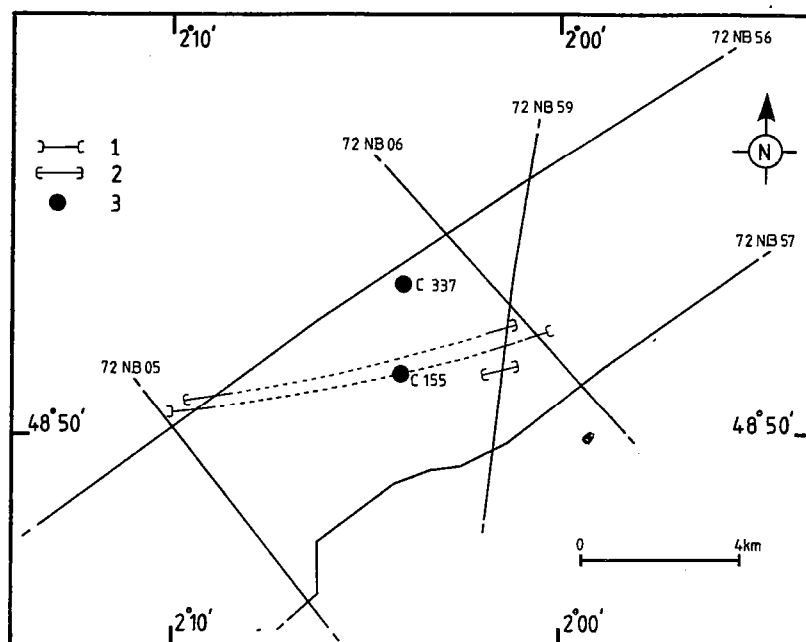


Fig. 3. — Interprétation détaillée des profils sismiques effectués aux environs des prélèvements C 155 et C 337. 1, axe synclinal; 2, axe anticlinal; 3, carottages; C 155, prélèvement de terrain Ludlowien; C 337, prélèvement de « grès rouges ».

Fig. 3. — Detailed interpretation of seismic data close to core hole C 155 and C 337. 1, Synclinal axis; 2, Anticlinal axis; 3, Core sample location (C 155: Ludlow; C 337: "Red Sandstones").

cartographiés par sismique « Sparker ». Leur composante décrochante a pu être déterminée grâce au décalage d'un massif de diorite situé au large du Cap Fréhel : le rejet horizontal apparent senestre peut être estimé à 25 km.

Ce système de fractures, daté du Cadomien à terre ([8], [14]), montre un rejeu paléozoïque puisque'il affecte les séries rouges; le rejeu, vraisemblablement hercynien, serait faible.

(2) Le système N 130°/N 150°. Ce système, qui provoque dans la plupart des cas des décrochements dextres, est post-cadomien. Par analogie avec ce qui est connu en Manche occidentale [5], et le long de la discontinuité de Quessoy-Valet [16], nous pensons qu'il s'agit de décrochements permo-triasiques [17].

III. LES NOUVELLES OBSERVATIONS D'ORDRE STRATIGRAPHIQUE. — L'âge des « séries rouges » paléozoïques a toujours été un sujet de controverse. Les travaux récents, effectués à terre, aussi bien en Bretagne septentrionale [18], qu'en Normandie [19], tendent à rapporter ces formations à l'Ordovicien basal.

L'interprétation simultanée des profils sismiques et des carottages permet d'utiliser des critères structuraux pour dater les séries rouges submergées.

En 1971, Deunff et coll. [7] ont étudié un carottage de schiste gris (C 155; fig. 3) prélevé au milieu des séries rouges. L'étude de la microfaune a permis d'attribuer un âge Ludlovien à cet échantillon. Ce carottage se trouve localisé sur la trajectoire d'un axe synclinal mis en évidence par la sismique réflexion (fig. 3). Les terrains sous-jacents représentés ici par le prélèvement C 337 (situé sur le flanc nord d'un anticlinal voisin) et rapportés aux « séries rouges », ont donc un âge anté Silurien supérieur.

IV. CONCLUSIONS. — L'étude de la sismique réflexion, jointe aux datations déjà effectuées sur les prélèvements marins, nous permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

- la fracturation connue dans le Trégor se poursuit en mer selon des directions qui deviennent, en baie de Saint-Brieuc, parallèles à l'anomalie magnétique de la Manche [5];
- la discordance du Paléozoïque sur le Briovérien mise en évidence à terre a pu être également observée dans le golfe normano-breton;
- l'âge Paléozoïque inférieur (anté Ludlovien) des « séries rouges » submergées paraît pour la première fois établi;
- les décrochevauchements cadomiens à vergence sud orientés WSW-ENE, connus en baie de Saint-Brieuc représentent probablement des structures antithétiques de l'ancienne subduction de l'Océan de la Manche ([15], [20]);
- toutes ces discontinuités ont vraisemblablement joué en décrochements au cours du Paléozoïque avant d'être recoupées par des décrochements dextres orientés N 130°.

Reçue le 9 mars 1987.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. KERFORNE et L. DANGEARD, *Comptes rendus*, 174, 1922, p. 1714-1715.
- [2] L. DANGEARD, *An. Inst. océan.*, 1928, p. 21-26.
- [3] J. P. LEFORT et J. DEUNFF, *Comptes rendus*, 272, série D, 1971, p. 16-19.
- [4] J. P. LEFORT, *Mém. Soc. géol. Fr.*, LVI, p. 1-68.
- [5] J. P. LEFORT, *Thèse d'État*, Rennes, 1975.
- [6] J. P. LEFORT, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 279, 1975, p. 123-135.
- [7] J. DEUNFF, J. P. LEFORT et F. PARIS, *Bull. Soc. Geol. Minéral. Bretagne*, III, n° 1, série C, 1971, p. 9-28.
- [8] D. JEANNETTE, *Thèse d'État*, Strasbourg, 1971.
- [9] P. BALE, *Thèse*, Rennes, 1986.
- [10] J. P. BRUN, *Thèse*, Rennes, 1975.
- [11] J. COGNE, *Bull. Soc. géol. Fr.*, I, n° 7, 1959, p. 112-118.
- [12] J. COGNE, *C.R. Sess. Extr. Soc. Belg. Pal. et Hydro. et Soc. géol. Belg.*, 1967, p. 222-227.
- [13] D. RABU, J. J. CHAUVEL et J. CHANTRAINE, *Bull. Soc. géol. Fr.*, XXV, n° 4, 1983, p. 615-621.
- [14] P. BALE et J. P. BRUN, *Comptes rendus*, 297, série II, n° 3, 1983, p. 359-362.
- [15] J. P. LEFORT et Ph. BARDY, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1987 (sous presse).
- [16] J. L. JAEGER, *Mem. B.R.G.M.*, 52, 1967, p. 89-102.
- [17] J. P. LEFORT, *Marine Geology*, 14, 1973, p. 33-38.
- [18] B. AUVRAY, J. MACE, Ph. VIDAL et R. VAN DER VOO, *J. Géol. Soc. London*, 137, n° 2, 1980, p. 207-210.
- [19] H. PERROUD, M. ROBARDET, R. VAN DER VOO, N. BONHOMMET et F. PARIS, *Geoph. J.R. Astr. Soc. Soc. London*, 80, 1984, p. 541-549.
- [20] J. P. LEFORT, Rapport ECORS (sous presse), 1987.

*Centre Armoricaïn d'Étude structurale des Socles,
Institut de Géologie, campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex.*

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 1. — Esquisse tectonique du socle de la partie méridionale du Golfe normano-breton. 1, diorites; 2, endroits où est observée la discordance du Paléozoïque sur le Briovérien.

Fig. 1. — Tectonic sketch of the basement known in Golfe de Saint-Malo. 1, diorites; 2, observed unconformity between Paleozoic and Brioverian terranes.

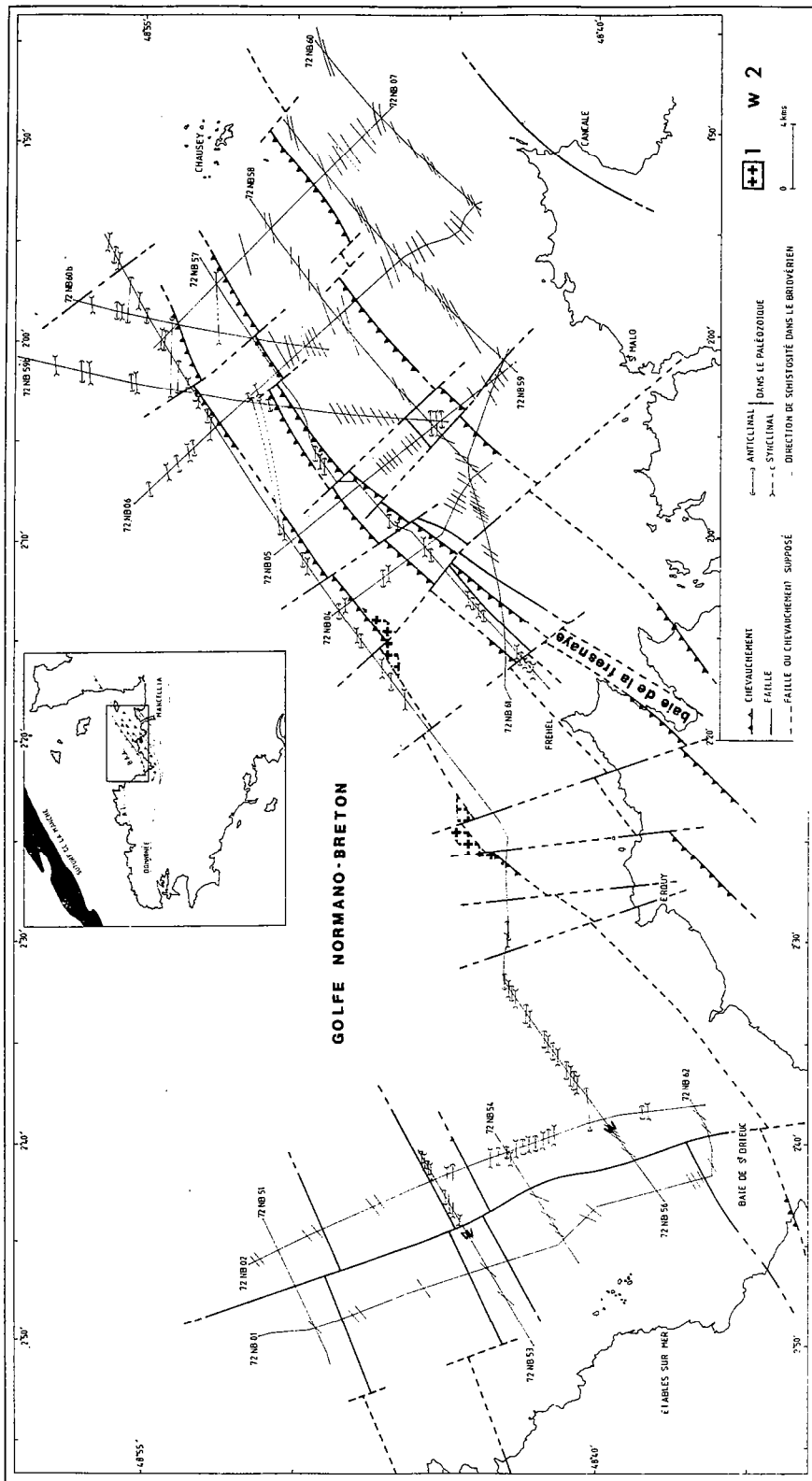


Fig. 1

III. ETUDE DES ANOMALIES MAGNETIQUES DU GOLFE NORMANO-BRETON

L'intensité de l'information magnétique dans cette région a rendu délicate les tentatives de modélisations magnétiques. Le nombre important d'anomalies (une vingtaine identifiables sur les cartes magnétiques du champ total) et la superficie relativement modeste de la zone étudiée créent des interférences importantes amenant ainsi de possibles erreurs d'interprétation et rendant même parfois toute modélisation impossible.

1. MODELISATION DES STRUCTURES S1 ET S2

En position méridionale par rapport à l'Anomalie de la Manche (Structure M5, Fig. 86), ces deux structures non individualisées sur la carte du champ total (France, 3000 m) sont représentées sur la carte SAPA-SNPA (600 m) par deux anomalies allongées NE-SW d'amplitude relativement importante (entre 50 à 100 gammas) (Fig. 109).

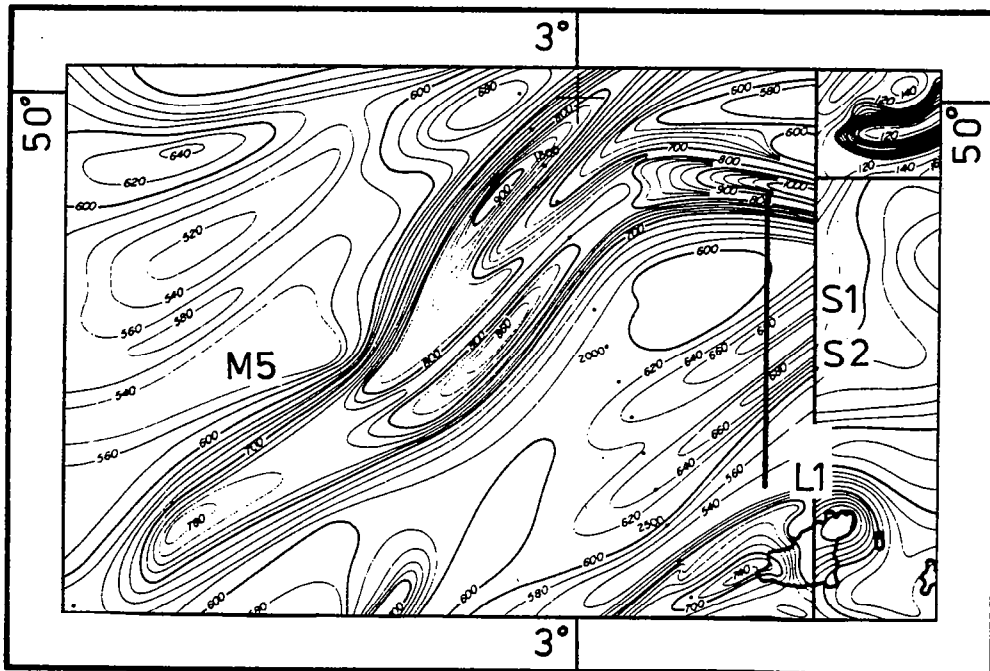


Fig. 109 - Localisation des structures S1 et S2 sur la carte magnétique "volée" à 600 m (SAPA-SNPA).

L1 - ligne de vol L1.

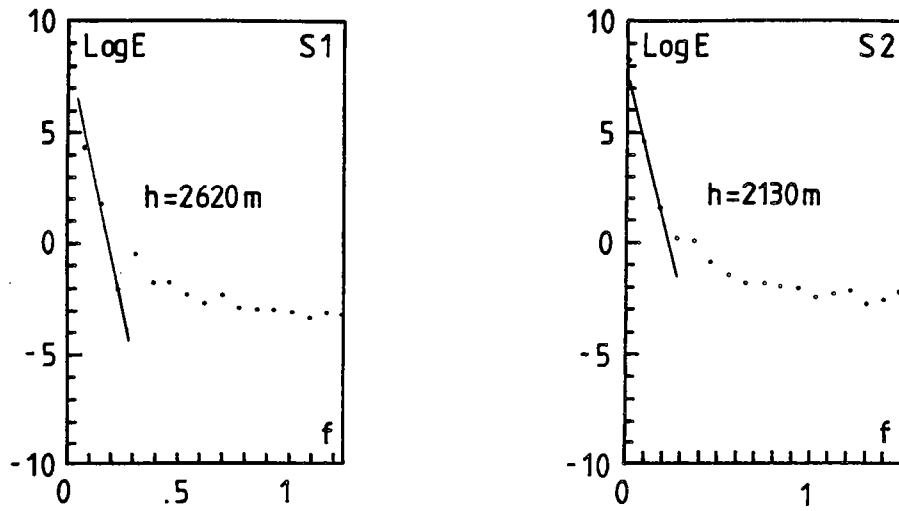


Fig.110a - Spectre d'énergie des structures S1 et S2 selon le profil rabattu L1 (carte "volée" à 600 m).

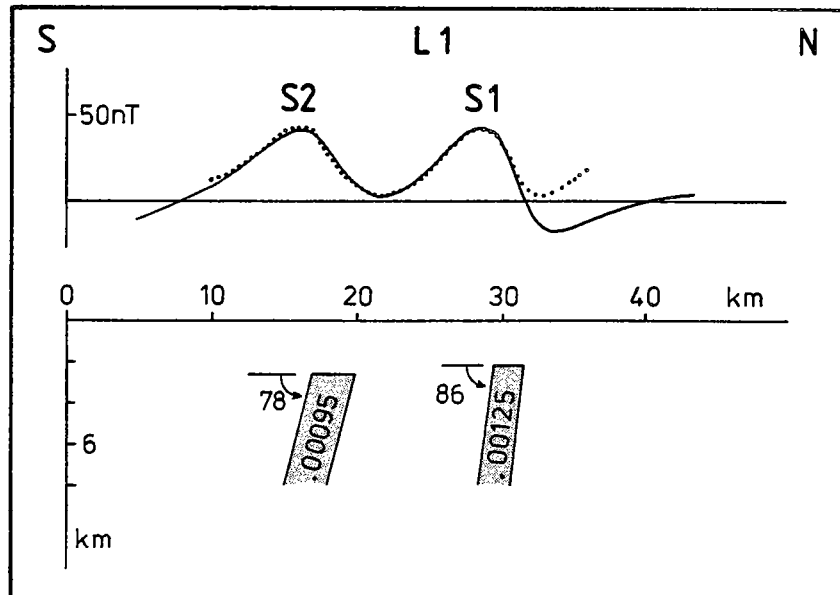


Fig.110b - Modèles magnétiques (dykes) représentant les structures S1 et S2 selon la ligne de vol L1.

Une estimation de la profondeur des toits des structures S1 et S2 a été tentée à partir de l'analyse des spectres d'énergie des profils recoupant les anomalies selon la ligne de vol L1 (Fig. 109). Les résultats devront être pris à titre indicatif du fait que le profil rabattu n'est pas en toute rigueur perpendiculaire aux axes d'allongement des anomalies.

Ces estimations ont livré des profondeurs de 2620 m (structure S1) et 2130 m (structure S2) (Fig. 110a), valeurs relativement voisines de celles observées pour l'Anomalie de la Manche située juste au Nord.

A partir des indications fournies par la méthode de Spector et Grant (indices de profondeur) un essai de modélisation des structures S1 et S2 est réalisé à l'aide du programme Talwani au niveau du profil rabattu L1 "volé" à 600 m. Des filons minces (dykes) (3 et 2 km de largeur) à pendage sud (respectivement de 78° et 86° pour les structures S2 et S1) et possédant des susceptibilités magnétiques de $9,5 \cdot 10^{-4}$ u.e.m. CGS (S2) et $1,25 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS (S1) expliquent de façon satisfaisante les anomalies observées sur la carte "volée" à 600 m (Fig. 110b).

Ces structures, non visibles sur les cartes géologiques existantes possèdent des susceptibilités magnétiques proches de celles enregistrées pour l'Anomalie de la Manche. Elles représentent vraisemblablement des intrusions basiques dont l'âge pourrait être Cadomien. Leurs positions coïncident avec un accident N 60 situé au Nord de Guernesey.

2. MODELISATION DE LA STRUCTURE G

Localisée sur la pointe Sud Ouest de l'Ile Anglaise de Guernesey, l'extrémité orientale de cette anomalie magnétique se superpose au complexe intrusif et basique de la Baie de Rocquaine.

Des études récentes de gravimétrie et magnétisme (Briden et al., 1982) suggèrent que l'anomalie positive située au SW de l'Ile (Fig. 111) peut être interprétée comme résultant d'un corps gabbroïque situé entre 0,5 km (méthode gravimétrique) et de 1,5 km (méthode magnétique) de profondeur.

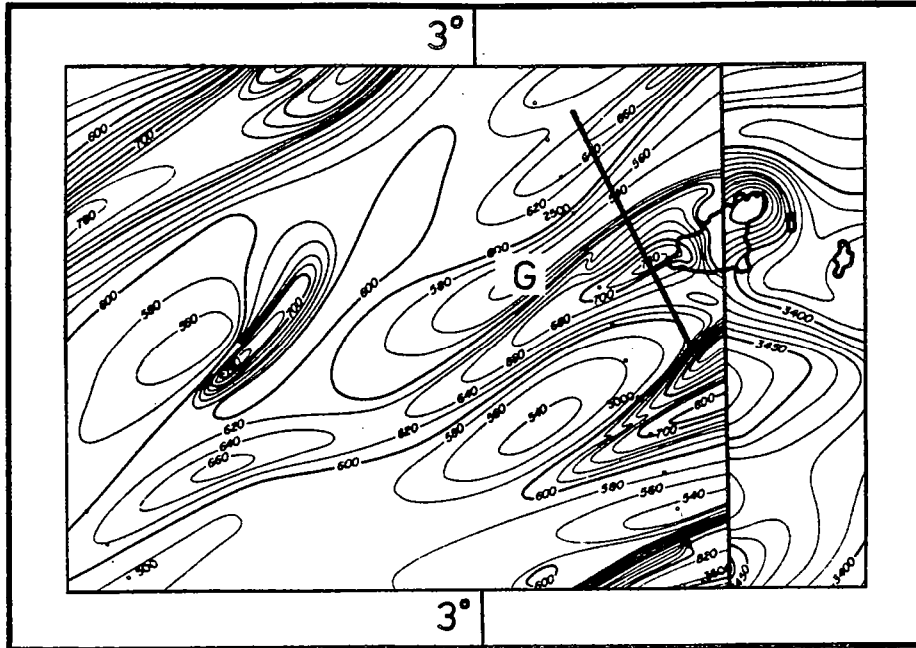


Fig.111 - Carte magnétique de la région de Guernesey (G) (carte "volée" à 600 m).

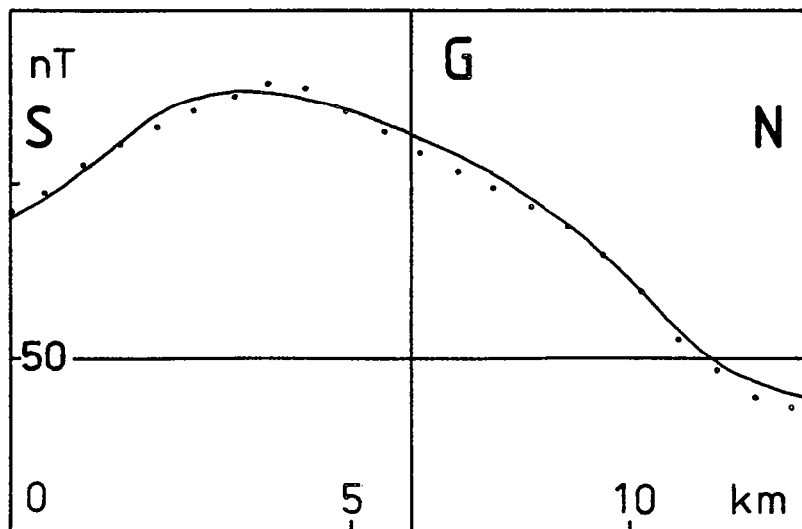


Fig.112 - Application de la méthode Koulomzine au profil rabattu correspondant à l'anomalie G.

Cette anomalie, bien que pouvant, par sa forme, rendre compte d'une structure bidimensionnelle, ne possède pas les caractéristiques typiques pour être modélisable. Cependant, un essai de modélisation par la méthode de Koulomzine est effectué sur un profil recoupant l'anomalie perpendiculairement à son axe (Fig. 111).

Un modèle dyke rend compte, de façon satisfaisante, de l'anomalie observée. Les paramètres évalués au moyen de la méthode Koulomzine sont une profondeur de 900 m (valeur comprise dans l'intervalle défini par Briden et al.), une largeur de 7 km (valeur qui nous semble excessive), un pendage vers le Nord de 75° ainsi qu'une susceptibilité magnétique de $7,6 \cdot 10^{-4}$ u.e.m. CGS (Fig. 112).

Une nouvelle estimation de la profondeur a été tentée au moyen de la méthode Spector et Grant sur le même profil rabattu. La profondeur évaluée à partir du spectre d'énergie (Fig. 113) s'avère très différente (2530 m) des estimations réalisées à partir de la méthode Koulomzine (900 m). Cette différence de profondeur ne peut s'expliquer que par la méthode employée. En effet, il est peu probable que la profondeur estimée par la méthode de Spector et Grant représente le toit d'une structure magnétique plus profonde. Mais il est possible que le corps magnétique étudié ne possède pas en toute rigueur la géométrie prismatique que requiert en principe l'application de la méthode de Spector et Grant, expliquant ainsi la profondeur plus élevée. En outre, nous estimons que la valeur donnée par la méthode Koulomzine (elle-aussi à la limite de son application) par comparaison aux travaux de Briden et al. (1982) reflète une valeur plus raisonnable.

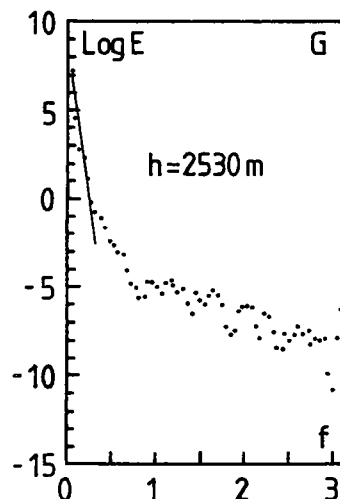


Fig. 113 - Spectre d'énergie de la structure G (carte "volée" à 600 m).

3. MODELISATION DES STRUCTURES PLUS SUPERFICIELLES DU GOLFE NORMANO-BRETON

La cartographie sous-marine de la partie méridionale du Golfe normano-breton (Lefort et Deunff, 1971, 1974) laisse suspecter que le socle briovérien est subaffleurant sous une couverture paléozoïque très peu épaisse. L'abondance de corps magnétiques entourant l'Ile de Jersey (corps GNB1 ; GNB2 ; GNB3 ; GNB4 ; GNB5) suggère que ce socle cadomien est percé et composé de nombreux petits massifs plutoniques de formes variables (elliptiques à circulaires) et de susceptibilité magnétique importante (Fig. 116).

Un essai de modélisation de ces petits massifs (dont certains ont été carottés ; Lefort et Deunff, 1971, 1974) a été envisagé pour les structures GNB3 et GNB4 à partir de la carte "volée" à 600 m, alors que les structures GNB1, GNB2 et GNB5 ont été traitées à partir des données de la carte "volée" à 3000 m.

3.1. Modélisation des structures GNB3 et GNB4

3.1.1. La structure GNB3

Représentée sur la carte "volée" à 600 m par une anomalie allongée NE-SW (N 70), d'amplitude proche de 150 gammas, cette structure peut être caractérisée par un modèle bidimensionnel (Fig. 116).

Sur un profil rabattu, perpendiculairement à l'axe d'allongement de l'anomalie, un modèle de type dyke dont les paramètres évalués au moyen de la méthode Koulomzine a été construit (Fig. 114a). Les paramètres géométriques sont les suivants : une profondeur de 1295 m pour le toit de la structure, un pendage de 69° vers le Nord et une largeur proche de 6700 m. Le paramètre physique (susceptibilité magnétique) est évalué à $1,8 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS.

Une autre estimation de la profondeur a été calculée au moyen de la méthode Spector et Grant (Fig. 114b). La profondeur ainsi évaluée s'est avérée voisine (1240m) de celle estimée par la méthode Koulomzine.

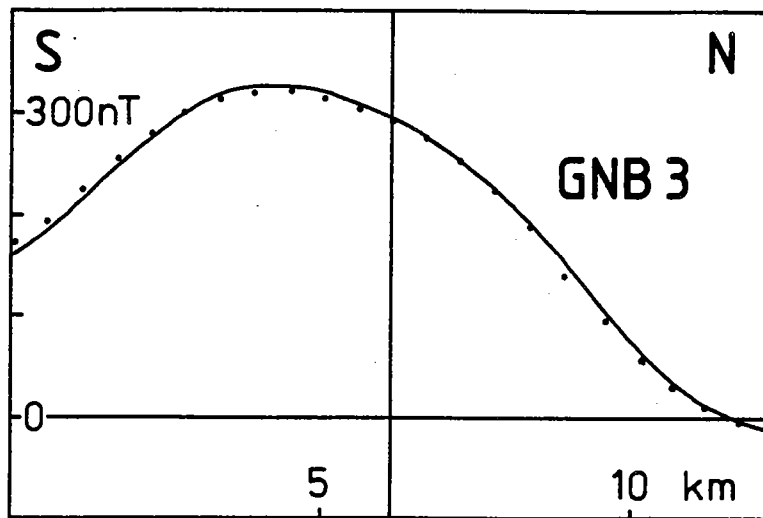


Fig. 114a - Application de la méthode Koulomzine à la structure magnétique GNB 3 (carte "volée" à 600 m).

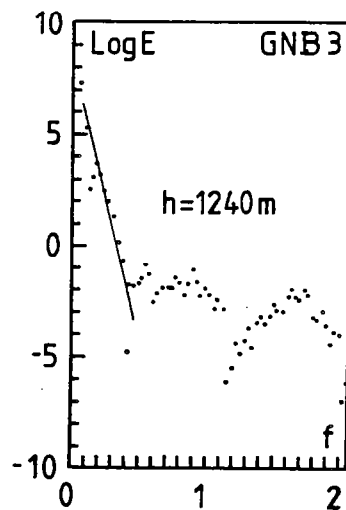


Fig. 114b - Spectre d'énergie de la structure GNB3 (Carte "volée" à 600 m).

3.1.2. La structure GNB4

Située juste au Nord du corps GNB3, cette anomalie, de même direction que la précédente est caractérisée par une plus faible longueur d'onde et une plus forte intensité. Son caractère également bidimensionnel a rendu possible une modélisation sur profil (perpendiculaire à l'axe d'allongement) (Fig. 116).

Un modèle de dyke semble bien rendre compte de l'anomalie observée sur le profil rabattu. Les différents paramètres évalués au moyen de la méthode Koulomzine étant comparativement aux paramètres de la structure GNB3 égaux quant à la profondeur (1200 m), inférieurs quant à la largeur (4000 m) et le pendage 52° N ainsi que la susceptibilité magnétique ($1,4 \cdot 10^{-3}$ u.e.m. CGS) (Fig. 115a).

Une seconde estimation selon le même profil rabattu au moyen de la méthode de Spector et Grant a donné une valeur peu différente de la profondeur estimée précédemment (970 m) (Fig. 115b).

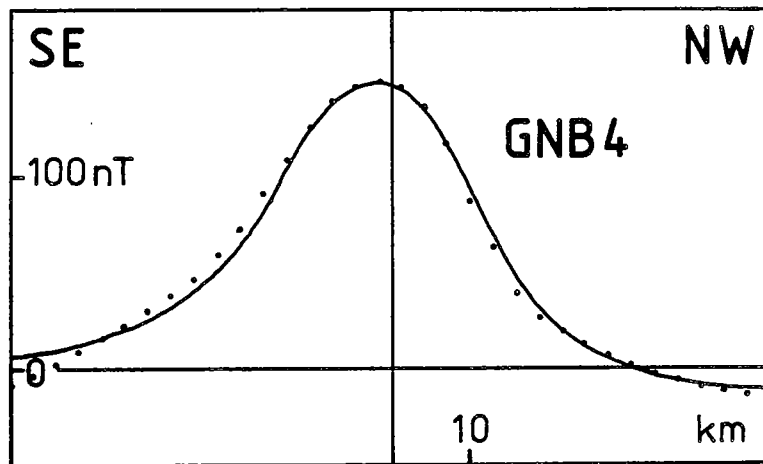


Fig. 115a - Application de la méthode Koulomzine à la structure magnétique GNB4 (carte "volée" à 600 m).

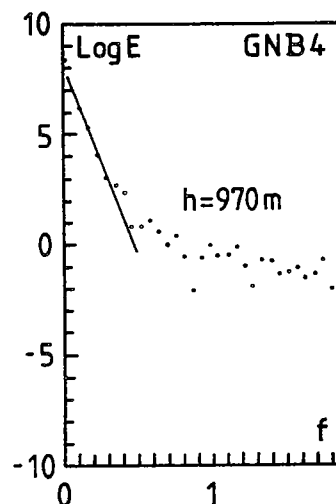


Fig. 115b - Spectre d'énergie de la structure GNB4 (carte "volée" à 600 m).

3.1.3. Etude comparée de ces deux structures

Les modélisations de ces deux structures font apparaître de grandes similitudes quant aux paramètres géométriques et physiques suggérant pour ces deux corps une origine et une composition identique. Sur la Carte Géologique du Socle Pérarmoricain (Lefort, 1975), établie à partir de données géophysiques, cet auteur émet l'hypothèse de la présence d'un massif de gabbro ou de diorite unique localisé au Sud de Guernesey.

Les modélisations effectuées suggèrent que les deux structures (GNB3 et 4) représenteraient deux digitations gabbroïques intrasocles issues d'une même source (susceptibilités élevées proches de celles des gabbros, (Weber, 1973)).

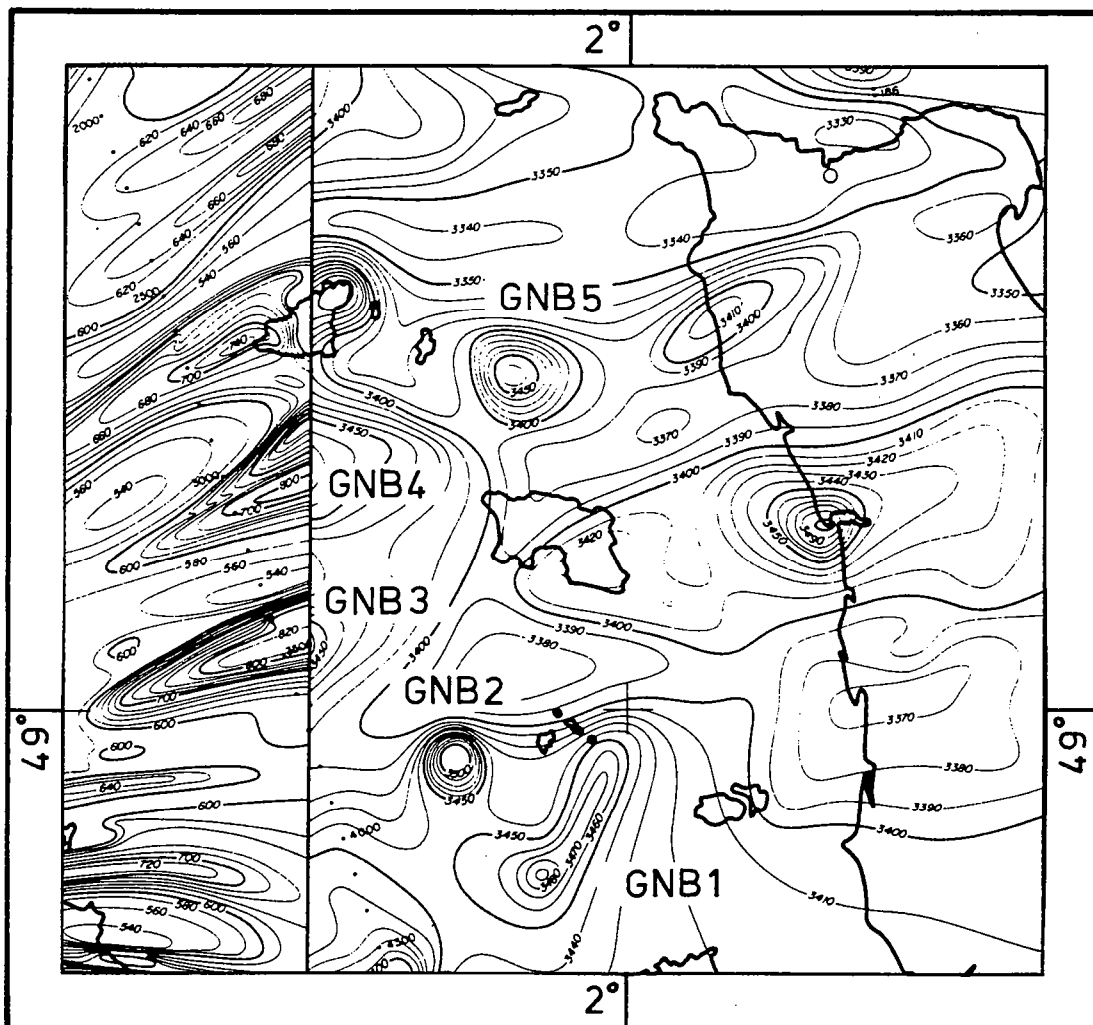


Fig.116 - Localisation des anomalies magnétiques correspondant aux corps GNB1, GNB2, GNB3, GNB4 et GNB5 (cartes "volées" à 600 et 3000 m).

3.2. Etude des structures GNB1 - GNB2 - GNB5

Ces trois structures visibles sur la carte "volée" à 3 000 m (Fig. 116), de par leurs formes circulaires (GNB5 et GNB2) et en L (GNB1), ne présentent pas les caractéristiques de structures bidimensionnelles et ne seront donc pas traitées comme telles.

Seule une estimation de la profondeur du toit magnétique est envisagée (pour la structure GNB2, aucune estimation n'a été possible). Les résultats devront cependant être pris à titres indicatifs du fait que les corps étudiés ne semblent pas posséder en toute rigueur la géométrie nécessitée par la méthode de Spector et Grant. Celle-ci bien qu'à l'extrême limite de son application a cependant été employée à défaut d'autres méthodes.

Ayant au préalable enlevé les régionales de $-0,80\text{nT/Km}$ et de $-1,05\text{nT/Km}$ (vers le Nord) pour les structures GNB1 et GNB5, l'analyse des spectres d'énergie des profils rabattus permet d'estimer les profondeurs des corps GNB1 et GNB5 à 900 m et 1065 m (Fig. 117). Notons que ces profondeurs sont voisines de celles évaluées pour les structures GNB4 et GNB3.

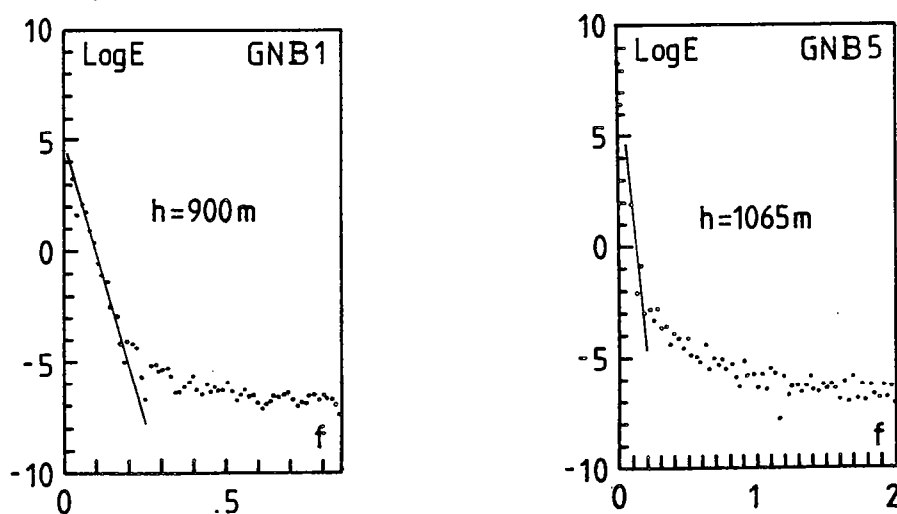


Fig. 117 - Spectres d'énergie des structures GNB1 et GNB5 (carte "volée" à 3000 m).

De même que précédemment, l'analyse de la Carte Géologique du Socle Périarmoricain permet de caractériser les anomalies magnétiques. Les structures GNB1 et GNB5 se superposent à des massifs gabbro-dioritiques dont elles représentent probablement l'enracinement en profondeur. Alors que le corps GNB2 dont aucune estimation de profondeur n'a été possible correspond vraisemblablement à un massif de gabbro à hypersthène carotté à l'aplomb de l'anomalie (Lefort et Deunff, 1971).

3.3. Modélisation de la structure T

Située plus à l'Ouest, au large du Trégor, la structure T s'observe aussi bien sur la carte magnétique du champ total "volée" à 3000 m que sur la carte "volée" à 600 m. Située à l'aplomb d'un massif gabbro-dioritique, cette anomalie de part sa forme allongée peut être assimilée à une structure bidimensionnelle.

Un modèle de type dyke calculé au moyen de la méthode Koulomzine reflète bien l'anomalie observée sur le profil rabattu (carte "volée" à 600 m). Les paramètres estimés sont les suivants : profondeur 1092 m ; largeur 6000 m, pendage 63° N et susceptibilité magnétique $2,3 \cdot 10^{-4}$ u.e.m. CGS (Fig. 118a).

Une estimation de la profondeur au moyen de la méthode de Spector et Grant mais effectuée sur un profil rabattu "volé" à 3000 m a donné une valeur légèrement supérieure (1710 m) (Fig. 118b). Cette différence peut aisément s'expliquer par le choix de la carte. La carte "volée" à 600 m donnant une anomalie de plus forte amplitude et de longueur d'onde inférieure à la carte volée à 3000 m. Elle permet également de mettre en évidence des structures plus superficielles.

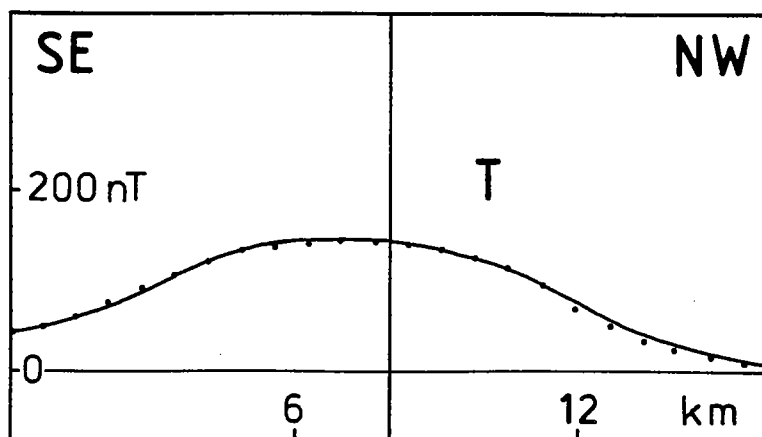


Fig. 118a - Application de la méthode Koulomzine à l'anomalie correspondant à la structure T (carte "volée" à 3000 m).

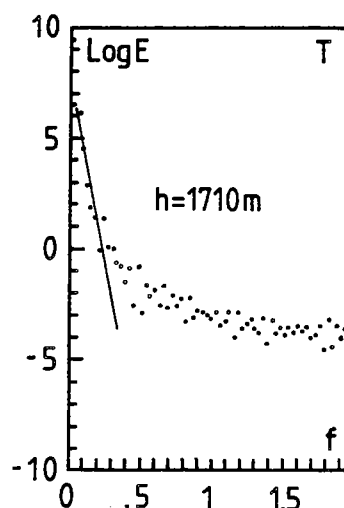


Fig. 118b - Spectre d'énergie de la structure T.

3.4. Conclusion

Cette étude magnétique dans le Golfe normano-breton fait apparaître trois points principaux :

- une élévation vers le Sud du toit des structures magnétiques. Ceci est confirmé par l'estimation des profondeurs du toit des corps magnétiques proches du littoral breton (Saint Quay Portrieux - SQ - , Erquy - E -) ou situé à terre (Saint-Brieuc - SB -) (Fig. 86 et Fig. 119).

- toutes les anomalies s'expliquent par la présence de massifs intrusifs plus ou moins basiques (diorite ou gabbro) dont l'alignement avec les massifs connus à terre en Baie de Saint-Brieuc et en Normandie permet de les rattacher à l'orogénèse cadomienne.

- la mise en évidence de deux familles de pendages
 - . une à pendages vers le Sud (corps S1, S2) située à proximité de l'Anomalie de la Manche.
 - . une autre à pendages vers le Nord (corps G, GNB3, GNB4) localisée dans la partie méridionale du golfe.

Cette dualité dans les pendages renforce l'hypothèse d'un axe de divergence émise lors de l'étude des structures magnétiques de l'Anomalie de la Manche.

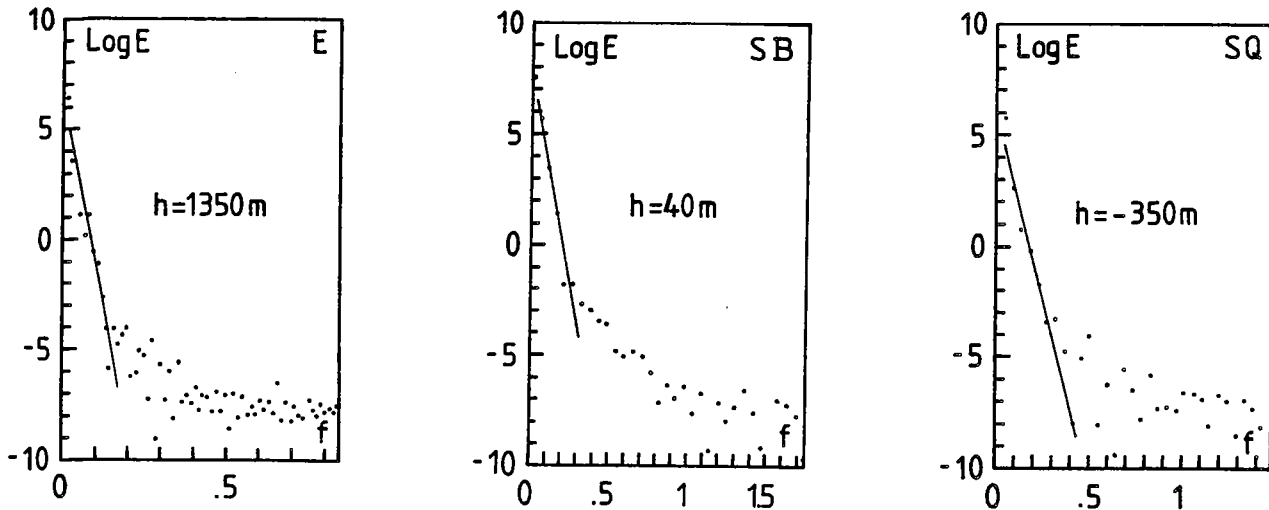


Fig. 119 - Spectres d'énergie des structures E (Erquy), SB (Saint Briec) et SQ (Saint Quay Portrieux).

4. ETUDE MAGNETIQUE DES MARQUEURS EST-OUEST

Délimitant au Nord la partie septentrionale de l'Anomalie de la Manche, une zone magnétique complexe composée d'un ensemble d'anomalies positives allongées Est-Ouest s'observe sur les cartes magnétiques de Grande Bretagne (Fig. 120).

"Volées" à des altitudes variant de 500 à 2000 pieds (160 à 660m environ), ces cartes offrent un détail extrêmement précis des structures magnétiques existant dans cette région. Ce "trop grand détail" magnétique, multipliant le nombre de structures apporte de nombreuses interférences entre anomalies et rend ainsi la modélisation délicate voire impossible.

Cependant, un essai de modélisations et des estimations de profondeurs ont été envisagées pour 4 structures (C2 - C3 - C4 - C5) alignées parallèlement au chevauchement du Lizard considéré comme structure hercynienne (Fig. 86 et Fig. 120).

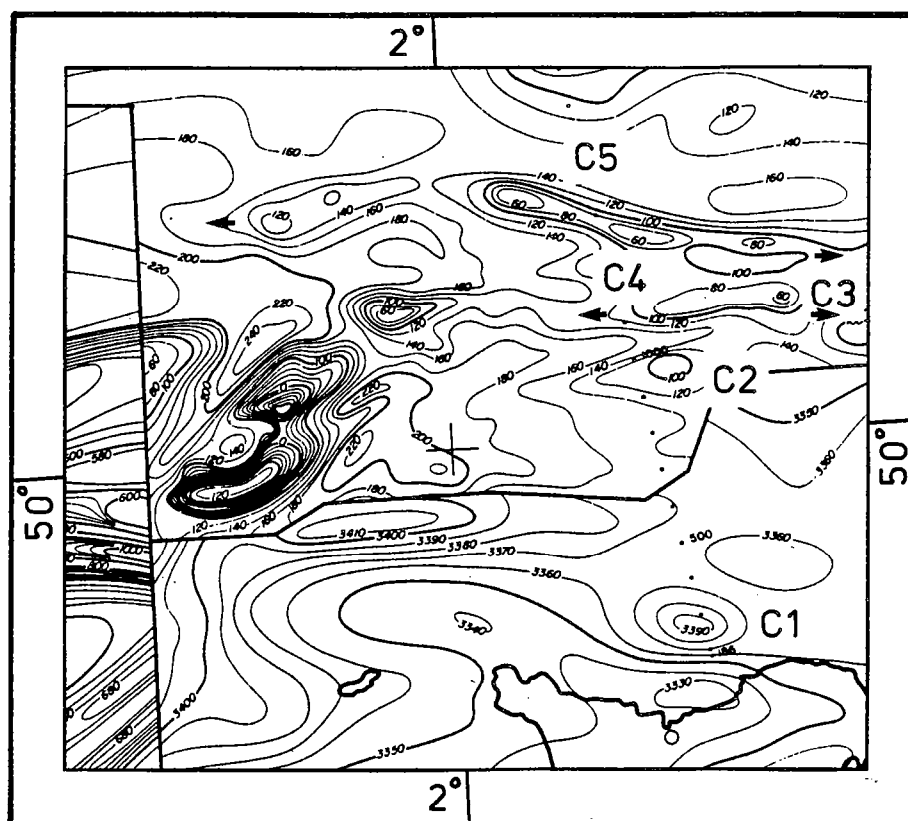


Fig. 120 - Localisation des anomalies magnétiques C1 (carte "volée" à 3000 m), C2, C3, C4 et C5 (cartes anglaises).

4.1. Modélisation de la structure C2

Cette structure (la plus méridionale des quatre) représentée sur les cartes magnétiques anglaises par une anomalie allongée, d'amplitude voisine de 60 gammas, présente des caractéristiques de corps bidimensionnel.

Un modèle de type dyke semble de ce fait rendre compte de l'anomalie observée sur un profil rabattu (Fig. 121a) nord-sud perpendiculaire à l'axe de l'anomalie. Les différents paramètres (géométriques et physiques) évalués au moyen de la méthode Koulomzine se définissent ainsi : une profondeur de 1950 m, une largeur de 1700 m, un pendage subvertical (89°) et une susceptibilité magnétique élevée (1.10^{-3} u.e.m. CGS).

Une nouvelle estimation de profondeur a été tentée au moyen de la méthode Spector et Grant sur le même profil rabattu Nord-Sud. La profondeur établie à partir du spectre d'énergie de ce profil (Fig. 121b) s'est avérée voisine (1975 m) de l'estimation réalisée à partir de la méthode Koulomzine.

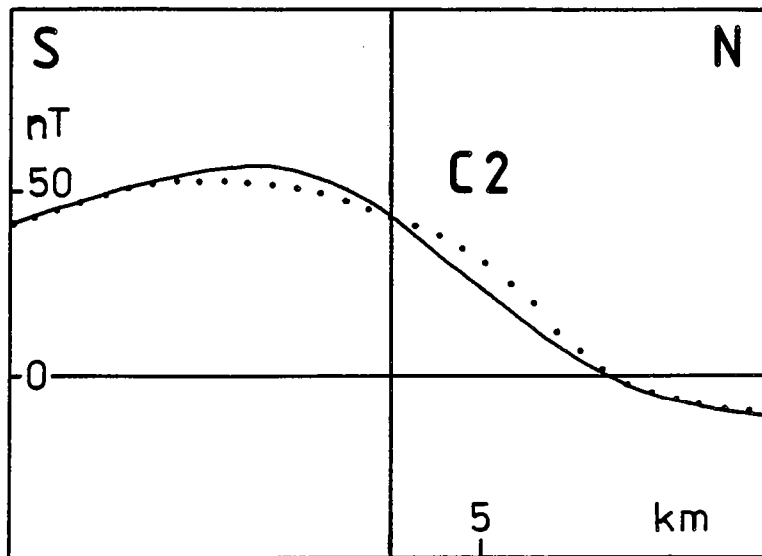


Fig. 121a - Application de la méthode Koulomzine à l'anomalie magnétique C2.

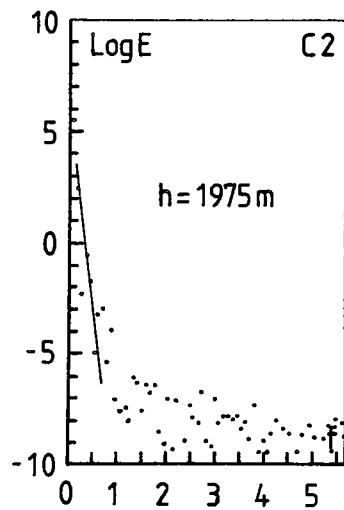


Fig. 121b - Spectre d'énergie de la structure C2 (cartes anglaises).

4.2. Etude des structures C3 - C4 - C5

Ces trois structures individualisées sur la carte magnétique par trois anomalies orientées E-W n'ont pu faire l'objet de modélisation, leur rapprochement créant une très forte interférence. Cependant, une estimation moyenne de la profondeur du toit magnétique de ces structures est envisagée au moyen de la méthode de Spector et Grant. L'analyse du spectre d'énergie d'un profil rabattu nord sud, perpendiculaire à l'axe d'allongement de ces trois structures donne une profondeur moyenne de l'ordre de 2100 m (2085) (Fig. 122).

Cette profondeur s'avère très proche de celle estimée pour le corps C2, et il est raisonnable d'assimiler ces trois structures à des corps ayant vraisemblablement les mêmes caractéristiques géométriques et physiques que C2.

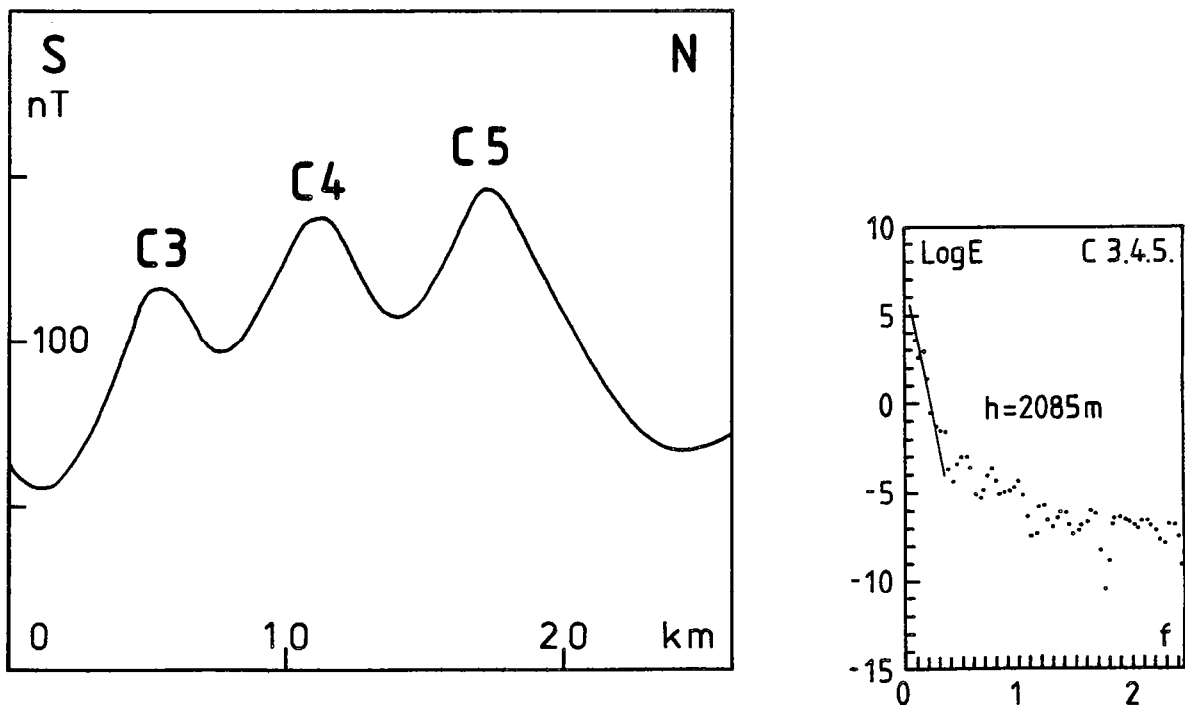


Fig. 122 - Profil magnétique rabattu correspondant aux anomalies C3-C4-C5 (cartes anglaises) et spectre d'énergie correspondant.

IV. CONCLUSION

Cette étude magnétique des corps situés au Sud de l'Anomalie de la Manche couplée aux résultats obtenus pour cette dernière permet de tirer les conclusions suivantes (Fig. 123) :

- 1) cette zone, très riche en anomalies magnétiques, se caractérise par la présence de corps basiques d'origine probablement plutonique ou volcanique (susceptibilités magnétiques voisines de 1.10^{-3} u.e.m. CGS).

- 2) deux "familles" de pendages apparaissent nettement dans les anomalies orientées N60. Ces deux familles ne sont pas disposées de manière anarchique mais sont localisées de part et d'autre d'un axe de divergence que l'on peut rattacher à ce qui est connu en Normandie (1ère partie : double vergence de la chaîne Cadomienne).

- 3) l'âge Cadomien de ces structures NE-SW peut être déduit de leur orientation analogue à celle des structures et des massifs intrusifs existant à terre (Baie de Saint Brieuç et Cotentin).

Certaines de ces structures sont rapportées à l'orogénèse cadomienne (Balé, 1986) et plusieurs massifs sont datés : le pluton gabbroïque de Saint-Quay-Portrieux (SQ) daté à 584 ± 56 Ma (Vidal, 1972), les terrains du Val de Saire rapportés au Briovérien (Dissler, 1987).

Leur antériorité par rapport aux structures E-W rattachées au chevauchement hercynien du Lizard confirme cette hypothèse d'âge Cadomien (Lefort et al., 1988).

- 4) l'analyse des profondeurs montre qu'une élévation du toit du socle magnétique s'effectue du Nord vers le Sud confirmant ainsi la proximité du socle induré dans cette partie de la Manche (Lefort, 1973). Mais malgré ces différences de profondeur chaque corps conserve son caractère intrasocle. Une étude plus étendue (Lefort, Bardy et de Poulpiquet, 1988) en Manche et Mer Celtique a permis de dessiner une carte des isobathes du toit du socle magnétique. Ces auteurs notent qu'ils existent une conformité entre la profondeur du toit du socle magnétique et la profondeur des bassins reconnus par sismique.

De plus, de l'Est vers l'Ouest on note également un approfondissement du toit des corps magnétiques probablement lié au basculement qu'a subi la marge est-atlantique après l'ouverture de l'Atlantique Nord.

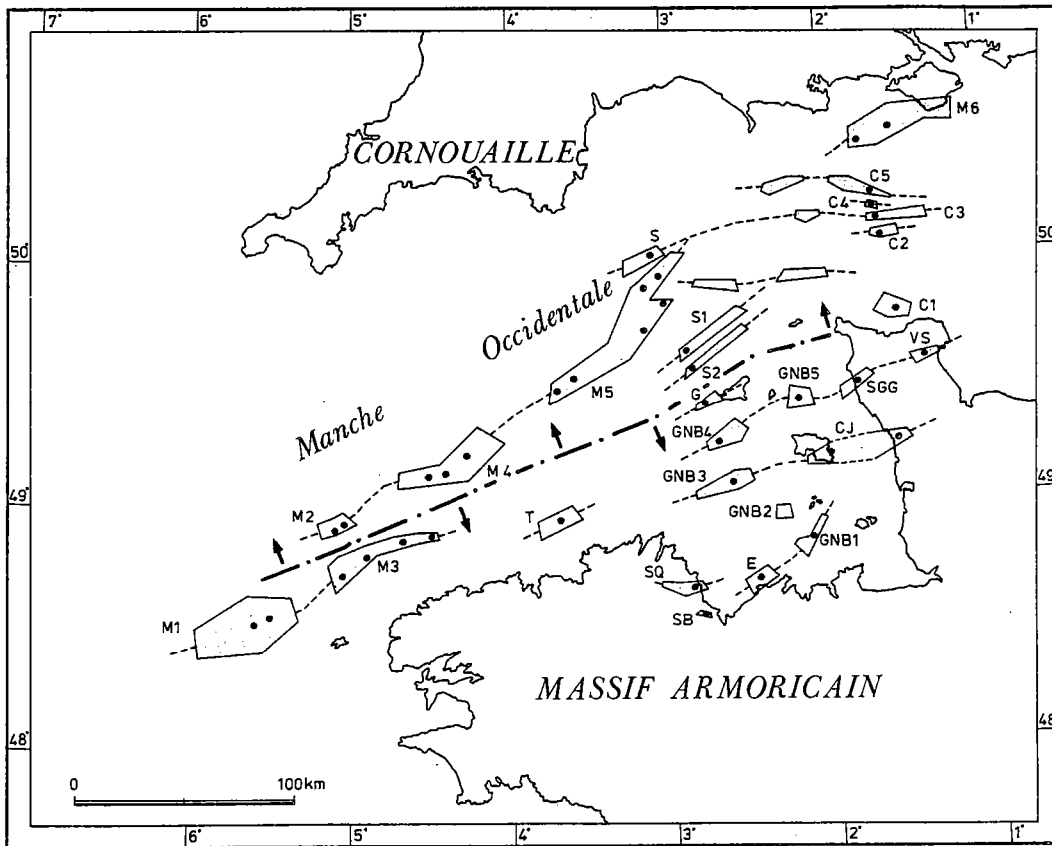
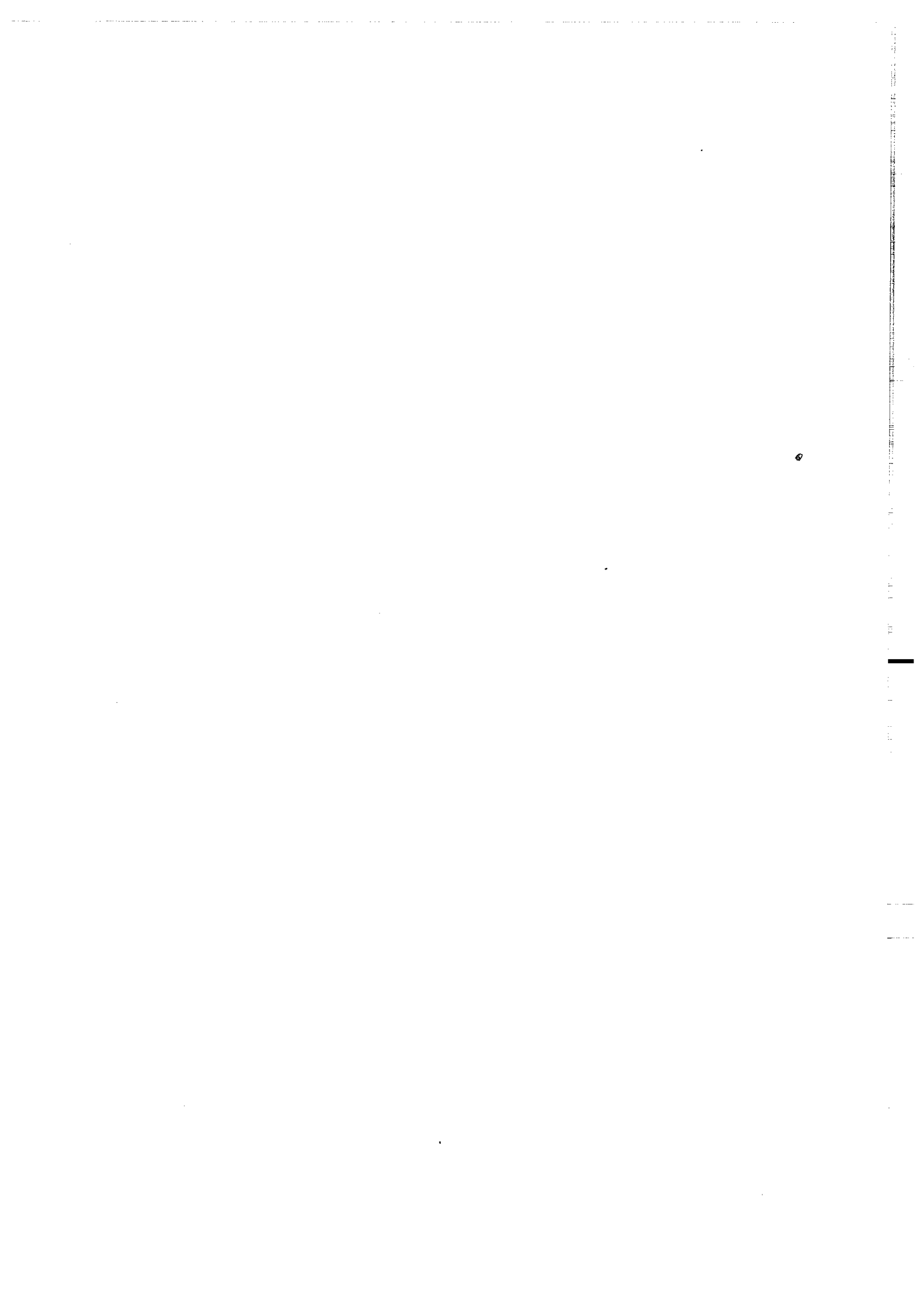


Fig. 123 - Axe de divergence magnétique dû aux différents pendages (Nord et Sud) des structures magnétiques modélisées de la Manche Occidentale.

CHAPITRE IV

**APPORT DES PROFILS
SISMIQUES S. W. A. T.
A LA CONNAISSANCE
DE L' OROGENE CADOMIEN
EN MANCHE OCCIDENTALE**



I. INTRODUCTION

En 1983, les groupes BIRPS (British Institutions Reflection Profiling Syndicate) et ECORS (Etude de la Croûte Continentale et Océanique par Réflexion et Réfraction Sismique) réalisaient à travers la Manche et la Mer Celtique les profils de sismique réflexion profonde SWAT (South West Approaches Traverses).

Cette campagne consistait en onze profils formant plusieurs traverses grossièrement orientées NNW-SSE (perpendiculairement aux structures régionales) entre le Sud de l'Irlande, l'Ouest de l'Angleterre et le Nord Ouest de la France (Fig. 124, encadré). Ces profils d'une longueur totale de 1600 km, sur une profondeur d'environ 35 km (15 secondes temps double) fournissent une image structurale verticale et profonde des régions traversées:

Seuls les profils sismiques SWAT les plus méridionaux (profils 7 - 8 - 9 - 10 - 11) recoupant l'Anomalie de la Manche et se terminant dans les eaux bordant les côtes bretonnes et normandes font l'objet d'une étude (Fig. 124).

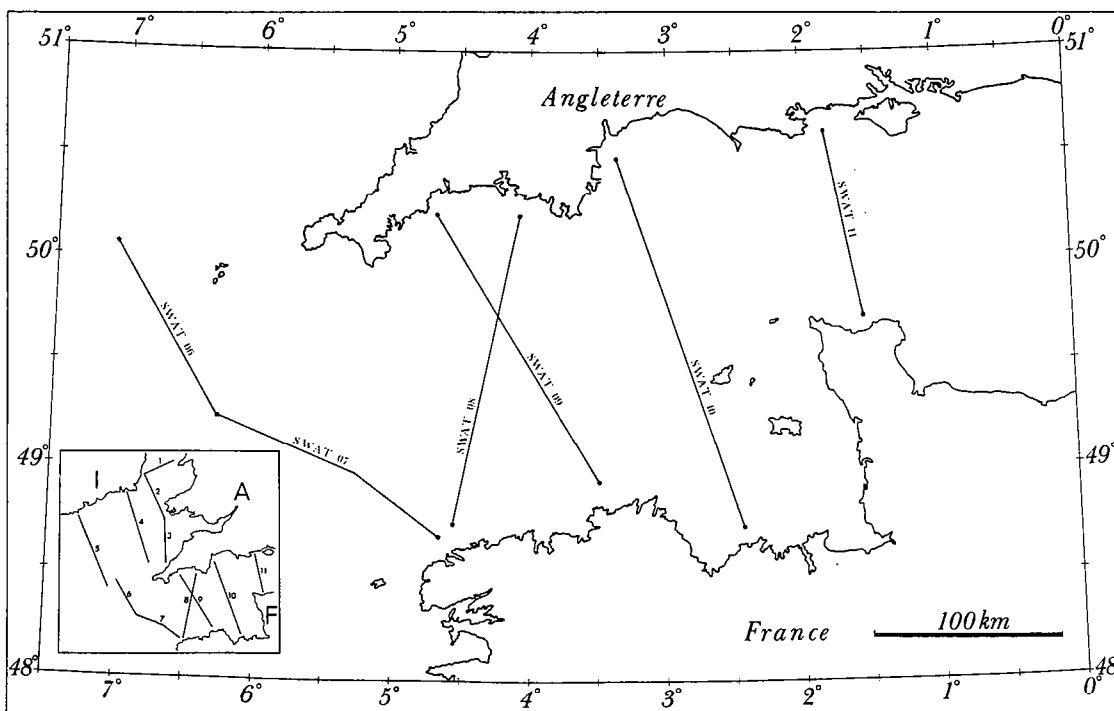


Fig. 124 - Localisation des profils de sismique réflexion profonde SWAT 07, 08, 09, 10 et 11 en Manche Occidentale.

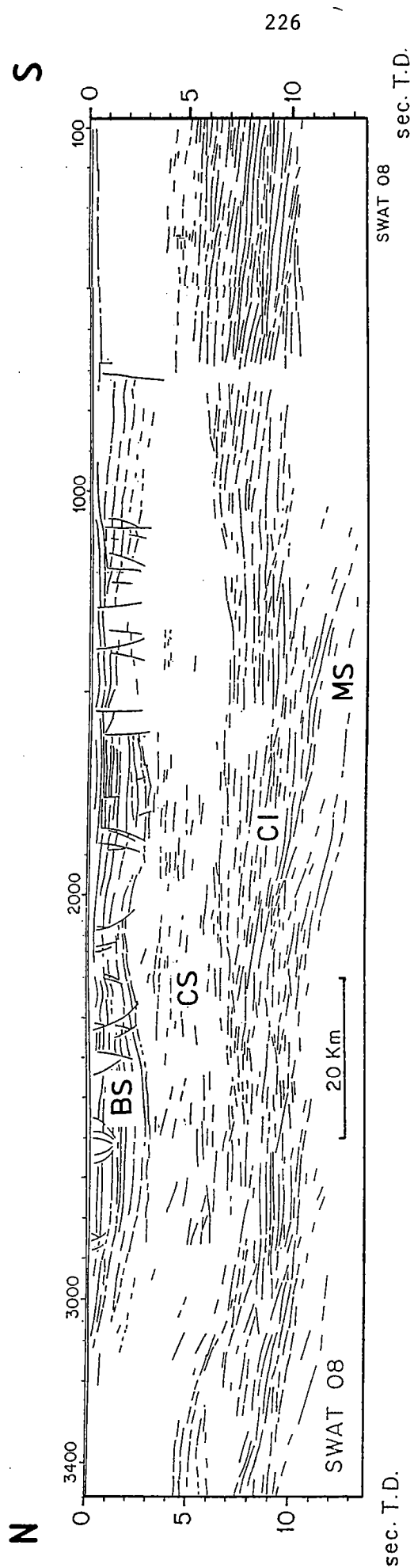


Fig. 125 - Organisation d'un profil sismique SWAT.

B.S. - bassin sédimentaire ; C.S. - croûte supérieure ;
 C.I. - croûte inférieure ; M.S. - manteau supérieur .

II DESCRIPTION DES PROFILS SISMIQUES SWAT

1. AVERTISSEMENT

La description des profils sismiques a été effectuée à partir des "lines drawing" non migrés des profils SWAT 7-8-9-10. L'échelle des hauteurs est exprimée en secondes temps double (temps que met l'onde pour parvenir au réflecteur et se refléchir). Les pendages obtenus ainsi que la position des réflecteurs profonds ne sont alors qu'indicatifs. Signalons tout de même que la migration effectuée (Coat, travail en cours) n'apporte que peu de modification au dessin initial.

Nous considérons ainsi que "l'image" étudiée correspond en fait à une image vraie.

2. COUPE VERTICALE D'UN PROFIL SISMIQUE SWAT

Tous les profils étudiés montrent une organisation structurale verticale qui comprend de haut en bas (Fig. 125) :

- des bassins sédimentaires (BS) mésozoïques à cénozoïques plus ou moins bien individualisés et peu structurés (failles verticales tardives).
- une croûte supérieure (CS) précambrienne et paléozoïque relativement transparente et coupée par de nombreux réflecteurs obliques.
- une croûte inférieure litée (CI) fortement structurée et limitée à sa base par le Moho.
- le manteau supérieur (MS) parfois entaillé par les réflecteurs obliques de la croûte inférieure et supérieure.

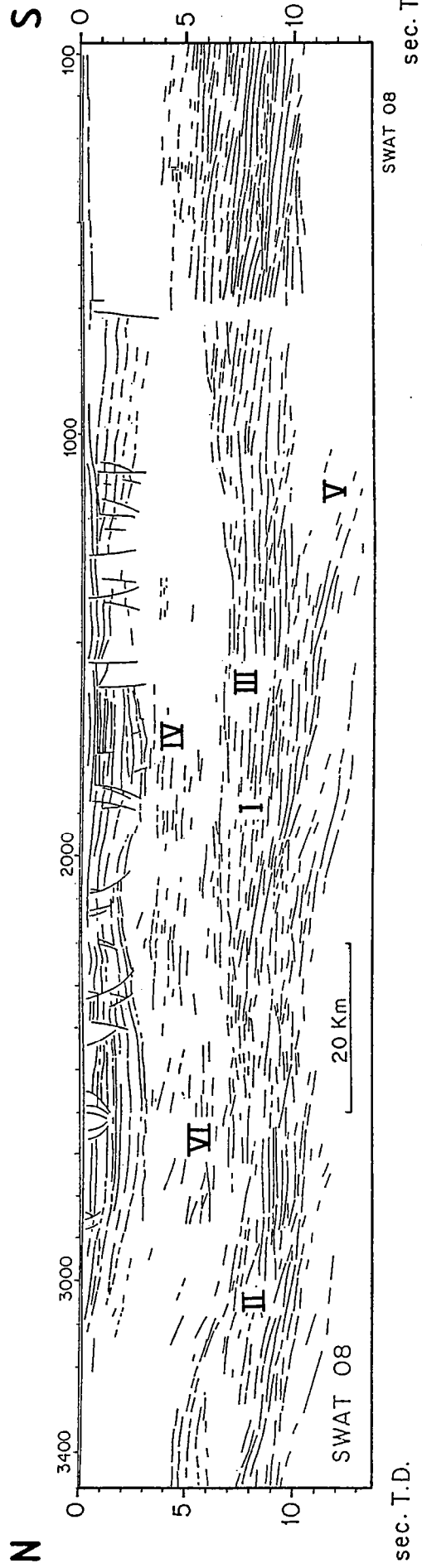


Fig. 126 - Les différents réflecteurs reconnus sur les profils sismiques SWAT.

I et IV - réflecteurs horizontaux ; II - zone diffuse ;

III - zone transparente ; V et VI - réflecteurs obliques .

3. LES DIFFERENTS TYPES DE REFLECTEURS

L'analyse des profils sismiques SWAT permet de distinguer différents types de réflecteurs. Une étude en est faite à partir de l'analyse du profil sismique SWAT 8 (Fig. 126).

3.1. Les réflecteurs horizontaux (I)

Visibles sur l'ensemble des profils SWAT, ils sont très énergiques. De longueurs variant de 1 à 5 km, ils se situent entre 6 à 10 secondes temps double formant ainsi une bande de 10 à 13 Km (loi de vitesse déterminée par Isabelle Coat, travail en cours). Ils correspondent à ce qui est appelée la croûte inférieure litée (Bois et al., 1988).

La base de ces réflecteurs horizontaux (et par conséquence la base de la croûte inférieure litée) représente le Moho. Située entre 9 et 11 secondes temps double (selon les profils), avec des lois de vitesse moyenne de $4,95 \text{ km/s} + 0,073 \text{ km/s/Km}$ (Coat, communication personnelle), cette discontinuité se situerait aux environs de 30 km de profondeur. Cette estimation est confirmée par les travaux de Meissner, Matthews et Weber (1986) qui déterminent pour cette zone des profondeurs de 27,5 à 32,5 km.

Cependant, la géométrie de ces réflecteurs et leur continuité peut être perturbée localement par des anomalies :

- un litage plus ou moins bien exprimé (II) aboutissant à une croûte litée plus ou moins diffuse.
- un litage inexistant représenté par des zones transparentes (III) découpant la croûte inférieure litée.

Notons également par endroit dans la croûte supérieure des réflecteurs horizontaux moins énergiques (IV). Ces bandes litées sont interprétées comme des niveaux de décollement intra-crustaux (Le Gall, 1987).

3.2. Les réflecteurs obliques

La majorité des profils SWAT présentent des réflecteurs obliques à pendage sud ou nord.

3.2.1. Les réflecteurs obliques à pendage sud (V et VI)

Ces réflecteurs soulignent des structures caractérisées par des tracés plus ou moins rectilignes. Moyennement pentés (20 à 30°S), ces réflecteurs sont visibles non seulement dans la croûte supérieure mais également dans la croûte inférieure et pour certains dans le manteau supérieur.

Une étude de migration en cours (Coat) confirme l'existence de ces réflecteurs dans les trois bandes (CS, CI, MS).

3.2.2. Interprétation des réflecteurs obliques

L'interprétation de ces réflecteurs ne peut s'effectuer que si un possible raccord avec des structures existantes à terre est réalisé. Il apparaît alors qu'un certain nombre de ces réflecteurs obliques se "rattachent" à des chevauchements majeurs connus à terre. L'interprétation de ces discontinuités sismiques, obliques, en terme de chevauchements crustaux à déjà été proposée dans les Appalaches (Cook et al., 1981), dans les Montagnes Rocheuses (Lyrn, 1979) et dans les Alpes (Bayer et al., 1987).

1. Le profil sismique SWAT 10

Bull. Soc. géol. France, 1987, (8), t. III, n° 6, pp. 1189-1194.

Publié avec l'aimable autorisation de :
la Société Géologique de France.

Mise en évidence de chevauchements cadomiens sur le profil sismique SWAT n° 10 levé en Manche

par JEAN-PIERRE LEFORT et PHILIPPE BARDY *

Mots clés. — Gravimétrie, Sismique, Chevauchements, Cadomien, Manche.

Résumé. — Les réflecteurs à vergence nord enregistrés au sud de l'axe de la Manche occidentale, sont différents de ceux qui ont été reconnus sous le Bassin parisien, car ils sont plus pentés et descendent plus profondément. Cette différence peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit en mer de structures anciennes, vraisemblablement héritées de la subduction cadomienne de l'océan de la Manche. En baie de Saint-Brieuc des chevauchements associés mais plus superficiels et à vergence sud représentent sans doute des structures antithétiques contemporaines des premières. Ces structures se raccordent à des accidents cadomiens connus à terre. Le rejeu postérieur de certains des accidents anciens peut être démontré.

Evidence for Cadomian thrusts on the SWAT section n° 10 surveyed in the English Channel

Abstract. — The reflectors which are dipping south in the English Channel are different from those known beneath the Paris basin, mainly because they are steeper and go deeper. This discrepancy may be related to a different origin, the formers being inherited from the Cadomian subduction of the English Channel ocean. In the bay of Saint-Brieuc associated north dipping reflectors can be correlated with onshore Cadomian thrusts. A later rejuvenation, probably Hercynian in age, has been observed.

I. — INTRODUCTION.

L'interprétation des réflecteurs profonds enregistrés sur les profils SWAT levés en Manche occidentale pose un certain nombre de problèmes si on essaye de les intégrer dans le cadre des données connues à terre au nord du Massif armoricain et au sud de l'Angleterre [Day et Edwards, 1983]. Ils en posent d'autres si on les compare avec les résultats obtenus par la sismique sous le Bassin parisien (programme ECORS) [Bois *et al.*, 1984] et entre l'Angleterre et l'Irlande (programme WINCH) [Chadwick *et al.*, 1983] puisque dans ces régions les réflecteurs sont toujours considérés comme datant de l'Hercynien...

L'étude des profils de sismique réflexion SWAT [Lefort, 1987], montre qu'il existe deux types de marqueurs au sud de l'axe de la Manche (fig. 1) ; les uns continus, profonds et à vergence nord, correspondent à des interfaces que nous considérons comme « anciens » lorsqu'ils sont associés à des écaillages de croûte inférieure, ils peuvent être suivis sur les profils non migrés jusqu'à 15 secondes (TD) (fig. 2). Les autres, discontinus et sécants par rapport aux premiers, sont d'âge hercynien lorsqu'ils se prolongent à terre (CH fig. 2). Parce que le but de ce travail est limité à l'étude des réflecteurs « anciens » on n'abordera pas ici ce qui a trait à l'organisation des marqueurs hercyniens, pas plus qu'on ne discutera de la raison de leur divergence.

Un bref rappel concernant l'histoire cadomienne du Nord de la Bretagne paraît néanmoins nécessaire si l'on veut mieux comprendre l'intérêt des données sismiques et gravimétriques réunies en baie de Saint-Brieuc.

II. — LES ÉVÉNEMENTS ANTÉ-HERCINIENS EN MANCHE OCCIDENTALE ET AU NORD DE LA BRETAGNE.

Cette région est caractérisée par un socle pentévrien remobilisé lors des événements cadomiens [Auvray *et al.*, 1980] ; ceux-ci se sont manifestés sous forme d'un pluto-

nisme acide et basique important, de déformations tangentielles et transcurrentes, d'un volcanisme acide et basique parfois associé à des distensions locales et d'un métamorphisme le plus souvent modéré.

Parmi ces événements, le plutonisme et le volcanisme ont laissé des traces qui s'alignent de façon remarquable selon une direction N050 entre le petit Trégor et le Cotentin. Le magmatisme, qui s'étend entre 620 et 540 Ma [Auvray, 1979] s'organise selon deux ceintures situées immédiatement au sud des affleurements de socle pentévrien (fig. 1). Ces deux ceintures sont constituées de matériel calco-alcalin ; au Nord il s'agit d'un matériel de type M tandis qu'au Sud il s'agit de massifs de type C [Graviou et Auvray, 1985]. La première montre surtout des diorites tandis que la seconde est principalement constituée de migmatites, de granites et de granodiorites. Au sud de la première ceinture, l'existence de nombreux témoins d'un matériel basique ou ultrabasique suggère un contexte distensif, tel le complexe ophiolitoïde de Belle-Ile-en-Terre [Hirbec, 1979], les tholéites de Lanvollon [Rabu *et al.*, 1983], ou les spilites de Vassy [Le Gall *et al.*, 1986].

Ces arguments joints à la mise en évidence d'un gradient des teneurs en K₂O croissant vers le SE suggèrent qu'il pourrait s'agir là des témoins d'une subduction plongeant vers le Sud avec son arc volcanique et sa distension arrière-arc. Le fonctionnement de cet arc daterait de 620 Ma. Le bassin marginal (qui possédait peut-être par endroit un plancher océanique) se serait fermé aux environs de 600 Ma, entraînant à Saint-Malo le développement des migmatites et à Saint-Brieuc le chevauchement des séries volcano-sédimentaires océaniques vers le Sud-Ouest. II

* Centre armoricain d'Etude Structurale des Socles, Inst. Géologie, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France.

Note déposée le 26 mai 1986, présentée à la séance du 2 juin 1986 ; manuscrit définitif accepté le 23 février 1987.

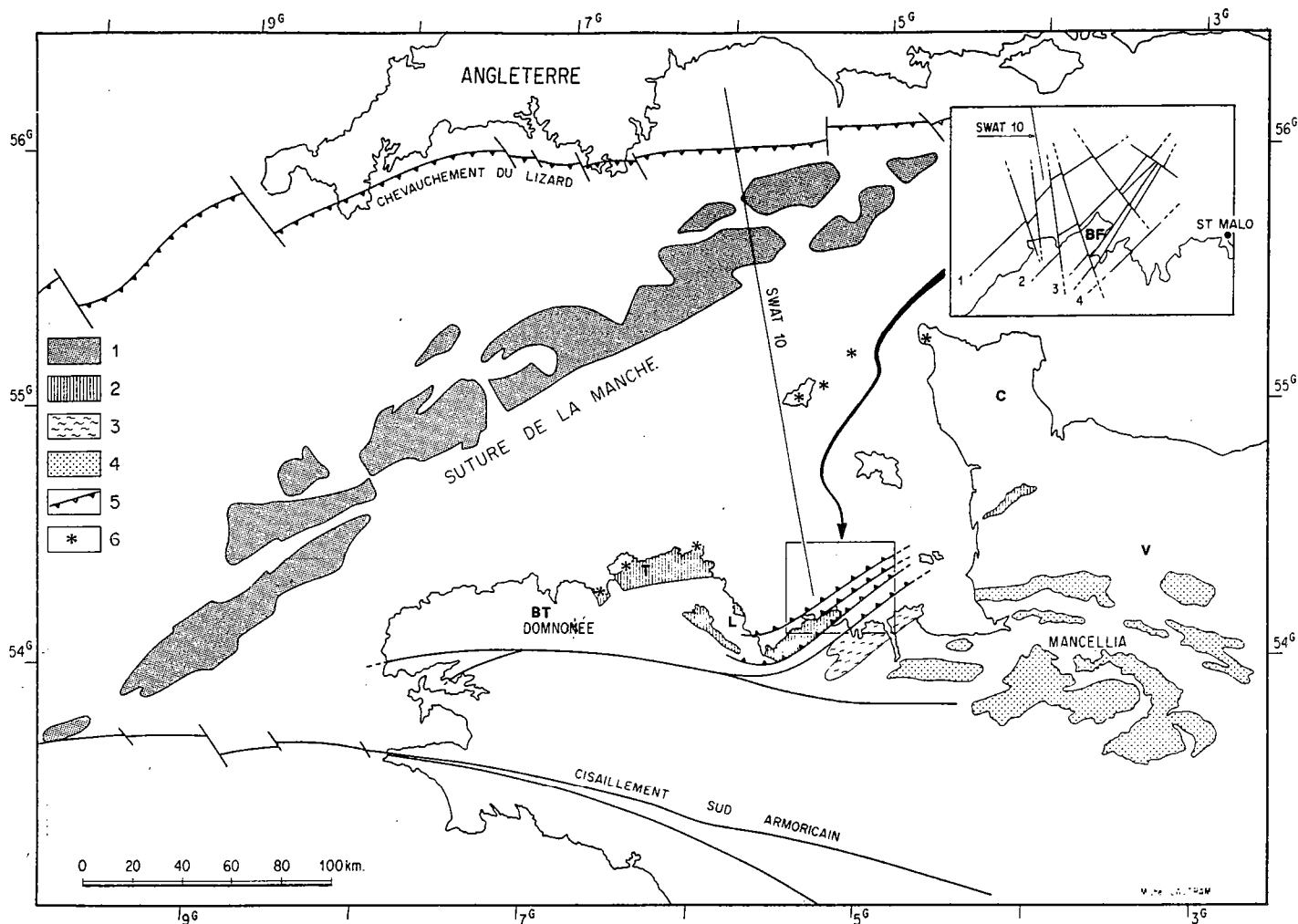


FIG. 1. — Organisation des principales structures cadomiennes au nord du Massif armoricain.

1 : « suture » de la Manche ; 2 : arc volcanique cadomien ; 3 : migmatites de St Malo ; 4 : granites mancelliens ; 5 : chevauchements cadomiens ; 6 : témoins de socle pentévrien. BF : baie de la Fresnaye ; BT : Belle-Isle-en-Terre ; C : Cotentin ; L : Lanvollon ; T : Tregor ; V : Vassy. *Cartouche* : détail des chevauchements au nord-est de la baie de St Brieuc, d'après les levés de terrain et la sismique réflexion légère (Sparker) ; les chiffres 1, 2, 3 et 4 permettent de localiser les chevauchements décrits sur la figure 3.

FIG. 1. — The main Cadomian features recognized north of Massif armoricain.

1 : « suture » ; 2 : Cadomian volcanic arc ; 3 : migmatites of St Malo ; 4 : Mancellian granites ; 5 : Cadomian thrusts ; 6 : remnants of Pentevrian basement. BF : baie de la Fresnaye ; BT : Belle-Isle-en-Terre ; C : Cotentin ; L : Lanvollon ; T : Tregor ; V : Vassy. *Inset* : blow up of the thrusts located off baie de Saint-Brieuc after seismic data (Sparker). Numbers 1, 2, 3 and 4 send back to figure 3.

est difficile de dire si le massif des granitoïdes mancelliens situé plus au Sud, est lié au même phénomène d'épaississement crustal [Graviou et Auvray, 1985] car il a été généré plus tardivement.

Ce modèle de convergence [Lefort, 1975, 1977 ; Auvray et Lefort, 1980] implique l'existence d'une suture ; celle-ci serait localisée au nord des régions où affleure le socle pentévrien, puisque celui-ci est censé appartenir à la plaque sous laquelle s'enfonçait la subduction ; cette limite devrait se trouver en Manche occidentale. C'est entre autre la raison pour laquelle l'anomalie magnétique de la Manche qui s'étend de l'île de Wight à l'île d'Ouessant a été consi-

dérée comme la marque d'une suture [Lefort, 1975]. Cette anomalie est provoquée, d'après les données magnétiques, par un corps allongé dont on ignore certes l'âge, mais qui est plus ancien que le chevauchement du Lizard et que le cisaillement sud-armoricain qui le recoupe en plan (fig. 1) ; ceci confirme que le corps basique qui sépare la Manche en deux est bien antérieur à l'Hercynien. D'après la modélisation magnétique [Lefort et Ségoufin, 1978], le toit de ce corps est approximativement à 3 600 mètres de profondeur. Compte tenu de la polarité générale des structures cadomiennes ou supposées telles, on s'attendait à trouver, en Manche occidentale, un système de chevauchements à

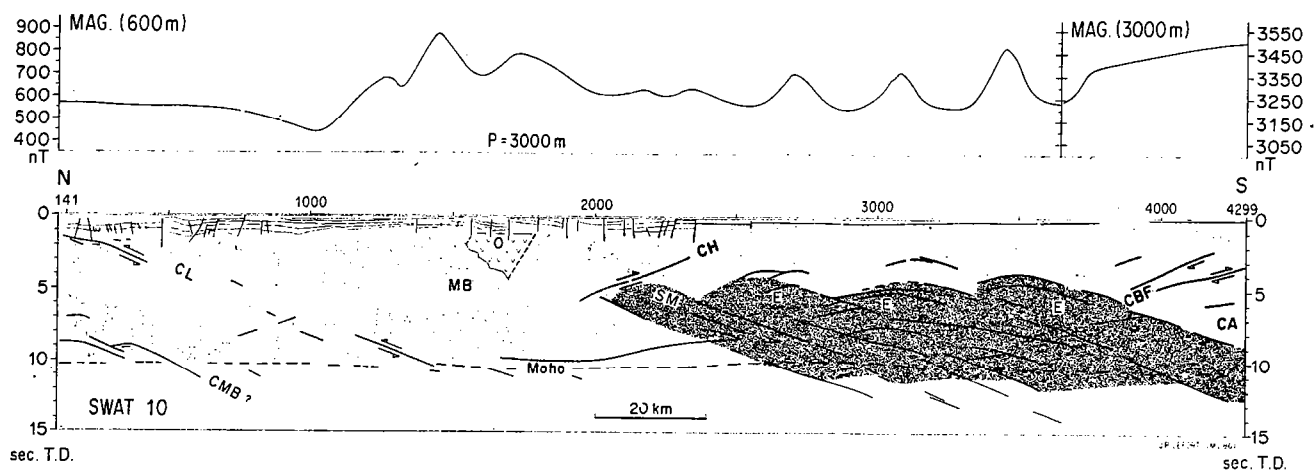


FIG. 2. — Interprétation du profil SWAT n° 10.

CH, CMB et CL : chevauchements hercyniens ; MB : croûte britannique ; CA : croûte armoricaine ; SM : suture cadomienne de la Manche ; E : écaillages de croûte inférieure ; O : roches basiques ; CBF : chevauchement antithétique.

FIG. 2. — Interpretation of the SWAT line 10.

CH, CMB and CL : Hercynian thrusts ; MB : British crust ; CA : Armorican crust ; SM : Cadomian « suture » ; E : thrusting in the lower crust ; O : mafic rocks ; CBF : antithetic thrusting.

vergence nord affectant toute la croûte. Les profils SWAT ont confirmé cette hypothèse ; ils montrent en outre que les chevauchements à vergence nord qui frangent au Sud l'anomalie magnétique sont eux aussi interrompus par des structures hercyniennes [Lefort, 1987] de direction Est-Ouest.

III. — L'ÉTUDE DE L'EXTRÉMITÉ MÉRIDIONALE DU PROFIL SWAT N° 10.

Bien que les profils SWAT n'atteignent jamais le littoral breton, l'étude des profils de sismique réflexion légère, de type Sparker (300 joules), réalisés au nord-est de la baie de Saint-Brieuc permet de corréler les informations profondes livrées par le profil SWAT n° 10 avec les données structurales connues à terre. Ces profils levés par le BEICIP lors de la campagne *Sagrame* avaient initialement pour but de cartographier les dépôts sédimentaires du golfe normano-breton, c'est pourquoi leur pénétration est faible (70 mètres) ; ils sont en outre affectés par de nombreuses figures de diffraction liées aux forts pendages du Briovérien. Leur qualité est cependant suffisante pour reconnaître les discontinuités majeures du socle. L'interprétation des profils de type Sparker est figurée dans le cartouche de la figure 1.

Mis à part les écaillages et les chevauchements profonds à vergence nord caractéristiques du Sud de la Manche, les enregistrements SWAT, révèlent aussi parfois l'existence de plans obliques superficiels à vergence sud qui ne semble pas recouper les précédents (CBF fig. 2). Sur le profil n° 10 ces plans obliques sont au nombre de quatre (fig. 3). Ils ne peuvent pas être confondus avec les plans de chevauchements hercyniens qui recoupent toujours

complètement les structures « anciennes » (CH fig. 2), et qui prennent systématiquement naissance au niveau d'un axe situé au nord de la suture de la Manche [Lefort, 1987].

Lorsque l'on prolonge les réflecteurs superficiels vers le Sud, on constate que deux d'entre eux se terminent en mer sur le flanc est de la baie de Saint-Brieuc. D'après l'interprétation de la sismique légère on peut encore préciser que la trace des chevauchements est orientée N050, et que ceux-ci semblent légèrement affecter les séries rouges du golfe normano-breton (fig. 1, cartouche) actuellement considérées comme des équivalents continentaux des grès armoricains [Durand, 1985]. Les deux autres chevauchements s'interrompent à terre de part et d'autre de la baie de la Fresnaye. Celui qui est localisé au nord de la baie a été étudié en détail par P. Balé [1986]. Il s'agit d'un décrochement symmétamorphe senestre qui constitue le prolongement du grand accident daté à 600 Ma, connu au sud de la ville de Saint-Brieuc [Balé et Brun, 1983]. Le chevauchement le plus méridional correspond à la limite entre les micaschistes de Saint-Malo et le Briovérien voisin moins métamorphique [Jeannette, 1971].

Deux des réflecteurs « superficiels » à vergence sud reconnus sur le profil 10 correspondent donc à des accidents tectoniques cadomiens, les deux autres, submergés, sont probablement de même âge mais auraient été légèrement réactivés après l'Ordovicien, probablement au cours de l'orogénèse hercynienne.

La nature des écaillages de croûte inférieure situées entre l'anomalie magnétique centrale et la côte bretonne n'est pas connue ; on peut cependant penser que la structure la plus méridionale est constituée d'amphibolites, puisqu'elle est située dans le prolongement des amphibolites de Lanvollon. Cette continuité est d'ailleurs soulignée en plan par une anomalie magnétique positive de 145

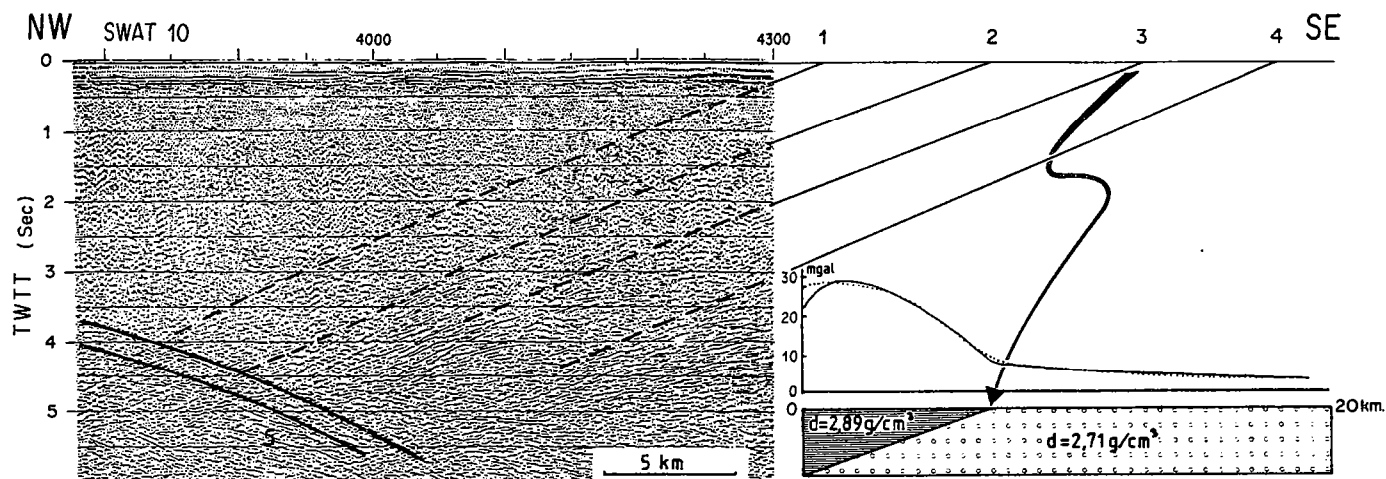


FIG. 3. — La terminaison méridionale du profil 10 d'après la sismique et la gravimétrie.

1, 2, 3 et 4 : chevauchements superficiels à vergence sud ; 5 : chevauchements profonds à vergence nord.

Le chevauchement de la baie de la Fresnaye est le chevauchement n° 3 (CBF de la figure 2). Sur le modèle gravimétrique la courbe calculée est un trait continu et la courbe résiduelle en pointillés. Sur le profil sismique l'échelle verticale est exprimée en secondes (temps doubles).

FIG. 3. — Modelling of the southern part of the SWAT line 10 after seismic and gravity data.

1, 2, 3 and 4 : shallow thrust planes dipping north ; 5 : deep thrust planes dipping south. The baie de la Fresnaye thrust is numbered as 3 (CBF on figure 2). Dotted and thick lines : residual and calculated gravity anomalies. Vertical graduating on the seismic section : two ways travel time in seconds.

gammas, et par une anomalie gravimétrique de 25 milligals. Le plongement des formations amphibolitiques vers l'Est, bien étudié à terre, nous donne un argument géométrique supplémentaire qui renforce notre hypothèse.

On ignore cependant si les racines des écaillages qui ont été reconnus sur les profils SWAT, descendent réellement dans le manteau supérieur, les sections sismiques n'ayant pas été migrées au-delà de la base des bassins (cette absence de migrations est liée à une méconnaissance de la vitesse des terrains situés entre 5 et 15 secondes).

Parce qu'on ne sait pas si le processus de migration ferait ou non remonter les réflecteurs pentés profonds au-dessus du Moho, on se doit d'être prudent sur l'interprétation des images observées entre 10 et 15 secondes (TD) et notamment sur l'intersection entre réflecteurs obliques et réflecteurs horizontaux. L'horizontalité du toit du Moho, jusque sous le chevauchement du Lizard montre en tous cas que sa topographie a été acquise après l'Hercynien, probablement lors du nivellement de la chaîne.

IV. — LA MODÉLISATION GÉOPHYSIQUE DU DÉCROCHEVEMENT DE LA BAIE DE LA FRESNAYE.

Après avoir reconnu le lieu de l'enracinement des chevauchements de la baie de la Fresnaye grâce aux données de la sismique SWAT, il a semblé utile de rechercher s'il y avait une cohérence entre les données sismiques, les données pétrographiques connues à terre et les données gravimétriques. Le chevauchement qui est en réalité un décrochevancement est en effet responsable d'une forte anomalie gravimétrique positive, qui doit cependant au pré-

alable être corrigée de l'effet régional lié à la présence de nombreux massifs de granite immédiatement au Sud, pour être pleinement appréciée. Cette régionale est de 0,85 mgal/kilomètre. Un certain nombre de mesures de densités ont aussi été réalisées, tant sur le matériel impliqué dans le chevauchement que sur le socle bordier méridional afin de contraindre autant que faire se pouvait, la modélisation géophysique. Dans le tableau I, on donne les proportions relatives que représentent chacun des types pétrographiques échantillonnés par rapport à l'ensemble des roches affleurantes. Les mesures sont à chaque fois basées sur une vingtaine d'échantillons.

La modélisation a été effectuée en deux dimensions grâce à la méthode de Talwani et Heirtzler [1964] en introduisant les densités mesurées et le pendage de l'écaille relevé sur le profil SWAT (sur ceux-ci l'échelle horizontale est égale à l'échelle verticale si on adopte une vitesse moyenne de 5,8 km/sec pour l'ensemble de la croûte). La figure 3 montre qu'en utilisant de tels paramètres on peut parfaitement reconstituer l'anomalie gravimétrique résiduelle. Ceci donne un argument supplémentaire pour considérer que le chevauchement de la baie de la Fresnaye s'enracine bien au niveau du profil SWAT n° 10.

V. — CONCLUSION.

Il semblerait que sur les profils de sismique profonde enregistrés au sud de la Manche occidentale, les réflecteurs à pendage sud soient ceux qui montrent la meilleure continuité. A leur extrémité méridionale, et notamment sur le profil SWAT n° 10 apparaissent des segments de réflec-

CHEVAUchemENTS CADOMIENS SUR LE PROFIL SWAT

1193

Densités mesurées dans l'allochtone

	densité moyenne g/cm ³	écart type g/cm ³	Fréquence	densité moyenne	écart type
granodiorites.	2,856	0,003	80%		
inclusion dans les granodio- rites	3,026		1%	2,89	0,004
pillow lavas	3,161	0,005	7%		
amphibolites	3,025	0,012	11%		

Densités mesurées dans l'autochtone

schistes métamorphiques	2,840	0,012	40%		
schistes dolerites	2,606	0,051	50%		
schistes noirs	2,975		10%	2,71	0,046
schistes gris	2,656	0,154			
	2,573				

TABL. I. — Valeurs des densités mesurées au sud de la baie de Saint-Brieuc.

TABLE I. — Densities of the autochthonous and allochthonous terranes recognized south of baie de Saint-Brieuc.

teurs plus courts et plus superficiels à vergence sud ; les structures à vergence nord représentent des structures majeures, tandis que celles qui sont à vergence sud correspondent à des structures secondaires. L'image sismique enregistrée à la jonction de ces deux types de réflecteurs suggère qu'ils ont été créés de façon simultanée. Les écaillages et les réflecteurs principaux à vergence nord sont indubitablement anté-hercyniens et selon toute vraisemblance plus ou moins directement liés à la subduction cadomienne de l'océan de la Manche ; les réflecteurs secondaires correspondent quant à eux à des chevauchements qui ont été datés à 600 Ma.

Les marqueurs sismiques que nous avons reconnus représenteraient donc des structures synthétiques et antithétiques héritées de la collision qui a succédé à la subduction de l'océan de la Manche au Briovérien supérieur et au Cambrien inférieur. L'organisation actuelle des réflecteurs et notamment celle qui est visible sur le profil 10 est très semblable aux images obtenues par J. Malavieille [1984] qui, à partir de modèles physiques, a reconstitué la géométrie des accidents issus d'une subduction. La valeur des pendages résultant de la modélisation est d'ailleurs proche de celle qui a été mesurée sur nos profils. Une organisation semblable des chevauchements synthétiques et antithétiques peut encore être trouvée à Terre-Neuve en bordure de la suture du Iapetus [Haworth *et al.*, 1978 ; Keen *et al.*, 1986].

La majorité des structures observées au sud de la Manche occidentale est donc probablement d'âge cadomien, ce

qui ne s'oppose pas, ainsi que nous l'avons montré en baie de Saint-Brieuc, à une légère réactivation de certaines d'entre elles au cours de l'Hercynien.

L'étude de la racine des écaillages profonds à vergence nord observés sur les profils SWAT est délicate dans la mesure où les réflecteurs profonds n'ont pas été migrés. On peut seulement affirmer que la planéité du Moho est un trait post-hercynien.

La comparaison que l'on peut tenter entre la partie méridionale des profils SWAT 10 et ECORS-Nord de la France [Cazes *et al.*, 1985], situés à 250 kilomètres l'un de l'autre, suggère que la croûte a évolué différemment à l'est et à l'ouest du bloc mancelien (fig. 1). On ne retrouve pas en effet à l'est de ce bloc les chevauchements profonds et pentés que l'on a décrit en Manche occidentale, mais seulement des chevauchements plats, considérés comme hercyniens. Cette différence suggère que la tectonique tangentielle cadomienne décrite un peu plus haut ne s'est pas développée à l'est du Cotentin. En bref cela signifie que les terrains situés sous le bassin de Paris n'appartiennent plus à la marge active qui au Briovérien supérieur bordait le Nord du Massif armoricain.

L'hypothèse émise par P. Balé [1986] et selon laquelle la subduction cadomienne aurait été de vergence opposée, n'est pas compatible avec les observations sismiques puisqu'en Manche les chevauchements à pendage nord viennent buter sur des structures à pendage sud ; à moins d'imaginer que les réflecteurs profonds qui ont été reconnus en bordure de l'anomalie de la Manche ne soient d'âge

hercynien. Les arguments magnétiques et sismiques déjà cités s'opposent encore à cette interprétation, les prolongements submergés du chevauchement du Lizard et du cisaillement sud armoricain, deux structures hercyniennes indubitables, recourent à la fois l'anomalie magnétique de la Manche occidentale et les réflecteurs à pendage sud. Force est donc d'admettre et ceci en conformité avec les arguments pétrographiques et géochimiques que la

suture briovérienne nord armoricaine est bien localisée en Manche occidentale.

Remerciements. — Nous remercions l'équipe de profil SWAT-ECORS qui nous a donné accès aux enregistrements sismiques effectués en Manche occidentale, ainsi que B. Biju-Duval et P.-C. de Graciansky pour leurs suggestions.

Références

- AUVRAY B. (1979). — Genèse et évolution de la croûte continentale dans le Nord du Massif armoricain. — Thèse d'Etat, Univ. Rennes, 679 p.
- AUVRAY B., CHARLOT R. & VIDAL PH. (1980). — Données nouvelles sur le Protérozoïque inférieur du domaine nord-armoricain (France) : âge et signification. — *Can. J. Earth Sci.*, Ottawa, 17, 4, pp. 532-538.
- AUVRAY B. & LEFORT J. P. (1980). — Evolution géodynamique du Nord du Massif armoricain au Protérozoïque supérieur. — *J. Geol. Soc. Lond.*, Londres, 137, p. 213.
- BALÉ P. (1986). — Tectonique cadomienne en Bretagne Nord. Interaction chevauchement - décrochement - champ de déformation et modélisation expérimentale. — Thèse d'Université, Rennes, 361 p.
- BALÉ P. & BRUN J. P. (1983). — Les chevauchement cadomiens de la baie de Saint-Brieuc (Massif armoricain). — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 297, pp. 359-362.
- BOIS C., DAMOTTE B., MASCLE A., CAZES M., TORREILLES G., GALDEANO A., HIRN A., MATTE P. & RAOULT J. P. (1984). — Deep seismic profiling of the crust in northern France : The ECORS Project. — *Inst. Franc. Pet.*, Rapp. 32552, Rueil-Malmaison, 20 p.
- CAZES M., TORREILLES G., BOIS C., DAMOTTE B., GALDEANO A., HIRN A., MASCLE A., MATTE PH., VAN NGOC PH. & RAOULT J. P. (1985). — Structure de la croûte hercynienne du Nord de la France : premiers résultats du profil ECORS. — *Bull. Soc. géol. France*, Paris, I, 6, pp. 925-941.
- CHADWICK R. A., KENOLTY N. & WHITTAKER A. (1983). — Crustal structures beneath southern England from deep seismic reflection profiles. — *J. Geol. Soc. Lond.*, Londres, 140, pp. 893-911.
- DAY G. A. & EDWARDS J. W. F. (1983). — Variscan thrusting in the basement of the English Channel and SW approaches. — *Proc. Ussher Soc.*, pp. 432-436.
- DURAND J. (1985). — Le grès armoricain, sédimentologie, traces fossiles, milieux de dépôt. — Thèse 3^e cycle, univ. Rennes, 119 p.
- GRAVIOU P. & AUVRAY B. (1985). — Caractérisation pétrographique et géochimique des granitoïdes cadomiens du domaine nord-armoricain : implications géodynamiques. — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 301, II, 5, pp. 315-318.
- HAWORTH R. T., LEFORT J. P. & MILLER M. G. (1978). — Geophysical evidence for an east-dipping appalachian subduction zone beneath Newfoundland. — *Geology*, Boulder, 6, pp. 522-526.
- HIRBEC Y. (1979). — Le complexe basique de Belle-Ile-en-Mer. — Thèse 3^e cycle, Univ. Rennes, 146 p.
- JEANNETTE D. (1971). — Analyse tectonique de formations précambriennes. Etude du Nord-Est de la Bretagne. — Thèse d'Etat, Univ. Strasbourg, 206 p.
- KEEN C. E., KEEN M. J., NICHOLS B., RIED I., STOCKMAL G. S., COLMANN-SADD S. P., O'BRIEN S. J., MILLER H., QUINLARI G., WILLIAM H. & WRIGHT J. (1986). — Deep seismic reflexion profile across the northern Appalachians. — *Geology*, Boulder, 14, pp. 141-145.
- LEFORT J. P. (1975). — Le socle péri-armoricain : étude géologique et géophysique du socle submergé à l'Ouest de la France. — Thèse d'Etat, Univ. Rennes, 217 p.
- LEFORT J. P. (1977). — Possible « Caledonian » subduction under the Domnonian domain, North Armorican area. — *Geology*, Boulder, 5, pp. 523-526.
- LEFORT J. P. (1987). — L'organisation structurale du socle profond de la Manche occidentale d'après l'interprétation des profils sismiques SWAT. — Rapport ECORS. — Sous presse.
- LEFORT J. P. & SÉGOUFIN J. (1978). — Etude comparée des structures profondes et des anomalies magnétiques allongées reconnues en Manche occidentale et en baie d'Audierne : existence possible d'une suture cryptique au nord-ouest du Massif armoricain (France). — *Tectonophysics*, Amsterdam, 46, pp. 65-76.
- LE GALL J., DISSLER E. & DUPRET L. (1986). — Signification géodynamique des volcanismes briovériens dans le nord-est du Massif armoricain. — *C. R. Acad. Sci.*, Paris, 303, II, 17, pp. 1587-1592.
- MALAVIEILLE J. (1984). — Modélisation expérimentale des chevauchements imbriqués : application aux chaînes de montagne. — *Bull. Soc. géol. France*, Paris, 7, XXVI, 1, pp. 129-138.
- RABU D., CHAUVEL J. J. & CHANTRAINE J. (1983). — Nouvelles propositions pour la lithostratigraphie du Briovérien (Protérozoïque supérieur) et pour l'évolution géodynamique cadomienne en baie de Saint-Brieuc (Massif armoricain). — *Bull. Soc. géol. France*, Paris, XXV, 4, pp. 615-621.
- TALWANI M. & HEIRTZLER J. R. (1964). — Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional structures of any shape. — *Comp. Min. Ind.*, G. A. Parks, Stanford Univ.

2. Les profils sismiques SWAT en Manche Occidentale

Parallèlement au profil SWAT 10 décrit précédemment, trois autres profils orientés sensiblement Nord Sud (Fig. 124) recoupent les structures régionales.

L'interprétation de la partie méridionale de ces profils (à partir de l'Anomalie de la Manche) permet non seulement de reconnaître les différentes unités décrites précédemment (§ II.2 et § II.3) mais fait également apparaître un certain nombre de traits structuraux majeurs (Fig. 127).

2.1. Les réflecteurs obliques

L'étude des profils sismiques dans leur partie méridionale montre qu'il existe deux types de réflecteurs sismiques divergents :

- les uns, à pendage sud, visibles de la croûte supérieure jusque dans le manteau supérieur sont considérés comme des interfaces anciennes repris par des événements récents (hercyniens). Interprétés comme des chevauchements, ils sont associés à des écaillages de croûte inférieure. Bien que certains se rattachent ou prolongent des accidents hercyniens connus à terre, un âge précambrien (Lefort et Bardy, 1987 ; Lefort, 1988) est attribué à ces réflecteurs du fait de leur compatibilité avec la vergence du sens de subduction évoquée pour l'orogénèse cadomienne. Ils représenteraient alors la trace de chevauchements synthétiques à la subduction. Notons que de telles structures à pendage sud se retrouvent à terre dans le Cotentin (Dissler, 1987; ce travail).

- les autres à pendage nord, plus superficiels puisque seulement observables dans la croûte supérieure et inférieure, sont représentés par des réflecteurs moins énergiques. Leur rattachement à des structures cadomiennes connues à terre (Bardy et Lefort, 1987 ; Lefort et Bardy, 1987; Lefort, 1988) suggèrent qu'ils sont assimilables à des chevauchements antithétiques de la subduction. Cette interprétation est étayée par le fait que la base de ces réflecteurs à pendage nord semble s'appuyer sur les réflecteurs profonds (synthétiques) à pendage sud et qu'une telle géométrie a été reconnue dans les modèles physiques de Malavieille (1984).

La reprise de ces structures par des événements hercyniens a été montrée dans le Golfe normano-breton (Bardy et Lefort, 1987).

La dualité des réflecteurs (pendages nord et sud) crée ainsi au Sud de l'Anomalie de la Manche un axe de divergence qui n'est pas sans rappeler celui mis en évidence par la modélisation magnétique des corps existants dans le Golfe normano-breton.

2.2. Les écaillages de Croûte Inférieure

Sur les profils sismiques SWAT 7-8-9-10, apparaît, toujours au Sud de l'Anomalie de la Manche, une croûte inférieure épaissie. Une analyse détaillée au sein de cette croûte épaissie permet de mettre en évidence des réflecteurs très puissants à pendage sud. Ces structures bien marquées et relativement continues, interprétées en terme de chevauchements délimitent des blocs assimilés à des écailles de matériel profond constituant le socle de l'ancienne marge cadomienne.

Nous interprétons cet empilement comme résultant de la remontée du socle cadomien dans un régime de compression lors de la collision ayant entraînée la formation de la chaîne cadomienne.

La présence de ces chevauchements crustaux dans la partie méridionale du Golfe normano-breton peut expliquer la genèse du batholite mancellien par un processus de fusion crustale consécutif au surépaississement tectonique de la croûte écaillée. Cette hypothèse se trouve confortée par les travaux pétrographiques et géochimiques qui caractérisent les granites du batholite mancellien comme des roches plutoniques de type C (Jonin, 1981 ; Graviou et Auvray, 1985 ; Georget, 1986). Un tel phénomène associant genèse des batholites granitiques et chevauchements crustaux a été décrit pour le batholite cornubien (Le Gall, 1987).

3. Corrélation entre anomalies magnétiques et profils sismiques SWAT

L'étude des modélisations magnétiques de l'Anomalie de la Manche et des anomalies du Golfe normano-breton laisse apparaître deux familles de corps à pendages opposés (nord et sud) situées de part et d'autre d'un axe de divergence orienté sensiblement NE-SW (Fig. 123).

La mise en évidence sur les profils sismiques SWAT des structures à double vergence (chevauchements synthétiques et antithétiques) laisse envisager qu'il existe un lien géométrique entre pendage des corps magnétiques et structures tectoniques cadomiennes (ou hercyniennes pour certaines).

En effet, le positionnement des corps magnétiques sur les profils sismiques (Fig. 127) montre que la plupart des corps peu profonds (1000 à 2000 m) s'appuient ou sont "portés" par des structures chevauchantes antithétiques alors que les corps à pendage sud de l'Anomalie de la Manche prolongent en général les traces les plus septentrionales des écaillages.

Cette hypothèse de reprise des corps magnétiques le long ou par des accidents cadomiens (ou hercyniens) trouve sa meilleure expression dans le transport vers le Sud-Est, par un chevauchement hercynien (Lefort, 1988), de la partie occidentale de l'Anomalie de la Manche.

Ainsi, le pendage des corps magnétiques de la Manche Occidentale semble étroitement lié et dépendant des structurations cadomiennes et hercyniennes.

IV CONCLUSION

Le polyphasage orogénique (orogénèses cadomiennes et hercyniennes) enregistré sur les profils sismiques SWAT en Manche Occidentale rend leur interprétation délicate.

Seul le prolongement vers des structures connues et datées à terre, des réflecteurs obliques a permis d'individualiser ces deux orogénèses (Lefort et Bardy, 1987 ; Lefort, 1988).

Sur les profils SWAT, l'orogénèse cadomienne se caractérise par une série de réflecteurs obliques assimilables à des chevauchements.

La double vergence de ces chevauchements et leur géométrie s'intègrent parfaitement dans un modèle de subduction et de collision (Malavieille, 1984) où des réflecteurs à pendage sud représentent les chevauchements synthétiques de la subduction tandis que les réflecteurs à pendage nord, plus superficiels et moins énergiques, reflètent l'existence des chevauchements antithétiques.

Cette dualité synthétique/antithétique s'associe de façon étroite aux pendages des corps obtenus par la modélisation magnétique et trouve une équivalence latérale et terminale dans les structures étudiées à terre que ce soit en Normandie où l'existence de la double vergence cadomienne est mise en évidence (ce travail) ou en Bretagne Nord où les structures antithétiques se rattachent à des chevauchements connus et datés du Cadomien (Balé et Brun, 1983 ; Balé, 1986 ; Bardy et Lefort, 1987).

Un système d'écaillage affecte la croûte inférieure et initie un surépaississement crustal qui peut être à l'origine du batholite granitique de la Mancellia.

La présence de l'orogénèse hercynienne ne doit pas être exclue. Elle est marquée essentiellement par la reprise d'accidents cadomiens et peut ainsi amener la possibilité de réorientation tectonique des corps dans un régime de chevauchement vers le Sud.

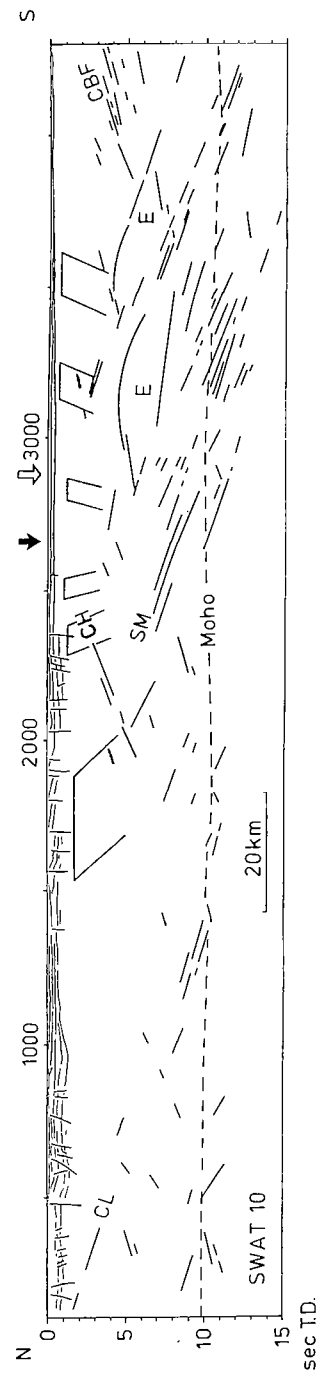
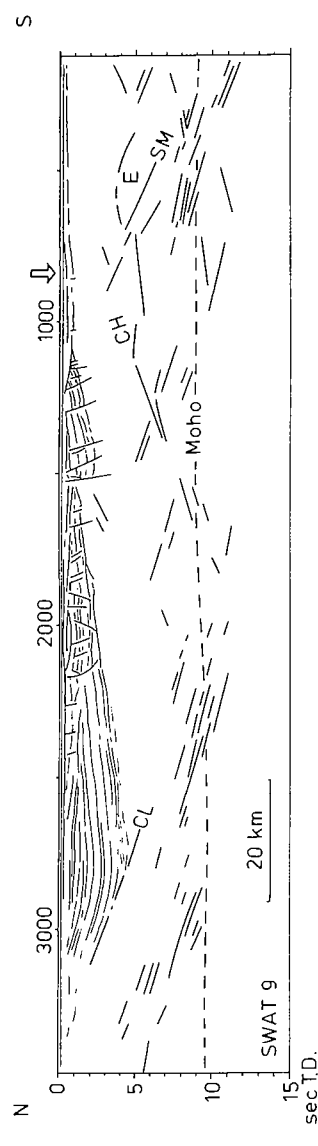
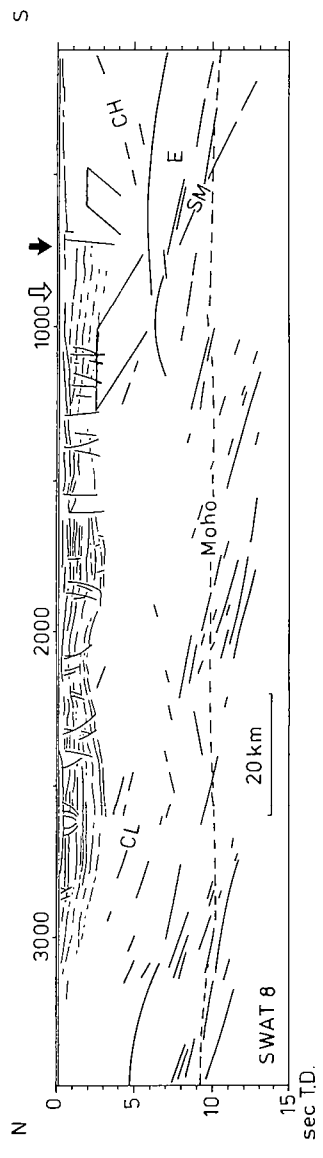
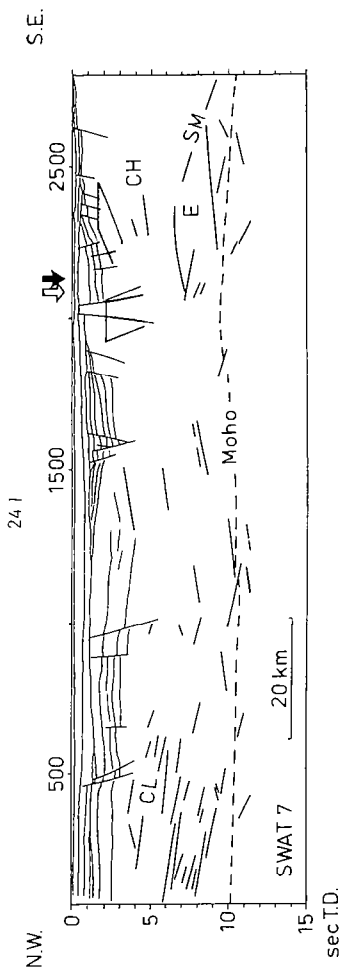


Fig. 127 - Interprétation des profils sismiques SWAT (Lefort, 1988 modifié)

Corrélation chevauchements - structures magnétiques

C.L. = Chevauchement du Lizard

C.H. = Chevauchement de la Hague

C.B.F. = Chevauchement de la Baje de la Fresnaye

S.M. = Sutute de la Manche

E. = Ecaillies de croûte inférieure

□ = corps magnétiques

⇩ = axe de divergence sismique

⇩ = axe de divergence magnétique

conclusion de la

2ème PARTIE



L'étude conjointe des terminaisons des profils de sismique réflexion profonde SWAT 07-08-09-10 et des modélisations magnétiques des anomalies de la Manche Occidentale nous suggère les conclusions suivantes:

- la caractérisation géométrique de la structure interne d'une chaîne de montagne est rendue possible par l'interprétation des réflecteurs sismiques. Dans le cas présent, cette étude a permis de mettre en évidence l'existence de chevauchements synthétiques et antithétiques liés à une subduction vers le Sud-Est.

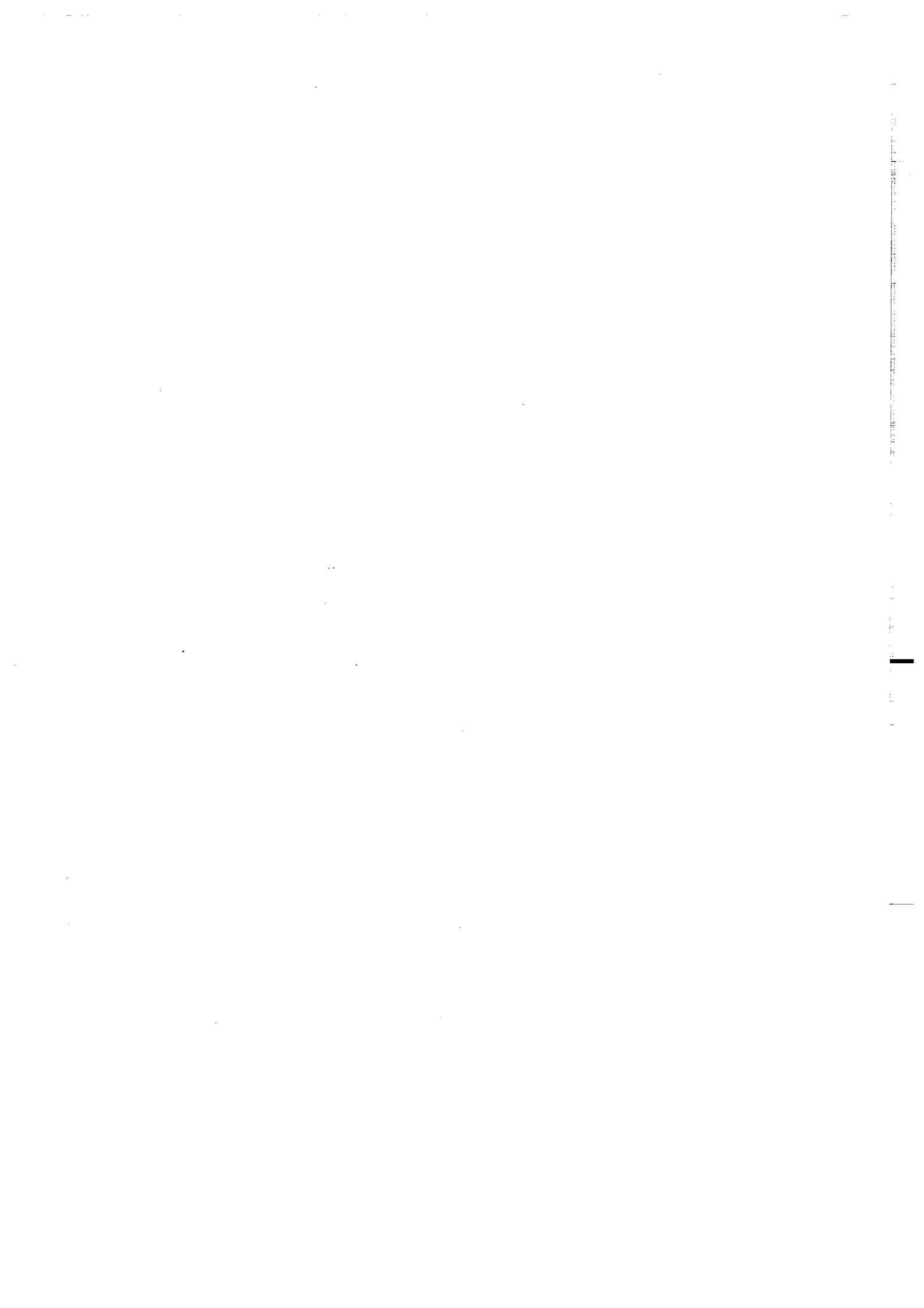
- cependant, la datation de ces différents évènements structuraux (chevauchements), ne peut être contrainte que par la connaissance à terre de structures connues et datées se raccordant aux réflecteurs considérés.

- c'est ainsi que des réflecteurs obliques à pendage nord sont rattachés aux chevauchements cadomiens de la Baie de Saint Briec et les réflecteurs à pendage sud aux structures cadomiennes à vergence nord du Nord Cotentin.

- la modélisation magnétique des anomalies de la Manche s'intègre bien dans ce modèle de chaîne cadomienne à double vergence dont la suture est représentée par les corps de l'Anomalie de la Manche à pendage vers le Sud. Le pendage nord obtenu pour les corps situés au Sud du marqueur médian de la Manche semble s'expliquer par une reprise des corps par les structures antithétiques cadomiennes ou par des chevauchements hercyniens.

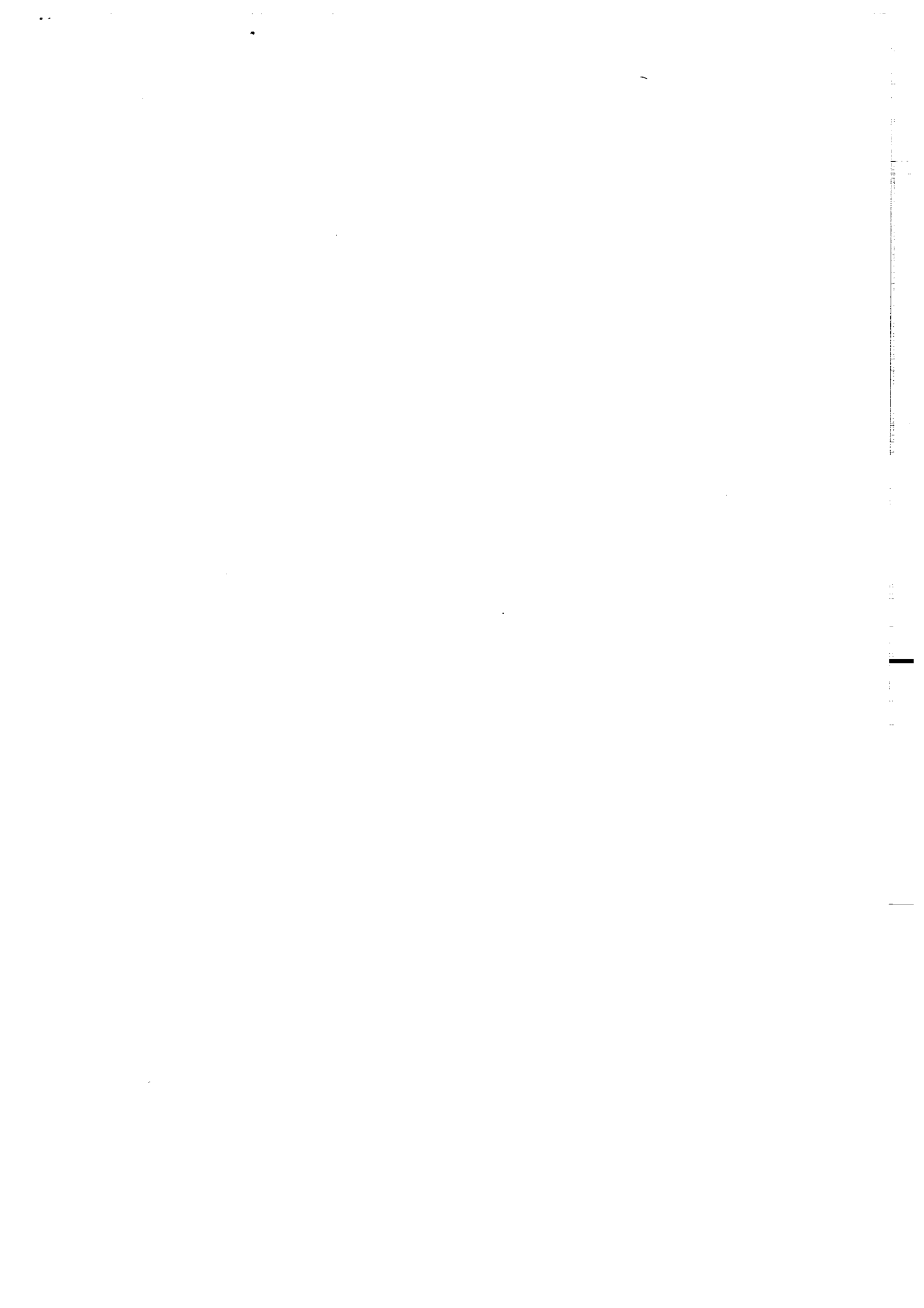
Il est également remarquable de constater que les résultats acquis grâce à des méthodes géophysiques différentes (magnétisme, sismique) confirment les hypothèses de double vergence de la chaîne cadomienne émises lors de l'étude géologique de cette chaîne dans le Cotentin.

De plus, cette étude géophysique rend possible une corrélation entre l'orogénèse cadomienne en Bretagne Nord et dans le Cotentin permettant ainsi de faire une synthèse de l'orogénèse cadomienne dans le Nord du Massif Armoricaïn.



3ème PARTIE

SYNTHESE ET CONCLUSIONS GENERALES



L'étude tectonométamorphique menée dans la presqu'île du Cotentin permet de préciser le dispositif géotectonique contrôlant l'évolution du Nord-Est du Massif Armoricaïn à la fin des temps protérozoïques (cycle cadomien). L'intégration des résultats obtenus au moyen des méthodes géophysiques (magnétisme et sismique) permet de contrôler le mécanisme responsable de ce dispositif géotectonique (zone de suture, pendage de la subduction) et d'étendre le secteur d'étude au domaine de la Manche Occidentale. D'autre part la géométrie de la chaîne cadomienne a pu être précisée sur une longueur d'environ 200 km et une profondeur de 30 km (existence de chevauchements synthétiques et antithétiques à la subduction).

Dans l'organisation de la chaîne cadomienne, un domaine orogénique et un domaine intraplaque peuvent être différenciés (tout comme en Bretagne Nord, Cabanis et al., 1987 ; Chantraine et al., 1988 ; Rabu et al., in press) :

- le domaine orogénique à caractère essentiellement volcano-plutonique constitue la cordillère cadomienne. Ce domaine installé sur la bordure d'un continent icartien représente la marge active de l'océan qui se fermera à la fin du cycle cadomien.

- le domaine intraplaque à caractère essentiellement terrigène dans lequel se reconnaît un bassin marginal (région de Saint-Lô) et un domaine de plateforme continentale auquel se rattache le domaine externe de l'orogène (bocage normand).

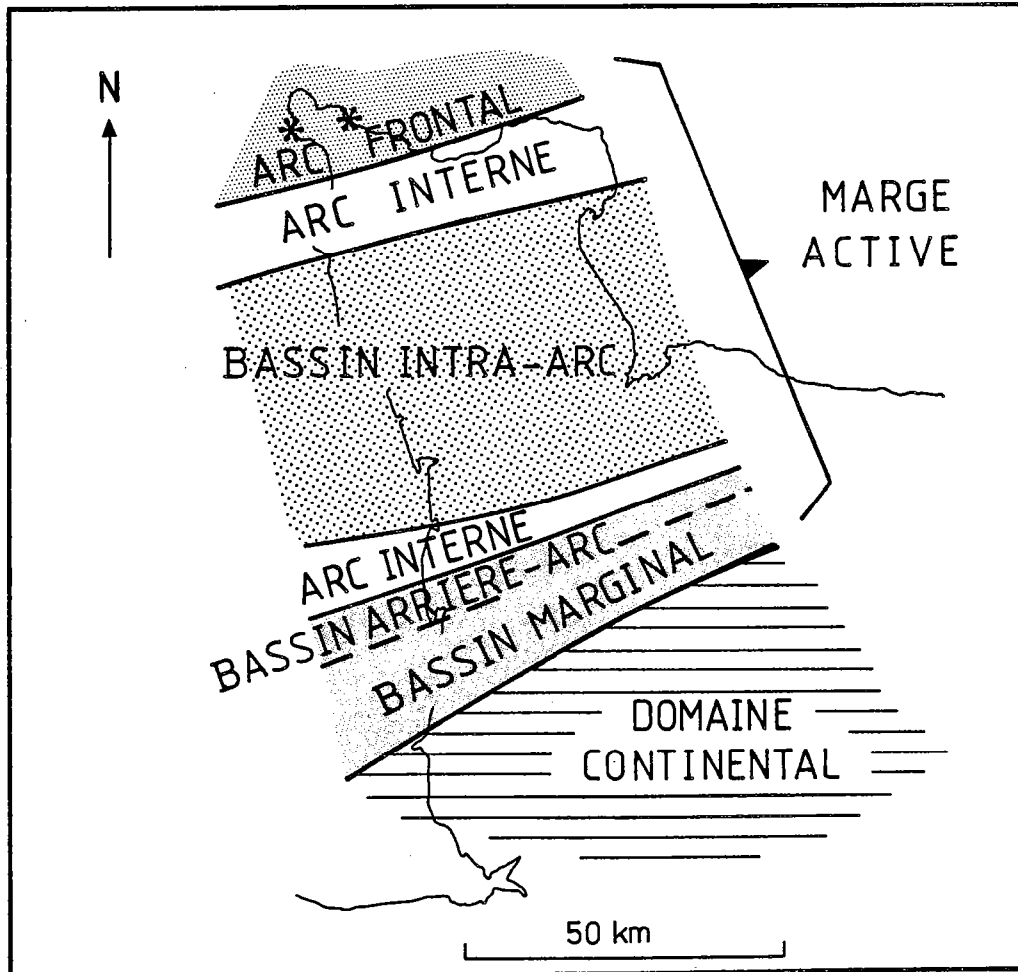


Fig. 128 - Organisation paléogéographique de la chaîne cadomienne

I L'OROGENE CADOMIEN DANS LE NORD-EST DU MASSIF ARMORICAIN

1. Les différents domaines (Fig. 128)

1.1. Le socle pentévrien

Dans le Cotentin, le soubassement des terrains briovériens affleure dans le complexe cristallophyllien de la Hague. Représentées par des gneiss (Power et Roach, 1974 ; Doré et al., 1984) ces roches dont les âges avoisinent 2000 Ma (Leutwein et al., 1973 ; Piton, 1985) constituent les plus anciens témoins de croûte continentale connue en Normandie.

Ce soubassement présente de grandes affinités avec celui reconnu dans les îles anglo-normandes (gneiss d'Icart, Calvez et Vidal, 1978) et dans le Trégor (gneiss de Trébeurden, Auvray, 1979 ; gneiss du Moulin de la Rive, Autran et al., 1979). Ces différents massifs gneissiques sont considérés comme les témoins d'une croûte continentale ancienne qui subsiste à l'état de lambeaux selon une ligne orientée N40 joignant la Baie de Lannion à l'Est à la pointe occidentale du Cotentin à l'Ouest.

1.2. Le domaine orogénique

Ce domaine est caractérisé par l'existence de deux ceintures volcanoplutoniques interprétées en terme d'arc insulaire et de bassin arrière arc.

1.2.1. L'arc insulaire

Deux ensembles pétrographiques différents permettent de décrire un arc frontal ou externe et un arc interne.

1.2.1.1. L'arc insulaire frontal ou arc externe

Dans le Cotentin, le batholite de la Hague composé de roches dioritiques à granitiques dont l'âge moyen est d'environ 590 à 580 Ma (Leutwein et al., 1973 ; Charlot, non publié) est percé de quelques venues plus précoces datées à 650 Ma (orthogneiss du Moulinet ; 649^{+9}_{-12} Ma, U-Pb sur zircon, (Charlot, non publié)) montrant une activité plutonique importante d'âge Protérozoïque supérieur.

L'affinité calco-alcaline de ce plutonisme (Dissler, 1987) de même que son caractère d'origine profonde (granitoïdes de type M ; Graviou et al., 1988) traduisent l'expression d'un magmatisme lié à une zone de convergence de plaques. Il est interprété en terme d'arc insulaire. Sa position "avancée" sur le rebord du continent icartien (socle pentévrien) en fait un arc insulaire frontal (Dissler, 1987).

1.2.1.2. L'arc insulaire interne

Un volcanisme de type arc insulaire est identifié en deux points dans la presqu'île du Cotentin. Dans le Val de Saire, les volcanites basiques de la formation du Vast (Le Gall et al., 1986 ; Dissler, 1987) ont des caractères de tholéïtes d'arc insulaire. Plus au Sud, un second pointement de laves basiques, intermédiaires à acides, à composition de spilites-kératophyres (la formation de Montsurvent) montre une forte affinité avec les tholéïtes d'arc insulaire (Dupret et al., 1985).

Ces deux formations sont actuellement séparées par une zone où le Briovérien n'est pas présent à l'affleurement. A cette disposition peut correspondre trois hypothèses :

- les formations du Vast et de Montsurvent correspondent à deux sites compressifs au cours de l'histoire cadomienne (Dissler, 1987 ; Dissler et al., 1988).

- la partition en deux branches s'explique par l'existence d'une tectonique intense ayant entraîné vers le Sud une partie de l'arc insulaire interne (la formation de Montsurvent). Ce sens de vergence est compatible avec la tectonique à vergence sud décrite dans cette région.

- Cette partition appartient à l'histoire tardi à fini orogénique et traduit l'existence d'une distension (formation d'un bassin intra arc marqué par le volcanisme du platier des Mortes Femmes) se poursuivant pendant la période Paléozoïque (Rabu et al., in press).

1.2.2. Le bassin arrière-arc

L'importance de la tectonique cadomienne rend difficile l'observation d'un bassin arrière-arc typique dans le Cotentin. Cependant la présence de formations volcanoclastiques, de roches ultrabasiques à affinité océanique et d'amphibolites situées au Sud des volcanites de Montsurvent permet d'entrevoir l'existence de ce bassin arrière-arc.

1.3. Le domaine intraplaque

Au Sud de la zone orogénique et séparée d'elle par la trace d'un chevauchement crustal s'étend une zone essentiellement sédimentaire dans laquelle on peut distinguer un bassin marginal et un domaine continental stable.

1.3.1. Le bassin marginal

Caractérisé par une série sédimentaire briovérienne essentiellement terrigène à laquelle sont associées des phtanites interstratifiées, ce bassin marginal est représentée en Normandie par la formation des "schistes et phtanites de Saint-Lô. Cet ensemble contient également des intercalations volcaniques à caractère tholéïtique (formation de La Terrette) caractéristique d'un domaine distensif marginal (Le Gall et al., 1986). Ce bassin marginal représente l'extension vers le Sud du bassin arrière-arc.

1.3.2. Le domaine continental stable

Situé en arrière du domaine orogénique et du bassin marginal, il est représenté géographiquement par le bocage normand et le Maine.

Ce domaine est caractérisé par des sédiments alimentés par la zone orogénique interne datée aux environs de 600-580 Ma et les sédiments du bassin marginal. Le caractère post phtanitique des sédiments du domaine continental est parfaitement démontré (Chantraine et al., 1980, 1983). Ces sédiments montrent une origine détritique terrigène immature évoluant selon

un gradient de maturité croissant vers le Sud. L'analyse des dépôts (Garlan, 1985) met en évidence le caractère gravitaire de leur mise en place avec vers le Nord, un domaine à forte pente (la cordillère constantienne). Des volcanites associées à cette série briovérienne post phtanitique sont reconnues en Mancellia, ce sont les spilites de Vassy (Dupret et al., 1985). La signature géochimique de ces dernières est caractéristique d'un site intraplaque en distension.

1.3.3. Problème du batholite mancellien

Jusqu'à ce jour, toutes les reconstitutions géodynamiques de l'orogénèse cadomienne buttent sur l'explication de la genèse du batholite mancellien. Nombreux sont les auteurs qui doutent d'un quelconque lien entre le batholite de la Mancellia et la subduction vers le Sud de l'océan de la Manche (trop grand éloignement, signature géochimique incompatible...). Certains vont jusqu'à initier plusieurs subductions vers le Sud, ou vers le Nord afin de rattacher l'origine du batholite à un mécanisme de subduction.

Les différentes données géochimiques (Jonin, 1981 ; Graviou, 1984 ; Georget, 1986 ; Graviou et al., 1988) décrivent ces granodiorites comme un plutonisme typique d'origine crustale dérivant de la fusion de métasédiments alumineux en faciès granulitique (matériel qui ne peut provenir que d'une croûte).

Lors de l'interprétation des profils de sismique réflexion profonde SWAT nous avons mis en évidence la présence d'écaillages de croûte inférieure initiée lors de la collision ayant entraîné la formation de la chaîne cadomienne. Un tel processus entrainerait alors une fusion crustale qui pourrait induire la genèse du batholite mancellien. Un mécanisme identique a été décrit mais non prouvé pour expliquer la genèse du batholite cornubien (Le Gall, 1987).

2. La structuration cadomienne dans les différents domaines

2.1. Le domaine orogénique

Le dispositif arc insulaire-bassin-arrière-arc est structuré au cours de l'orogène cadomien selon un cycle unique.

La déformation est caractérisée par l'existence de chevauchements à double vergence :

- les structures chevauchantes à vergence nord du complexe cristallophyllien de la Hague sont callées géochronologiquement autour de 595-585 Ma par les intrusions syncinématiques des diorites du Moulinet et de Jardeheu. Ces structures également reconnues dans le Val de Saire (Dissler, 1987) sont essentiellement visibles, dans le domaine submergé où l'interprétation des profils de sismique réflexion profonde SWAT a permis de les caractériser comme des chevauchements synthétiques à la subduction de l'océan de la Manche vers le Sud-Sud-Est.

- des structures chevauchantes à vergence sud mises en évidence dans la région de Coutances où elles sont datées à 585 Ma par l'intrusion syncinématique de la diorite de Coutances. Cette déformation intense peut être interprétée en terme de chevauchements crustaux utilisant les limites paléogéographiques principales. On peut alors décrire le chevauchement de l'arc insulaire sur le système bassin arrière-arc-bassin marginal, lui-même chevauchant sur le domaine continental stable. L'occultation d'une partie importante du bassin arrière-arc s'explique par la flèche importante de l'accident chevauchant amenant l'ensemble diorite de Coutances-volcanites de Montsurvent sur le bassin marginal constitué des schistes et phanites de Saint-Lô.

2.2. Le domaine intraplaque

Le bassin marginal bien que modérément structuré par rapport au domaine orogénique est tout de même en contact anormal (accident de Granville) avec le domaine continental stable. Ce dernier est lui-même affecté par une tectonique modérée synchrone de la mise en place des granitoïdes mancelliens (Dupret, 1988).

Ce domaine est recouvert en discordance par des formations attribuées au Cambrien inférieur (Doré, 1984).

3. Evolution mobiliste de la chaîne cadomienne

La tectonique cadomienne comprise entre 600 Ma et 540 Ma affecte des unités précambriennes dont les âges se situent entre 650 et 600 Ma.

L'organisation géodynamique de l'orogénèse cadomienne dans le Nord-Est du Massif Armoricaïn est basée sur l'existence au Protérozoïque d'une subduction de croûte océanique. L'anomalie magnétique de la Manche est interprétée comme la trace de cet océan enfoui (Lefort, 1975). Les nouvelles modélisations effectuées dans ce travail confirment cette hypothèse.

Dans un tel schéma (Fig. 129), le scénario suivant peut être proposé pour l'orogène cadomien dans le Nord-Est du Massif Armoricaïn :

- Etape I - 640 Ma : la subduction de la croûte océanique de l'océan de la Manche du Nord-Ouest vers le Sud-Est sous le rebord d'un continent pentévrien entraîne l'édification d'un magmatisme de type arc insulaire dont les traces apparaissent à la Hague (orthogneiss du Moulinet) pour l'arc insulaire frontal et dans le volcanisme d'arc insulaire représenté par les volcanites du Val de Saire et de Montsurvent.

En arrière de cette chaîne volcanique, la distension de la marge provoque l'ouverture d'un bassin arrière-arc (roches ultrabasiques et amphibolites).

- Etape II - 620 Ma : en arrière de ce système arc-bassin arrière-arc, la distension provoque une extension du bassin arrière-arc. Elle se caractérise par l'ouverture d'un bassin marginal actif où s'accumulent des sédiments terrigènes contenant des niveaux de phtanites (formation des schistes et phtanites de Saint-Lô) et des intercalations volcaniques à caractère tholeïtique distensif (formation de la Terrette).

- Etape III - 620-600 Ma : l'activité volcanique jointe à des phénomènes de distension se poursuit dans l'arc insulaire interne où se développent les épanchements volcaniques tholeïtiques anisotitanés de la formation des Mortes Femmes. Ce bassin intra-arc permet d'expliquer la partition en deux branches de l'arc insulaire interne (Vast et Montsurvent).

- Etape IV - 600-580 Ma : le blocage du système est provoqué par la fermeture de l'océan de la Manche et par la collision de la marge icartienne active avec une masse continentale nordique. Les effets de cette collision se traduisent par la structuration du domaine orogénique (arc insulaire et bassin-arrière-arc) induisant le développement de

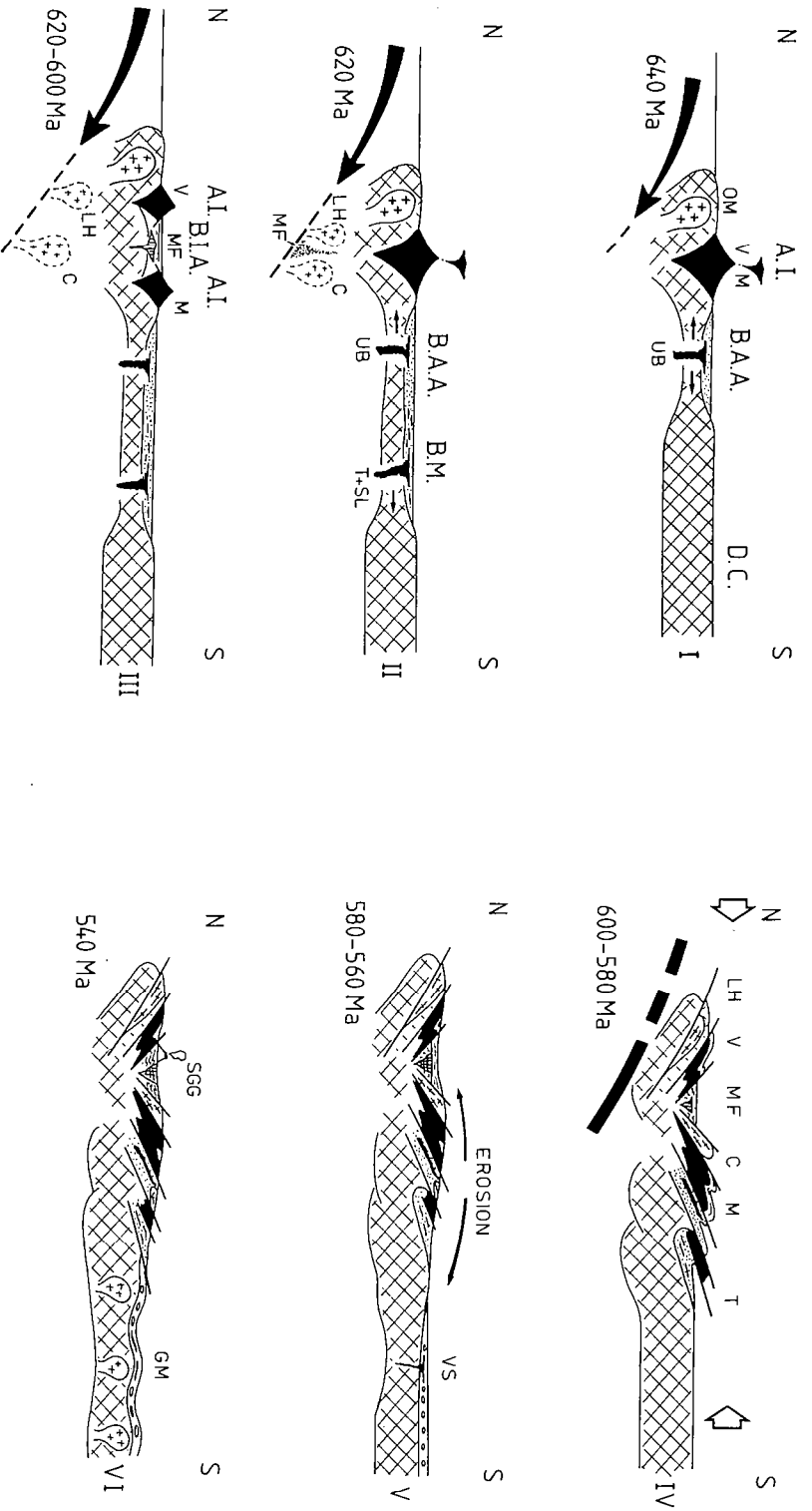


Fig. 129 - Evolution géodynamique cadomienne dans le Nord-Est du Massif Armoricain.

- L.II = plutonisme calco-alkalin de la Hague
- V. = formation du Vast (arc interne)
- M.F. = formation des Mortes Femmes
- C. = diorite de Coutances
- M. = formation de Montsurvent (arc interne)

- T. = formation de la Terrette
- S.L. = Schistes et phanites de Saint-Lô
- V.S. = Volcanisme de Vassy
- S.G.G. = volcanisme acide de Saint-Germain-le-Gaillard
- G.M. = Granites manceilliens

- A.I. = Arc Insulaire
- B.A.A. = Bassin Arrière-Arc
- D.C. = Domaine Continental
- O.M. = Orthogneiss du Moulinet
- U.B. = roches ultrabasiques de Coutances

chevauchements synthétiques et antithétiques contemporains de la mise en place des plutonismes de la Hague (Moulinet et Jardeheu) et de Coutances. Ce dispositif dans la région de Coutances provoque l'obduction du bassin arrière-arc sur le domaine continental stable. Ce bassin est lui-même recouvert tectoniquement par l'arc insulaire chevauchement vers le Sud.

- Etape V - 580-560 Ma : en arrière de la cordillère orogénique, les phénomènes de distension reprennent. Ceci est souligné par l'existence d'un bassin largement développé (bocage normand) ou s'intercale le volcanisme de Vassy. L'alimentation de ce bassin s'effectue par érosion de la cordillère orogénique.

- Etape VI - 540 Ma : les distensions post-orogéniques favorisent la mise en place du volcanisme ignimbritique et acide de Saint-Germain-le-Gaillard et le comblement du bassin intra-arc par les formations sédimentaires du Briovérien terminal puis Paléozoïque. L'histoire de l'orogénèse cadomienne est scellée par la mise en place des granites de la Mancellia.

II CORRELATION AVEC LA BRETAGNE NORD

1. Apport des données géophysiques

Si l'interprétation des données géophysiques ne permet pas de différencier la nature pétrographique des terrains, l'étude des profils sismiques et des modélisations magnétiques met en évidence des structures à double vergence caractérisées par des chevauchements. Ces structures identifiées de proche en proche fournissent la possibilité de tracer en mer la continuité des structures existantes à terre de part et d'autre du Golfe normano-breton (Bretagne Nord et Cotentin). Cette corrélation (carte hors texte) marque l'identité des structures en Bretagne et en Normandie (structures chevauchantes, vergences identiques vers le Sud, il n'y a pas de chevauchement à vergence nord en Bretagne Nord).

2. Parallèle-Normandie-Bretagne (Carte hors texte)

Si il existe une identité structurale entre le Nord de la Bretagne et le Cotentin, il en est de même pour l'organisation paléogéographique des différents domaines constitutifs de l'orogène cadomien. Cette corrélation est décrite en détail dans l'article de Rabu et al. (sous

presse) intitulé "The Brioverian (Late Proterozoic) and the Cadomian Orogeny in the Armorican Massif". Les traits principaux de cet article, mis en annexe de ce mémoire, sont résumés dans le tableau B.

		NORMANDIE	BRETAGNE
SOCLE ICARTIEN		gneiss de la Hague	gneiss du Moulin de la Rive gneiss de Trebeurden
DOMAINE OROGENIQUE	ARC INSULAIRE FRONTAL	magmatisme calco-alcalin de la Hague	magmatisme calco-alcalin du Trégor
	ARC INSULAIRE INTERNE	volcanisme de Montsurvent et du Vast	volcanisme du Trégor et et de la baie de Lannion
	BASSIN ARRIERE-ARC	formation ultrabasique de Coutances amphibolites associées	formation de Lanvollon complexe ultrabasique de Belle Isle en Terre formation de Languieux- Yffiniac
DOMAINE INTRAPLAQUE	BASSIN MARGINAL	formation de St Lô formation de la Terrette	formation de Lamballe- St Malo-St Cast
	DOMAINE CONTINENTAL STABLE	formation post-phtanitique du Bocage Normand	formation post-phtanitique de Bretagne Centrale

III CONCLUSIONS GENERALES

Les résultats majeurs de ce travail peuvent se résumer par les points suivants :

1) Principaux résultats géologiques

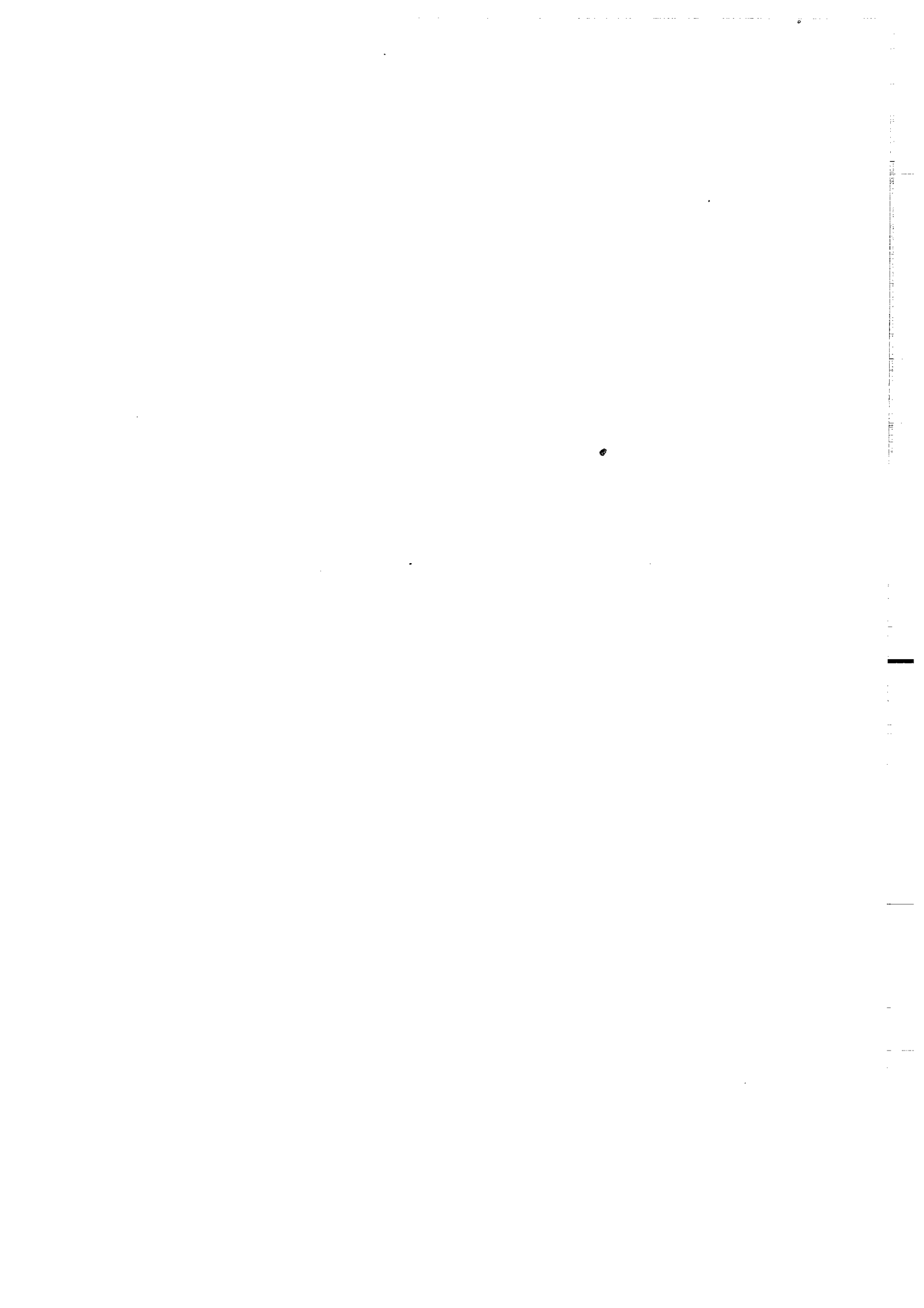
- mise en évidence de chevauchements à vergence nord contemporains de la mise en place des granitoïdes de la Hague (595-585 Ma).
- mise en évidence de chevauchements à vergence sud contemporains de la mise en place de la diorite de Coutances et du granite de la Chapelle-du-Fest (Secteur Coutances-Granville).
- double vergence de la chaîne cadomienne dans le Cotentin.
- allochtonie du massif de Coutances.
- absence d'un métamorphisme de contact induit par l'"intrusion" de la diorite de Coutances.
- construction d'un chemin Pression-Température-déformation s'inscrivant dans un schéma caractéristique d'un contexte géodynamique de collision selon le processus suivant : chevauchement → épaissement crustal → remontée → érosion.
- existence d'une déformation cadomienne unique et continue sur la période 585-540 Ma.

2) Principaux résultats géophysiques

- corrélation étroite dans le Cotentin entre anomalies magnétiques et formations briovériennes.
- âge cadomien de l'Anomalie de la Manche.
- mise en évidence d'une divergence magnétique (corps magnétiques à pendages sud et nord).
- corrélation double vergence magnétique en mer et double vergence de la chaîne cadomienne décrite en Normandie.
- caractère intrasocle (anté-Paléozoïque) des corps magnétiques du Golfe normano-breton et la Manche occidentale.
- mise en évidence de chevauchements synthétiques et antithétiques à la subduction de la Manche vers le Sud-Est.
- existence d'un écaillage de croûte inférieure pouvant initier la genèse du batholite mancellien.

3) Ces résultats et ceux de Bretagne Nord permettent d'établir une reconstitution de la chaîne cadomienne sur une superficie de 50000 Km².

BIBLIOGRAPHIE



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AUTRAN A. et WEBER C. (1971) Données sur les anomalies magnétiques du Bassin Aquitain et sa marge continentale. In. Histoire structurale du Golfe de Gascogne. Pub. I.F.P., ed. Technip; t. 1, IV, 10-1 à IV, 10-8.

AUTRAN A. CHANTRAINE J. et RABU D. (1979) Lithostratigraphie et déformation du Briovérien de la Baie de Lannion. Implication sur les relations entre les cycles cadomien et hercynien. Bull. B.R.G.M. I, n°4, p. 277 - 292.

AUVRAY B. (1974) Les manifestations magmatiques acides du Cambrien dans le Nord de la Bretagne (Trégor). RAST Paris, p. 22.

AUVRAY B. (1975) Relations entre plutonisme acide et volcanisme ignimbritique : exemple des manifestations magmatiques cambriennes du Nord de la Bretagne. Pétrologie, 1, p. 125-138.

AUVRAY B. (1979) Genèse et évolution de la croûte continentale dans le Nord du Massif Armoricaïn. Thèse d'Etat, 681 p.

AUVRAY B. et VIDAL Ph. (1973) Chronologie et évènements géologiques dans le Trégor. RAST, Paris p. 54.

AUVRAY B. et MAILLET P. (1977) Volcanisme et subduction au Protérozoïque supérieur dans le massif Armoricaïn (France). Bull. Soc. Géol. France (7) XIX, n°5, p. 953 - 957.

AUVRAY B., CHARLOT R. et VIDAL Ph. (1980) Données nouvelles sur le Protérozoïque inférieur du domaine Nord Armoricaïn (France) : âge et signification. Can. J. Earth Sci. 17, 4, p. 532 - 538.

AUVRAY B., MACE J., VIDAL Ph., et VAN DER VOO R. (1980) Rb-Sr dating of the Plouezec volcanics, N. Brittany : implications for the age of red beds (séries rouges) in the northern Armoricaïn Massif. J. Geol. Soc. London, 137, 2, p. 207 - 210.

AUVRAY B et LEFORT J.P. (1980) Evolution géodynamique du Nord du Massif Armoricaïn au Protézoïque supérieur. J. Geol. Soc. Lond., 137, p. 213.

AVEDIK F. (1975) The seismic structure of the Western Approaches and the south Armorican continental shelf and its geological interpretation. In petroleum and the continental shelf of north west Europe. v. 1, Geology. Edited by A.W. WODDLAND. Applied Science Publishers LTD. The Institute of Petroleum, Great Britain.

BALE P. (1986) Tectonique cadomienne en Bretagne Nord. Interaction Décrochement - Chevauchement : champs de déformation et modélisations expérimentales. Thèse d'Université, Rennes, 361 p.

BALE P. et BRUN J.P. (1983) Les chevauchements cadomiens de la Baie de St Brieuc (Massif Armoricaïn). C.R. Acad. Sci. Paris, 297, II, p. 359-362.

BARDY Ph. et LEFORT J.P. (1987) Structure et stratigraphie des formations antémésozoïques du golfe normano-breton d'après l'interprétation de données sismiques. C. R. Acad. Sci. Paris, 304, II, 16, p. 997 - 1001.

BARROIS Ch. (1895) Sur les poudingues de Cesson (Côte du Nord). Ann. Soc. Geol. Nord, XXIII, p. 26-27.

BARROIS C. (1899) Brioverian system in sketch of the Geology of Central Brittany. Proc. Geol. Ass. XVI, p. 101-132.

BAYER R. et al. (1987) Premiers résultats de la traversée des Alpes occidentales par sismique réflexion verticale (Programme ECORS-CROP). C.R. Acad. Sci. Paris, 305, II, p. 1461-1470.

BERTHE D. (1980) Le Cisaillement Sud Armoricaïn dans la région de St Jean Brevelay (Morbihan). Analyse de la déformation cisailante. Thèse 3e cycle, Rennes, 150 p.

BERTHE D., CHOUKROUNE P. et GAPAIS D. (1979) Orientations préférentielles du quartz et orthogneissification progressive en régime cisailant : l'exemple du Cisaillement Sud-Armoricaïn. Bull. Minéral., 102, p. 265-272.

BERTHE D., CHOUKROUNE P. et JEGOUZO P. (1979) Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granites : the example of the South Armorican Shear Zone. *J. Struct. Geol.*, 1, p. 31-42.

BIGOT A. (1882) Excursion à travers la Hague. *Bull. Soc. linn. Normandie*, (3), VI, p. 44-65.

BIGOT A. (1924) Notice explicative de la carte géologique au 1/80000 de la feuille de Saint-Lô (N°28).

BIGOT A. (1926) Notice explicative de la carte géologique au 1/80000 de la feuille de Coutances (N°44).

BIRPS et ECORS (1986) Deep seismic reflection profiling between England, France and Ireland. *J. Geol. Soc., Lond.* 143, p. 45 - 52.

BOIS C., DAMOTTE B., MASCLE A., CAZES M., TORREILLES G., GALDEANO A., HIRN A., MATTE P., et RAOULT J.P. (1984) Deep seismic profiling of the crust in northern France : The ECORS Project. *Inst. Franc. Pet., Rapp.* 32552, Rueil-Malmaison, 20 p.

BOIS C., CAZES M., HIRN A., MASCLE A., MATTE P., MONTADERT L. et PINET B. (1988) Contribution of deep seismic profiling to the knowledge of the Lower crust in France and neighbouring areas. *Tectonophysics*, 145, p. 253 - 275.

BONISSENT P. (1870) Essai géologique sur le département de la Manche. *Feu Ardant, Cherbourg*, 430 p.

BOYER Cl. (1970) Contribution à l'étude du volcanisme acide de Jersey. (Iles anglo-normandes). Analogie avec certains termes paléovolcaniques du Massif Central Français et du Massif Armoricaïn. *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 101, p. 20 - 25.

BOYER C., ROBLOT M.M. et GRAINDOR M.J. (1972) Les ignimbrites du Post Briovérien de Saint-Germain-le-Gaillard (Manche). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 274 D, p 21 - 23.

BRIDEN J.C., CLARK R.A., FAIRHEAD J.D. (1982) Gravity and magnetic studies in the Channel Islands. J. Geol. Soc. Lond. 139, p. 35-48.

BRONGNIART A. (1814) Notice pour servir à l'histoire géognostique de cette partie du département que l'on nomme le Cotentin, suivie de quelques considérations sur la classification géologique des terrains. Jour. Mines, 35, p. 109-135.

BRUN J.P. (1975) Contribution à l'étude d'un dôme gneissique : le massif de St Malo (Massif Armoricain) Analyse de la déformation. Thèse 3e cycle, Rennes, 97 p.

BRUN J.P. et BALE P. (1988) Cadomian tectonics in Northern Brittany In "The Cadomian orogeny". Geol. Soc. Sp. Publ., sous presse.

BUNEL H. (1935) Observations sur les terrains intermédiaires du département du Calvados. Mém. Soc. Linn. Normandie, V, p.91-100.

CABANIS B., CHANTRAINE J. ET RABU D. (1986) Etude géochimique du volcanisme briovérien (Protérozoïque Supérieur) du domaine nord-armoricain, implications géodynamiques. C.R. Acad. Sci. Paris, 303, II n° 1, p 51 - 56.

CABANIS et Al. (1987) Geochemical study of the Brioverian (Late Proterozoic) volcanic rocks in the northern Armorican Massif (France). Implications for the geodynamic evolution during the Cadomian. In Cadomian Orogeny - Special Publication (sous presse).

CALVEZ J.Y. et VIDAL Ph. (1978) Two billion year old relicts in the Hercynian belt of Western Europe. Contrib. Mineral. Petrol., 65, p. 395 - 399.

CAUMONT A (de) (1825-1835) Essai sur la distribution géographique des roches dans le département de la Manche. Mém. Soc. Linn. Normandie, année 1835, (C.R. des années 1829 à 1883), V, p. 239-281.

CAUMONT A (de) (1838) Essai sur la distribution géographique des roches dans le département de la Manche. 2ème partie. Mém. Soc. Linn. Normandie (C.R. des années 1834-1838), VI, p. 249-278.

CAZES M., TORREILLES G., BOIS C., DAMOTTE B., GALDEANO A., HIRN A., MASCLE A., MATTE Ph., VAN NGOC Ph. et RAULT J.P. (1985) Structure de la croûte hercynienne du Nord de la France : premiers résultats du profil ECORS. Bull. Soc. Géol. France, I, 6, p. 925-941.

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., DUPRET L., GATINOT F., ICART J.C., LE CORRE C., RABU D., SAUVAN P. et VILLEY M. (1980) Inventaire lithologique et structural du Briovérien (Protérozoïque) de la Bretagne centrale et du bocage Normand pour la recherche de guides métallogéniques. Rapport D.G.R.S.T. et Doc. B.R.G.M., N° 67 (1983), 185 p.

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., DUPRET L., GATINOT F., ICART J.C., LE CORRE C., RABU D., SAUVAN P. et VILLEY M. (1982) Inventaire lithologique et structural du Briovérien de la Bretagne centrale et du bocage normand. Bull. B.R.G.M. 2, I, p. 3 - 18.

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., BALE P., DENIS E. et RABU (1988) Le Briovérien (Protérozoïque supérieur à terminal) et l'orogénèse cadomienne en Bretagne (France). Bull. Soc. géol. France (sous presse).

CHADWICH R.A., KENOLTY N. et WHITTAKER A. (1983) Crustal structures beneath southern England from deep seismic reflection profiles. J. Geol. Soc. Lond., 140, p. 893-911.

CHAURIS L. (1969) Sur un important accident structural dans le N.W. du Massif Armoricaïn. C.R. Acad. Sci. Paris, 268, D, p. 2859-2861.

CHOUKROUNE P. (1971) Contribution à l'étude des mécanismes de la déformation avec schistosité grâce aux cristallisations syncinématiques dans les "zones abritées" (pressure shadows). Bull. Soc. Géol. France, 7, XIII, 3-4, p. 257 - 271.

COGNE J. (1959) Données nouvelles sur l'Antécambrien dans l'Ouest de la France : Pentévrien et Briovérien en Baie de St Briec (Côtes du Nord). Bull. Soc. géol. France, (7), 1, p. 112-118.

COGNE J. (1962) Le Briovérien. Esquisse des caractères stratigraphiques, métamorphiques, structuraux et paléogéographique de l'Antécambrien récent dans le Massif Armoricain. Bull. Soc. Géol. France, 7, IV, p. 413 - 430.

COGNE J. (1967) Esquisse tectonique de la région comprise entre la Baie de St Briec et la Baie de Mont St Michel. C.R. Sess. Extraord., Soc. Belg. Pal. et Hydro. et Soc. Géol. Belg., p. 222 - 227.

COGNE J. (1972) Le Briovérien et le cycle orogénique Cadomien dans le cadre des orogènes fini précambriens. Serv. Géol. Maroc n° 236, p. 193 - 218.

COGNE J. (1974) Le Massif Armoricain in Géologie de la France, I, Vieux massifs et grands bassins sédimentaires. Debeltas, Ed. Doin, Paris, p. 105 - 161.

COGNE J. et WRIGHT A.E. (1980) L'orogène cadomien. Vers un essai d'interprétation paléogéodynamique unitaire des phénomènes orogéniques fini-précambriens d'Europe moyenne et occidentale, et leur signification à l'origine de la croûte et du mobilisme varisque puis alpin. In : Coll. Géologie de l'Europe, 26e Congr. Géol. Intern., Paris, p. 29-55.

COOK F.A., BROWN L.D., KAUFMAN S., OLIVER J.E. et PETERSON T.A. (1981) COCORD seismic profiling of southern Appalachian orogen beneath the coastal plain of Georgia. Geol. Soc. Am. Bull., 92, p. 738-748.

CURRY D., HAMILTON D. et SMITH A.J. (1971) Geological evolution of the western English Channel basin and its relation to the nearby continental margin. S.C.O.R. Symposium Rep. 70/14, p. 129 - 142.

DALIMIER P. (1861) Stratigraphie des terrains primaires dans le presqu'île du Cotentin. Martinet, Paris, 140p.

DANGEARD L. (1924) Observations de géologie sous marine et d'océanographie relative à la Manche. Annales de l'Inst. Océano., Paris, p. 21 - 26.

DAY G.A. et EDWARDS J.W.F. (1983) Variscan thrusting in the basement of the English Channel and SW approaches. Proc. Ussher Soc., p. 432-436.

- DESNOYERS J. (1825) Note supplémentaire au mémoire sur la craie et les terrains tertiaires du Cotentin. Mém. Soc. His. Nat., Paris, II, p. 397-407.
- DISSLER E. (1987) Evolution géodynamique cadomienne du Nord-Cotentin (massif Armoricaïn). Thèse Université, Caen, 255 p.
- DISSLER E., DORE F., DUPRET L., GRESSELIN P. et LE GALL J. (1988) L'évolution géodynamique cadomienne du Nord Est du Massif Armoricaïn. Bull. Soc. Géol., France (sous presse).
- DISSLER E. et GRESSELIN F. (1987) The North Cotentin shear-zone : Variscan mobilization of the Cadomian basement and its Paleozoïc Cover. Geol. J. sous presse.
- DEUNFF J., LEFORT J.P. et PARIS F. (1971) Le microplancton Ludlovien des formations immergées des Minquiers (Manche) et sa place dans la distribution du paléoplancton silurien. Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne, C., III, n° 1, p. 9-28.
- DORE F. (1969) Les formations cambriennes de Normandie. Thèse d'Etat, Caen, 790 p.
- DORE F. (1984) Le problème de la limite Précambrien/Cambrien : les données du Massif Armoricaïn. 10° RAST, Bordeaux, p. 187.
- DORE F. et PONCET J. (1977) Notice explicative de la carte géologique à 1/50000° de la Haye-du-Puits. B.R.G.M., XII, 12, 25 p.
- DORE F., DUPRET L. et LEGALL J. (1984) Les premiers temps de la transgression cambrienne sur le socle du Cotentin. Bull. Soc. Géol. Minéral. Bretagne, C, 11, 1, p. 49-59.
- DORE F., DUPRET L. et LE GALL J. (1985) Tillites et tilloïdes du Massif Armoricaïn. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 51, p. 85-96.
- DUHAMEL (1795) Mémoire sur la minéralogie du département de la Manche. Jour. Mines, 2, VII, 25 et VIII, 1, an III.

DUHAMEL (1798) Essai sur la lithologie du département de la Manche pour faire suite au Mémoire de la Minéralogie de ce département. Jour. Mines, 9, LII, Nivose an VII, p. 249 - 294.

DUPRET L. (1974) Relations structurales entre les formations briovériennes de la région de Granville-Saint-Pair (Massif Armoricaïn). Thèse 3e cycle, Caen, 125 p.

DUPRET L. (1982) Sur la polystructuration cadomienne du Briovérien de Normandie (Massif Armoricaïn). 9e RAST, Paris, p. 222.

DUPRET L. (1984) The Proterozoic of Northeastern Armoricaïn Massif. In : ZOUBECK, 1988, "Precambrian in younger fold belts : v. I Precambrian in the European Variscan belt". John Wiley, N. York p. 444-461.

DUPRET L. et LE GALL J. (1984) Intensité et superposition des schistogénèses cadomienne et varisque dans le Nord Est du Massif Armoricaïn. 10e RAST, Bordeaux, p. 200.

DUPRET L., CABANIS B., LE GALL J. et DORE F. (1985) Les tholéïites d'arc briovériennes de Montsurvent (Manche). Leur place dans l'évolution orogénique cadomienne du Nord de l'Armorique. Hercynica, I, 1, p. 39 - 46.

DUPRET L. LE GALL J., DORE F., GATINOT E. et DISSLER E. (1985) Les spilites de Vassy (Calvados), témoin d'un volcanisme sous-marin tholéïtique et distensif dans la sédimentation du Brioverien supérieur de Normandie. (Nord Est du Massif Armoricaïn). C.R. Acad. Sci. Paris, II, 14, p. 687 - 692.

DUPRET L. et DISSLER E. (1986) Existence d'une structuration cadomienne dans le Briovérien inférieur du Nord Cotentin (Normandie, Nord Est du Massif Armoricaïn) : La coupe référence de Bretteville en Saire. C.R. Acad. Sci. Paris, 302, II, 4, p. 191 - 196.

DURAND J. (1985) Le grès armoricaïn, sédimentologie, traces fossiles, milieux de dépôt. Thèse 3° cycle, univ. Rennes, 119 p.

EDWARDS J.W.F. (1987) Gravity and Magnetic Measurements along MOIST, WINCH and SWAT, extracted from Marine Geophysics Unit projects 81/05, 82/04, 83/05 and 84/06. British Geological Survey Marine Report n° 87/5.

EISBACHER G.H. (1970) Deformation mechanics of mylonitic rocks and fractured granites in Cobequid mountains, Nova Scotia, Canada. Bull. Geol. Soc. Am., 81, p. 2009-2020.

ENGLAND P.C. et RICHARDSON S.W. (1977) The influence of erosion upon the mineral facies of rocks from different metamorphic environments. J. Geol. Soc. Lond., 134, p. 201-213.

FLINN D. (1965) On the symmetry principle and the deformation ellipsoid. Geol. Mag., 102, p. 36-45.

GAPAIS D. (1978) Orientations préférentielles de réseau et déformations naturelles. Applications aux quartzites (segment hercynien de Bretagne Centrale) et aux amphibolites (couverture des dômes gneissiques de Kuopio, Finlande). Thèse 3e Cycle, Rennes, 261 p.

GARLAN Th. (1985) Sédimentologie du Briovérien supérieur de Normandie et du Maine. Thèse 3e cycle, Caen, 166 p.

GENESTIER V. (1984) Pétrologie d'une intrusion calco-alcaline et de ses enclaves : le massif cadomien de "Fort la Latte" (Bretagne Nord). Rapport DEA, Rennes, 52 p.

GEORGET Y. (1986) Nature et origine des granites peralumineux à cordiérite et des roches associées (granites à deux micas-roches basiques) : exemple des granitoïdes cadomiens et hercyniens du Massif Armoricaïn (France). Thèse Université, Mém. et Doc. CAESS n° 9, 250p.

GERARD A. (1973) L'interprétation des cartes transformées des champs magnétiques et de Pesanteur. Application à une étude géophysique du Bassin Parisien et de l'anomalie magnétique de la Manche. Thèse Doct. Ing., Strasbourg, 83 p.

GERARD A. (1975) La tectonique du socle sous la Manche occidentale d'après les données du magnétisme aéroporté. Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 279, p. 55-68.

GERARD A. et GRIVEAU P. (1972) Interprétation quantitative en gravimétrie ou magnétisme à partir de cartes transformées de gradient vertical. Géophys. Prospect, XX, 2, p. 459 - 481.

GOGUEL J. (1954) Lever gravimétrique détaillé du Bassin de Paris. Publ. B.R.G.M., 15, 31p.

GRAINDOR M.J. (1957) Le Briovérien dans le Nord Est du Massif Armoricaïn. Mémoire pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France. Mém. Expl. Carte Géol., France, 211 p.

GRAINDOR M.J. (1960) Géologie du Nord Ouest du Cotentin (feuille de Cherbourg au 1/50000e). Bull. Serv. Carte Géol. Fr., 57, 262, 81 p.

GRAINDOR M.J. (1964) Tectonique tangentielle au Sud de Coutances (Manche). C.R. Acad. Sci., Paris, D, 259, p. 1985 -1987.

GRAINDOR M.J. (1965) Plissements assyntiens; baïkaliens, cadomiens. Bull. Soc. Géol. France, 7, VII, p. 99 - 101.

GRAINDOR M.J. (1966) A propos de l'évolution géochronologique du Massif Coustantien (Coutances, Manche). Bull. Soc. Linn. Normandie, 10e série, 7, p. 103 - 108.

GRAINDOR M.J. et ROBLOT M.M. (1963) Découverte et interprétation de la présence d'un granite écrasé au Sud de St Lô (Manche). C.R. Acad. Sci., Paris, 257, p. 2859 - 2861.

GRAVIOU P. (1984) Pétrogénèse des magmas calco-alcalins. Exemple des granitoïdes cadomiens de la région trégorroise (Massif Armoricaïn). Thèse 3e cycle, Rennes, 236 p.

GRAVIOU P. et AUVRAY B. (1985) Caractérisation pétrographique et géochimique des granitoïdes cadomiens du domaine nord-armoricain : implications géodynamiques. C.R. Acad. Sci. Paris, 8, 301, II, 5, p. 315-318.

GRAVIOU P., PEUCAT J.J., AUVRAY B. et VIDAL PH. (1988) The cadomian orogeny in the Northern Armorican Massif. Petrological and geochronological constraints on a geodynamic model. *Hercynica* (sous presse).

GREEN A.G. (1972) Magnetic profile analysis. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 30, p. 393 - 403.

GREEN A.G. (1976) Interpretation of project MAGNET Aeromagnetic profiles across Africa. *Geophys. J.R. Astr. Soc.*, 44, p. 203-228.

GUERROT C., PEUCAT J.J. et DUPRET L. (1986) Age du Précambrien sédimentaire (Briovérien) dans le Massif Armoricain. Ile RAST, Clermont-Ferrand, p. 86.

GUERROT C., PEUCAT J.J. U/Pb geochronology of the late proterozoic cadomian orogeny in the Northern armorican massif, France. In the Cadomian Orogeny Special Publication, (sous presse).

HALLOT E. (1988) Magmatisme cadomien Nord Armoricain - Exemple du massif gabbro-dioritique de Plouvara-Squiffiec. D.E.A., Rennes, 47 p.

HART R.A. (1973) A model for chemical exchange in the basalt seawater system of oceanic layer. *Can. J. Earth. Sci.*, 10, p. 799-816.

HAWORTH R.T., LEFORT J.P. et MILLER H.G. (1978) Geophysical evidence of an east dipping appalachian subduction zone beneath New Foundland. *Geology*, 6, p 522 - 526.

HIRBEC Y. (1979) Le complexe basique de Belle-Isle-en-Terre (Côtes du Nord). Sa place dans l'évolution géodynamique du Nord du Massif Armoricain. Thèse 3e cycle, Rennes, 146 p.

HOLLAND J.J.B. et RICHARDSON S.W. (1979) Amphibole zonation in metabasites as a guide to the evolution of metamorphic conditions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 70, p. 143-148.

JAEGER J.L. (1967) Un alignement d'anomalies légères coïncidant avec des bassins tertiaires en Bretagne. *Mem. B.R.G.M. n° 52*, p. 91-102.

JEANNETTE D. (1971) Analyse tectonique de Formations Précambriennes. Etude du Nord Est de la Bretagne. Thèse d'Etat, Strasbourg, 206 p.

JEGOUZO P. (1980) The south armorican shear zone. *J. Struct. Geol.*, 2, 1/2, p. 39 - 47.

JEREMINE E. (1924) La prétendue syénite de Coutances. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 178, p. 99 - 101.

JEREMINE E. (1930) Etude pétrographique de la Hague (Manche) *Bull. Soc. Geol., France*, (4), XXX, p. 3-50.

JONIN M. (1981) Un batholite fini Précambrien. Le batholite Mancellien (Massif armoricain, France). Etude pétrographique et géochimique. Thèse d'Etat, Brest, 319 p.

KEEN C.E., KEEN M.J., NICHOLS B., RIED I., STOCKMAL G.S., COLMANN-SADD S.P., O'BRIEN S.J., MILLER H., QUINLARI G., WILLIAM H. et WRIGHT J. (1986) Deep seismic reflexion profile accross the northern Appalachians. *Geology, Boulder*, 14, p. 141-145.

KERFORNE F. et DANGEARD L. (1922) Sur les roches paléozoïques draguées par le "Pourquoi Pas" en 1921 dans la Manche Occidentale. *CR. Hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 174, p. 1714-1715.

KIRO K.N. (1980) Prospection magnétique du fossé Rhénan dans la région de Strasbourg (de Sélestat à Hoerdt). *Dipl. Ing. Geophys., Strasbourg*, 121 p.

KOTHE A. (1974) Interprétations magnétiques dans les Vosges et dans le Massif Central. *Dipl. Ing. Géoph., Strasbourg*, 106 p.

KOULOMZINE Th., LAMONTAGNE Y. et NADEAU A. (1970). New methods for the direct interpretation of magnetic anomalies caused by inclined dykes of infinite length. *Geophysics*, 35, p. 812 - 830.

KUNO H. (1968) Differentiation of basaltic magma. In. H.H. Hess et A. Poldervaart Eds., "Basalts" Interscience Publ. New York, 2, p. 623-688

LAGARDE J.L (1978) La déformation des roches dans les domaines à schistosité subhorizontale. Applications à la nappe du Canigou - Roc de France (Pyrénées Orientales) et au complexe cristallophyllien de Champtoceaux (Massif Armoricaïn) Thèse 3e cycle, Rennes, 164 p.

LEAKE B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. *Min. Mag.*, 42, p. 533-563.

LE CORRE Cl. (1977) Le Briovérien de Bretagne centrale. Essai de synthèse lithologique et structurale. *Bull. B.R.G.M.*, I, 3, p. 219 - 254.

LEFORT J.P. (1973) La "Zonale" Biscaye-Labrador : mise en évidence de cisaillements dextres antérieurs à l'ouverture de l'Atlantique Nord. *Marine Geol.*, 14, p. 33 - 38.

LEFORT J.P. (1975) Le contrôle du socle dans l'évolution de la sédimentation en Manche occidentale après le Paléozoïque. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 279, p. 137 - 143.

LEFORT J.P. (1975) Etude géologique du socle anté-mésozoïque au Nord du Massif Armoricaïn : limites et structures de la Dommonée. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* A. 279, p. 123 - 135.

LEFORT J.P. (1975) Le socle péri-armoricaïn : étude géologique et géophysique du socle submergé à l'Ouest de la France. Thèse d'Etat, Rennes, 217 p.

LEFORT J.P. (1977) Possible "Caledonian" subduction under the Dommonian domain, North Armorican area. *Geology*, v. 5, p. 523 - 526.

LEFORT J.P. (1978) Les prolongements submergés du Massif Armoricaïn. Etude de géologie et de géophysique Marine. *Mém. Soc. Géol., France*, LVI, 130, 68p.

LEFORT J.P. (1988) L'organisation structurale du socle profond de la Manche Occidentale d'après l'interprétation des profils sismiques SWAT. Rapport ECORS (sous presse).

LEFORT J.P. et BARDY Ph. (1987) Mise en évidence de chevauchements cadomiens sur le profil sismique SWAT 10 Levé en Manche. Bull. Soc. Géol. France, 8, III, 6, p. 1189 - 1194.

LEFORT J.P., BARDY Ph. et de POULPIQUET J. (1988) Interprétation des anomalies magnétiques reconnues en Manche occidentale et en mer celtique le long des profils SWAT. Rapport ECORS (sous presse).

LEFORT J.P. et DEUNFF J. (1974) Etude du socle antémésozoïque de la partie septentrionale du Golfe normano-breton. Bull. B.R.G.M. (2), IV, p. 73-83.

LEFORT J.P. et DEUNFF J. (1971) Esquisse géologique de la partie méridionale du golfe normano-breton (Manche). C.R. Acad. Sci., Paris, 272, D, p. 16 - 19.

LEFORT J.P. et SEGOUFFIN J. (1978) Etude comparée des structures profondes et des anomalies magnétiques allongées reconnues en Manche occidentale et en baie d'Audierne : existence possible d'une suture cryptique au Nord-Ouest du Massif armoricain (France). Tectonophysics, 46, p. 65 - 76.

LE GALL B. (1987) Le segment varisque Nord-Ouest européen : domaine de chevauchements crustaux imbriqués en contexte de collision intra-continentale. Apports des profils de sismique réflexion profonde SWAT. Rapport ECORS (sous presse).

LE GALL J., DISSLER E. et DUPRET L. (1986) Signification géodynamique des volcanismes briovériens dans le Nord Est du Massif Armoricain. C.R. Acad. Sci., Paris, 303, II, 17, p. 1587 - 1592.

LE MOUEL J.L. (1969) Sur la distribution des éléments magnétiques en France. Thèse d'Etat, Paris, 154 p.

LE MOUEL J.L. (1970) Le levé aéromagnétique de la France. Ann. Géophys., 26, p. 229 - 258.

LEPETRE J.P. (1974) Traitement et utilisation des données magnétiques, application à la marge continentale nord espagnole située en 3° et 6° de longitude Ouest. Thèse 3e cycle, Rennes, 115 p.

LEUTWEIN F., POWER G., ROACH P. et SONET J. (1973) Quelques résultats géochronologiques obtenus sur des roches d'âges précambriens du Cotentin. C.R. Acad. Sci., Paris, 276, p. 2121 - 2124.

LYNN H.B. (1979) Migration and interpretation of deep crustal seismic reflection data. Ph.D., Thesis, Stanford University, 158 p.

Mac GRATH P.H. et HOOD P.J. (1970) The dipping dyke case : a computer matching method of magnetic interpretation. Geophysics, 35, 5, p. 831-841.

MALAVIEILLE J. (1984) Modélisation expérimentale des chevauchements imbriqués : applications aux chaînes de montagne. Bull. Soc. Géol., France, 7, XXVI, p. 129 - 138.

MAWER C.K. (1987) Shear criteria in the Grenville Province, Ontario, Canada. J. Struct. Geol., 9, 5-6, p. 531-539.

MEANS W.D. (1976) Stress and strain. Basic concepts of continuum mechanics for geologists. Springer Verlag, New York, 339 p.

MEISSNER R., MATTHEWS D. et WEVER Th. (1986) The "Moho" in and around Great Britain. Ann. Geophys., 4, B, p. 659 - 664.

MIYASHIRO A. (1975) Classification, caractéristiques and origin of ophiolites. J. Geol., 83, 2, p. 249-282.

NEFLY M. (1982) Déformation et mise en place de la diorite quartzique de Coutances (Massif Armoricaïn). D.E.A. Rennes, 32 p.

NEGY J.G., AGRAWAL P.K. et RAO K.N.N. (1983) Three dimensional model of the Koyna area of Maharashtra state (India). Geophysics, 48, 7, p. 964-974.

O'CONNORS J.T. (1965) A classification for quartz rich igneous based on feldspar ratio. U.S. Geol. Surv. Prof., Pap. 525B, p. 79-84.

OMALIUS D'HALLOY J.J. (1814) Note sur le gisement de quelques roches granitoïdes dans le Nord Ouest de la France. Jour. Mines, 35, 136-140.

PARIS F. et JEGOUZO P. (1976) La bordure Mancellia. Synclitorium median armoricain : une limite géotectonique majeure de l'édifice armoricain. RAST, p. 317.

PASSCHIER C.W. et SIMPSON C. (1986) Porphyroclast system as kinematic indicators. J. Struc. Geol., 8, p. 831-843.

PASTEELS P. et DORE F. (1982) Age of the Vire Carolles granite. In numerical dating in stratigraphy. G.S. Odin (Edit), II, NDS 121, p. 784 - 790.

PERROUD H., ROBARDET M., VAN DER VOO R., BONHOMET N. et PARIS F. (1984) Revision of the age of magnetization of Mont Martin red beds, Normandy, France. Geoph. J.R. Astr. Soc. London 80, p. 541 - 549.

PEUCAT J.J. (1973) Les schistes cristallins de la Baie d'Audierne Massif Armoricain. Etude Pétrographique et structurale. Thèse 3^e cycle, Rennes, 108 p.

PEUCAT J.J. et COGNE J. (1974) Les schistes cristallins de la Baie d'Audierne (Sud Finistère) : un jalon intermédiaire dans le socle antécambrien et les régions sud-armoricaines. C.R. Acad. Sci., Paris, 278, p. 1809-1812.

PEUCAT J.J., HIRBEC Y., AUVRAY B., COGNE J. et CORNICHE J. (1981) Late proterozoic zircon age from a basic ultrabasic complex. A possible cadomian orogenic complex in the hercynian belt of Western Europe. Geology, 9, p. 169-173.

PITON Ph. (1985) Etude géochimique et géochronologique de la croûte continentale proterozoïque (1.8 - 2.2) au Nord du Massif Armoricain. Rapport de D.E.A., Rennes, 51 p.

- POULPIQUET (de) J. (1986) Etude géophysique d'un marqueur magnétique situé sur la marge continentale sud-armoricaine. Argument en faveur d'un modèle de suture de plaque. Thèse Université, Mém. et Doc. C.A.E.S.S., 6, Rennes, 158 p.
- POWER G.M. (1974) The geology of the precambrien rocks of La Hague, Manche, France. Ph D., Keele, 212 p.
- POWER G., ROACH R. (1974) Some aspects of the early precambrian geology of the pentevrian basement of the Channel Isles and the Cotentin, Armorican Massif. In : J. Bellière Ed., "Géologie des domaines cristallins". Centenaire vol. Soc. géol. Belge, p. 363-364.
- RAASE P. (1974) Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. Contrib. Minéral. Petrol., 45, p. 231-236.
- RABU D., CHAUVEL J.J., CHANTRAINE J. (1983) Nouvelles propositions pour la lithostratigraphie du Briovérien (Protérozoïque supérieur) et pour l'évolution géodynamique cadomienne en Baie de St Briec (Massif Armoricain). Bull. Soc. géol. France, (7), XXV, 4, p. 615-621.
- RABU D., CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., DENIS E., BALE P. et BARDY Ph. (1988) The Brioverian (Late Proterozoic) and the Cadomian Orogeny in the Armorican massif. In the Cadomian Orogeny Special Publication (sous presse).
- RAMSAY J.G. et GRAHAM R.H. (1970) Strain variation in shear belts. Can. J. Earth Sci., 7, p. 786 - 813.
- ROACH R. (1957) The geology of metamorphic complex of south and central Guernsey. Ph. D, Thesis, Nottingham.
- ROBLLOT M.M. (1968) Les roches silico-carbonées du Précambrien armoricain. Thèse, Paris, 609 p.
- ROSENFELD J.L. (1970) Rotated garnets in metamorphic rocks. Spec. Pap. Geol. Soc. Am., p. 129.

SAUNIER J.F. (1982) Etude du Briovérien inférieur au Nord de Coutances (pétrographie - cartographie). D.E.A., Rennes, 26 p.

SIMPSON C. (1986) Determination of movement sense in mylonites. *Jl. Geol. Educ.*, 34, p. 246 - 261.

SIMPSON C. et SCHMID S.M. (1983) An evaluation of criteria to deduce the sense of movement in sheared rocks. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 94, p. 1281-1288.

SPEAR F.S. et RUMBLE D. (1986) Pressure temperature and structural evolution of the Oxfordville Belt, West-central New Hampshire. *J. Petrology*, 27, p. 1071-1093.

SPEAR F.S., SELVERSTONE J., HICKMOTT D., CROWLEY P. et HODGES K.V. (1984) P.T. paths from garnet zoning : A new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terranes. *Geology*, 12, p. 87-90.

SPECTOR A. et GRANT F.S. (1970) Statistical models for interpreting aeromagnetic data. *Geophysics*, 35, 2, p. 293 - 302.

STRECKEISEN A. (1976) Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition. A provisional attempt. *Neues Jb. Miner. Mh.*, 1, p. 1-15.

TAKAGI H. et ITO M. (1988) The use of asymmetric pressure shadows in mylonites to determine the sense of shear. *J. Struct. Geol.*, 10, n° 4, p. 347-360.

TALWANI M. et HEIRTZLER J.R. (1964). Computation of magnetic anomalies caused by two-dimensional structure of arbitrary shape. In : computers in the mineral industry. G.A. Parks edit. Stanford University, Contribution n° 621.

TRIBOULET Cl. et AUDREN C. (1985) Les metabasites de l'estuaire de la Vilaine (Bretagne méridionale, France) : une série volcano-détritique issue d'une marge continentale active au Paléozoïque inférieur. *Hercynien*, 1, p. 55-63.

TRIBOULET Cl. et AUDREN C. (1985) Evolution des amphiboles et de leurs associations au cours d'un métamorphisme progressif polyphasé dans les métabasites de la Vilaine (Bretagne Méridionale). Schweiz. Mineral. Pétrogr., Mitt., 65, p. 279 - 298.

TRIBOULET Cl. et AUDREN C. (1985) Continuous reactions between biotite, garnet, staurolite, kyanite-sillimanite-andalousite and P-T-time-deformation path in micaschists from the estuary of the river Vilaine, South Brittany, France. Jl. Metamorphic. Geol., 3, p. 91 - 105.

TRIBOULET Cl. et AUDREN C. (1988) Controls on P-T-t deformation path from amphibole zonation during progressive metamorphism of basic rocks (estuary of the River Vilaine, South Brittany, France). Jl. Metamorphic. Géol., 6, p. 117 - 133.

TURNER F.J. et WEISS L.E. (1963) Structural analysis of metamorphic tectonites. Mac Graw Hill., New York, 545 p.

VACQUIER V. (1972) Geomagnetism in marine geology. Ed. Elsevier, New York, p. 163-168.

VACQUIER V., STEENLAND N.C., HENDERSON R.G. et ZIETZ I. (1951) Interpretation of aéromagnetic maps. Geological Society of America, Mémoire 47, p. 1-151.

VAN DEN DRIESSCHE J. (1986) Structure d'enroulement et sens de cisaillement. Exemples et modèles. C.R. Acad. Sci. Paris, 303, II, n°5, p. 413-418.

VAN DEN DRIESSCHE J. et BRUN J.P. (1987) Rolling structures at large shear strain. J. Struct. Geol., 9, p. 691-704.

VERNON R.H., WILLIAMS V.A. et d'ARCY W.F. (1983) Grain size reduction and foliation development in a deformed granite batholith. Tectonophysics, 92, p. 123-146.

VIDAL Ph. (1976) L'évolution polyorogénique du Massif Armoricaïn. Apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique du strontium. Mém. Soc. Géol. Min., Bretagne, 21, Rennes 1980, 162 p.

VIDAL Ph., AUVRAY B., CHAUVET J.F. et COGNE J. (1972) L'âge radiométrique de la diorite de St Quay-Portrieux (Côtes du Nord). Ses conséquences sur le Briovérien de la Baie de St Briec. C.R. Acad. Sci. Paris, 275, D, p. 1323-1326.

VIDAL P., DEUTSCH S., MARTINEAU F. et COGNE J. (1974) Nouvelles données radiométriques en Baie de Saint Briec - le problème d'un socle anté-cadomien nord-armoricain. C.R. Acad. Scio. paris, 279, p. 631-634.

VIGNERESSE J.L. (1978) Gravimétrie et granites armoricains, structure et mise en place des granites hercyniens. Thèse doct. Ing., Rennes, 91 p.

WATTERSON J. (1968) Homogeneous deformations of the gneisses of vesterland south West Greenland. Grønlands Géol. Unders. Bull. 78p.

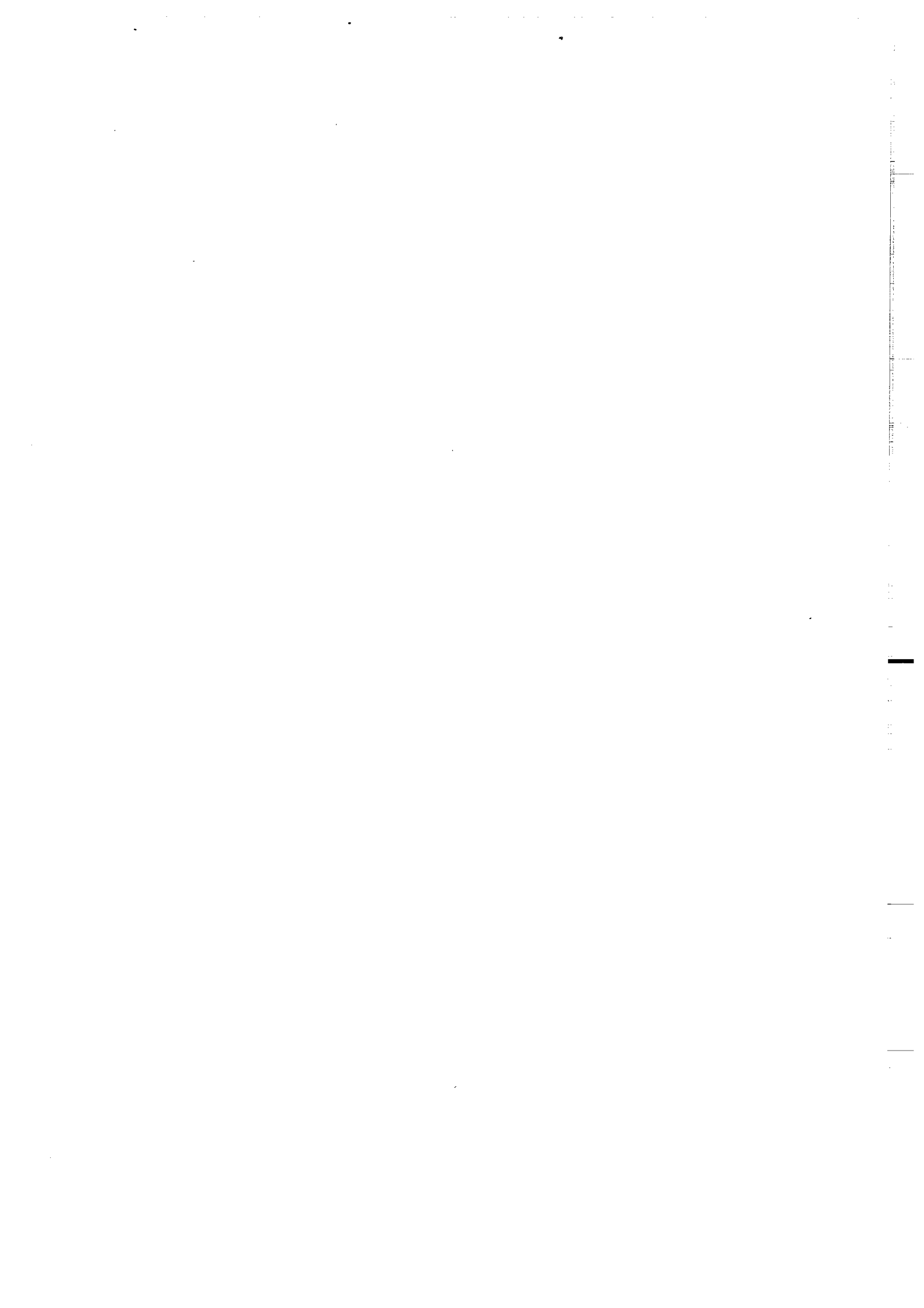
WEBER C. (1973) Le socle antétriasique sous la partie sud du bassin de Paris d'après les données géophysiques. Bull. B.R.G.M., II, n° 3 et 4, p. 219-343.

WEIGMANN E., DANGEARD L. et GRAINDOR M.J. (1950) Sur quelques caractères remarquables de la formation précambrienne connue sous le nom de poudingue de Granville. C.R Acad. Sci., Paris, 230, p. 979-980.

WINTERER E.L. (1963) Late Precambrian Pebbly Mudstone in Normandy. France : Tillite ou Tilloid ? In Problems in Paleoclimatology. Ed. A.E.M., Nacrim, p. 159-178.

ZAKRUTKIN V.V. (1968) Evolution des amphiboles pendant le métamorphisme. Zap. Vses. Mineral. obsch., 96, 1, p. 13-23.

ANNEXES



THE BRIOVERIAN (LATE PROTEROZOIC) AND THE CADOMIAN OROGENY
IN THE ARMORICAN MASSIF

D. RABU*, J. CHANTRAINE*, J.J. CHAUVEL**, E. DENIS**, P. BALE**, Ph. BARDY**.

* Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Service Géologique National,
10, rue Henri Picherit, 44300 Nantes, France)

** Centre Armoricaïn d'Etudes Structurales des Socles, Institut de Géologie,
Université de Rennes, 35044 RENNES cedex, France)

Abstract

The Brioverian in Brittany has generally been divided into the volcanogenic Lower Brioverian and the detrital Upper Brioverian, representing respectively the first and second episodes of the Cadomian orogeny, Cadomian I and Cadomian II. This scheme was subsequently incorporated into an active margin model of evolution and related to subduction during closure of the Celtic Ocean, in a geochronological framework defined by ages of 2000 Ma for the basement, 670 Ma for magmatic rocks of the first episode (Cadomian I) and 600 Ma for those of the second (Cadomian II).

Recent work has led to substantial modification of this model. The two parts of the Brioverian are now considered not to have been superposed one upon the other but to be juxtaposed along a suture, and the superimposition of Cadomian structures not to have been due to successive events but to southward migration of deformation from the ocean towards the continent.

In the northern, orogenic domain the volcanogenic Brioverian represents a volcanic arc-back-arc basin system located on a fractured continental margin. At about 600 Ma the closure of this system resulted in the overthrusting of the orogenic belt onto the continental margin, with the development of anatectic magmatism up to 540 Ma.

In the southern, continental domain the detrital Brioverian includes black chert in the lower part (probably contemporaneous with the volcanogenic deposits of the orogenic zone) and reworked black chert in the upper part. In Normandy, the deformation of these rocks was related to the RABU et al.

rise of the Mancellian granites about 540 Ma into the Cambrian cover. In central Brittany, the main deformation is hercynian in age, and the age of the Brioverian there is questionable as the lower part of the Palaeozoic cover is of Ordovician age.

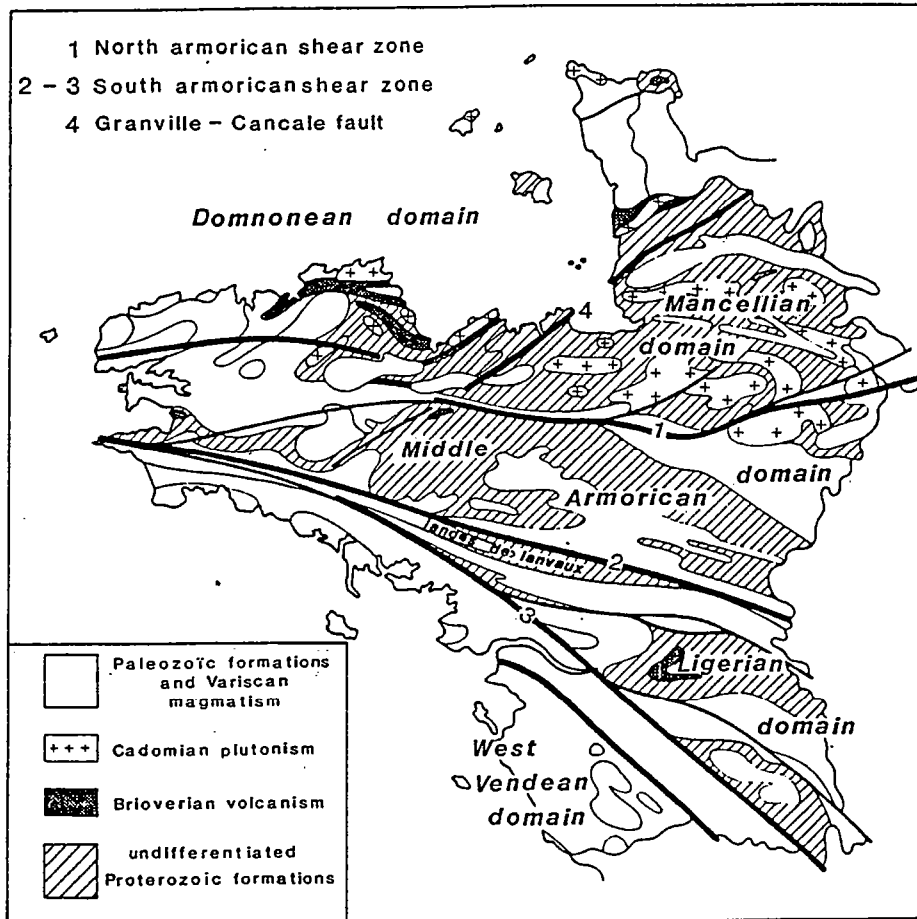


FIGURE 1

MAIN POST-VARISCAN STRUCTURAL DOMAINS IN THE ARMORICAN MASSIF (after Cogné, 1972 - modified)

1. BRIOVERIAN SYSTEM, CADOMIAN OROGENY

The Armorican Massif is divided into five principal domains (Domnonia, Mancellia, central Brittany, Ligeria and Vendée, fig. 1), bounded by major crustal dislocations, most of which date from the Variscan (Cogné, 1972). Nevertheless, since the time of Barrois (1899), Brioverian series have been described in each of these domains, and, after numerous controversies, the notions of a Brioverian System and a Cadomian orogeny were developed by Graindor (1957) in Normandy and Cogné (1959) in Brittany.

For long included within a single lithostratigraphic system common to the entire Armorican Massif, the Brioverian was divided into Lower, Middle and Upper units, all in the Late Proterozoic. The Lower and Middle Brioverian were recognised essentially in north Brittany, where they comprised the Locquirec, Armorica, Cesson, Lanvollon, Port Martin and Trédrez formations (Verdier, 1968; Cogné, 1972; Jeanette, 1972), and in Normandy, where they comprised the Lande des Vardes and the Villiers Fossard groups (Graindor, 1957). In central Brittany, only the Plougenast dome was attributed to this assemblage (Cogné, 1972). The Upper Brioverian was identified both in north Brittany (Binic and St Michel en Grève formations) and in Normandy (Granville and La Laize formations), but was particularly developed in central Brittany (Le Corre, 1977). The division of the Brioverian System into two tectonically superposed units was supported by the existence, in St Brieuc Bay, of a major structural break separating the lower unit, or lower Brioverian s.l., including the lower and middle lithostratigraphic units, from the Upper Brioverian. The former was affected by polyphase deformation (Cadomian I and II) at medium metamorphic

RABU et al.

grade, with isoclinal, syn-schistosity folding (Cadomian I), whereas the latter was affected by only weakly penetrative plastic deformation under greenschist facies conditions (Cadomian II). The Cadomian tectogene was covered by Palaeozoic deposits resting unconformably on the Upper Brioverian both in central Brittany and in Normandy.

These basic data on the geology of the Armorican Brioverian were completed by the geochemical characterisation of the Cadomian magmatism (Auvray and Maillet, 1977; Autran et al., 1979; Rabu et al., 1982, 1983; Dupret et al., 1985a, b; Graviou and Auvray, 1985; Le Gall et al., 1985; Cabanis et al., 1986), new lithostratigraphic correlations (Rabu et al., 1982) and by the identification of the mechanisms of deformation (Bale and Brun, 1983; Bale, 1986). Compilation of these data makes it possible to propose a new global approach to the Cadomian chain in the Armorican Massif, integrating lithostratigraphic, geochemical and structural data into a coherent orogenic scheme.

Within this scheme two principal domains are distinguished in the Cadomian chain, an orogenic and a within-plate domain:

1. The *orogenic domain* falls in north Brittany and the Cotentin peninsula and constitutes the Cadomian cordilleran terrain, essentially volcano-plutonic in nature. This domain was established on the margin of the former Icartian continent, relics of which can be recognised from place to place, and represents the active margin of the Celtic ocean, which was to close at the end of the Cadomian cycle.

2. The essentially terrigenous *within-plate continental domain*

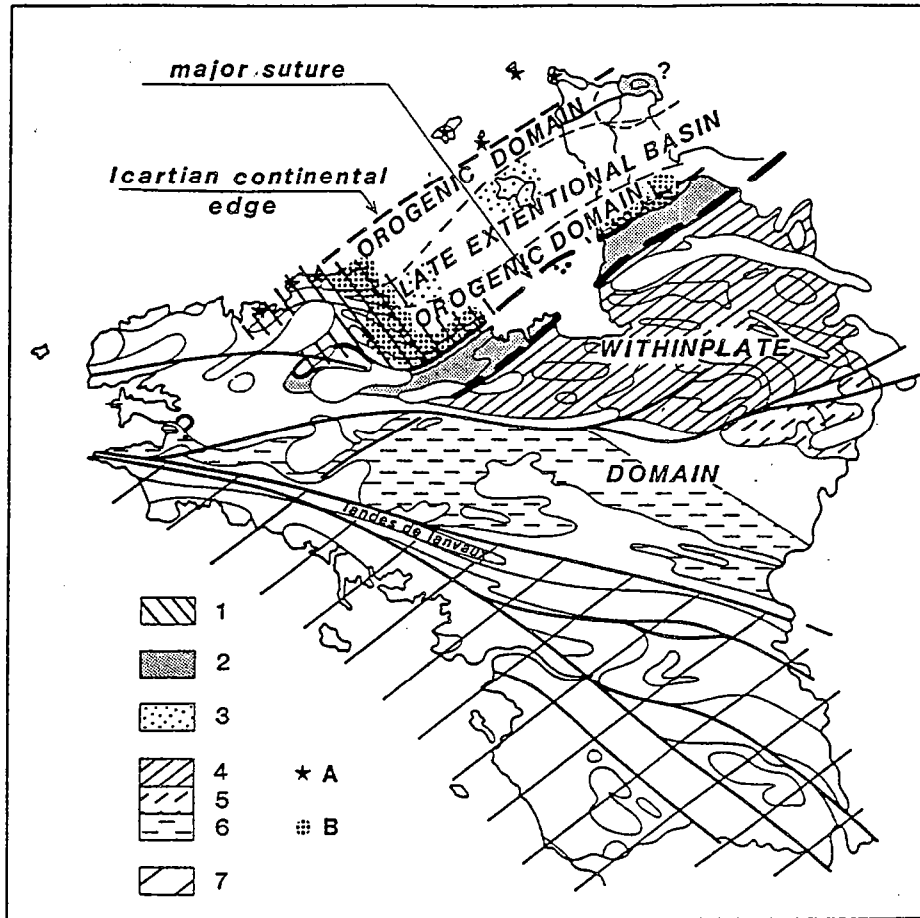


FIGURE 2

MAIN TECTONIC FEATURES OF THE CADOMIAN OROGENY

- 1- Volcanic Brioverian of Brittany and Cotentin
- 2- Brioverian with black chert layers (phtanite)
- 3,4,5,6- Detrital Brioverian of Jersey - Le Minard (3), Bocage Normand (4),
Maine (5), and central Brittany (6)
- 7- Sud-armoric domain

A: Lower Proterozoic basement (2.000 Ma)

B: Positive gravity anomaly ($\Delta G > 20$ mgal)

comprises a stable continental margin zone in the Lamballe - St Cast - St Malo - Mont St Michel - St Lô region and a continental shelf zone that is continuous with the external zones of the orogen, in Brittany and the Bocage Normand.

2. THE CADOMIAN IN BRITTANY

2.1. The Icartian continental margin.

In the Armorican Massif, a "basement" to the Brioverian was described by Cogné (1962, 1972) in St Brieuc Bay under the name Pentevrian. However, there now appears to be no support for the existence of a true basement in this area, and the orthogneissic Yffiniac Complex there is interpreted as a crustal slice that includes elements of oceanic origin (Balé and Brun, 1983). The Cesson conglomerates in St Brieuc Bay that represent the regional base of the Brioverian, contain large boulders of orthogneiss that might, as in Lannion Bay, have indicated the proximity of an old basement, but have in fact yielded an age of 655 Ma (Guerrot et al., 1986), invalidating this hypothesis.

In Lannion Bay the basement to the Brioverian is unmistakably identified in the Moulin de la Rive gneiss (Autran et al., 1979; Chantraine et al., 1986) thanks to the well-preserved sedimentary contacts between the basement and its cover (Locquirec formation; Verdier, 1968). Similar ages have been obtained in Lannion Bay and Trégor Bay, where the Trebeurden gneiss (Auvray, 1977) have given an age of 2000 Ma (Vidal et al., 1981). The basement bears marked similarities to that found in the Channel Islands (Icart Point gneiss; Calvez and Vidal, 1978) and in Cotentin (La Hague RABU et al.

gneiss; Powers and Roach, 1974). These gneisses indicate the existence of old continental crust, strips of which survive in the Cadomian chain north of a line trending N30° between Lannion Bay and the tip of the Cotentin peninsula (fig. 2). The zone in which this continental crust occurs is bounded (fig. 5) to the NNW by the Channel geophysical anomaly (Lefort, 1975), which is interpreted as the ophiolitic suture of the Celtic ocean (Auvray, 1979), and to the SSE by the Cadomian orogenic domain, or more precisely the internal volcanic arc that was contemporaneous with the subduction that led to the closure of the Celtic ocean.

2.2. The orogenic cordillera

a) An arc-back-arc system.

This domain is characterised by two volcanic belts, each with its own distinctive features, that were tectonically juxtaposed during the Cadomian tectogenesis (Balé, 1986, 1987), interpreted in terms of an arc and a back-arc basin (Rabu et al., 1982).

The *internal arc* occupies the zone that extends from Trégor to Lannion Bay. In Lannion Bay, above the Icartian basement, the Brioverian commences with the quartz-keratophytic tuffs of the Locquirec formation, which is followed by a volcano-sedimentary sequence that includes basaltic units (Armorica and Trédrez formations - Verdier, 1968; Autran et al., 1979; Chantraine et al., 1986). The terrigenous deposits of the Plestin and St Michel en Grèves formations, containing a high proportion of volcanic material, are at the top of the succession.

In the Trégor area, similar series have been identified in the acid Tréguier and Locquémau formations and the basic rocks of the Bonaparte Beach formation (Auvray, 1979; Chantraine, work in progress) associated with important orogenic plutonism (Graviou, 1984). Whereas in Lannion Bay there is only a single volcanic belt, it here forms (fig. 3) two branches separated by a later-formed and more weakly deformed basin. It has calc-alkaline geochemical characteristics comparable with those of modern island arcs (Auvray, 1979; Cabanis *et al.*, 1986, 1987). The age of this magmatic activity is fairly well established both in Lannion Bay and in the Trégor area. The acid tuffs at Tréguier have been dated at 642 ± 46 Ma (Rb-Sr, Vidal, 1976), keratophyric dykes that cut the Locquirec tuffs in Lannion Bay have yielded an age of 586 ± 18 Ma (Rb-Sr, Charlot, *in* Autran *et al.*, 1979) and the Trégor plutonism has been dated at 614 ± 17 Ma (Graviou, 1984).

In the Cotentin peninsula the internal arc is less obvious, and the geodynamic organisation of the orogen appears to have been more affected than in north Brittany by late to post-orogenic events. Nevertheless, volcanic rocks of island-arc type have been identified in at least two localities. In the Val de Saire, the basic volcanics of the Vast formation (Le Gall *et al.*, 1986) have island-arc tholeiite character and bear the same relation to the Icartian basement as does the Brioverian in Lannion Bay and the Trégor area. In the Coutances area, the Montsurvent formation comprises basic, intermediate and acid lavas of spilitic to quartz keratophyric composition with a considerable volcanoclastic contribution. Major and trace element geochemistry of the lavas shows a strong affinity with island arc tholeiites (Dupret *et al.*, 1985). These two occurrences of island arc type rocks are now widely separated by a zone, thickly covered by Palaeozoic rocks whose deposition began very early, in the Tommotian (Doré, 1984),
RABU *et al.*

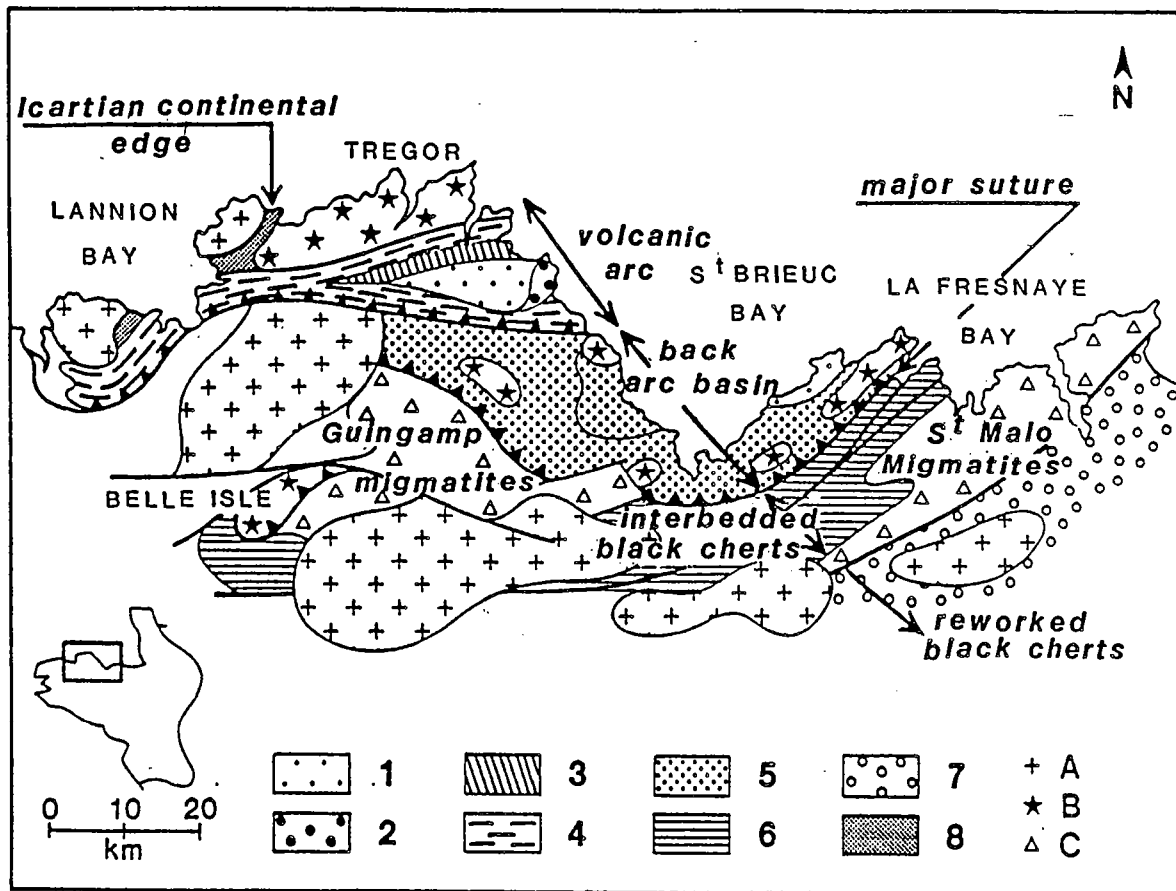


FIGURE 3

STRUCTURAL SKETCH OF THE CADOMIAN OROGENIC AREA IN NORTH BRITTANY

- 1- Plourivo, 2- Le Minard, 3- Paimpol and la Roche-Derrien,
 4- Locquirec, Armorica, Trédrez, Tréguier and Bonaparte
 5- Lanvollon, Binic and Yffiniac 6- Lamballe 7- Château-Richeux
 8- Moulin de la Rive and Port-Béni formations
 A: Variscan granites, B: Cadomian granites, C: Cadomian migmatites

where no Brioverian rocks outcrop. This disposition can be explained by two possible hypotheses; either the Vast and Montsurvent formations represent two sites of magmatic activity in compressive régime during the Cadomian, or both occurrences belong to the same island arc whose separation into two branches, already discernible in the Trégor area, is part of the late orogenic history of the area (see below).

The *back-arc basin* is represented by the tectonically sliced unit in St Briec Bay. Here, a basal detrital sequence with interstratified conglomerates, the Cesson formation, is overlain by the basic-intermediate Lanvollon formation, dominated by andesites, itself succeeded by a terrigenous unit with an important volcanogenic component, the Binic formation. Until recently, the Binic formation was described as a weakly deformed Upper Brioverian terrigenous unit resting upon a Lower and Middle Brioverian assemblage of medium metamorphic grade. Investigations carried out more recently in this region (Rabu et al., 1983; Balé, 1986) have shown that there is only a single Brioverian assemblage here, and that the differences between the two zones are the result essentially of a tectonometamorphic gradient that developed during a major phase of deformation affecting a very varied lithologic succession. Major and trace element geochemistry of the volcanic rocks (Rabu et al., 1982, 1983; Cabanis et al., 1986, 1987) shows that they are intermediate in type between continental and island arc tholeiites, and are interpreted as representing a marginal basin opened on thick continental crust. In Normandy, this back-arc basin, characterised by the association of intermediate volcanism with volcanoclastic sedimentation, has not been recognised. The disappearance of this basin towards the NNE may be a result either of an original very local character or of tectonic concealment (see below).

Radiometric dating of the sediments and igneous rocks of the back arc system bracket it between 656 ± 5 Ma, the age of clasts in the Cesson conglomerate (U-Pb; Guerrot et al., 1986) and 584 ± 42 Ma, the age of the St Quay-Portrieux granodiorite that intrudes the Binic formation (Rb-Sr; Vidal et al., 1972).

Several features are noteworthy in the sedimentary environment of the back-arc basin. No black chert deposits occur in this domain. The Port Martin formation, formerly cited as a marker in the black-chert-type (Middle) Brioverian in St Brieuc Bay in fact consists of immature sandstone and thin-bedded siltstone of dominantly volcanic origin with intercalated silicified black pyritic and carbonaceous shales. In the Binic formation, none of the immature sandstones of volcanic derivation and with tuffaceous intercalations contain clasts of reworked black chert, distinguishing them from the Brioverian of central Brittany and Normandy. These deposits were emplaced by gravity-flow and their geochemical characteristics (mainly rare earths) are intermediate between those of continental arcs and active continental margins (Denis, 1987; Denis and Dabard, 1988).

b) Regional deformation.

The island arc and back-arc domains were deformed during a single cycle of the Cadomian orogeny. The intensity of deformation was controlled by steep gradients associated with continentward (SSW) overthrusting and sinistral NE-SW strike-slip faulting (Balé, 1986). These structures are well-exposed in the Trégor area and in St Brieuc Bay, where they have been bracketed between 600 and 580 Ma by age determinations on syntectonic

RABU et al.

intrusions such as the granodiorites of St Quay-Portrieux, Coëtmieux-Fort la Latte and St Briec. In Lannion Bay the main deformation also took place during the Cadomian cycle and possesses its main characteristics, although the tangential component clearly identified at St Briec Bay has not been recognised there (Autran *et al.*, 1979; Balé, 1986).

On the regional scale, two zones of more intense deformation are recognised beneath major thrusts sited on major palaeogeographic boundaries (fig. 3). In one of these zones the island arc was thrust over the back-arc basin, and in the other the back-arc basin was thrust onto the stable continental margin, bringing to the surface probable slivers of oceanic crust such as the serpentinite in the Penthievre area (Barrois, 1896) and the ultrabasic rocks of Cotentin (Saunier, 1982). Although the latter has not yet been described, work in progress (Bardy, *in prep.*) shows that the tectonic organisation is compatible with major thrusting of the Montsurvent volcanics and Coutances diorite onto the hinterland constituted by the Lamballe shales and black cherts.

The back-arc basin, obducted onto the stable continental margin, is itself tectonically overlain by the island arc, overthrust towards the south. The back-arc basin may or may not be concealed, according to the amount of displacement on the thrust. In north Brittany, part of the basin is preserved and can be recognised in outcrop, whereas in Cotentin the island arc deposits come to rest directly on the stable margin.

c) Late orogenic basins.

The internal volcanic arc that forms a single belt in Lannion Bay divides at the west end of the Trégor area and the two belts become separated by the Plourivo basin, filled essentially with volcanosedimentary deposits of Ordovician age (472±5 Ma, Rb-Sr; Auvray, et al., 1980). Late Proterozoic rocks have been recognised around the borders of the basin, in the spilites of the Paimpol formation, and the La Roche-Derrien and Minard formations. Although they are part of the Brioverian, they have not been affected by the major tectonics recognised from one side to the other of the orogenic belt, but have been only moderately to weakly deformed, and are therefore assigned a late-tectonic place in the orogen. The calc-alkaline geochemical characteristics of the Paimpol formation nevertheless indicate that it belongs to a domain of plate convergence, which suggests that subduction continued into the late orogenic stage. The detrital La Roche-Derrien formation is associated with the Paimpol formation.

The Minard formation is very weakly deformed and contains an appreciable proportion of grains of black chert (Denis, 1987), a feature that distinguishes it from the Binic formation. The Brioverian of Jersey (Squire, 1974) is characterised by containing clasts of black chert, a significant proportion of basic, intermediate and acid volcanic rocks, very weak deformation, a very late Proterozoic (Vendian) age, probably at the Precambrian-Cambrian boundary and by deposition from gravity flows fed from submarine canyons. Except for the volcanic rocks, the Minard formation is characterised by the same features. The lack of penetrative deformation suggests the formation was emplaced in a late-orogenic basin opened on the site of the old orogenic belt. The thick andesites and rhyolites of Jersey (St Saviour's Andesite Formation, St John's Rhyolite Formation, Bouley rhyolite; Brown, 1982) in this hypothesis would represent volcanism associated to the extension. The late-orogenic alkaline Porz-Scarff and RABU et al.

Paon granites and Loquivy microgranite (Auvray, 1979) and the associated cogenetic Lézardrieux ignimbrites, dated respectively at 552±8 and 547±57 Ma (Vidal, 1976), would represent the same extension in north Brittany, and it is possible that this extension continued some distance farther east, in particular across Cotentin.

It has been mentioned above that the two occurrences of island-arc type rocks in Cotentin are separated by a broad zone (about 40 km) occupied by a thick sedimentary succession dating from probably the Vendian to the Early Cambrian, with a Tommotian fauna (Carteret and Rozel formations (Doré, 1981, 1984). The thickness of these deposits can only be interpreted as due to very active subsidence in this area from the late Vendian to the Atdabanian. This could be explained by the hypothesis we propose here. The two arc sequences would in fact represent a single initial site, disrupted during late orogenic extension. Certain questions remain to be answered, however, of which the geochemistry of the Jersey rocks is one, and the possibility of the existence of listric faults during sedimentation in the basin is another.

2.3. The stable continental margin.

Southeast of the internal orogenic zone (fig. 3,4) and separated from it by a major thrust is an essentially terrigenous Brioverian succession characterised everywhere by the occurrence of interbedded black chert (as distinct from the reworked black chert mentioned above).

In the Lamballe - St Malo - St Cast area, the Brioverian surrounds the St Malo migmatite massif, where detrital deposits that form the lower part

RABU et al.

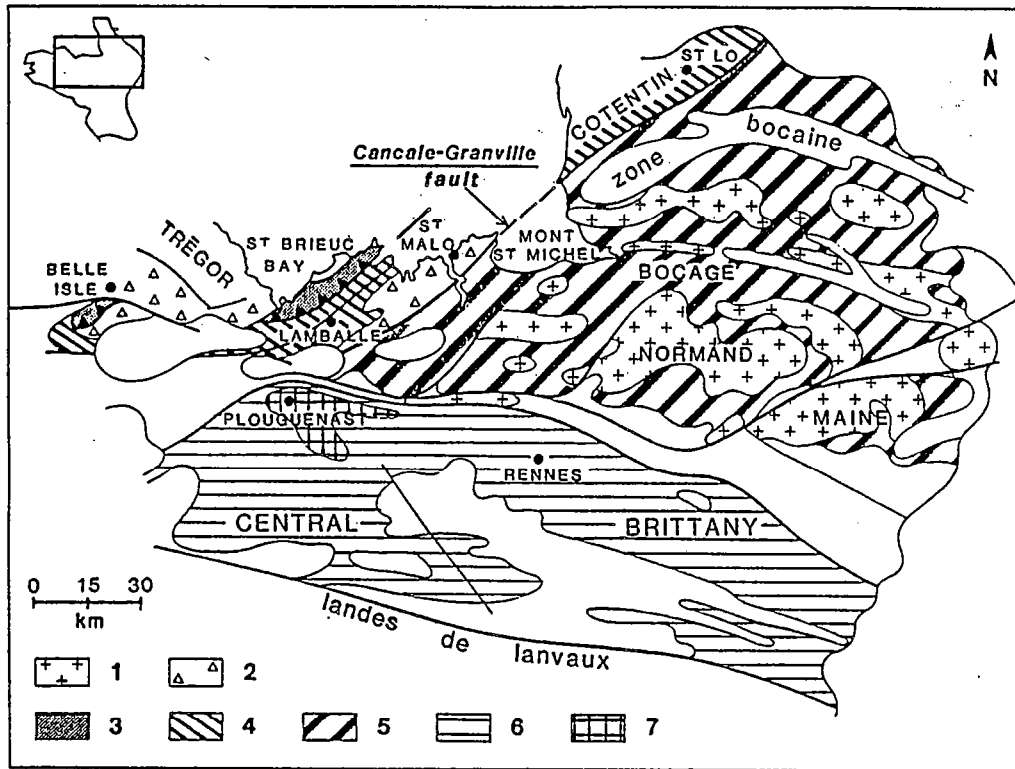


FIGURE 4

STRUCTURAL SKETCH OF THE BRIOVERIAN INTRAPLATE DOMAIN IN THE BOCAGE NORMAND AND CENTRAL BRITTANY

- 1- Mancellian granites
- 2- Migmatites of St Malo & Guingamp
- 3- orogenic volcano-plutonic belt
- 4- Brioverian with interlayered black cherts (Lamballe & St Lô)
- 5,6- Brioverian with reworked black chert (Bocage normand & central Brittany)
- 7- tectono-metamorphic area of Plouguenast

of the local Brioverian have been affected by anatexis (Jeannette, 1972; Brun, 1977). The migmatites are surrounded by an aureole of metamorphosed clastic (sandstone-mudstone) sedimentary rocks, the Rance micaschists, passing outwards to the siltstone-mudstone Lamballe formation characterised by the presence of interbedded black chert. Locally, in Fresnaye Bay, effusive volcanic rocks occur (the Chateau Serein formation) that are geochemically quite distinct from the orogenic volcanic rocks in having tholeiitic composition with alkaline affinities, of within-plate extensional type (Cabanis et al., 1987), which suggests a stable margin setting during the deposition of the black chert-bearing succession.

In the Coutances - St Lô area of Cotentin, the Brioverian has a similar organisation, except for the axial gneissic dome. The black chert-bearing St Lô formation corresponds to the Lamballe formation, and constitutes its NNE-ward prolongation. Volcanic units also occur here, the La Terrette formation consisting of tholeiitic volcanic rocks characteristic of an extensional margin tectonic setting (Le Gall et al., 1986). Thus, as in north Brittany, the stable marginal zone bounds the orogenic zone, and is separated from it by a major fault, marked by the Coutances quartz diorite, that is the strike-slip type extension of the shearing deformation seen in the St Malo-St Cast area.

In the Belle Isle en Terre area an identical arrangement is seen with a highly deformed, Cadomian gabbroic complex of orogenic character, dated at 602 ± 4 Ma, which is thrust over a very little deformed black chert-bearing formation (Hirbec, 1979). This complex is interpreted as the western extension of the volcanic-sedimentary belt along the major Cadomian suture, in a "klippe" situation above the Guingamp migmatites comparable with those of St Malo (Balé, 1986).

The age of the Lamballe formation has not been accurately determined. However, in north Brittany it lies beneath the overthrust orogenic belt and has been affected by the anatexis in the St Malo gneiss dome caused by the overthrusting (Balé and Brun, 1983), which is dated at around 590 Ma by the associated Coëtmieux-Fort la Latte and Coutances intrusions (respectively 593±15 Ma - Vidal et al., 1974 - and 584±15 Ma - Guerrot et al., 1986). This age fixes an upper age limit for the black chert-bearing units of the stable continental margin and the volcanic rocks of the orogenic cordillera.

2.4. The stable continental domain.

a) An external molasse basin.

Behind the stable continental margin is an extensive stable continental domain consisting of the Bocage Normand, the Maine, Mont St Michel Bay and central and western Brittany.

The sediments deposited in this domain were eroded from the internal orogenic zone, their post-black chert age being clear in both the central Armorican and Mancellian domains (Le Corre, 1977; Chantraine et al., 1980, 1983). They are everywhere immature terrigenous deposits that evolve along maturity gradients increasing towards the south, and a vector of volcanic influence decreasing towards the SSW. Basement debris is concentrated near the Granville Fault and in Maine.

Analysis of the conditions of deposition of these sediments in the Bocage Normand shows that they were emplaced by gravitational mechanisms in the north, in Cotentin, in a setting of steep slopes, submarine fans and a RABU et al.

variety of sediments, including conglomerates and turbidites (Garlan, 1985), whereas in the south the setting was one of gentler slopes, more uniform deposits and lower energy. This disposition leads to the interpretation of a rising zone of sediment supply, which coincides with the orogenic belt, in particular the Coutances granodiorite.

The central Armorican domain is bounded to the north and south by two major Hercynian faults (fig. 4), and the rocks outcropping there are classically attributed to the post-black chert Brioverian, very lightly affected by the Cadomian tectogenesis (Le Corre, 1977). The Plouguenast dome, compared on account of its tectonometamorphic features with the "Lower Brioverian" (Cogné, 1972) is in fact a gneiss dome that developed during the diapiric emplacement of a granite of crustal origin in the post-black chert Brioverian of central Brittany (Saunier, 1985). The Brioverian of central and northern Brittany is monotonous and essentially terrigenous, with rare volcanic intervals (Chantraine et al., 1980, 1983). The north-south maturity gradient detected across Mancellia and central Brittany is here joined by a vertical gradient (Rabu, 1982). The lowest part of the succession is characterised by very immature texture and composition with a marked lithic component, including black chert, quartzofeldspathic and lava fragments, and by the appearance in central Brittany of polygenic conglomerate with abundant matrix. Above this is a sequence of rhythmically deposited sandstone-siltstone-mudstone, locally calcareous. The upper part of the succession is much more evolved and lithic debris, represented only by black chert, only appears in lenses of conglomerate with well-worn quartz pebbles in a siliceous cement (the Gourin puddingstone). The uppermost beds of the terrigenous Brioverian are very mature, with quartzites very similar to those of the Armorican sandstone formation (Rabu, 1982 and work in progress; Janjou, work in progress). The

RABU et al.

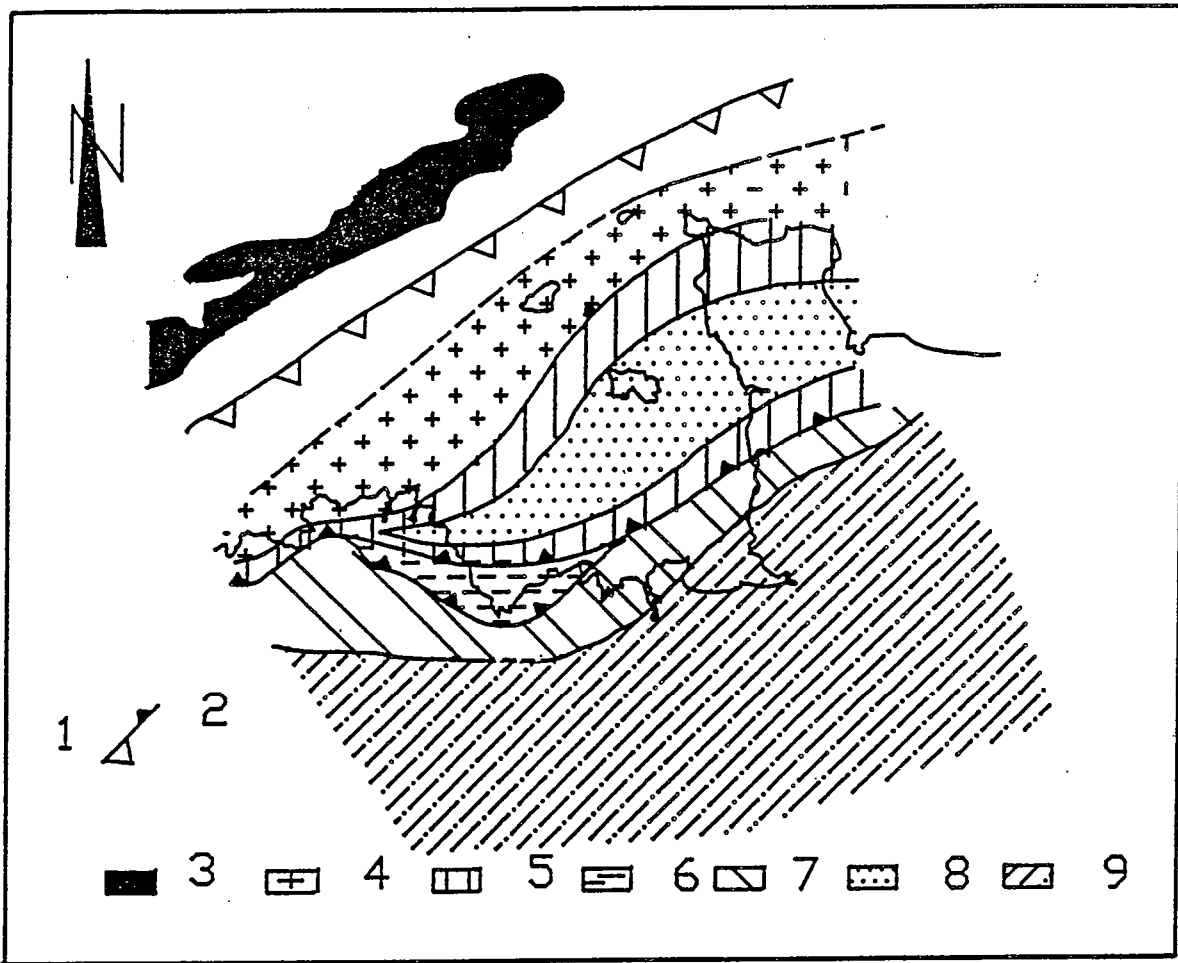


FIGURE 5

PRESENT CONFIGURATION OF THE CADOMIAN GEOTECTONIC ELEMENTS IN THE ARMORICAN DOMAIN

- 1- subduction plane
- 2- major overthrust
- 3- Channel magnetic anomaly (after Lefort, 1975)
- 4- Icartian continent
- 5- island arc
- 6- back-arc basin
- 7- passive continental margin
- 8- late orogenic basin
- 9- molassic basin

vertical variation in the sediments is thus marked by a well-defined increase in maturity, emphasised by a progressive diminution in black chert content and the disappearance of grains of lava. The lateral gradients show that the quartzofeldspathic and volcanic debris common at the base of the succession was derived from the northeast.

In addition to the calcareous intervals known in the rhythmic sediments of central Brittany, the post-black chert Brioverian includes two carbonate lenses in central Brittany, at St Thuriau and at Les Rochelles, and one in the St Lô area (the Meauffe limestone). The lenses are lithologically identical, comprising oolitic limestone, conglomerate and breccia with limestone clasts and an oolitic matrix or not, and carbonate sandstone. The terrigenous component is characterised by abundant grains of black chert. The exact stratigraphic position of the lenses is not known; they are considered as interstratified in the Brioverian, and the lens at Les Rochelles is clearly unconformably overlain by the transgressive lower Palaeozoic red beds of Pont Réan. In the context of our geodynamic approach to the Cadomian chain, these calcareous lenses could represent relics of an early carbonate shelf developed at the Vendian-Cambrian boundary or even during the Early Cambrian, and destroyed during the main Palaeozoic transgression.

The volcanic rocks associated with the post-black chert Brioverian are poorly known. In Mancellia, these are the Vassy spilites (Dupret *et al.*, 1985), and in central Brittany, the Plouguenast volcanics (Saunier and Chauvel, 1986) and the Mayenne rhyolitic and andesitic effusions (Chantraine *et al.*, 1980, 1983). The geochemical signature of the Vassy spilites is characteristic of a within-plate extensional setting. The volcanics of RABU *et al.*

western Brittany (Douarnenez Bay) are intercalated in a post-black chert Brioverian sequence (Darboux, 1974) comparable with that of central Brittany. However, their geochemical signature shows affinities with that of island arc magmatism. The position of the rocks of Douarnenez Bay in the Cadomian geodynamic scheme is thus not yet clearly established.

b) Ages of the successions and regional deformation.

The age of the post-black chert Brioverian is fairly well constrained since it contains detritus derived from the erosion of the orogenic belt that was deformed at about 600 Ma (see 2.2. above), and has itself been affected by moderate deformation that was contemporaneous with the emplacement of the Mancellian granitoids (Dupret, 1986). Unpublished recent data on the Mancellian batholith indicate an emplacement age of about 540 ± 10 Ma, similar to that proposed for the Vire granodiorite by Pasteels and Dore (1985) and consistent with that of the St Malo migmatites, dated at 540 ± 5 Ma (Peucat, 1982). The weak to moderate deformation of the Brioverian increases along a gradient rising from south to north and in Maine reaches a domain situated above the schistosity front (Dupret, 1986). Mancellian granites and Brioverian deposits are unconformably overlain by red beds attributed to the Early Cambrian (Dore, 1984).

In central Brittany, the main phase of deformation, during which the cleavage was imposed, was part of the Hercynian orogeny (Le Corre, 1977). During the Cadomian orogeny, this region was in an extreme external situation, deformation was insignificant and falls within the continuous gradient recognised in Mancellia. Here, the age of the post-black chert deposits is not well constrained and has in the past been controversial

RABU et al.

(Bolelli, 1951; Graindor, 1957; Pruvost, 1951, 1959), until Cogné (1962) found that they are unconformably overlain by Palaeozoic rocks, and accordingly attributed them to the late Proterozoic. Nevertheless, the unconformity has very variable attitudes. The discontinuity of sedimentation is very marked in those areas where the unconformity is well expressed and is emphasised by the presence of a conglomerate at the base of the overlying sediments, but the discontinuity is less obvious where the quartzites at the top of the Brioverian are terminated by a much less strongly marked unconformity. Furthermore, the unconformity did not result from a Major Cadomian tectonic event (cf. above) and the age of the overlying deposits is poorly known, though dating of associated volcanics in the Crozon peninsula suggest it is Arenigian, about 472+-15 Ma (Bonjour et al., 1987). Incorporating these data into an overall scheme, we consider that only the lower, immature part of the of the succession in central Brittany is contemporaneous with that in the Bocage Normand and deposited between 590 Ma, the age of the orogen from which it was supplied with detritus, and 540 Ma, the age of the granites that intrude it. The upper, more evolved part would then belong to the basal Palaeozoic, and at least in part synchronous with the sedimentation Cambrian shelf of the Bocage Normand. The unconformity at the top of the Brioverian in central Brittany is interpreted in terms of extensional tectonics during the Ordovician (Ballard et al., 1986). These conclusions strongly suggest that the Brioverian of central Brittany belongs at least in part to the lower Palaeozoic. Consequently, it would appear that the idea of a Cadomian basement should be abandoned in the central Armorican domain.

c) Relations with the orogenic domain.

Mancellia and central Brittany belong to the external domain of the Cadomian orogeny and constitute a zone of deposition for the Cadomian molasse, supplied with detritus by the erosion of the orogenic domain from about 590 Ma.

The nature of the substratum of this molasse basin is unknown. The attribution of the Plouguenast dome to the "Lower Brioverian" by Cogné (1972) suggested that it might be possible that the interbedded black chert-bearing successions extended beneath the post-black chert deposits of central Brittany and the Bocage Normand. However, the work of Saunier (1985) rules out this possibility. We prefer the hypothesis of an orogenic belt formed by the bringing together of various palaeogeographic domains (arc, back-arc basin, continental margin) during a tectogenesis that migrated from the internal to the external zones, and whose erosion supplied sediment at the same time to a molasse basin situated in the continental domain (Mancellia and central Brittany) and the late-orogenic basin (Minard and Jersey). Thus, in the external domain, the post-black chert Brioverian directly covered old continental crust, thinned and disrupted by basic intrusions of deep origin. The tholeiitic nature of surface representatives of these basic magmas witness the extensional nature of the tectonic régime - the Vassy spilites in the Bocage Normand (Dupret et al., 1985) and the Plouguenast amphibolites in central Brittany (Saunier and Chauvel, 1986). These deep intrusions, of probable mantellic origin, could also explain the magnitude of the crustal fusion, generating the Mancellian granitoid rocks (Graviou and Auvray, 1985; Georget, 1986). Their absence from central Brittany could indicate less marked extension and crustal fusion in this more external domain.

3. GEODYNAMIC SCHEME

The geodynamic organisation of the Cadomian orogenesis is based on subduction of the Celtic oceanic crust beneath the 2000 Ma-old Icartian continental crust during the Late Proterozoic. Since Lefort (1975) interpreted the Channel magnetic anomaly as the trace of a buried ocean, most authors (Auvray and Maillet, 1977; Cogné and Wright, 1980; Rabu et al., 1983; Graviou and Auvray, 1985; Cabanis et al., 1987) have accepted this as the Celtic ocean suture. Within such a scheme, the following synopsis (fig. 5,6) can be proposed for the Cadomian orogeny in the Armorican Massif.

**Subduction of the Celtic oceanic crust beneath the Icartian continent:
birth of an arc-back-arc system.**

Associated with the subduction of the Celtic oceanic crust, an active continental margin became established on the edge of the Icartian continent, leading to the development of island-arc type magmatism. The volcanic activity began with substantial acid effusions, of at least partly crustal origin, dated at about 640 Ma. The volcanic activity continued with the emission of basalts of calc-alkaline character, associated with the Trégor calc-alkaline plutonism whose products were emplaced during crustal shortening at about 615 Ma. It should be noted, however, that trondhjemitic plutonic activity at about 655 ma has been recognised in reworked form in the sedimentary rocks.

Behind the volcanic belt, extension of the continental margin provoked the opening of an active marginal basin, in which a thick succession of oceanic andesite accumulated, with associated thick volcanic-detrital turbiditic deposits. In the south, on the stable continental margin, RABU et al.

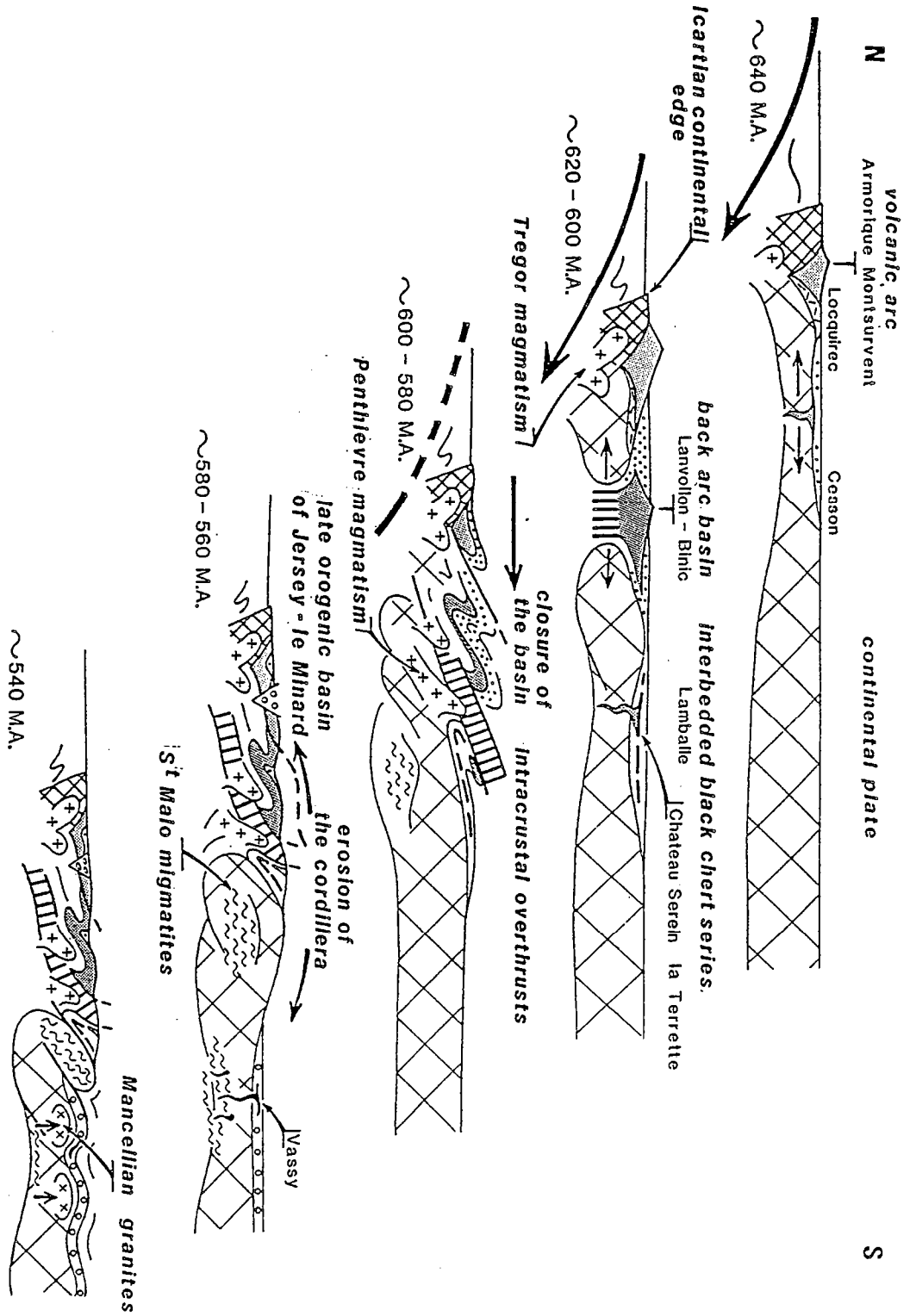


FIGURE 6

SCHEMATIC INTERPRETATION OF THE CADOMIAN EVOLUTION IN THE ARMORICAN MASSIF

terrigenous sediments were deposited containing on the one hand distinctive black cherts and on the other hand volcanic intercalations of extensional tholeiitic character.

Collision and obduction of the back-arc basin: rise of the orogenic cordillera.

Blocking of the subduction system was brought on by the closure of the Celtic ocean and collision of the Icartian continental margin with a northern continental mass. The effects of this collision appear to have been limited to the marginal domain, without major thrusting of the internal units of the orogen over the external ones. The tectonic shortening involved the deformation of the Cadomian orogenic belt, dated at between 615 and 585 Ma by the associated plutonism. Thrusting of the orogenic belt (cordillera) over the continental margin provoked the occlusion of the marginal basin and continued with the the obduction of the segment of crust generated in this basin. The interaction of southward thrusting and sinistral strike-slip faulting, interpreted in a model of oblique convergence (Balé, 1986) takes into account the arcuate shape of the chain and suggests continental accretion rather than frontal collision.

A variant can be introduced here to account for the presence in the Trégor area of the weakly deformed, calc-alkaline Paimpol spilites. After the early deformation of the Trégor island-arc rocks, dated by the associated plutonism at about 615 Ma, closing of the St Brieuc basin could have begun with a short phase of subduction before its occlusion. This northward subduction, beneath the Trégor area, of a crustal segment generated in the marginal basin, could account for the existence of a late

RABU et al.

intra-arc basin of calc-alkaline character in the Trégor area, represented by the Paimpol formation. Another, more classical hypothesis would regard the Paimpol spilites as representing a continuation of the major subduction after the main Cadomian tectonism.

The orogenic overthrusting led to overthickening of the crust, which in turn led to crustal anatexis, with development of the diapiric Guingamp-St Malo migmatites (Brun and Martin, 1978) and the incorporation of the continental margin into the orogenic domain (Balé and Brun, 1983) with southward migration of the tangential tectonism. The anatectic rocks and those affected by the accompanying deformation were intruded by plutons dated at 540 Ma. Just after, the erosion of the orogenic belt supplied the late-orogenic basin (in the Minard area and Jersey) and the external continental domain (in the Bocage Normand and central Brittany).

In Cotentin, the displacement of the frontal thrust was considerably greater than in north Brittany and the back-arc basin was completely overridden.

Cratonisation of the orogenic domain; deposition of the Cadomian molasse.

After cratonisation of the orogenic domain, the effects of the Cadomian migrated southward into the external domains. Crustal thinning set in in the Bocage Normand (Cogné, 1980) and the post-black chert Brioverian was deformed only during the development of the Mancellian granitoids dated at about 540 Ma. The genesis of these plutons remains unclear; although surficial manifestations of this magmatism remain scarce (Vassy spilites),
RABU et al.

it could have been initiated by crustal anatexis, itself related to the emplacement of mantle-derived intrusions at the base of the crust (Graviou, 1985). Anatexis above a second subduction zone located farther to the south, with subduction beneath the Mancellian domain, has been suggested (Balé, 1986). This is argued by the calc-alkaline character of the rare basic plutons associated with the Mancellian batholith (Le Gall and Mary, 1983; Le Gall and Barrat, 1987), but this character could also have been acquired by continental contamination of extensional tholeiitic gabbros. In the Bocage Normand, the development of the Cadomian was terminated by coverage during the Cambrian by a succession including, in Maine, abundant volcanics that could be the expression of a post-tectonic repetition of the preceding magmatic events.

In central Brittany, the régime of crustal thinning continued from the latest Proterozoic into the early Palaeozoic, without interruption by the development of granitoid rocks. The Brioverian here was not deformed until the Variscan orogeny. Nevertheless, locally, at Plouguenast for example, it is still uncertain if the anatectic gneiss domes could have been formed before the main phase of extension that resulted in the main transgression of the Ordovician unconformably across the Brioverian and announced the opening of the proto-Tethys and the beginning of Hercynian history.

4. A new global approach to the Brioverian system and the Cadomian orogeny in the Armorican Massif.

The various proposals that have been made up to the present to explain the Brioverian succession have been based on a single succession valid for the whole of the Armorican Cadomian domain, deformed as a unit during

RABU et al.

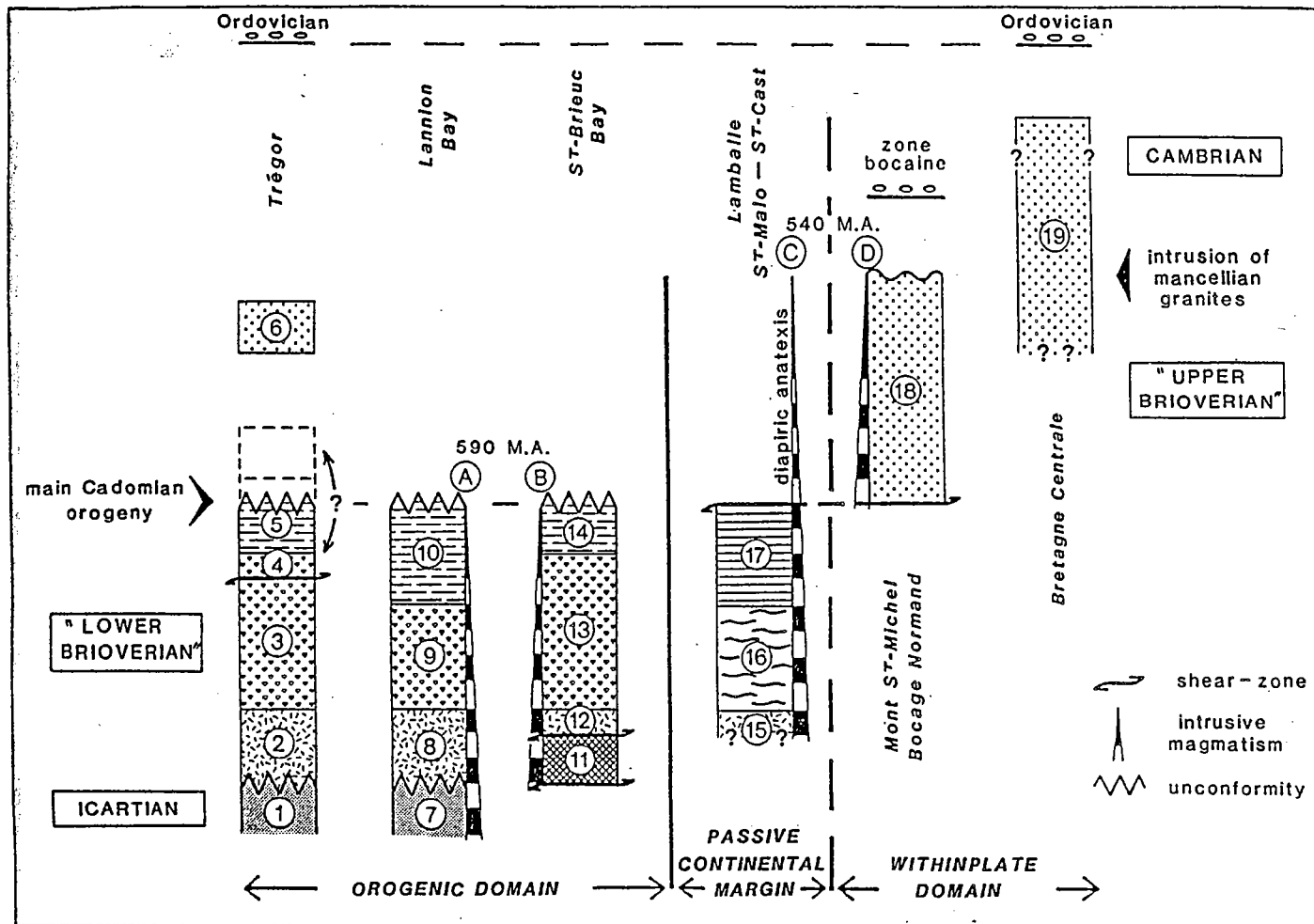


FIGURE 7

SCHMATIC ORGANISATION OF THE PROTEROZOIC FORMATIONS IN BRITTANY AFTER RECENT DATA

- 1- Port-Béni 2- Tréguier 3- Trédrez 4- Paimpol
- 5- La Roche-Derrien 6- Le Minard
- 7- Le Moulin de la Rive 8- Locquirec 9- Armorica
- 10- St Michel en Grèves 11- Yffiniac 12- Cesson
- 13- Lanvollon 14- Binic 15- St Malo 16- Lamballe
- 17- La Rance 18- Bocage normand 19- central Brittany formations

- A: acid rocks in veins (Lannion bay)
- B: Gabbro & Diorite (St Brieuc bay)
- C: anatectic granite of St Malo
- D: Manceillian granites

separate orogenic cycles (Cadomian I and Cadomian II). We believe that this concept can no longer be sustained, since each domain of the orogen possesses its own, more or less complete, distinctive lithostratigraphic organisation (fig. 7) distinguishing it from the other deposits, in some instances contemporaneous, that were emplaced in other tectonic domains. These facts have led us to propose a division of the chain into geotectonic units (fig. 5) each of which have had their own evolution, in some instances and at times interacting with neighbouring domains.

In the scheme that we propose, the division of the Brioverian into "Lower" and "Upper" must be abandoned in favour of a more suitable terminology taking into account the juxtaposition of the lithologic units and their position in the geodynamic model. The terms "Volcanic Brioverian", "Black chert Brioverian" and "Post-black chert Brioverian" would better take this organisation into account.

In our scheme, the dynamic evolution of the Cadomian orogen is determinant. The deformations are no longer interpreted in terms of superimposed cycles but as the result of migration of deformation from the internal to the external zones of the orogen. The terms Cadomian I and Cadomian II should therefore be abandoned in favour of a relative terminology based on this type of evolution and in particular on the geochronological markers that have been established in recent years - deformations at about 600 ma and about 540 Ma.

Acknowledgements.

This publication is part of the Centre National de Recherches Scientifiques Joint Research Programme Project No. 705, "Géodynamique du Massif

Armoricaïn". The authors are grateful to J. Kemp, Service Géologique National, for translation and helpful comments.

References

AUTRAN A., CHANTRAINE J., RABU D. 1979 - Lithostratigraphie et déformation du Briovérien de la baie de Lannion - Implications sur les relations entre les cycles cadomien et hercynien.

Bull. Bur. Rech. Geol. Min., Orléans, 1-4, 277-292.

AUVRAY B. 1979 - Genèse et évolution de la croûte continentale dans le Nord du Massif Armoricaïn.

Thèse d'Etat, Rennes, 670 p.

AUVRAY B., CHARLOT R., VIDAL P. 1980 - Données nouvelles sur le Protérozoïque inférieur du domaine nord-armoricain (France) : âge et signification.

Can. Jl. Earth. Sc., Ottawa, 17, 532-538.

AUVRAY B., MAILLET P. 1977 - Volcanisme et subduction au Protérozoïque supérieur dans le Massif Armoricaïn (France)

Bull. Soc. Geol. Fr., Paris, XIX-5, 953-957.

BALE P. 1986 - Tectonique cadomienne en Bretagne nord - Interaction décrochement, chevauchement : champs de déformation et modélisation expérimentale.

Thèse d'Université, Rennes, 361 p.

BALE P. 1987 - La tectonique cadomienne dans l'Est du Trégor (Massif Armoricaïn)

Bull. Bur. Rech. Geol. Min., Orléans, sous presse.

RABU et al.

BALE P., BRUN J.P. 1983 - Les chevauchements cadomiens de la Baie de Saint-Brieuc (Massif Armoricaïn)

C.R. Acad. Sc., Paris, 297, 359-362.

BALLARD J.P., BRUN J.P., DURAND J. 1986 - La discordance Briovérien Paléozoïque inférieur en Bretagne centrale : signature d'un épisode de distension ordovicienne.

C.R. Acad. Sc., Paris, 303, 1327-1332.

BARROIS C. 1899 - Brioverian system in sketch of the geology of Central Brittany.

Proc. Geol. Ass., XVI, 101-132.

BARROIS C. 1896 - Carte géologique de St Brieuc - n° 59 - 1ère édition

BOLELLI E. 1951 - Contribution à l'étude tectonique de la région synclinale au Sud de Rennes - Contacts Briovérien-Cambrien.

Mem. Soc. Geol. Mineral. Bretagne, 9, 68 p.

BONJOUR J.L., PEUCAT J.J., CHAUVEL J.J., PARIS F., CORNICHE 1987 - A middle arenigian radiometric age for the paleozoic transgression in West Brittany (France).

Terra Cognita, 7, 2-3, 250.

BROWN 1982 - Geological map of Jersey (Channel Islands Sheet 2) - *Institute of Geological Sciences.*

BRUN J.P. 1977 - La zonation structurale des dômes gneissiques - Un exemple: le massif de St-Malo (Massif Armoricaïn, France)

RABU et al.

Can. Jl. Earth. Sc. Ottawa, 14, 1697-1707.

BRUN J.P., MARTIN J. 1978 - Relations métamorphisme - déformation au cours de l'évolution dynamique d'un dôme migmatitique : le massif de St-Malo (France).

Bull. Soc. Geol. Fr., Paris, XX-1, 91-101.

CABANIS B. 1986 - Identification des séries magmatiques dans les socles métamorphiques - Exemples d'application dans le Massif Armoricaïn et le Massif Central - Implications géodynamiques.

Thèse d'Etat, Paris, 493 p.

CABANIS B., CHANTRAINE J., RABU D. 1986 - Etude géochimiques du volcanisme briovérien (Protérozoïque supérieur) du domaine nord armoricaïn ; Implications géodynamiques.

C.R. Acad. Sc., Paris, 51-56.

CABANIS et al 1987 - Geochemical study of the Brioverian (late Proterozoic) volcanic rocks in the northern Armorican Massif (France). Implications for the geodynamic evolution during the Cadomian .

Geol. Soc. Spec. Publ., n° 33, 525-539.

CALVEZ J.Y., VIDAL P. 1978 - Two billion years old relicts in the Hercynian Belt of Western Europe.

Contrib. Mineral. Petrol., Heidelberg, 65, 395-399.

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., DUPRET L., GATINOT F., ICART J.C., LE CORRE C., RABU D., SAUVAN P., VILLEY M. 1980 - Inventaire lithologique et structural

RABU et al.

du Briovérien (Protérozoïque supérieur) de la Bretagne centrale et du Bocage normand

Rapport D.G.R.S.T. et Doc. B.R.G.M., n° 67 (1983), Orléans, 185 p.

CHANTRAINE J., CHAUVEL J.J., DUPRET L., GATINOT F., ICART J.C., LE CORRE C., RABU D., SAUVAN P., VILLEY M. 1982 - Inventaire lithologique et structural du Briovérien (Protérozoïque supérieur) de la Bretagne centrale et du Bocage normand

Bull. Bur. Rech. Geol. Min., Orléans, 1-2, 3, 3-17.

CHANTRAINE J., CHAURIS L., CABANIS B., CHAURIS M.M., LARSONNEUR C., HERROUIN Y., RABU D., LULZAC Y., BOS P. 1986 - Carte géologique à 1/50 000e Plestin-les-Grèves

B.R.G.M. ed.

COGNE J. 1959 - Données nouvelles sur l'Antécambrien dans l'Ouest de la France : Pentévrien et Briovérien en baie de Saint-Brieuc

Bull. Soc. Geol. Fr., Paris, I-1, 112-118.

COGNE J. 1962 - Le Briovérien : esquisse des caractères stratigraphiques, métamorphiques, structuraux et paléogéographiques de l'Antécambrien récent dans le Massif Armoricaïn

Bull. Soc. Geol. Fr., Paris, IV-3, 413-430.

COGNE J. 1972 - Le Briovérien et le cycle orogénique cadomien dans le cadre des orogènes fini-précambriens.

Coll. Inter. C.N.R.S., Paris, n° 192, et *Notes et Mem. Serv. Geol.*

Maroc., 236, 193-218.

RABU et al.

COGNE J., WRIGHT A.E. 1980 - L'orogène cadomien - Vers un essai d'interprétation paléogéodynamique unitaire des phénomènes orogéniques fini-précambriens d'Europe moyenne et occidentale.

in : *Colloque Géologie de l'Europe, 26ème C.G.I.*, Paris, 29-55.

DARBOUX J.R. 1974 - Le Briovérien de la baie de Douarnenez (Massif Armoricaïn) - Etude pétrographique et structurale.

Thèse 3d cycle - Rennes - 170 p.

DABARD M.P. 1988 - Caractérisation pétrographique et géochimique des séries du Protérozoïque supérieur du Massif Armoricaïn.

Réun. Arm. Sc. Terre, Lille.

DENIS E. 1987 - Les sédiments briovériens (Protérozoïque supérieur) de Bretagne septentrionale et occidentale : nature, mise en place et évolution.

Thèse d'Université, Rennes, 202 p.

DENIS E., DABARD M.P 1988 - Sandstone petrography and geochemistry of late proterozoic sediments of the armorican massif (France) - A key to basin development during the Cadomian orogeny.

DORE F. 1981 - Le Protérozoïque supérieur, la chaîne cadomienne et sa couverture en Normandie.

Livret guide PICG 159.

DORE F. 1984 - Le problème de la limite Précambrien/Cambrien : les données du Massif Armoricaïn.

10e R.S.T., Bordeaux, *Soc. Geol. Fr. éd.*, 187.

RABU et al.

DUPRET L. 1986 - Le Protérozoïque du Massif Armoricaïn nord-oriental (Normandie et Maine)

Bull. Soc. Lin. Normandie, Caen, sous presse.

DUPRET L., LE GALL j., DORE F., GATINOT F., DISSLER E. 1985 - Les spilites de Vassy (Calvados), témoin d'un volcanisme sous-marin tholéitique et distensif, dans la sédimentation du Briovérien supérieur de Normandie (NE du Massif Armoricaïn).

C.R. Acad. Sc. Paris, 300, 687-692.

DUPRET L., CABANIS B., LE GALL J., DORE F. 1985 - Les tholéites d'arc briovériennes de Montsurvent (Manche). Leur place dans l'évolution orogénique cadomienne du Nord de l'Armorique.

Hercynica, Rennes, I-1, 39-46.

GARLAN T. 1985 - Sédimentologie du Briovérien supérieur de Normandie et du Maine

Thèse 3e cycle, Caen, 166 p.

GEORGET Y. 1986 - Nature et origine des granites peralumineux à cordiérite et des roches associées.

Thèse d'Université, Rennes, 176 p.

GRAINDOR M.J. 1957 - Le Briovérien dans le Nord-Est du Massif Armoricaïn.

Mem. Carte Geol. Fr., B.R.G.M., Orléans, 211 p.

GRAVIOU P. 1984 - Pétrogenèse des magmas calco-alcalins : exemple des granites cadomiens de la région trégorroise (Massif Armoricaïn).

Thèse 3e cycle, Rennes, 236 p.

RABU et al.

GRAVIOU P., AUVRAY B. 1985 - Caractérisation pétrographique et géochimie des granitoïdes cadomiens du domaine nord-armoricain : implications géodynamiques.

C.R. Acad. Sc., Paris, 301, 315-318.

GUERROT C., PEUCAT J.J., DUPRET L. 1986 - Age du précambrien sédimentaire (Briovérien) dans le Massif Armoricain.

11e R.S.T., Clermont-Ferrand, *Soc. Geol. Fr. ed.*, p. 86.

HIRBEC Y. 1979 - Le complexe basique de Belle Isle en Terre (Côtes-du-Nord)

Thèse 3e cycle, Rennes, 147 p.

JEANNETTE D. 1972 - Analyse tectonique de formations précambriennes. Etude du Nord-Est de la Bretagne.

Thèse d'Etat, Strasbourg. *Mem. Soc. Geol.*, Strasbourg, n° 36, 175 p.

JEANNETTE D., COGNE J. 1968 - Une discordance majeure au sein du Briovérien du flanc ouest de la baie de St-Brieuc

C.R. Acad. Sc., Paris, 226, 2211-2214.

LE CORRE C. 1977 - Le Briovérien de Bretagne centrale : essai de synthèse lithologique et structurale

Bull. Bur. Rech. Geol. Min., Orléans, I-3, 219-254.

LEFORT J.P. 1975 - Le socle péri-armoricain - Etude géologique et géophysique du socle submergé à l'Ouest de la France/

Thèse d'Etat, Rennes. *Mem. Soc. Geol. Fr.*, Paris, n° 130, (1977), 68 p.

RABU et al.

LE GALL J., BARRAT J.A. 1987 - Pétrologie du magmatisme tardi-cadomien du domaine nord-armoricain : l'exemple des complexes basiques d'Ernée et de Trégomar.

Géologie de la France, B.R.G.M. Orléans, n° 1, 3-22.

LE GALL J., DISSLER E., DUPRET L. 1986 - Signification géodynamique des volcanismes briovériens dans le nord-est du Massif Armoricain.

C.R. Acad. Sc., Paris, 303, 1587-1592.

LE GALL J., MARY G. 1983 - Place et signification du complexe basique de Brée dans l'histoire cadomo-varisque de l'Est du Massif Armoricain.

Bull. Soc. Geol. Mineral. Bretagne, Rennes, 15-2, 169-180.

PASTEELS P., DORE F. 1983 - Age of the Vire-Carolles granite
in : Numerical Dating in Stratigraphy, G.S. Odin éd., John Wiley, New-York,
784-790.

PEUCAT J.J. 1982 - Géochronologie des roches métamorphiques (Rb-Sr et U-Pb).
Exemples choisis au Groenland, en Laponie et dans le Massif Armoricain.

Thèse d'Etat, Rennes. *Mem. Soc. Geol. Min. Bretagne*, n° 28, (1983),
Rennes, 158 p.

PEUCAT J.J., HIRBEC Y., AUVRAY B., COGNE J., CORNICHE J. 1981 - Late Proterozoic zircon ages from a basic-ultrabasic complex : a possible cadomian orogenic complex in the Hercynian belt of western Europe.

Geology, Boulder, 9, 169-173.

POWERS & ROACH 1974 - Some aspects of the early precambrian geology of the Pentevrian basement of the channel Isles and the Cotentin, Armorican Massif.

RABU et al.

in "Géologie des domaines cristallins", J. Bellière (Ed.). Vol. Centenaire
Soc. Geol. Belge, Liège, 363-364.

PRUVOST P. 1951 - L'Infracambrien

Bull. Soc. Geol. Belge, Bruxelles, 60-1, 43-65.

PRUVOST P. 1959 - Le Cambrien du Massif Armoricaïn

Ann. Hébert et Hang, t. IX, 5-10.

RABU D. 1982 - Lithostratigraphie du Briovérien de la région de
Châteaubriant et ses rapports avec le Paléozoïque.

9eme réun. Ann. Sc. Terre, Paris, p. 529.

RABU D., CHAUVEL J.J., CHANTRAINE J. 1982 - Le domaine interne de la chaîne
cadomienne dans le Massif Armoricaïn : étude lithostratigraphique,
géochimique et structurale le long d'une transversale en baie de St-Brieuc.

Rapport B.R.G.M. et Doc. B.R.G.M. n° 66 (1983), Orléans, 31 p.

RABU D., CHAUVEL J.J., CHANTRAINE J. 1983 - Nouvelles propositions pour la
lithostratigraphie du Briovérien (Protérozoïque supérieur) et pour l'évo-
lution géodynamique en baie de St Brieuc

Bull. Soc. Geol. Fr., Paris, XXV-4, 615-621.

SAUNIER J.F. 1982 - Etude du Briovérien inférieur au Nord de Coutances
(pétrographie, cartographie)

DEA Rennes, inédit.

SAUNIER J.F. 1985 - Un dôme cristallin dans le Protérozoïque supérieur
(Briovérien) de Bretagne centrale : le dôme de Plouguenast

RABU et al.

Thèse 3e cycle, Rennes. *Doc. B.R.G.M.* n° 109, (1986), Orléans, 137 p.

SAUNIER J.F., CHAUVEL J.J. 1986 - Les amphibolites du domaine cristallophyllien de Plouguenast - Un magmatisme tholéitique dans le Protérozoïque de Bretagne centrale (Massif Armoricaïn).

C.R. Acad. Sc., Paris, 302, 671-674.

SQUIRE A. 1974 - Brioverian sedimentology and structure of Jersey and adjacent areas - Ph. D - Chelsea College, 416 p.

VERDIER P. 1968 - Etude pétrographique et structurale du Trégor occidental (baie de Lannion)

Thèse 3e cycle, Strasbourg, 51 p.

VIDAL P. 1976 - L'évolution polyorogénique du Massif Armoricaïn : apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique du strontium

Thèse d'Etat, Rennes. *Soc. Geol. Min. Bretagne* n° 21 (1980), Rennes, 162 p.

VIDAL P., AUVRAY B., CHAUVET J.F., COGNE J. 1972 - L'âge radiométrique de la diorite de Saint-Quay-Portrieux - Ses conséquences sur le Briovérien de la baie de St-Brieuc

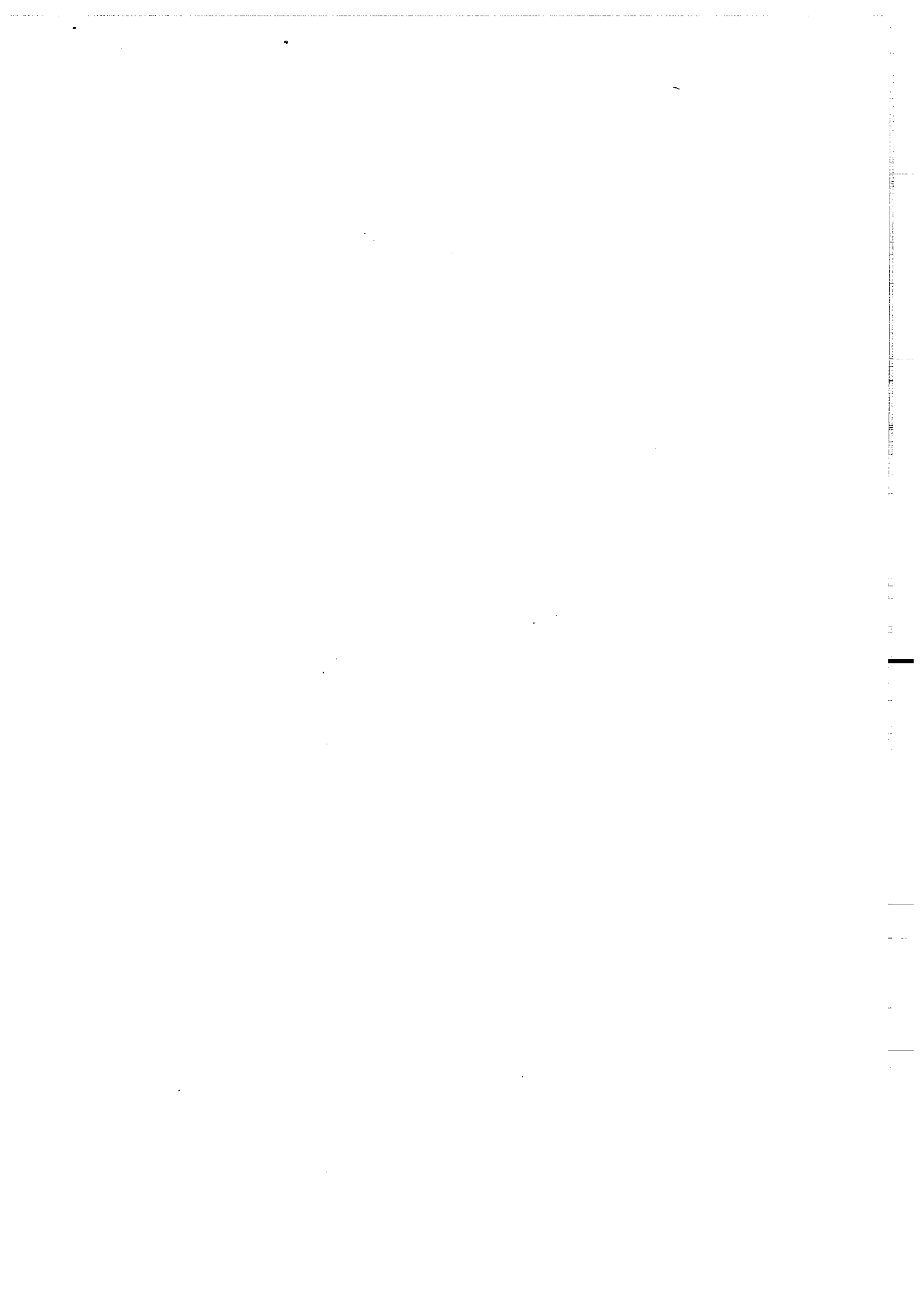
C.R. Acad. Sc., Paris, 279, 631-634.

VIDAL P., AUVRAY B., CHARLOT R., COGNE J. 1981 - Precadomian relicts in the Armorican massif : their age and role in the evolution of the western and central cadomian-hercynian belt

Precambrian Research, Amsterdam, 14, 1-20.

RABU et al.

ANALYSES CHIMIQUES



NI ANALYSE : 33 AMS 21

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	51.16	SI 7.369	SI 0.000	7.270	7.337	7.252	0.000	7.369	7.131
TI02	0.27	TI 0.029	ALIV 0.000	0.730	0.663	0.748	0.000	0.631	0.858
AL203	5.22	AL 0.887	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011
CR203	0.08	CR 0.009	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.06	FE2 1.453	ALVI 0.000	0.144	0.220	0.125	0.000	0.255	0.000
MNO	0.42	MN 0.051	TI 0.000	0.029	0.029	0.029	0.000	0.029	0.028
MGO	15.74	MG 3.379	CR 0.000	0.009	0.009	0.009	0.000	0.009	0.009
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.617	0.197	0.726	0.000	0.000	1.421
CA0	12.23	CA 1.888	FE2 0.000	0.816	1.180	0.704	0.000	1.327	0.000
NA20	0.63	NA 0.176	MN 0.000	0.051	0.000	0.050	0.000	0.000	0.050
K20	0.02	K 0.004	MG 0.000	3.334	3.365	3.326	0.000	3.379	3.270
CL	0.00	TO 15.244	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.83	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.031	0.000	0.000	0.222
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.126	0.000
			MN 0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.051	0.000
			CA 0.000	1.862	1.880	1.827	0.000	1.888	1.605
			NA 0.000	0.138	0.000	0.173	0.000	0.000	0.170
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.065	1.775
			NA 0.000	0.036	0.175	0.000	0.000	0.176	0.000
			K 0.000	0.004	0.004	0.004	0.000	0.004	0.004
			0.000	0.040	0.179	0.004	0.000	0.180	0.004

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.003263 : 0.041119 : 0.001431 : 0.000005 : 0.450630 : 0.0128

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -49.254340 : -2.533731 : -109.887100 : -82.192830

NI ANALYSE : 22

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	48.78	SI 7.129	SI 0.000	7.004	7.074	6.968	0.000	7.129	6.873
TI02	0.40	TI 0.044	ALIV 0.000	0.996	0.926	1.032	0.000	0.871	1.125
AL203	6.77	AL 1.167	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	13.30	FE2 1.626	ALVI 0.000	0.150	0.232	0.109	0.000	0.296	0.000
MNO	0.29	MN 0.036	TI 0.000	0.043	0.044	0.043	0.000	0.044	0.042
MGO	14.83	MG 3.231	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.806	0.353	1.036	0.000	0.000	1.593
CA0	12.03	CA 1.884	FE2 0.000	0.791	1.166	0.553	0.000	1.430	0.000
NA20	0.81	NA 0.230	MN 0.000	0.035	0.000	0.035	0.000	0.000	0.035
K20	0.14	K 0.026	MG 0.000	3.174	3.206	3.158	0.000	3.231	3.115
CL	0.00	TO 15.372	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.35	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000	0.215
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.196	0.000
			MN 0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.036	0.000
			CA 0.000	1.851	1.870	1.776	0.000	1.884	1.601
			NA 0.000	0.149	0.000	0.224	0.000	0.000	0.221
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.116	1.823
			NA 0.000	0.077	0.228	0.000	0.000	0.230	0.000
			K 0.000	0.026	0.026	0.026	0.000	0.026	0.025
			0.000	0.102	0.254	0.026	0.000	0.256	0.025

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.005046 : 0.018766 : 0.001208 : 0.000005 : 0.450630 : 0.0128

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -59.149010 : -1.313358 : -111.207700 : -76.222660

NI ANALYSE : 23

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	47.18	SI 6.941	SI 0.000	6.840	6.903	6.750	0.000	6.941	6.683
TI02	0.61	TI 0.068	ALIV 0.000	1.160	1.097	1.250	0.000	1.059	1.317
AL203	8.34	AL 1.447	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.05	CR 0.006	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	13.69	FE2 1.685	ALVI 0.000	0.266	0.342	0.157	0.000	0.388	0.076
MNO	0.37	MN 0.046	TI 0.000	0.067	0.067	0.066	0.000	0.068	0.065
MGO	13.68	MG 3.000	CR 0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.006	0.006
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.668	0.250	1.265	0.000	0.000	1.651
CAO	11.99	CA 1.890	FE2 0.000	0.992	1.352	0.373	0.000	1.539	0.000
NA20	1.20	NA 0.342	MN 0.000	0.045	0.000	0.045	0.000	0.000	0.044
K20	0.13	K 0.024	MG 0.000	2.956	2.984	2.917	0.000	3.000	2.888
CL	0.00	TO 15.449	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.24	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.171	0.000	0.000	0.270
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.145	0.000
			MN 0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.046	0.000
			CA 0.000	1.863	1.880	1.667	0.000	1.890	1.551
			NA 0.000	0.137	0.000	0.333	0.000	0.000	0.330
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.082	1.880
			NA 0.000	0.200	0.341	0.000	0.000	0.342	0.000
			K 0.000	0.024	0.024	0.024	0.000	0.024	0.023
			0.000	0.224	0.365	0.024	0.000	0.367	0.023

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.009028 : 0.009093 : 0.001392 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD. : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -63.172780 : -0.007176 : -106.732400 : -63.266080

NI ANALYSE : 24

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	44.77	SI 6.686	SI 0.000	6.596	6.632	6.457	0.000	6.686	6.423
TI02	0.53	TI 0.060	ALIV 0.000	1.404	1.368	1.543	0.000	1.314	1.577
AL203	10.20	AL 1.796	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.07	CR 0.008	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	14.30	FE2 1.786	ALVI 0.000	0.368	0.413	0.192	0.000	0.483	0.149
MNO	0.37	MN 0.047	TI 0.000	0.059	0.059	0.057	0.000	0.060	0.057
MGO	12.55	MG 2.794	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.620	0.377	1.576	0.000	0.000	1.747
CAO	12.16	CA 1.946	FE2 0.000	1.143	1.372	0.149	0.000	1.656	0.000
NA20	1.41	NA 0.408	MN 0.000	0.046	0.000	0.045	0.000	0.000	0.045
K20	0.25	K 0.048	MG 0.000	2.756	2.771	2.698	0.000	2.794	2.684
CL	0.00	TO 15.580	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.61	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.274	0.000	0.000	0.310
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.023	0.000	0.000	0.131	0.000
			MN 0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.047	0.000
			CA 0.000	1.920	1.930	1.606	0.000	1.946	1.560
			NA 0.000	0.080	0.000	0.394	0.000	0.000	0.392
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.124	1.952
			NA 0.000	0.323	0.405	0.000	0.000	0.408	0.000
			K 0.000	0.047	0.047	0.046	0.000	0.048	0.046
			0.000	0.370	0.452	0.046	0.000	0.456	0.046

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.009653 : 0.003672 : 0.001150 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LnKD. : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.810430 : 0.966470 : -120.828900 : -56.246330

NI ANALYSE : 26

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	48.68	SI 7.183	SI 0.000	7.108	7.146	7.029	0.000	7.183	6.934
TI02	0.40	TI 0.044	ALIV 0.000	0.892	0.854	0.971	0.000	0.817	1.056
AL203	6.29	AL 1.094	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
CR203	0.26	CR 0.030	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.72	FE2 1.570	ALVI 0.000	0.191	0.235	0.100	0.000	0.278	0.000
MND	0.33	MN 0.041	TI 0.000	0.044	0.044	0.043	0.000	0.044	0.043
MGO	14.43	MG 3.174	CR 0.000	0.030	0.030	0.030	0.000	0.030	0.029
NID	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.481	0.237	0.989	0.000	0.000	1.533
CAO	12.27	CA 1.940	FE2 0.000	1.073	1.296	0.548	0.000	1.474	0.000
NA20	0.88	NA 0.252	MN 0.000	0.041	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040
K20	0.07	K 0.013	MG 0.000	3.141	3.157	3.106	0.000	3.174	3.064
CL	0.00	TD 15.343	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.33	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.145	0.000	0.000	0.292
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.096	0.000
			MN 0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041	0.000
			CA 0.000	1.920	1.930	1.754	0.000	1.940	1.581
			NA 0.000	0.080	0.000	0.246	0.000	0.000	0.243
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.078	1.824
			NA 0.000	0.169	0.251	0.000	0.000	0.252	0.000
			K 0.000	0.013	0.013	0.013	0.000	0.013	0.013
			0.000	0.182	0.264	0.013	0.000	0.265	0.013

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.013093 : 0.023350 : 0.001415 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -67.601360 : -0.578490 : -124.264400 : -75.121730

NI ANALYSE : 27

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	45.52	SI 6.780	SI 0.000	6.640	6.697	6.547	0.000	6.780	6.498
TI02	0.56	TI 0.063	ALIV 0.000	1.360	1.303	1.453	0.000	1.220	1.496
AL203	8.89	AL 1.561	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006
CR203	0.03	CR 0.004	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.22	FE2 1.896	ALVI 0.000	0.169	0.239	0.054	0.000	0.341	0.000
MND	0.46	MN 0.058	TI 0.000	0.061	0.062	0.061	0.000	0.063	0.060
MGO	13.12	MG 2.913	CR 0.000	0.003	0.003	0.003	0.000	0.004	0.003
NID	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.953	0.562	1.585	0.000	0.000	1.844
CAO	11.97	CA 1.911	FE2 0.000	0.904	1.255	0.246	0.000	1.679	0.000
NA20	1.21	NA 0.350	MN 0.000	0.057	0.000	0.056	0.000	0.000	0.056
K20	0.15	K 0.029	MG 0.000	2.853	2.877	2.813	0.000	2.913	2.792
CL	0.00	TD 15.564	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.13	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.182	0.000	0.000	0.245
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.055	0.000	0.000	0.217	0.000
			MN 0.000	0.000	0.057	0.000	0.000	0.058	0.000
			CA 0.000	1.871	1.887	1.663	0.000	1.911	1.586
			NA 0.000	0.129	0.000	0.337	0.000	0.000	0.335
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.186	1.921
			NA 0.000	0.213	0.345	0.000	0.000	0.350	0.000
			K 0.000	0.028	0.028	0.028	0.000	0.029	0.027
			0.000	0.241	0.373	0.028	0.000	0.378	0.027

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.006249 : 0.004566 : 0.000691 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -75.878600 : 0.313864 : -119.477400 : -71.798570

NI ANALYSE : 28

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	48.81	SI 7.100	SI 0.000	6.980	7.040	6.934	0.000	7.100	6.858
TI02	0.42	TI 0.046	ALIV 0.000	1.020	0.960	1.066	0.000	0.900	1.142
AL203	7.09	AL 1.216	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
FEO	12.62	FE2 1.535	ALVI 0.000	0.175	0.246	0.122	0.000	0.316	0.033
MNO	0.44	MN 0.054	TI 0.000	0.045	0.046	0.045	0.000	0.046	0.044
MGO	15.09	MG 3.272	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.775	0.384	1.071	0.000	0.000	1.510
CAO	12.21	CA 1.903	FE2 0.000	0.734	1.080	0.429	0.000	1.367	0.000
NA2O	0.82	NA 0.231	MN 0.000	0.053	0.000	0.053	0.000	0.000	0.052
K2O	0.05	K 0.009	MG 0.000	3.217	3.244	3.196	0.000	3.272	3.160
CL	0.00	TD 15.367	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.55	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.085	0.000	0.000	0.200
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.059	0.000	0.000	0.169
			MN	0.000	0.000	0.054	0.000	0.000	0.054
			CA	0.000	1.871	1.887	1.774	0.000	1.903
			NA	0.000	0.129	0.000	0.226	0.000	0.000
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.126
			NA	0.000	0.099	0.229	0.000	0.000	0.231
			K	0.000	0.009	0.009	0.009	0.000	0.009
				0.000	0.108	0.239	0.009	0.000	0.241

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.007007 : 0.019633 : 0.001519 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01702

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -57.698060 : -1.030211 : -112.074100 : -71.090810

NI ANALYSE : 29

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	48.57	SI 7.149	SI 0.000	7.039	7.103	6.988	0.000	7.149	6.899
TI02	0.40	TI 0.044	ALIV 0.000	0.961	0.897	1.012	0.000	0.851	1.101
AL203	6.65	AL 1.154	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
FEO	12.84	FE2 1.581	ALVI 0.000	0.176	0.250	0.116	0.000	0.303	0.013
MNO	0.41	MN 0.051	TI 0.000	0.044	0.044	0.043	0.000	0.044	0.043
MGO	14.69	MG 3.223	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.704	0.294	1.033	0.000	0.000	1.553
CAO	12.01	CA 1.894	FE2 0.000	0.853	1.210	0.512	0.000	1.430	0.000
NA2O	0.87	NA 0.248	MN 0.000	0.050	0.000	0.050	0.000	0.000	0.049
K2O	0.10	K 0.019	MG 0.000	3.174	3.202	3.150	0.000	3.223	3.110
CL	0.00	TD 15.363	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.54	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.232
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.151
			MN	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.051
			CA	0.000	1.865	1.882	1.757	0.000	1.894
			NA	0.000	0.135	0.000	0.243	0.000	0.240
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.096
			NA	0.000	0.110	0.247	0.000	0.000	0.248
			K	0.000	0.018	0.019	0.018	0.000	0.019
				0.000	0.128	0.265	0.018	0.000	0.267

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.007663 : 0.020449 : 0.001406 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01283

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -60.788130 : -0.981567 : -110.821700 : -73.548500

NI ANALYSE : 30

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	45.26	SI 6.743	SI 0.000	6.646	6.691	6.534	0.000	6.743	6.476
TI02	0.54	TI 0.061	ALIV 0.000	1.354	1.309	1.466	0.000	1.257	1.524
AL203	10.00	AL 1.757	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.07	CR 0.008	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	14.41	FE2 1.796	ALVI 0.000	0.378	0.434	0.236	0.000	0.499	0.163
MNO	0.39	MN 0.049	TI 0.000	0.060	0.060	0.059	0.000	0.061	0.058
MGO	12.50	MG 2.776	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.657	0.351	1.425	0.000	0.000	1.756
CAO	12.07	CA 1.927	FE2 0.000	1.113	1.392	0.315	0.000	1.656	0.000
NA20	1.26	NA 0.364	MN 0.000	0.049	0.000	0.048	0.000	0.000	0.047
K20	0.18	K 0.034	MG 0.000	2.736	2.755	2.690	0.000	2.776	2.666
CL	0.00	TD 15.514	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.68	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.220	0.000	0.000	0.302
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.139	0.000
			MN 0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.049	0.000
			CA 0.000	1.899	1.912	1.647	0.000	1.927	1.549
			NA 0.000	0.101	0.000	0.353	0.000	0.000	0.350
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.115	1.899
			NA 0.000	0.258	0.361	0.000	0.000	0.364	0.000
			K 0.000	0.034	0.034	0.033	0.000	0.034	0.033
			0.000	0.292	0.395	0.033	0.000	0.398	0.033

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.007066 : 0.004008 : 0.001285 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01282

LaKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -61.988780 : 0.566893 : -111.969600 : -54.619170

NI ANALYSE : 31

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	42.78	SI 6.433	SI 0.000	6.315	6.373	6.163	0.000	6.433	6.138
TI02	0.82	TI 0.093	ALIV 0.000	1.685	1.627	1.837	0.000	1.567	1.862
AL203	11.81	AL 2.094	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.02	CR 0.002	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	16.67	FE2 2.097	ALVI 0.000	0.370	0.447	0.169	0.000	0.527	0.136
MNO	0.50	MN 0.064	TI 0.000	0.091	0.092	0.089	0.000	0.093	0.088
MGO	10.98	MG 2.461	CR 0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.002	0.002
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.845	0.430	1.932	0.000	0.000	2.037
CAO	11.78	CA 1.898	FE2 0.000	1.214	1.591	0.077	0.000	1.917	0.000
NA20	1.77	NA 0.516	MN 0.000	0.063	0.000	0.061	0.000	0.000	0.061
K20	0.28	K 0.054	MG 0.000	2.416	2.438	2.358	0.000	2.461	2.348
CL	0.00	TD 15.711	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.41	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.313	0.000	0.000	0.328
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.056	0.000	0.000	0.179	0.000
			MN 0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.064	0.000
			CA 0.000	1.863	1.881	1.506	0.000	1.898	1.483
			NA 0.000	0.137	0.000	0.494	0.000	0.000	0.492
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.141	1.976
			NA 0.000	0.370	0.511	0.000	0.000	0.516	0.000
			K 0.000	0.053	0.053	0.051	0.000	0.054	0.051
			0.000	0.423	0.565	0.051	0.000	0.570	0.051

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.003221 : 0.000732 : 0.000470 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LaKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -76.917250 : 1.482015 : -110.710000 : -57.651060

NI ANALYSE : 32

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SIO2	48.65	SI 7.171	SI 0.000	7.070	7.126	7.002	0.000	7.171 6.934
TIO2	0.40	TI 0.044	ALIV 0.000	0.930	0.874	0.998	0.000	0.829 1.044
AL2O3	6.21	AL 1.079	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.022
CR2O3	0.07	CR 0.008		8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	12.08	FE2 1.489	ALVI 0.000	0.134	0.199	0.055	0.000	0.250 0.000
MNO	0.31	MN 0.039	TI 0.000	0.044	0.044	0.043	0.000	0.044 0.043
MGO	15.27	MG 3.355	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008 0.008
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.649	0.287	1.087	0.000	0.000 1.444
CAO	12.08	CA 1.908	FE2 0.000	0.819	1.128	0.367	0.000	1.342 0.000
NA2O	0.94	NA 0.269	MN 0.000	0.038	0.000	0.038	0.000	0.000 0.037
K2O	0.13	K 0.024	MG 0.000	3.308	3.334	3.276	0.000	3.355 3.244
CL	0.00	TO 15.387	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	96.14	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.126	0.000	0.000 0.223
				5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000 0.147 0.000
			MN	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000 0.039 0.000
			CA	0.000	1.881	1.896	1.738	0.000 1.908 1.622
			NA	0.000	0.119	0.000	0.262	0.000 0.000 0.260
				0.000	2.000	2.000	0.000	0.000 2.094 1.882
			NA	0.000	0.146	0.267	0.000	0.000 0.269 0.000
			K	0.000	0.024	0.024	0.024	0.000 0.024 0.024
				0.000	0.170	0.291	0.024	0.000 0.293 0.024

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.013520 : 0.026764 : 0.001203 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -72.074500 : -0.682883 : -119.829900 : -80.951990

NI ANALYSE : 33

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SIO2	44.59	SI 6.630	SI 0.000	6.485	6.579	6.383	0.000	6.630 6.340
TIO2	0.78	TI 0.087	ALIV 0.000	1.515	1.421	1.617	0.000	1.370 1.660
AL2O3	10.34	AL 1.813	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR2O3	0.00	CR 0.000		8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	16.06	FE2 1.998	ALVI 0.000	0.258	0.378	0.128	0.000	0.443 0.074
MNO	0.32	MN 0.040	TI 0.000	0.085	0.087	0.084	0.000	0.087 0.083
MGO	12.29	MG 2.724	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	1.012	0.356	1.717	0.000	0.000 1.944
CAO	11.45	CA 1.825	FE2 0.000	0.941	1.476	0.207	0.000	1.745 0.000
NA2O	1.61	NA 0.454	MN 0.000	0.039	0.000	0.039	0.000	0.000 0.039
K2O	0.28	K 0.053	MG 0.000	2.664	2.703	2.622	0.000	2.724 2.605
CL	0.00	TO 15.635	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	97.72	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.204	0.000	0.000 0.255
				5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2	0.000	0.000	0.150	0.000	0.000 0.252 0.000
			MN	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000 0.040 0.000
			CA	0.000	1.784	1.810	1.553	0.000 1.825 1.490
			NA	0.000	0.216	0.000	0.447	0.000 0.000 0.444
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000 2.117 1.934
			NA	0.000	0.239	0.461	0.000	0.000 0.464 0.000
			K	0.000	0.052	0.053	0.051	0.000 0.053 0.051
				0.000	0.291	0.513	0.051	0.000 0.517 0.051

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.003301 : 0.001697 : 0.000597 : 0.000008 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -71.256050 : 0.665526 : -99.287690 : -62.604210

NI ANALYSE : 34

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	50.28	SI	7.130	SI	0.000	6.978	7.066	6.951	0.000	7.130	6.890
TI02	0.37	TI	0.039	ALIV	0.000	1.022	0.934	1.049	0.000	0.870	1.071
AL203	6.63	AL	1.109	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039
CR203	0.12	CR	0.013		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.80	FE2	1.518	ALVI	0.000	0.062	0.165	0.032	0.000	0.238	0.000
MNO	0.31	MN	0.037	TI	0.000	0.039	0.039	0.038	0.000	0.039	0.038
MGO	16.26	MG	3.437	CR	0.000	0.013	0.013	0.013	0.000	0.013	0.013
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.982	0.409	1.151	0.000	0.000	1.455
CAO	12.18	CA	1.851	FE2	0.000	0.504	0.967	0.330	0.000	1.272	0.000
NA20	0.91	NA	0.250	MN	0.000	0.036	0.000	0.036	0.000	0.000	0.036
K20	0.11	K	0.020	MG	0.000	3.363	3.406	3.351	0.000	3.437	3.321
CL	0.00	TO	15.405	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.97	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.137
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.129	0.000	0.000	0.246	0.000
				MN	0.000	0.000	0.037	0.000	0.000	0.037	0.000
				CA	0.000	1.811	1.835	1.756	0.000	1.851	1.652
				NA	0.000	0.189	0.000	0.244	0.000	0.000	0.242
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.135	1.894
				NA	0.000	0.056	0.248	0.000	0.000	0.250	0.000
				K	0.000	0.019	0.020	0.019	0.000	0.020	0.019
					0.000	0.076	0.268	0.019	0.000	0.270	0.019

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.004290 : 0.021901 : 0.000618 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01782

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -73.797460 : -1.630139 : -120.767800 : -94.989280

NI ANALYSE : 35

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	52.43	SI	7.285	SI	0.000	7.141	7.279	7.141	0.000	7.285	7.064
TI02	0.40	TI	0.042	ALIV	0.000	0.859	0.721	0.859	0.000	0.715	0.936
AL203	6.15	AL	1.008	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	11.73	FE2	1.363	ALVI	0.000	0.129	0.285	0.129	0.000	0.292	0.041
MNO	0.44	MN	0.052	TI	0.000	0.041	0.042	0.041	0.000	0.042	0.041
MGO	16.96	MG	3.513	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.908	0.040	0.906	0.000	0.000	1.346
CAO	11.76	CA	1.751	FE2	0.000	0.428	1.124	0.431	0.000	1.153	0.000
NA20	1.07	NA	0.288	MN	0.000	0.051	0.000	0.050	0.000	0.000	0.050
K20	0.14	K	0.025	MG	0.000	3.443	3.510	3.443	0.000	3.513	3.406
CL	0.00	TO	15.326	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	101.08	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.116
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.199	0.000	0.000	0.210	0.000
				MN	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.052	0.000
				CA	0.000	1.717	1.750	1.717	0.000	1.751	1.582
				NA	0.000	0.283	0.000	0.283	0.000	0.000	0.280
					0.000	1.999	2.000	1.999	0.000	2.013	1.862
				NA	0.000	0.000	0.288	0.000	0.000	0.288	0.000
				K	0.000	0.024	0.025	0.024	0.000	0.025	0.024
					0.000	0.024	0.313	0.024	0.000	0.313	0.024

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.001534 : 0.028992 : 0.001320 : 0.000022 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -41.449990 : -2.939164 : -91.447970 : -79.659120

NI ANALYSE : 36

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	49.69	SI 7.195	SI 0.000	7.065	7.162	7.041	0.000	7.195	6.956
TI02	0.44	TI 0.048	ALIV 0.000	0.935	0.838	0.959	0.000	0.805	1.044
AL203	6.44	AL 1.100	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000
FEO	12.38	FE2 1.499	ALVI 0.000	0.145	0.257	0.118	0.000	0.295	0.019
MNO	0.44	MN 0.054	TI 0.000	0.047	0.048	0.047	0.000	0.048	0.046
MGO	15.49	MG 3.343	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.831	0.210	0.982	0.000	0.000	1.476
CAO	11.79	CA 1.830	FE2 0.000	0.641	1.157	0.486	0.000	1.314	0.000
NA20	0.92	NA 0.258	MN 0.000	0.053	0.000	0.053	0.000	0.000	0.052
K20	0.10	K 0.018	MG 0.000	3.283	3.328	3.272	0.000	3.343	3.232
CL	0.00	TO 15.346	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.69	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.174
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.185
			MN	0.000	0.000	0.054	0.000	0.000	0.054
			CA	0.000	1.796	1.821	1.747	0.000	1.830
			NA	0.000	0.204	0.000	0.253	0.000	0.250
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.069
			NA	0.000	0.050	0.257	0.000	0.000	0.258
			K	0.000	0.018	0.018	0.018	0.000	0.018
				0.000	0.068	0.276	0.018	0.000	0.277

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.003517 : 0.022864 : 0.001308 : 0.000010 : 0.450630 : 0.01282

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -52.465910 : -1.871929 : -101.065200 : -76.800980

NI ANALYSE : 37

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	49.33	SI 7.168	SI 0.000	7.034	7.125	7.004	0.000	7.168	6.923
TI02	0.37	TI 0.040	ALIV 0.000	0.966	0.875	0.996	0.000	0.832	1.077
AL203	6.55	AL 1.122	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000
FEO	12.68	FE2 1.541	ALVI 0.000	0.135	0.240	0.101	0.000	0.290	0.007
MNO	0.38	MN 0.047	TI 0.000	0.040	0.040	0.040	0.000	0.040	0.039
MGO	15.37	MG 3.329	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.858	0.277	1.049	0.000	0.000	1.515
CAO	11.84	CA 1.844	FE2 0.000	0.654	1.134	0.457	0.000	1.341	0.000
NA20	0.92	NA 0.259	MN 0.000	0.046	0.000	0.046	0.000	0.000	0.045
K20	0.11	K 0.020	MG 0.000	3.267	3.309	3.253	0.000	3.329	3.215
CL	0.00	TO 15.371	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.55	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.055	0.000	0.000	0.178
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.121	0.000	0.000	0.200
			MN	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.047
			CA	0.000	1.809	1.833	1.747	0.000	1.844
			NA	0.000	0.191	0.000	0.253	0.000	0.250
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.091
			NA	0.000	0.064	0.258	0.000	0.000	0.259
			K	0.000	0.020	0.020	0.020	0.000	0.020
				0.000	0.084	0.278	0.020	0.000	0.280

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.004024 : 0.019164 : 0.001126 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01782

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -57.970230 : -1.560780 : -104.785700 : -78.260360

NI ANALYSE : 38

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	46.70	SI	7.030	SI	0.000	6.949	7.013	6.836	0.000	7.030	6.761
TI02	0.46	TI	0.052	ALIV	0.000	1.051	0.987	1.164	0.000	0.970	1.239
AL203	7.46	AL	1.324	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.10	CR	0.012		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	13.83	FE2	1.742	ALVI	0.000	0.258	0.333	0.124	0.000	0.355	0.034
MNO	0.41	MN	0.052	TI	0.000	0.051	0.052	0.051	0.000	0.052	0.050
MGO	13.10	MG	2.940	CR	0.000	0.012	0.012	0.012	0.000	0.012	0.011
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.532	0.116	1.271	0.000	0.000	1.705
CAO	11.69	CA	1.886	FE2	0.000	1.190	1.554	0.422	0.000	1.642	0.000
NA20	1.33	NA	0.388	MN	0.000	0.052	0.000	0.051	0.000	0.000	0.050
K20	0.18	K	0.035	MG	0.000	2.906	2.932	2.858	0.000	2.940	2.827
CL	0.00	TO	15.461	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	95.26	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.211	0.000	0.000	0.323
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.100	0.000
				MN	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.052	0.000
				CA	0.000	1.864	1.881	1.622	0.000	1.886	1.491
				NA	0.000	0.136	0.000	0.378	0.000	0.000	0.373
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.038	1.865
				NA	0.000	0.248	0.387	0.000	0.000	0.388	0.000
				K	0.000	0.034	0.034	0.034	0.000	0.035	0.033
					0.000	0.282	0.422	0.034	0.000	0.423	0.033

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.011607 : 0.009974 : 0.001179 : 0.000006 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -70.579360 : 0.151638 : -107.906100 : -68.608060

NI ANALYSE : 39

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	48.07	SI	6.922	SI	0.000	6.774	6.874	6.709	0.000	6.922	6.657
TI02	0.53	TI	0.057	ALIV	0.000	1.226	1.126	1.291	0.000	1.078	1.343
AL203	8.45	AL	1.435	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	14.39	FE2	1.733	ALVI	0.000	0.178	0.299	0.100	0.000	0.357	0.037
MNO	0.54	MN	0.066	TI	0.000	0.056	0.057	0.056	0.000	0.057	0.055
MGO	14.31	MG	3.071	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.985	0.316	1.413	0.000	0.000	1.697
CAO	11.79	CA	1.819	FE2	0.000	0.711	1.277	0.267	0.000	1.515	0.000
NA20	1.33	NA	0.371	MN	0.000	0.064	0.000	0.064	0.000	0.000	0.063
K20	0.15	K	0.028	MG	0.000	3.006	3.050	2.977	0.000	3.071	2.954
CL	0.00	TO	15.503	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.56	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.124	0.000	0.000	0.193
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.128	0.000	0.000	0.219	0.000
				MN	0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.066	0.000
				CA	0.000	1.780	1.807	1.640	0.000	1.819	1.557
				NA	0.000	0.220	0.000	0.360	0.000	0.000	0.357
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.104	1.914
				NA	0.000	0.144	0.369	0.000	0.000	0.371	0.000
				K	0.000	0.027	0.027	0.027	0.000	0.028	0.027
					0.000	0.171	0.396	0.027	0.000	0.399	0.027

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.004915 : 0.006761 : 0.000917 : 0.000010 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -65.691430 : -0.318962 : -99.769790 : -69.837930

NI ANALYSE : 40

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	49.16	SI 7.168	SI 0.000	7.039	7.123	7.001	0.000	7.168	6.919
TI02	0.41	TI 0.045	ALIV 0.000	0.961	0.877	0.999	0.000	0.832	1.052
AL203	6.34	AL 1.090	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029
CR203	0.11	CR 0.013		8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.85	FE2 1.567	ALVI 0.000	0.110	0.206	0.066	0.000	0.258	0.000
MNO	0.47	MN 0.058	TI 0.000	0.044	0.045	0.044	0.000	0.045	0.043
MGO	15.17	MG 3.297	CR 0.000	0.012	0.013	0.012	0.000	0.013	0.012
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.824	0.285	1.068	0.000	0.000	1.511
CAO	11.88	CA 1.856	FE2 0.000	0.715	1.175	0.463	0.000	1.388	0.000
NA2O	0.93	NA 0.263	MN 0.000	0.057	0.000	0.057	0.000	0.000	0.056
K2O	0.12	K 0.022	MG 0.000	3.238	3.276	3.220	0.000	3.297	3.183
CL	0.00	TO 15.379	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT.	97.44	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.194
				5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.098	0.000	0.000	0.179
			MN	0.000	0.000	0.058	0.000	0.000	0.058
			CA	0.000	1.823	1.845	1.743	0.000	1.856
			NA	0.000	0.177	0.000	0.257	0.000	0.254
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.094
			NA	0.000	0.081	0.261	0.000	0.000	0.263
			K	0.000	0.022	0.022	0.022	0.000	0.022
				0.000	0.103	0.284	0.022	0.000	0.285

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.005628 : 0.020860 : 0.000930 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -67.122030 : -1.310071 : -111.722100 : -84.152940

NI ANALYSE : 41

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	50.33	SI 7.169	SI 0.000	7.030	7.134	7.014	0.000	7.169	6.927
TI02	0.46	TI 0.049	ALIV 0.000	0.970	0.866	0.986	0.000	0.831	1.073
AL203	6.79	AL 1.140	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.76	FE2 1.520	ALVI 0.000	0.149	0.268	0.130	0.000	0.309	0.029
MNO	0.33	MN 0.040	TI 0.000	0.048	0.049	0.048	0.000	0.049	0.048
MGO	15.72	MG 3.337	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.887	0.224	0.992	0.000	0.000	1.495
CAO	11.91	CA 1.818	FE2 0.000	0.604	1.137	0.496	0.000	1.304	0.000
NA2O	0.93	NA 0.257	MN 0.000	0.039	0.000	0.039	0.000	0.000	0.038
K2O	0.11	K 0.020	MG 0.000	3.273	3.321	3.265	0.000	3.337	3.225
CL	0.00	TO 15.350	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT.	99.34	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.164
				5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.151	0.000	0.000	0.216
			MN	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040
			CA	0.000	1.783	1.809	1.749	0.000	1.818
			NA	0.000	0.217	0.000	0.251	0.000	0.248
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.074
			NA	0.000	0.035	0.256	0.000	0.000	0.257
			K	0.000	0.020	0.020	0.020	0.000	0.020
				0.000	0.054	0.276	0.020	0.000	0.277

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.002292 : 0.020497 : 0.001321 : 0.000012 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -46.663900 : -2.190951 : -98.916250 : -75.146280

NI ANALYSE : 42

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	49.13	SI 7.112	SI 0.000	6.984	7.064	6.943	0.000	7.112	6.856	
TI02	0.46	TI 0.050	ALIV 0.000	1.016	0.936	1.057	0.000	0.888	1.135	
AL203	6.90	AL 1.178	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	
CR203	0.04	CR 0.005		8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	13.42	FE2 1.625	ALVI 0.000	0.140	0.234	0.092	0.000	0.289	0.000	
MNO	0.48	MN 0.059	TI 0.000	0.049	0.050	0.049	0.000	0.050	0.048	
MGO	14.88	MG 3.211	CR 0.000	0.004	0.005	0.004	0.000	0.005	0.004	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.828	0.309	1.093	0.000	0.000	1.587	
CAO	12.01	CA 1.863	FE2 0.000	0.768	1.214	0.493	0.000	1.445	0.000	
NA2O	0.94	NA 0.254	MN 0.000	0.058	0.000	0.057	0.000	0.000	0.057	
K2O	0.15	K 0.028	MG 0.000	3.153	3.189	3.134	0.000	3.211	3.095	
CL	0.00	TO 15.393	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	98.41	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.076	0.000	0.000	0.209	
				5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2	0.000	0.000	0.091	0.000	0.000	0.179	0.000
			MN	0.000	0.000	0.058	0.000	0.000	0.059	0.000
			CA	0.000	1.830	1.851	1.742	0.000	1.863	1.587
			NA	0.000	0.170	0.000	0.258	0.000	0.000	0.254
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.101	1.842
			NA	0.000	0.089	0.262	0.000	0.000	0.264	0.000
			K	0.000	0.027	0.028	0.027	0.000	0.028	0.027
				0.000	0.116	0.290	0.027	0.000	0.292	0.027

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.005311 : 0.016454 : 0.001059 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LkKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -63.106810 : -1.130792 : -109.099200 : -77.807110

NI ANALYSE : 43

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.65	SI 7.080	SI 0.000	6.965	7.011	6.896	0.000	7.080	6.820	
TI02	0.53	TI 0.058	ALIV 0.000	1.035	0.989	1.104	0.000	0.920	1.096	
AL203	6.63	AL 1.138	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.084	
CR203	0.10	CR 0.012		8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	13.63	FE2 1.659	ALVI 0.000	0.084	0.138	0.004	0.000	0.217	0.000	
MNO	0.31	MN 0.038	TI 0.000	0.057	0.057	0.057	0.000	0.058	0.056	
MGO	14.89	MG 3.230	CR 0.000	0.011	0.011	0.011	0.000	0.012	0.011	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.744	0.443	1.195	0.000	0.000	1.543	
CAO	12.39	CA 1.932	FE2 0.000	0.888	1.151	0.421	0.000	1.484	0.000	
NA2O	0.90	NA 0.254	MN 0.000	0.038	0.000	0.037	0.000	0.000	0.037	
K2O	0.16	K 0.030	MG 0.000	3.178	3.199	3.146	0.000	3.230	3.111	
CL	0.00	TO 15.430	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	98.19	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.129	0.000	0.000	0.241	
				5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.176	0.000
			MN	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.038	0.000
			CA	0.000	1.901	1.914	1.753	0.000	1.932	1.620
			NA	0.000	0.099	0.000	0.247	0.000	0.000	0.245
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.146	1.865
			NA	0.000	0.151	0.252	0.000	0.000	0.254	0.000
			K	0.000	0.029	0.029	0.029	0.000	0.030	0.029
				0.000	0.180	0.281	0.029	0.000	0.284	0.029

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.011294 : 0.018534 : 0.000652 : 0.000001 : 0.450630 : 0.011782

LkKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -85.032590 : -0.495316 : -136.035400 : -91.471700

NI ANALYSE : 44

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	49.46	SI 7.241	SI	0.000	7.134	7.198	7.093	0.000	7.241	6.997
TI02	0.37	TI 0.041	ALIV	0.000	0.866	0.802	0.907	0.000	0.759	0.966
AL203	5.79	AL 0.999	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037
CR203	0.16	CR 0.019		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.42	FE2 1.521	ALVI	0.000	0.119	0.192	0.072	0.000	0.240	0.000
MNO	0.32	MN 0.040	TI	0.000	0.040	0.041	0.040	0.000	0.041	0.039
MGO	15.28	MG 3.334	CR	0.000	0.018	0.018	0.018	0.000	0.019	0.018
NIO	0.00	NI 0.000	FE3	0.000	0.678	0.268	0.938	0.000	0.000	1.459
CA0	12.07	CA 1.894	FE2	0.000	0.821	1.166	0.552	0.000	1.366	0.000
NA20	0.79	NA 0.224	MN	0.000	0.039	0.000	0.039	0.000	0.000	0.038
K20	0.10	K 0.019	MG	0.000	3.285	3.315	3.266	0.000	3.334	3.222
CL	0.00	TD 15.331	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.76	CL 0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.224
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	0.155	0.000
			MN	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.040	0.000
			CA	0.000	1.866	1.883	1.780	0.000	1.894	1.606
			NA	0.000	0.134	0.000	0.220	0.000	0.000	0.217
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.088	1.823
			NA	0.000	0.087	0.223	0.000	0.000	0.224	0.000
			K	0.000	0.018	0.019	0.018	0.000	0.019	0.018
				0.000	0.105	0.242	0.018	0.000	0.243	0.018

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.007494 : 0.029593 : 0.001100 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -66.639930 : -1.373483 : -117.240700 : -84.495220

NI ANALYSE : 45

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.98	SI 7.156	SI	0.000	7.044	7.121	6.995	0.000	7.156	6.912
TI02	0.52	TI 0.057	ALIV	0.000	0.956	0.879	1.005	0.000	0.844	1.088
AL203	6.58	AL 1.134	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.62	FE2 1.542	ALVI	0.000	0.159	0.249	0.103	0.000	0.290	0.007
MNO	0.35	MN 0.043	TI	0.000	0.056	0.057	0.056	0.000	0.057	0.055
MGO	15.04	MG 3.275	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3	0.000	0.725	0.227	1.039	0.000	0.000	1.516
CA0	11.92	CA 1.866	FE2	0.000	0.793	1.208	0.469	0.000	1.378	0.000
NA20	0.96	NA 0.272	MN	0.000	0.043	0.000	0.042	0.000	0.000	0.042
K20	0.10	K 0.019	MG	0.000	3.224	3.259	3.201	0.000	3.275	3.164
CL	0.00	TD 15.365	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.07	CL 0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.216
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.165	0.000
			MN	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.043	0.000
			CA	0.000	1.837	1.857	1.734	0.000	1.866	1.587
			NA	0.000	0.163	0.000	0.266	0.000	0.000	0.263
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.074	1.849
			NA	0.000	0.105	0.271	0.000	0.000	0.272	0.000
			K	0.000	0.018	0.019	0.018	0.000	0.019	0.018
				0.000	0.123	0.289	0.018	0.000	0.291	0.018

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.007617 : 0.021440 : 0.001312 : 0.000006 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -62.445480 : -1.034947 : -107.353800 : -75.899780

NI ANALYSE : 46

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.89	SI 7.154	SI 0.000	7.033	7.131	6.993	0.000	7.154	6.921	
TI02	0.47	TI 0.052	ALIV 0.000	0.967	0.869	1.007	0.000	0.846	1.079	
AL203	6.75	AL 1.165	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.07	CR 0.008	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FE0	12.02	FE2 1.471	ALVI 0.000	0.178	0.292	0.131	0.000	0.319	0.047	
MNO	0.23	MN 0.029	TI 0.000	0.051	0.052	0.051	0.000	0.052	0.050	
MGO	15.34	MG 3.346	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.779	0.146	1.036	0.000	0.000	1.449	
CAO	11.63	CA 1.824	FE2 0.000	0.667	1.167	0.402	0.000	1.276	0.000	
NA20	1.05	NA 0.298	MN 0.000	0.028	0.000	0.028	0.000	0.000	0.028	
K20	0.12	K 0.022	MG 0.000	3.289	3.335	3.270	0.000	3.346	3.237	
CL	0.00	TO 15.358	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT.	96.57	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.074	0.000	0.000	0.182	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2	0.000	0.000	0.154	0.000	0.000	0.195	
			MN	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.029	
			CA	0.000	1.793	1.818	1.709	0.000	1.824	1.583
			NA	0.000	0.207	0.000	0.291	0.000	0.000	0.288
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.048	1.871	
			NA	0.000	0.086	0.297	0.000	0.000	0.298	0.000
			K	0.000	0.022	0.022	0.022	0.000	0.022	0.022
			0.000	0.108	0.319	0.022	0.000	0.320	0.022	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.006268 : 0.021701 : 0.001550 : 0.000015 : 0.450630 : 0.000000

LnKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -55.745540 : -1.241972 : -97.726420 : -71.891180

NI ANALYSE : 47

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	50.01	SI 7.158	SI 0.000	7.036	7.118	7.002	0.000	7.158	6.919	
TI02	0.53	TI 0.057	ALIV 0.000	0.964	0.882	0.998	0.000	0.842	1.072	
AL203	6.57	AL 1.109	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	
CR203	0.22	CR 0.025	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FE0	12.61	FE2 1.510	ALVI 0.000	0.126	0.220	0.086	0.000	0.267	0.000	
MNO	0.47	MN 0.057	TI 0.000	0.056	0.057	0.056	0.000	0.057	0.055	
MGO	15.51	MG 3.309	CR 0.000	0.024	0.025	0.024	0.000	0.025	0.024	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.781	0.259	1.004	0.000	0.000	1.476	
CAO	12.13	CA 1.861	FE2 0.000	0.704	1.149	0.472	0.000	1.342	0.000	
NA20	0.90	NA 0.250	MN 0.000	0.056	0.000	0.056	0.000	0.000	0.055	
K20	0.09	K 0.016	MG 0.000	3.253	3.290	3.237	0.000	3.309	3.198	
CL	0.00	TO 15.351	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT.	99.04	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	0.192	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2	0.000	0.000	0.093	0.000	0.000	0.167	
			MN	0.000	0.000	0.057	0.000	0.000	0.057	
			CA	0.000	1.829	1.850	1.756	0.000	1.861	1.607
			NA	0.000	0.171	0.000	0.244	0.000	0.000	0.241
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.085	1.848	
			NA	0.000	0.075	0.248	0.000	0.000	0.250	0.000
			K	0.000	0.016	0.016	0.016	0.000	0.016	0.016
			0.000	0.091	0.265	0.016	0.000	0.266	0.016	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.005387 : 0.021714 : 0.001104 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -62.247350 : -1.393977 : -109.888000 : -80.369050

NI ANALYSE : 48

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.99	SI 7.136	SI 0.000	7.029	7.088	6.962	0.000	7.136	6.888	
TI02	0.43	TI 0.047	ALIV 0.000	0.971	0.912	1.038	0.000	0.864	1.086	
AL203	6.55	AL 1.125	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	
CR203	0.11	CR 0.013	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	12.97	FE2 1.573	ALVI 0.000	0.137	0.206	0.050	0.000	0.261	0.000	
MNO	0.33	MN 0.041	TI 0.000	0.046	0.047	0.046	0.000	0.047	0.045	
MGO	15.03	MG 3.263	CR 0.000	0.012	0.013	0.012	0.000	0.013	0.012	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.690	0.307	1.121	0.000	0.000	1.519	
CAO	12.19	CA 1.903	FE2 0.000	0.860	1.186	0.413	0.000	1.416	0.000	
NA2O	0.97	NA 0.274	MN 0.000	0.040	0.000	0.040	0.000	0.000	0.039	
K2O	0.11	K 0.020	MG 0.000	3.214	3.242	3.184	0.000	3.263	3.150	
CL	0.00	TO 15.395	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	97.62	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.124	0.000	0.000	0.234	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2	0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.157	
			MN	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.041	
			CA	0.000	1.874	1.890	1.733	0.000	1.903	1.603
			NA	0.000	0.126	0.000	0.267	0.000	0.000	0.264
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.101	1.867
			NA	0.000	0.144	0.272	0.000	0.000	0.274	0.000
			K	0.000	0.020	0.020	0.020	0.000	0.020	0.020
				0.000	0.164	0.292	0.020	0.000	0.294	0.020

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.011133 : 0.021369 : 0.001108 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -71.606480 : -0.652066 : -118.437800 : -80.083340

NI ANALYSE : 49

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.77	SI 7.163	SI 0.000	6.950	0.000	7.036	0.000	7.163	6.896	
TI02	0.50	TI 0.055	ALIV 0.000	1.050	0.000	0.964	0.000	0.837	1.104	
AL203	7.27	AL 1.259	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.18	CR 0.021	0.000	8.000	0.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	13.75	FE2 1.689	ALVI 0.000	0.171	0.000	0.273	0.000	0.422	0.108	
MNO	0.42	MN 0.052	TI 0.000	0.054	0.000	0.054	0.000	0.055	0.053	
MGO	14.43	MG 3.159	CR 0.000	0.020	0.000	0.021	0.000	0.021	0.020	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	1.368	0.000	0.816	0.000	0.000	1.656	
CAO	10.14	CA 1.596	FE2 0.000	0.271	0.000	0.734	0.000	1.343	0.000	
NA2O	0.97	NA 0.276	MN 0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	
K2O	0.10	K 0.019	MG 0.000	3.065	0.000	3.103	0.000	3.159	3.041	
CL	0.00	TO 15.289	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	96.53	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.072	
			0.000	5.000	0.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2	0.000	0.000	0.000	0.110	0.000	0.346	0.000
			MN	0.000	0.000	0.000	0.051	0.000	0.052	0.000
			CA	0.000	1.549	0.000	1.568	0.000	1.596	1.465
			NA	0.000	0.268	0.000	0.271	0.000	0.006	0.266
				0.000	1.817	0.000	2.000	0.000	2.000	1.731
			NA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.271	0.000
			K	0.000	0.018	0.000	0.018	0.000	0.019	0.018
				0.000	0.018	0.000	0.018	0.000	0.289	0.018

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.000221 : 0.003181 : 0.000627 : 0.000029 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -34.892460 : -2.665395 : -83.198910 : -69.542590

NI ANALYSE : 50

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	49.42	SI 7.091	SI	0.000	6.974	7.053	6.920	0.000	7.091	6.838
TI02	0.47	TI 0.051	ALIV	0.000	1.026	0.947	1.080	0.000	0.909	1.162
AL203	7.19	AL 1.216	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.20	CR 0.023		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	13.42	FE2 1.611	ALVI	0.000	0.171	0.263	0.107	0.000	0.307	0.011
MNO	0.34	MN 0.041	TI	0.000	0.050	0.050	0.050	0.000	0.051	0.049
MGO	14.89	MG 3.164	CR	0.000	0.022	0.023	0.022	0.000	0.023	0.022
NIO	0.00	NI 0.000	FE3	0.000	0.755	0.246	1.107	0.000	0.000	1.581
CAO	12.12	CA 1.864	FE2	0.000	0.829	1.251	0.465	0.000	1.435	0.000
NA20	1.04	NA 0.289	MN	0.000	0.041	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040
K20	0.15	K 0.027	MG	0.000	3.132	3.167	3.108	0.000	3.184	3.071
CL	0.00	TO 15.397	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.24	CL 0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.101	0.000	0.000	0.225
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.105	0.000	0.000	0.176	0.000
			MN	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041	0.000
			CA	0.000	1.833	1.854	1.718	0.000	1.864	1.572
			NA	0.000	0.167	0.000	0.282	0.000	0.000	0.279
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.081	1.851
			NA	0.000	0.118	0.288	0.000	0.000	0.289	0.000
			K	0.000	0.027	0.027	0.027	0.000	0.027	0.026
				0.000	0.145	0.315	0.027	0.000	0.317	0.026

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.007046 : 0.015701 : 0.001219 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01286

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -63.265110 : -0.801304 : -106.482200 : -73.682050

NI ANALYSE : 51

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	50.29	SI 7.163	SI	0.000	7.047	7.125	6.998	0.000	7.163	6.925
TI02	0.32	TI 0.034	ALIV	0.000	0.953	0.875	1.002	0.000	0.837	1.075
AL203	6.86	AL 1.152	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.57	FE2 1.498	ALVI	0.000	0.180	0.270	0.123	0.000	0.315	0.039
MNO	0.51	MN 0.062	TI	0.000	0.034	0.034	0.033	0.000	0.034	0.033
MGO	15.57	MG 3.306	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3	0.000	0.745	0.247	1.062	0.000	0.000	1.474
CAO	12.23	CA 1.867	FE2	0.000	0.728	1.161	0.401	0.000	1.345	0.000
NA20	0.99	NA 0.273	MN	0.000	0.061	0.000	0.060	0.000	0.000	0.059
K20	0.10	K 0.018	MG	0.000	3.252	3.288	3.229	0.000	3.306	3.196
CL	0.00	TO 15.373	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.44	CL 0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.091	0.000	0.000	0.198
				0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.082	0.000	0.000	0.153	0.000
			MN	0.000	0.000	0.061	0.000	0.000	0.062	0.000
			CA	0.000	1.837	1.857	1.733	0.000	1.867	1.607
			NA	0.000	0.163	0.000	0.267	0.000	0.000	0.264
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.081	1.871
			NA	0.000	0.106	0.272	0.000	0.000	0.273	0.000
			K	0.000	0.018	0.018	0.018	0.000	0.018	0.018
				0.000	0.123	0.290	0.018	0.000	0.292	0.018

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.007807 : 0.021858 : 0.001537 : 0.000009 : 0.450630 : 0.01286

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -58.806040 : -1.029596 : -104.329500 : -72.190790

NI ANALYSE : 52

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=15			
SI02	45.96	SI	6.749	SI	0.000	6.664	6.716	6.525	0.000	6.749	6.474
TI02	0.67	TI	0.074	ALIV	0.000	1.336	1.284	1.475	0.000	1.251	1.526
AL203	9.93	AL	1.719	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.07	CR	0.008		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.10	FE2	1.855	ALVI	0.000	0.362	0.427	0.187	0.000	0.468	0.123
MNO	0.41	MN	0.051	TI	0.000	0.073	0.074	0.072	0.000	0.074	0.071
MGO	12.38	MG	2.710	CR	0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.579	0.223	1.525	0.000	0.000	1.811
CAO	12.12	CA	1.907	FE2	0.000	1.252	1.572	0.268	0.000	1.740	0.000
NA2O	1.55	NA	0.441	MN	0.000	0.050	0.000	0.049	0.000	0.000	0.049
K2O	0.21	K	0.039	MG	0.000	2.676	2.697	2.620	0.000	2.710	2.599
CL	0.00	TO	15.554	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.40	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.271	0.000	0.000	0.339
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.115	0.000
				MN	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.051	0.000
				CA	0.000	1.883	1.898	1.573	0.000	1.907	1.491
				NA	0.000	0.117	0.000	0.427	0.000	0.000	0.423
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.073	1.914
				NA	0.000	0.319	0.439	0.000	0.000	0.441	0.000
				K	0.000	0.039	0.039	0.038	0.000	0.039	0.038
					0.000	0.358	0.478	0.038	0.000	0.481	0.038

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.008338 : 0.003581 : 0.001026 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.759100 : 0.845006 : -110.374600 : -58.774010

NI ANALYSE : 53

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=15			
SI02	45.01	SI	6.722	SI	0.000	6.612	6.666	6.478	0.000	6.722	6.442
TI02	0.58	TI	0.065	ALIV	0.000	1.388	1.334	1.522	0.000	1.278	1.558
AL203	9.49	AL	1.671	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.19	CR	0.022		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.15	FE2	1.892	ALVI	0.000	0.256	0.323	0.089	0.000	0.393	0.044
MNO	0.42	MN	0.053	TI	0.000	0.064	0.065	0.063	0.000	0.065	0.062
MGO	12.53	MG	2.789	CR	0.000	0.022	0.022	0.022	0.000	0.022	0.022
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.748	0.383	1.665	0.000	0.000	1.846
CAO	11.94	CA	1.911	FE2	0.000	1.113	1.442	0.159	0.000	1.731	0.000
NA2O	1.51	NA	0.437	MN	0.000	0.052	0.000	0.051	0.000	0.000	0.051
K2O	0.23	K	0.044	MG	0.000	2.744	2.766	2.688	0.000	2.789	2.673
CL	0.00	TO	15.607	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.05	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.263	0.000	0.000	0.302
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.162	0.000
				MN	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.053	0.000
				CA	0.000	1.880	1.895	1.579	0.000	1.911	1.530
				NA	0.000	0.120	0.000	0.421	0.000	0.000	0.419
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.126	1.949
				NA	0.000	0.310	0.434	0.000	0.000	0.437	0.000
				K	0.000	0.043	0.043	0.042	0.000	0.044	0.042
					0.000	0.353	0.477	0.042	0.000	0.481	0.042

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.008396 : 0.003495 : 0.000780 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -76.715150 : 0.876532 : -116.411800 : -65.320240

NI ANALYSE : 54

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	45.55	SI 6.543	SI 0.000	6.387	6.485	6.281	0.000	6.543 6.268
TI02	0.52	TI 0.056	ALIV 0.000	1.613	1.515	1.719	0.000	1.457 1.732
AL203	11.89	AL 2.014	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	15.97	FE2 1.919	ALVI 0.000	0.353	0.481	0.215	0.000	0.557 0.197
MNO	0.45	MN 0.055	TI 0.000	0.055	0.056	0.054	0.000	0.056 0.054
MGO	12.75	MG 2.730	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	1.096	0.412	1.842	0.000	0.000 1.871
CAO	11.81	CA 1.818	FE2 0.000	0.777	1.346	0.000	0.000	1.656 0.000
NA20	1.76	NA 0.490	MN 0.000	0.053	0.000	0.053	0.000	0.000 0.052
K20	0.14	K 0.026	MG 0.000	2.665	2.706	2.621	0.000	2.730 2.615
CL	0.00	TO 15.651	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	100.84	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.216	0.000	0.000 0.210
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2 0.000	0.000	0.144	0.000	0.000	0.263 0.000
			MN 0.000	0.000	0.054	0.000	0.000	0.055 0.000
			CA 0.000	1.775	1.802	1.529	0.000	1.818 1.531
			NA 0.000	0.225	0.000	0.471	0.000	0.000 0.469
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.135 2.000
			NA 0.000	0.253	0.486	0.000	0.000	0.490 0.001
			K 0.000	0.025	0.025	0.025	0.000	0.026 0.025
			0.000	0.279	0.511	0.025	0.000	0.516 0.025

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.002200 : 0.000991 : 0.000691 : 0.000017 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -62.335090 : 0.797588 : -90.861910 : -51.966450

NI ANALYSE : 55

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	39.64	SI 6.090	SI 0.000	5.963	6.030	5.822	0.000	6.090 5.787
TI02	0.27	TI 0.031	ALIV 0.000	2.037	1.970	2.178	0.000	1.910 2.213
AL203	15.64	AL 2.833	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	17.76	FE2 2.282	ALVI 0.000	0.738	0.836	0.531	0.000	0.923 0.480
MNO	0.38	MN 0.049	TI 0.000	0.031	0.031	0.030	0.000	0.031 0.030
MGO	8.69	MG 1.990	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.956	0.450	2.024	0.000	0.000 2.208
CAO	11.37	CA 1.872	FE2 0.000	1.278	1.713	0.158	0.000	2.056 0.000
NA20	1.82	NA 0.542	MN 0.000	0.048	0.000	0.047	0.000	0.000 0.047
K20	0.44	K 0.086	MG 0.000	1.949	1.971	1.902	0.000	1.990 1.891
CL	0.00	TO 15.777	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	96.01	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.308	0.000	0.000 0.345
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2 0.000	0.000	0.097	0.000	0.000	0.227 0.000
			MN 0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.049 0.000
			CA 0.000	1.833	1.854	1.482	0.000	1.872 1.434
			NA 0.000	0.167	0.000	0.518	0.000	0.000 0.515
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.148 1.950
			NA 0.000	0.364	0.537	0.000	0.000	0.542 0.000
			K 0.000	0.084	0.085	0.082	0.000	0.086 0.082
			0.000	0.449	0.622	0.082	0.000	0.629 0.082

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.000181 : 0.000033 : 0.000186 : 0.000008 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -62.642500 : 1.691103 : -92.731740 : -40.658170

NI ANALYSE : 56

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
			=8	=13	=15	=15	=16				
SIO2	43.49	SI	6.551	SI	0.000	6.462	6.491	6.274	0.000	6.551	6.272
TIO2	0.73	TI	0.083	ALIV	0.000	1.538	1.509	1.726	0.000	1.449	1.728
AL2O3	10.67	AL	1.895	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR2O3	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	15.43	FE2	1.944	ALVI	0.000	0.331	0.368	0.089	0.000	0.447	0.086
MNO	0.38	MN	0.048	TI	0.000	0.082	0.082	0.079	0.000	0.083	0.079
MG0	11.84	MG	2.659	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.630	0.427	1.862	0.000	0.000	1.895
CAO	12.14	CA	1.960	FE2	0.000	1.287	1.489	0.000	0.000	1.812	0.000
NA2O	1.79	NA	0.523	MN	0.000	0.048	0.000	0.046	0.000	0.000	0.046
K2O	0.17	K	0.033	MG	0.000	2.622	2.634	2.546	0.000	2.659	2.545
CL	0.00	TO	15.696	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.64	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.378	0.000	0.000	0.348
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.132	0.000
				MN	0.000	0.000	0.048	0.000	0.000	0.048	0.000
				CA	0.000	1.933	1.942	1.499	0.000	1.960	1.528
				NA	0.000	0.067	0.000	0.501	0.000	0.000	0.472
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.141	2.000
				NA	0.000	0.449	0.518	0.000	0.000	0.523	0.029
				K	0.000	0.032	0.032	0.031	0.000	0.033	0.031
					0.000	0.481	0.550	0.031	0.000	0.556	0.060

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.009999 : 0.001955 : 0.000663 : 0.000001 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -83.035950 : 1.631887 : -132.184400 : -61.821410

NI ANALYSE : 57

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
			=8	=13	=15	=15	=16				
SIO2	46.00	SI	6.666	SI	0.000	6.525	6.611	6.415	0.000	6.666	6.384
TIO2	0.67	TI	0.073	ALIV	0.000	1.475	1.389	1.585	0.000	1.334	1.616
AL2O3	10.34	AL	1.767	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR2O3	0.05	CR	0.006		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	15.88	FE2	1.925	ALVI	0.000	0.255	0.363	0.116	0.000	0.432	0.076
MNO	0.29	MN	0.036	TI	0.000	0.071	0.072	0.070	0.000	0.073	0.070
MG0	13.00	MG	2.808	CR	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.006	0.005
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.968	0.378	1.727	0.000	0.000	1.877
CAO	11.88	CA	1.845	FE2	0.000	0.916	1.396	0.125	0.000	1.681	0.000
NA2O	1.64	NA	0.461	MN	0.000	0.035	0.000	0.034	0.000	0.000	0.034
K2O	0.22	K	0.041	MG	0.000	2.749	2.785	2.702	0.000	2.808	2.689
CL	0.00	TO	15.626	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.97	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.219	0.000	0.000	0.248
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.135	0.000	0.000	0.244	0.000
				MN	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.036	0.000
				CA	0.000	1.806	1.830	1.556	0.000	1.845	1.519
				NA	0.000	0.194	0.000	0.444	0.000	0.000	0.441
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.124	1.960
				NA	0.000	0.257	0.457	0.000	0.000	0.461	0.000
				K	0.000	0.040	0.040	0.039	0.000	0.041	0.039
					0.000	0.297	0.497	0.039	0.000	0.502	0.039

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.004837 : 0.002413 : 0.000721 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -71.517470 : 0.695412 : -102.102000 : -62.477110

NI ANALYSE : 58

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	45.18	SI	6.596	SI	0.000	6.480	6.547	6.352	0.000	6.596	6.314
TI02	0.75	TI	0.082	ALIV	0.000	1.520	1.453	1.648	0.000	1.404	1.686
AL203	11.00	AL	1.894	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.14	CR	0.016		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.97	FE2	1.950	ALVI	0.000	0.341	0.426	0.175	0.000	0.490	0.127
MNO	0.28	MN	0.035	TI	0.000	0.081	0.082	0.079	0.000	0.082	0.079
MGO	12.22	MG	2.659	CR	0.000	0.016	0.016	0.016	0.000	0.016	0.015
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.808	0.344	1.705	0.000	0.000	1.900
CAO	12.02	CA	1.881	FE2	0.000	1.108	1.492	0.173	0.000	1.752	0.000
NA20	1.64	NA	0.464	MN	0.000	0.034	0.000	0.033	0.000	0.000	0.033
K20	0.23	K	0.043	MG	0.000	2.613	2.639	2.561	0.000	2.659	2.546
CL	0.00	TO	15.620	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.43	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.258	0.000	0.000	0.300
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.099	0.000	0.000	0.198	0.000
				MN	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.035	0.000
				CA	0.000	1.848	1.867	1.553	0.000	1.881	1.500
				NA	0.000	0.152	0.000	0.447	0.000	0.000	0.444
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.113	1.945
				NA	0.000	0.304	0.461	0.000	0.000	0.464	0.000
				K	0.000	0.042	0.043	0.041	0.000	0.043	0.041
					0.000	0.346	0.503	0.041	0.000	0.507	0.041

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.004945 : 0.001848 : 0.000763 : 0.000006 : 0.450630 : 0.000782

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -70.383430 : 0.984424 : -105.685400 : -57.585920

NI ANALYSE : 60

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	44.03	SI	6.542	SI	0.000	6.391	6.476	6.268	0.000	6.542	6.253
TI02	0.83	TI	0.093	ALIV	0.000	1.509	1.524	1.732	0.000	1.458	1.747
AL203	10.73	AL	1.880	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	16.24	FE2	2.018	ALVI	0.000	0.227	0.337	0.069	0.000	0.422	0.049
MNO	0.51	MN	0.064	TI	0.000	0.091	0.092	0.089	0.000	0.093	0.089
MGO	12.24	MG	2.711	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	1.064	0.460	1.927	0.000	0.000	1.964
CAO	11.58	CA	1.844	FE2	0.000	0.908	1.427	0.007	0.000	1.775	0.000
NA20	1.75	NA	0.504	MN	0.000	0.063	0.000	0.062	0.000	0.000	0.061
K20	0.23	K	0.044	MG	0.000	2.648	2.684	2.597	0.000	2.711	2.591
CL	0.00	TO	15.699	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.14	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000	0.246
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.111	0.000	0.000	0.243	0.000
				MN	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	0.064	0.000
				CA	0.000	1.801	1.825	1.517	0.000	1.844	1.517
				NA	0.000	0.199	0.000	0.483	0.000	0.000	0.482
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.152	1.999
				NA	0.000	0.294	0.499	0.000	0.000	0.504	0.000
				K	0.000	0.043	0.043	0.042	0.000	0.044	0.042
					0.000	0.336	0.542	0.042	0.000	0.548	0.042

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.003436 : 0.001227 : 0.000453 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -78.684080 : 1.029388 : -105.549500 : -65.302040

NI ANALYSE : 61

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.06	SI 6.591	SI 0.000	6.456	6.526	6.325	0.000	6.591	6.309	
TI02	0.75	TI 0.083	ALIV 0.000	1.544	1.474	1.675	0.000	1.409	1.691	
AL203	10.65	AL 1.837	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.05	CR 0.006	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	15.97	FE2 1.954	ALVI 0.000	0.255	0.344	0.088	0.000	0.428	0.067	
MNO	0.48	MN 0.059	TI 0.000	0.081	0.082	0.079	0.000	0.083	0.079	
MGO	12.58	MG 2.743	CR 0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.006	0.006	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.946	0.459	1.856	0.000	0.000	1.904	
CAO	11.98	CA 1.878	FE2 0.000	0.968	1.394	0.020	0.000	1.740	0.000	
NA2O	1.69	NA 0.479	MN 0.000	0.058	0.000	0.057	0.000	0.000	0.057	
K2O	0.15	K 0.028	MG 0.000	2.687	2.716	2.632	0.000	2.743	2.625	
CL	0.00	TO 15.659	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	99.36	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.262	0.000	0.000	0.262	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.082	0.000	0.000	0.214	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.059	0.000	0.000	0.059	0.000	
			CA 0.000	1.839	1.859	1.540	0.000	1.878	1.535	
			NA 0.000	0.161	0.000	0.460	0.000	0.000	0.459	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.151	1.994	
			NA 0.000	0.309	0.475	0.000	0.000	0.479	0.000	
			K 0.000	0.027	0.028	0.027	0.000	0.028	0.027	
			0.000	0.336	0.502	0.027	0.000	0.507	0.027	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.005097 : 0.001854 : 0.000617 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01282

LaKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -76.064480 : 1.011090 : -108.999600 : -62.920310

NI ANALYSE : 62

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.46	SI 6.700	SI 0.000	6.583	6.677	6.455	0.000	6.700	6.428	
TI02	0.78	TI 0.085	ALIV 0.000	1.417	1.323	1.545	0.000	1.300	1.572	
AL203	10.48	AL 1.782	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.01	CR 0.001	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	15.33	FE2 1.849	ALVI 0.000	0.334	0.453	0.172	0.000	0.482	0.137	
MNO	0.60	MN 0.073	TI 0.000	0.083	0.084	0.082	0.000	0.085	0.081	
MGO	12.75	MG 2.741	CR 0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.803	0.157	1.681	0.000	0.000	1.806	
CAO	11.78	CA 1.821	FE2 0.000	1.014	1.573	0.101	0.000	1.692	0.000	
NA2O	1.85	NA 0.517	MN 0.000	0.072	0.000	0.071	0.000	0.000	0.070	
K2O	0.15	K 0.028	MG 0.000	2.693	2.731	2.641	0.000	2.741	2.629	
CL	0.00	TO 15.596	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	100.19	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.253	0.000	0.000	0.275	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.113	0.000	0.000	0.158	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.073	0.000	0.000	0.073	0.000	
			CA 0.000	1.789	1.814	1.502	0.000	1.821	1.472	
			NA 0.000	0.211	0.000	0.498	0.000	0.000	0.498	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.051	1.968	
			NA 0.000	0.297	0.516	0.000	0.000	0.517	0.000	
			K 0.000	0.027	0.028	0.027	0.000	0.028	0.026	
			0.000	0.324	0.543	0.027	0.000	0.545	0.026	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.005433 : 0.002392 : 0.000853 : 0.000014 : 0.450630 : 0.01282

LaKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.801580 : 0.820414 : -94.543380 : -58.136190

NI ANALYSE : 63

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.09	SI 6.685	SI 0.000	6.554	6.648	6.446	0.000	6.685	6.412	
TI02	0.75	TI 0.082	ALIV 0.000	1.446	1.352	1.554	0.000	1.315	1.588	
AL203	10.41	AL 1.780	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.07	CR 0.008	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	15.28	FE2 1.854	ALVI 0.000	0.300	0.418	0.163	0.000	0.465	0.120	
MNO	0.48	MN 0.059	TI 0.000	0.080	0.081	0.079	0.000	0.082	0.078	
MGO	12.91	MG 2.791	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.898	0.255	1.644	0.000	0.000	1.810	
CAO	11.74	CA 1.825	FE2 0.000	0.920	1.462	0.143	0.000	1.654	0.000	
NA20	1.68	NA 0.473	MN 0.000	0.058	0.000	0.057	0.000	0.000	0.057	
K20	0.21	K 0.039	MG 0.000	2.737	2.776	2.691	0.000	2.791	2.677	
CL	0.00	TO 15.595	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	99.62	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.215	0.000	0.000	0.250	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.200	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.059	0.000	0.000	0.059	0.000	
			CA 0.000	1.789	1.815	1.544	0.000	1.825	1.501	
			NA 0.000	0.211	0.000	0.456	0.000	0.000	0.453	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.084	1.954	
			NA 0.000	0.253	0.470	0.000	0.000	0.473	0.000	
			K 0.000	0.038	0.039	0.037	0.000	0.039	0.037	
			0.000	0.291	0.509	0.037	0.000	0.511	0.037	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.004576 : 0.002393 : 0.000826 : 0.000012 : 0.450630 : 0.01282

LaKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -67.369250 : 0.648449 : -96.006900 : -58.939420

NI ANALYSE : 64

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	39.23	SI 5.987	SI 0.000	5.858	5.907	5.681	0.000	5.987	5.680	
TI02	0.39	TI 0.045	ALIV 0.000	2.142	2.093	2.319	0.000	2.013	2.320	
AL203	15.73	AL 2.831	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.03	CR 0.004	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FEO	18.49	FE2 2.360	ALVI 0.000	0.627	0.699	0.367	0.000	0.818	0.366	
MNO	0.44	MN 0.057	TI 0.000	0.044	0.044	0.042	0.000	0.045	0.042	
MGO	8.81	MG 2.004	CR 0.000	0.004	0.004	0.003	0.000	0.004	0.003	
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.997	0.620	2.240	0.000	0.000	2.280	
CAO	11.72	CA 1.917	FE2 0.000	1.312	1.656	0.000	0.000	2.129	0.000	
NA20	2.04	NA 0.604	MN 0.000	0.056	0.000	0.054	0.000	0.000	0.054	
K20	0.45	K 0.088	MG 0.000	1.961	1.977	1.902	0.000	2.004	1.901	
CL	0.00	TO 15.896	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	97.33	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.392	0.000	0.000	0.353	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.053	0.000	0.000	0.231	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.056	0.000	0.000	0.057	0.000	
			CA 0.000	1.875	1.891	1.427	0.000	1.917	1.465	
			NA 0.000	0.125	0.000	0.573	0.000	0.000	0.535	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.205	2.000	
			NA 0.000	0.466	0.596	0.000	0.000	0.604	0.038	
			K 0.000	0.086	0.086	0.083	0.000	0.088	0.083	
			0.000	0.552	0.682	0.083	0.000	0.691	0.121	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.000300 : 0.000026 : 0.000117 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LaKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -80.800890 : 2.426362 : -109.874200 : -49.258190

NI ANALYSE : 65

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	41.94	SI 6.005	SI 0.000	5.854	5.944	5.706	0.000	6.005	5.710
TI02	0.34	TI 0.037	ALIV 0.000	2.146	2.056	2.294	0.000	1.995	2.290
AL203	17.19	AL 2.902	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FED	18.81	FE2 2.253	ALVI 0.000	0.683	0.817	0.464	0.000	0.907	0.470
MNO	0.28	MN 0.034	TI 0.000	0.036	0.036	0.035	0.000	0.037	0.035
MGO	9.86	MG 2.104	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	1.155	0.465	2.141	0.000	0.000	2.181
CAO	11.85	CA 1.818	FE2 0.000	1.041	1.598	0.000	0.000	1.952	0.000
NA20	2.28	NA 0.633	MN 0.000	0.033	0.000	0.032	0.000	0.000	0.032
K2O	0.41	K 0.075	MG 0.000	2.051	2.083	2.000	0.000	2.104	2.001
CL	0.00	TO 15.861	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	102.96	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.329	0.000	0.000	0.281
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.166	0.000	0.000	0.301
			MN	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.034
			CA	0.000	1.773	1.800	1.398	0.000	1.818
			NA	0.000	0.227	0.000	0.602	0.000	0.000
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.153	2.000
			NA	0.000	0.390	0.627	0.000	0.000	0.633
			K	0.000	0.073	0.074	0.071	0.000	0.075
			0.000	0.463	0.701	0.071	0.000	0.708	0.121

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.000042 : 0.000005 : 0.000069 : 0.000011 : 0.450630 : 0.000082

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.537960 : 2.070022 : -82.735170 : -41.627660

NI ANALYSE : 66

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	43.84	SI 6.527	SI 0.000	6.413	6.473	6.275	0.000	6.527	6.258
TI02	0.52	TI 0.058	ALIV 0.000	1.587	1.527	1.725	0.000	1.473	1.742
AL203	11.66	AL 2.047	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.08	CR 0.009	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FED	15.05	FE2 1.874	ALVI 0.000	0.425	0.504	0.242	0.000	0.574	0.221
MNO	0.46	MN 0.058	TI 0.000	0.057	0.058	0.056	0.000	0.058	0.056
MGO	11.97	MG 2.656	CR 0.000	0.009	0.009	0.009	0.000	0.009	0.009
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.799	0.376	1.777	0.000	0.000	1.829
CAO	11.87	CA 1.894	FE2 0.000	1.043	1.419	0.025	0.000	1.703	0.000
NA20	1.66	NA 0.479	MN 0.000	0.057	0.000	0.056	0.000	0.000	0.056
K2O	0.25	K 0.047	MG 0.000	2.610	2.635	2.554	0.000	2.656	2.547
CL	0.00	TO 15.650	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.36	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.281	0.000	0.000	0.283
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.064	0.000	0.000	0.172
			MN	0.000	0.000	0.058	0.000	0.000	0.058
			CA	0.000	1.861	1.878	1.539	0.000	1.894
			NA	0.000	0.139	0.000	0.461	0.000	0.460
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.124	1.993
			NA	0.000	0.332	0.475	0.000	0.000	0.479
			K	0.000	0.047	0.047	0.046	0.000	0.047
			0.000	0.379	0.522	0.046	0.000	0.527	0.046

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.004711 : 0.001434 : 0.000859 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -66.782360 : 1.189574 : -104.351800 : -51.317900

NI ANALYSE : 67

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	43.79	SI 6.545	SI 0.000	-6.422	6.484	6.314	0.000	6.545	6.263
TI02	0.85	TI 0.096	ALIV 0.000	1.578	1.516	1.686	0.000	1.455	1.737
AL203	11.23	AL 1.979	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	15.76	FE2 1.970	ALVI 0.000	0.364	0.445	0.223	0.000	0.525	0.156
MNO	0.54	MN 0.068	TI 0.000	0.094	0.095	0.092	0.000	0.096	0.091
MGO	11.63	MG 2.591	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.869	0.432	1.629	0.000	0.000	1.919
CA0	11.81	CA 1.892	FE2 0.000	1.064	1.462	0.271	0.000	1.789	0.000
NA20	1.41	NA 0.409	MN 0.000	0.067	0.000	0.066	0.000	0.000	0.065
K20	0.24	K 0.046	MG 0.000	2.542	2.567	2.499	0.000	2.591	2.479
CL	0.00	TD 15.597	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.26	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.219	0.000	0.000	0.288
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.058	0.000	0.000	0.182	0.000
			MN 0.000	0.000	0.068	0.000	0.000	0.068	0.000
			CA 0.000	1.856	1.874	1.606	0.000	1.892	1.522
			NA 0.000	0.144	0.000	0.394	0.000	0.000	0.391
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.142	1.913
			NA 0.000	0.257	0.405	0.000	0.000	0.409	0.000
			K 0.000	0.045	0.045	0.044	0.000	0.046	0.044
			0.000	0.302	0.450	0.044	0.000	0.455	0.044

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.002937 : 0.001295 : 0.000719 : 0.000006 : 0.450630 : 0.01282

LnFO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -65.087800 : 0.818745 : -105.354800 : -54.444120

NI ANALYSE : 68

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	48.13	SI 6.929	SI 0.000	6.813	6.887	6.728	0.000	6.929	6.671
TI02	0.54	TI 0.058	ALIV 0.000	1.187	1.113	1.272	0.000	1.071	1.329
AL203	8.60	AL 1.460	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	13.98	FE2 1.683	ALVI 0.000	0.248	0.338	0.145	0.000	0.389	0.077
MNO	0.43	MN 0.052	TI 0.000	0.057	0.058	0.057	0.000	0.058	0.056
MGO	14.16	MG 3.038	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.770	0.278	1.336	0.000	0.000	1.650
CA0	12.12	CA 1.870	FE2 0.000	0.885	1.306	0.299	0.000	1.514	0.000
NA20	1.28	NA 0.357	MN 0.000	0.052	0.000	0.051	0.000	0.000	0.050
K20	0.14	K 0.026	MG 0.000	2.988	3.020	2.950	0.000	3.038	2.926
CL	0.00	TD 15.474	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.38	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.163	0.000	0.000	0.240
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.089	0.000	0.000	0.169	0.000
			MN 0.000	0.000	0.052	0.000	0.000	0.052	0.000
			CA 0.000	1.839	1.859	1.653	0.000	1.870	1.560
			NA 0.000	0.161	0.000	0.347	0.000	0.000	0.344
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.091	1.904
			NA 0.000	0.190	0.355	0.000	0.000	0.357	0.000
			K 0.000	0.025	0.026	0.025	0.000	0.026	0.025
			0.000	0.215	0.381	0.025	0.000	0.383	0.025

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.008185 : 0.008508 : 0.001322 : 0.000009 : 0.450630 : 0.01282

LnKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -63.187590 : -0.038647 : -103.211100 : -63.690000

NI ANALYSE : 69

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	44.28	SI	6.559	SI	0.000	6.464	6.518	6.318	0.000	6.559	6.280
TI02	0.73	TI	0.081	ALIV	0.000	1.536	1.482	1.682	0.000	1.441	1.720
AL203	11.48	AL	2.005	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.67	FE2	1.942	ALVI	0.000	0.440	0.510	0.250	0.000	0.564	0.199
MNO	0.40	MN	0.050	TI	0.000	0.080	0.081	0.078	0.000	0.081	0.078
MGO	11.57	MG	2.555	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NI0	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.669	0.290	1.689	0.000	0.000	1.692
CA0	11.99	CA	1.903	FE2	0.000	1.245	1.581	0.181	0.000	1.800	0.000
NA20	1.66	NA	0.477	MN	0.000	0.049	0.000	0.048	0.000	0.000	0.048
K20	0.25	K	0.047	MG	0.000	2.517	2.538	2.461	0.000	2.555	2.446
CL	0.00	TO	15.619	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.03	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.293	0.000	0.000	0.337
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.059	0.000	0.000	0.142	0.000
				MN	0.000	0.000	0.050	0.000	0.000	0.050	0.000
				CA	0.000	1.876	1.891	1.541	0.000	1.903	1.486
				NA	0.000	0.124	0.000	0.459	0.000	0.000	0.457
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.095	1.942
				NA	0.000	0.346	0.474	0.000	0.000	0.477	0.000
				K	0.000	0.047	0.047	0.046	0.000	0.047	0.045
					0.000	0.392	0.521	0.046	0.000	0.524	0.045

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.005041 : 0.001504 : 0.000809 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.158380 : 1.209560 : -107.953700 : -53.434110

NI ANALYSE : 70

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	45.82	SI	6.641	SI	0.000	6.506	6.598	6.400	0.000	6.641	6.377
TI02	0.59	TI	0.064	ALIV	0.000	1.494	1.402	1.600	0.000	1.359	1.623
AL203	11.06	AL	1.890	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	14.91	FE2	1.808	ALVI	0.000	0.357	0.476	0.222	0.000	0.531	0.191
MNO	0.62	MN	0.076	TI	0.000	0.063	0.064	0.062	0.000	0.064	0.062
MGO	12.92	MG	2.791	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NI0	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.935	0.294	1.664	0.000	0.000	1.767
CA0	11.76	CA	1.827	FE2	0.000	0.836	1.393	0.078	0.000	1.614	0.000
NA20	1.66	NA	0.467	MN	0.000	0.075	0.000	0.073	0.000	0.000	0.073
K20	0.22	K	0.041	MG	0.000	2.734	2.773	2.690	0.000	2.791	2.680
CL	0.00	TO	15.604	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.56	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.210	0.000	0.000	0.227
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.109	0.000	0.000	0.194	0.000
				MN	0.000	0.000	0.076	0.000	0.000	0.076	0.000
				CA	0.000	1.789	1.815	1.550	0.000	1.827	1.527
				NA	0.000	0.211	0.000	0.450	0.000	0.000	0.448
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.096	1.975
				NA	0.000	0.246	0.464	0.000	0.000	0.467	0.000
				K	0.000	0.040	0.040	0.039	0.000	0.041	0.039
					0.000	0.286	0.504	0.039	0.000	0.507	0.039

Activ. : -EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.003667 : 0.001899 : 0.000926 : 0.000018 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -61.650780 : 0.658034 : -92.073970 : -53.096350

NI ANALYSE : 71

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	44.92	SI 6.565	SI 0.000	6.453	6.507	6.325	0.000	6.565	6.289
TI02	0.66	TI 0.073	ALIV 0.000	1.547	1.493	1.675	0.000	1.435	1.711
AL203	11.38	AL 1.951	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.12	CR 0.014	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	15.70	FE2 1.919	ALVI 0.000	0.380	0.451	0.214	0.000	0.527	0.167
MNO	0.37	MN 0.046	TI 0.000	0.071	0.072	0.070	0.000	0.073	0.070
MGO	12.16	MG 2.649	CR 0.000	0.014	0.014	0.013	0.000	0.014	0.013
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.791	0.407	1.685	0.000	0.000	1.872
CAQ	12.17	CA 1.906	FE2 0.000	1.095	1.431	0.164	0.000	1.738	0.000
NA20	1.54	NA 0.437	MN 0.000	0.045	0.000	0.044	0.000	0.000	0.044
K20	0.24	K 0.045	MG 0.000	2.604	2.626	2.552	0.000	2.649	2.538
CL	0.00	TO 15.615	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.26	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.257	0.000	0.000	0.297
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.065	0.000	0.000	0.182	0.000
			MN 0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.046	0.000
			CA 0.000	1.873	1.889	1.579	0.000	1.906	1.529
			NA 0.000	0.127	0.000	0.421	0.000	0.000	0.418
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.134	1.947
			NA 0.000	0.302	0.433	0.000	0.000	0.437	0.000
			K 0.000	0.044	0.044	0.043	0.000	0.045	0.043
			0.000	0.346	0.477	0.043	0.000	0.481	0.043

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.004730 : 0.001729 : 0.000842 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01782

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -67.332920 : 1.006377 : -108.607600 : -54.250020

NI ANALYSE : 72

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	44.98	SI 6.651	SI 0.000	6.539	6.604	6.413	0.000	-6.651	6.379
TI02	0.85	TI 0.095	ALIV 0.000	1.461	1.396	1.587	0.000	1.349	1.621
AL203	10.40	AL 1.813	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	15.06	FE2 1.863	ALVI 0.000	0.321	0.405	0.162	0.000	0.464	0.118
MNO	0.34	MN 0.043	TI 0.000	0.093	0.094	0.091	0.000	0.095	0.091
MGO	12.52	MG 2.760	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.779	0.324	1.646	0.000	0.000	1.819
CAQ	11.88	CA 1.883	FE2 0.000	1.052	1.437	0.150	0.000	1.681	0.000
NA20	1.57	NA 0.450	MN 0.000	0.042	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041
K20	0.17	K 0.032	MG 0.000	2.713	2.740	2.661	0.000	2.760	2.647
CL	0.00	TO 15.589	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.77	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.249	0.000	0.000	0.285
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.088	0.000	0.000	0.181	0.000
			MN 0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.043	0.000
			CA 0.000	1.851	1.869	1.566	0.000	1.883	1.520
			NA 0.000	0.149	0.000	0.434	0.000	0.000	0.432
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.106	1.952
			NA 0.000	0.293	0.447	0.000	0.000	0.450	0.000
			K 0.000	0.032	0.032	0.031	0.000	0.032	0.031
			0.000	0.325	0.479	0.031	0.000	0.482	0.031

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.005317 : 0.002688 : 0.000901 : 0.000006 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.414940 : 0.854615 : -106.154500 : -58.304940

NI ANALYSE : 73

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	42.89	SI 6.336	SI 0.000	6.204	6.288	6.066	0.000	6.336 6.042
TI02	0.62	TI 0.069	ALIV 0.000	1.796	1.712	1.934	0.000	1.664 1.958
AL203	13.28	AL 2.313	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR203	0.15	CR 0.018	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	17.23	FE2 2.129	ALVI 0.000	0.470	0.583	0.280	0.000	0.650 0.247
MNO	0.35	MN 0.044	TI 0.000	0.067	0.068	0.066	0.000	0.069 0.066
MGO	10.75	MG 2.367	CR 0.000	0.017	0.017	0.017	0.000	0.018 0.017
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.958	0.353	1.964	0.000	0.000 2.067
CAO	11.62	CA 1.840	FE2 0.000	1.127	1.629	0.074	0.000	1.897 0.000
NA20	1.93	NA 0.553	MN 0.000	0.043	0.000	0.042	0.000	0.000 0.042
K20	0.39	K 0.074	MG 0.000	2.318	2.349	2.266	0.000	2.367 2.257
CL	0.00	TO 15.743	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	99.21	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.291	0.000	0.000 0.305
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2 0.000	0.000	0.131	0.000	0.000	0.233 0.000
			MN 0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.044 0.000
			CA 0.000	1.801	1.826	1.471	0.000	1.840 1.449
			NA 0.000	0.199	0.000	0.529	0.000	0.000 0.527
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.116 1.977
			NA 0.000	0.343	0.549	0.000	0.000	0.553 0.000
			K 0.000	0.072	0.073	0.070	0.000	0.074 0.070
			0.000	0.415	0.622	0.070	0.000	0.626 0.070

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.001352 : 0.000301 : 0.000385 : 0.000009 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -70.610590 : 1.502080 : -95.497170 : -51.083540

NI ANALYSE : 74

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	44.32	SI 6.535	SI 0.000	6.422	6.484	6.265	0.000	6.535 6.264
TI02	0.82	TI 0.091	ALIV 0.000	1.578	1.516	1.735	0.000	1.465 1.736
AL203	11.06	AL 1.923	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR203	0.09	CR 0.010	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	15.33	FE2 1.891	ALVI 0.000	0.312	0.392	0.108	0.000	0.458 0.107
MNO	0.32	MN 0.040	TI 0.000	0.089	0.090	0.087	0.000	0.091 0.087
MGO	12.46	MG 2.739	CR 0.000	0.010	0.010	0.010	0.000	0.010 0.010
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.795	0.360	1.813	0.000	0.000 1.845
CAO	11.96	CA 1.890	FE2 0.000	1.063	1.430	0.000	0.000	1.702 0.000
NA20	1.85	NA 0.529	MN 0.000	0.039	0.000	0.038	0.000	0.000 0.038
K20	0.26	K 0.049	MG 0.000	2.691	2.717	2.625	0.000	2.739 2.625
CL	0.00	TO 15.696	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	98.47	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.319	0.000	0.000 0.288
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2 0.000	0.000	0.085	0.000	0.000	0.189 0.000
			MN 0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040 0.000
			CA 0.000	1.857	1.875	1.493	0.000	1.890 1.523
			NA 0.000	0.143	0.000	0.507	0.000	0.000 0.477
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.118 2.000
			NA 0.000	0.377	0.525	0.000	0.000	0.529 0.030
			K 0.000	0.048	0.049	0.047	0.000	0.049 0.047
			0.000	0.425	0.573	0.047	0.000	0.578 0.077

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.007259 : 0.001808 : 0.000680 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01182

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -78.243780 : 1.389966 : -111.001800 : -60.174230

NI ANALYSE : 75

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.26	SI	6.656	SI	0.000	6.528	6.605	6.412	0.000	6.656	6.378
TI02	0.77	TI	0.085	ALIV	0.000	1.472	1.395	1.588	0.000	1.344	1.622
AL203	10.35	AL	1.795	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.48	FE2	1.904	ALVI	0.000	0.288	0.386	0.142	0.000	0.451	0.097
MNO	0.30	MN	0.037	TI	0.000	0.084	0.085	0.082	0.000	0.085	0.082
MGO	12.67	MG	2.777	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.884	0.353	1.683	0.000	0.000	1.857
CAO	11.81	CA	1.861	FE2	0.000	0.984	1.421	0.152	0.000	1.687	0.000
NA20	1.59	NA	0.453	MN	0.000	0.037	0.000	0.036	0.000	0.000	0.036
K20	0.20	K	0.038	MG	0.000	2.724	2.756	2.676	0.000	2.777	2.661
CL	0.00	TO	15.607	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.43	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.230	0.000	0.000	0.267
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.116	0.000	0.000	0.217	0.000
				MN	0.000	0.000	0.037	0.000	0.000	0.037	0.000
				CA	0.000	1.826	1.847	1.563	0.000	1.861	1.517
				NA	0.000	0.174	0.000	0.437	0.000	0.000	0.435
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.116	1.951
				NA	0.000	0.270	0.450	0.000	0.000	0.453	0.000
				K	0.000	0.037	0.037	0.036	0.000	0.038	0.036
					0.000	0.307	0.487	0.036	0.000	0.491	0.036

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.005314 : 0.002496 : 0.000805 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.979200 : 0.755719 : -103.363700 : -60.154840

NI ANALYSE : 76

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.15	SI	6.595	SI	0.000	6.472	6.557	6.346	0.000	6.595	6.319
TI02	0.81	TI	0.089	ALIV	0.000	1.528	1.443	1.654	0.000	1.405	1.681
AL203	11.10	AL	1.912	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.08	CR	0.009		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.60	FE2	1.906	ALVI	0.000	0.348	0.458	0.186	0.000	0.507	0.151
MNO	0.22	MN	0.027	TI	0.000	0.087	0.088	0.086	0.000	0.089	0.085
MGO	12.44	MG	2.709	CR	0.000	0.009	0.009	0.009	0.000	0.009	0.009
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.859	0.265	1.736	0.000	0.000	1.859
CAO	11.75	CA	1.839	FE2	0.000	1.012	1.487	0.099	0.000	1.686	0.000
NA20	1.77	NA	0.501	MN	0.000	0.027	0.000	0.026	0.000	0.000	0.026
K20	0.19	K	0.035	MG	0.000	2.658	2.693	2.606	0.000	2.709	2.595
CL	0.00	TO	15.624	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.11	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.253	0.000	0.000	0.274
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.144	0.000	0.000	0.220	0.000
				MN	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.027	0.000
				CA	0.000	1.805	1.829	1.518	0.000	1.839	1.488
				NA	0.000	0.195	0.000	0.482	0.000	0.000	0.480
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.087	1.969
				NA	0.000	0.297	0.499	0.000	0.000	0.501	0.000
				K	0.000	0.035	0.035	0.034	0.000	0.035	0.034
					0.000	0.332	0.534	0.034	0.000	0.537	0.034

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.004624 : 0.001780 : 0.000789 : 0.000011 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.660980 : 0.954571 : -97.652200 : -56.251570

NI ANALYSE : 77

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.12	SI	6.683	SI	0.000	6.549	6.649	6.447	0.000	6.683	6.412
TI02	0.73	TI	0.080	ALIV	0.000	1.451	1.351	1.553	0.000	1.317	1.588
AL203	10.64	AL	1.818	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.04	CR	0.005		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.24	FE2	1.847	ALVI	0.000	0.331	0.458	0.201	0.000	0.501	0.156
MNO	0.33	MN	0.041	TI	0.000	0.078	0.079	0.077	0.000	0.080	0.076
MGO	12.93	MG	2.793	CR	0.000	0.004	0.005	0.004	0.000	0.005	0.004
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.921	0.233	1.622	0.000	0.000	1.804
CAO	11.66	CA	1.811	FE2	0.000	0.889	1.447	0.160	0.000	1.622	0.000
NA2O	1.68	NA	0.472	MN	0.000	0.040	0.000	0.039	0.000	0.000	0.039
K2O	0.15	K	0.028	MG	0.000	2.737	2.779	2.694	0.000	2.793	2.679
CL	0.00	TO	15.576	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.52	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.202	0.000	0.000	0.241
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.158	0.000	0.000	0.225	0.000
				MN	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.041	0.000
				CA	0.000	1.774	1.802	1.545	0.000	1.811	1.496
				NA	0.000	0.226	0.000	0.455	0.000	0.000	0.453
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.076	1.949
				NA	0.000	0.237	0.470	0.000	0.000	0.472	0.000
				K	0.000	0.027	0.028	0.027	0.000	0.028	0.027
					0.000	0.264	0.497	0.027	0.000	0.500	0.027

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.003983 : 0.002305 : 0.000919 : 0.000018 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -62.911850 : 0.547146 : -91.533500 : -55.798950

NI ANALYSE : 78

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	44.97	SI	6.652	SI	0.000	6.534	6.604	6.398	0.000	6.652	6.379
TI02	0.74	TI	0.082	ALIV	0.000	1.466	1.396	1.602	0.000	1.348	1.621
AL203	10.19	AL	1.777	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	15.13	FE2	1.872	ALVI	0.000	0.280	0.368	0.108	0.000	0.430	0.083
MNO	0.49	MN	0.061	TI	0.000	0.081	0.082	0.079	0.000	0.082	0.079
MGO	12.65	MG	2.789	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.817	0.336	1.756	0.000	0.000	1.827
CAO	11.83	CA	1.875	FE2	0.000	1.022	1.445	0.045	0.000	1.698	0.000
NA2O	1.69	NA	0.485	MN	0.000	0.060	0.000	0.059	0.000	0.000	0.059
K2O	0.25	K	0.047	MG	0.000	2.740	2.769	2.683	0.000	2.789	2.675
CL	0.00	TO	15.643	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.94	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.270	0.000	0.000	0.277
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.077	0.000	0.000	0.174	0.000
				MN	0.000	0.000	0.061	0.000	0.000	0.061	0.000
				CA	0.000	1.842	1.862	1.534	0.000	1.875	1.521
				NA	0.000	0.158	0.000	0.466	0.000	0.000	0.465
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.111	1.986
				NA	0.000	0.318	0.481	0.000	0.000	0.485	0.000
				K	0.000	0.046	0.047	0.045	0.000	0.047	0.045
					0.000	0.365	0.528	0.045	0.000	0.532	0.045

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.007089 : 0.002601 : 0.000759 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -75.179800 : 1.002506 : -107.632000 : -62.147220

NI ANALYSE : 79

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	47.63	SI 6.562	SI 0.000	6.431	6.561	6.336	0.000	6.562 6.322
TI02	0.74	TI 0.077	ALIV 0.000	1.569	1.439	1.664	0.000	1.438 1.678
AL203	13.14	AL 2.135	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR203	0.13	CR 0.014	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	14.38	FE2 1.657	ALVI 0.000	0.523	0.695	0.397	0.000	0.696 0.378
MNO	0.38	MN 0.044	TI 0.000	0.075	0.077	0.074	0.000	0.077 0.074
MGO	13.52	MG 2.776	CR 0.000	0.014	0.014	0.014	0.000	0.014 0.014
NID	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.919	0.009	1.583	0.000	0.000 1.625
CAO	11.77	CA 1.738	FE2 0.000	0.705	1.430	0.017	0.000	1.436 0.000
NA20	1.99	NA 0.532	MN 0.000	0.043	0.000	0.043	0.000	0.000 0.043
K20	0.21	K 0.037	MG 0.000	2.721	2.776	2.681	0.000	2.776 2.675
CL	0.00	TD 15.571	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	103.89	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.191	0.000	0.000 0.191
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2 0.000	0.000	0.218	0.000	0.000	0.221 0.000
			MN 0.000	0.000	0.044	0.000	0.000	0.044 0.000
			CA 0.000	1.703	1.737	1.487	0.000	1.738 1.483
			NA 0.000	0.297	0.000	0.513	0.000	0.000 0.512
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.003 1.995
			NA 0.000	0.224	0.532	0.000	0.000	0.532 0.000
			K 0.000	0.036	0.037	0.036	0.000	0.037 0.036
			0.000	0.260	0.568	0.036	0.000	0.569 0.036

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.001944 : 0.001049 : 0.001047 : 0.000076 : 0.450630 : 0.01280

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -50.324820 : 0.616316 : -73.799060 : -42.312710

NI ANALYSE : 81

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	43.65	SI 6.376	SI 0.000	6.253	6.354	6.138	0.000	6.376 6.110
TI02	0.52	TI 0.057	ALIV 0.000	1.747	1.646	1.862	0.000	1.624 1.890
AL203	13.98	AL 2.408	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
CR203	0.12	CR 0.014	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FEO	15.58	FE2 1.904	ALVI 0.000	0.614	0.754	0.456	0.000	0.784 0.417
MNO	0.30	MN 0.037	TI 0.000	0.056	0.057	0.055	0.000	0.057 0.055
MGO	11.30	MG 2.461	CR 0.000	0.014	0.014	0.013	0.000	0.014 0.013
NID	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.891	0.160	1.719	0.000	0.000 1.857
CAO	11.47	CA 1.796	FE2 0.000	0.976	1.563	0.114	0.000	1.584 0.000
NA20	1.87	NA 0.530	MN 0.000	0.036	0.000	0.036	0.000	0.000 0.036
K20	0.41	K 0.076	MG 0.000	2.413	2.452	2.369	0.000	2.461 2.358
CL	0.00	TD 15.659	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	99.20	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.239	0.000	0.000 0.264
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2 0.000	0.000	0.174	0.000	0.000	0.220 0.000
			MN 0.000	0.000	0.037	0.000	0.000	0.037 0.000
			CA 0.000	1.761	1.789	1.490	0.000	1.796 1.456
			NA 0.000	0.239	0.000	0.510	0.000	0.000 0.508
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.052 1.964
			NA 0.000	0.280	0.528	0.000	0.000	0.530 0.000
			K 0.000	0.075	0.076	0.074	0.000	0.076 0.073
			0.000	0.355	0.604	0.074	0.000	0.605 0.073

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.001112 : 0.000351 : 0.000604 : 0.000040 : 0.450630 : 0.01280

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -56.835030 : 1.152639 : -78.798960 : -41.850720

NI ANALYSE : 82

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				= 8	= 13	= 15	= 15	= 16			
SI02	40.87	SI	6.287	SI	0.000	6.182	6.268	6.055	0.000	6.287	6.014
TI02	0.61	TI	0.071	ALIV	0.000	1.818	1.732	1.945	0.000	1.713	1.986
AL203	14.38	AL	2.608	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	15.38	FE2	1.979	ALVI	0.000	0.747	0.868	0.568	0.000	0.895	0.510
MNO	0.29	MN	0.038	TI	0.000	0.069	0.070	0.068	0.000	0.071	0.068
MGO	9.76	MG	2.238	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.768	0.140	1.695	0.000	0.000	1.927
CA0	11.07	CA	1.825	FE2	0.000	1.178	1.690	0.211	0.000	1.796	0.000
NA20	1.77	NA	0.528	MN	0.000	0.037	0.000	0.036	0.000	0.000	0.036
K20	0.29	K	0.057	MG	0.000	2.201	2.231	2.155	0.000	2.238	2.141
CL	0.00	TO	15.631	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	94.42	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.266	0.000	0.000	0.319
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.183	0.000
				MN	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.038	0.000
				CA	0.000	1.795	1.819	1.491	0.000	1.825	1.427
				NA	0.000	0.205	0.000	0.509	0.000	0.000	0.505
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.046	1.932
				NA	0.000	0.314	0.526	0.000	0.000	0.528	0.000
				K	0.000	0.056	0.057	0.055	0.000	0.057	0.054
					0.000	0.370	0.583	0.055	0.000	0.585	0.054

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.000745 : 0.000189 : 0.000477 : 0.000023 : 0.450630 : 0.0128

LnkD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -57.509270 : 1.370352 : -84.896590 : -39.694660

NI ANALYSE : ~~33AMS A-~~
~~AAAMS~~

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				= 8	= 13	= 15	= 15	= 16			
SI02	45.61	SI	6.749	SI	0.000	6.647	6.722	6.507	0.000	6.749	6.531
TI02	0.81	TI	0.090	ALIV	0.000	1.353	1.278	1.483	0.000	1.251	1.469
AL203	9.05	AL	1.579	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.15	CR	0.018		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.75	FE2	1.454	ALVI	0.000	0.203	0.295	0.030	0.000	0.328	0.060
MNO	0.37	MN	0.046	TI	0.000	0.089	0.090	0.087	0.000	0.090	0.087
MGO	14.79	MG	3.262	CR	0.000	0.017	0.017	0.017	0.000	0.018	0.017
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.696	0.185	1.402	0.000	0.000	1.433
CA0	11.74	CA	1.862	FE2	0.000	0.740	1.164	0.000	0.000	1.302	0.000
NA20	1.73	NA	0.496	MN	0.000	0.046	0.000	0.045	0.000	0.000	0.045
K20	0.57	K	0.108	MG	0.000	3.213	3.249	3.145	0.000	3.262	3.157
CL	0.00	TO	15.565	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.57	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.274	0.000	0.000	0.202
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.152	0.000
				MN	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.046	0.000
				CA	0.000	1.834	1.854	1.521	0.000	1.862	1.600
				NA	0.000	0.166	0.000	0.479	0.000	0.000	0.400
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.050	2.000
				NA	0.000	0.323	0.494	0.000	0.000	0.496	0.081
				K	0.000	0.108	0.107	0.104	0.000	0.108	0.104
				NA	0.000	0.439	0.602	0.104	0.000	0.504	0.185

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.020329 : 0.007533 : 0.001009 : 0.000004 : 0.450630 : 0.0128

LnkD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -81.762970 : 0.992706 : -111.147800 : -68.857800

NO ANALYSE : 85

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.15	SI	6.781	SI	0.000	6.681	6.753	6.542	0.000	6.781	6.556
TIO2	0.78	TI	0.086	ALIV	0.000	1.319	1.247	1.452	0.000	1.219	1.444
AL203	8.69	AL	1.506	FE3	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000
CR203	0.41	CR	0.048		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.20	FE2	1.500	ALVI	0.000	0.165	0.253	0.000	0.000	0.287	0.012
MNO	0.23	MN	0.029	TI	0.000	0.085	0.086	0.083	0.000	0.086	0.083
MGO	14.82	MG	3.246	CR	0.000	0.047	0.047	0.046	0.000	0.046	0.046
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.679	0.191	1.440	0.000	0.000	1.476
CAO	11.86	CA	1.868	FE2	0.000	0.798	1.191	0.000	0.000	1.333	0.000
NA2O	1.71	NA	0.487	MN	0.000	0.028	0.000	0.028	0.000	0.000	0.028
K2O	0.53	K	0.099	MG	0.000	3.198	3.232	3.131	0.000	3.246	3.136
CL	0.00	TO	15.649	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.38	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.272	0.000	0.000	0.217
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.112	0.000	0.000	0.166	0.000
				MN	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.029	0.000
				CA	0.000	1.840	1.860	1.530	0.000	1.868	1.586
				NA	0.000	0.160	0.000	0.470	0.000	0.000	0.412
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.063	2.000
				NA	0.000	0.320	0.485	0.000	0.000	0.487	0.059
				K	0.000	0.098	0.099	0.096	0.000	0.099	0.096
					0.000	0.418	0.584	0.096	0.000	0.587	0.155

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.020756 : 0.008205 : 0.000836 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01281

LnKD. : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -86.749940 : 0.928067 : -116.080400 : -74.685080

NO ANALYSE : 86

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.07	SI	6.891	SI	0.000	6.582	6.632	6.426	0.000	6.691	6.456
TIO2	0.89	TI	0.099	ALIV	0.000	1.418	1.368	1.479	0.000	1.309	1.486
AL203	8.80	AL	1.540	FE3	0.000	0.000	0.000	0.094	0.000	0.000	0.058
CR203	0.10	CR	0.012		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.80	FE2	1.590	ALVI	0.000	0.097	0.158	0.000	0.000	0.232	0.000
MNO	0.19	MN	0.024	TI	0.000	0.098	0.099	0.095	0.000	0.099	0.096
MGO	14.73	MG	3.260	CR	0.000	0.012	0.012	0.011	0.000	0.012	0.011
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.751	0.409	1.432	0.000	0.000	1.504
CAO	12.06	CA	1.919	FE2	0.000	0.812	1.092	0.000	0.000	1.398	0.000
NA2O	1.68	NA	0.484	MN	0.000	0.024	0.000	0.023	0.000	0.000	0.023
K2O	0.60	K	0.114	MG	0.000	3.206	3.231	3.131	0.000	3.260	3.145
CL	0.00	TO	15.732	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.92	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.307	0.000	0.000	0.221
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.075	0.000	0.000	0.192	0.000
				MN	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.024	0.000
				CA	0.000	1.887	1.902	1.535	0.000	1.919	1.630
				NA	0.000	0.113	0.000	0.465	0.000	0.000	0.370
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.135	2.000
				NA	0.000	0.363	0.479	0.000	0.000	0.484	0.097
				K	0.000	0.112	0.113	0.109	0.000	0.114	0.110
					0.000	0.475	0.592	0.109	0.000	0.597	0.207

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.010990 : 0.006864 : 0.000450 : 0.000000 : 0.450630 : 0.01281

LnKD. : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -93.949790 : 0.470741 : -136.690400 : -87.830170

NI ANALYSE : 87

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	47.12	SI 6.702	SI 0.000	6.596	6.673	6.458	0.000	6.702	6.489
TI02	0.80	TI 0.086	ALIV 0.000	1.404	1.327	1.542	0.000	1.298	1.511
AL203	9.66	AL 1.620	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.36	CR 0.040	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.02	FE2 1.430	ALVI 0.000	0.190	0.286	0.019	0.000	0.322	0.058
MNO	0.37	MN 0.046	TI 0.000	0.084	0.085	0.082	0.000	0.086	0.083
MGO	15.50	MG 3.286	CR 0.000	0.040	0.040	0.039	0.000	0.040	0.039
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.728	0.201	1.378	0.000	0.000	1.410
CA0	12.18	CA 1.857	FE2 0.000	0.679	1.116	0.000	0.000	1.266	0.000
NA20	1.82	NA 0.502	MN 0.000	0.044	0.000	0.043	0.000	0.000	0.043
X20	0.72	K 0.131	MG 0.000	3.234	3.272	3.166	0.000	3.286	3.182
CL	0.00	TD 15.698	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	100.55	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.273	0.000	0.000	0.185
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			ME 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.107	0.000	0.000	0.164	0.000
			MN 0.000	0.000	0.044	0.000	0.000	0.045	0.000
			CA 0.000	1.827	1.848	1.516	0.000	1.857	1.613
			NA 0.000	0.173	0.000	0.484	0.000	0.000	0.387
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.066	2.000
			NA 0.000	0.321	0.500	0.000	0.000	0.502	0.099
			K 0.000	0.129	0.130	0.126	0.000	0.131	0.127
			0.000	0.450	0.630	0.126	0.000	0.633	0.225

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.019580 : 0.006543 : 0.000891 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01281

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -84.385810 : 1.096061 : -112.099400 : -70.137030

NI ANALYSE : 88

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	46.31	SI 6.667	SI 0.000	6.578	6.636	6.431	0.000	6.667	6.454
TI02	0.66	TI 0.071	ALIV 0.000	1.422	1.364	1.569	0.000	1.333	1.546
AL203	10.47	AL 1.777	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.95	FE2 1.439	ALVI 0.000	0.332	0.404	0.145	0.000	0.444	0.175
MNO	0.38	MN 0.046	TI 0.000	0.071	0.071	0.069	0.000	0.071	0.069
MGO	14.79	MG 3.174	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.611	0.217	1.388	0.000	0.000	1.418
CA0	12.29	CA 1.896	FE2 0.000	0.809	1.148	0.000	0.000	1.310	0.000
NA20	1.72	NA 0.480	MN 0.000	0.046	0.000	0.045	0.000	0.000	0.045
X20	0.67	K 0.123	MG 0.000	3.132	3.159	3.061	0.000	3.174	3.073
CL	0.00	TD 15.674	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.24	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.292	0.000	0.000	0.220
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.129	0.000
			MN 0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.046	0.000
			CA 0.000	1.871	1.867	1.537	0.000	1.896	1.615
			NA 0.000	0.129	0.000	0.463	0.000	0.000	0.385
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.071	2.000
			NA 0.000	0.345	0.478	0.000	0.000	0.480	0.080
			K 0.000	0.121	0.122	0.119	0.000	0.123	0.119
			0.000	0.466	0.600	0.119	0.000	0.603	0.199

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.019117 : 0.005722 : 0.001401 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01281

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -72.757020 : 1.206210 : -110.063600 : -57.076300

NI ANALYSE : 89

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	49.31	SI	6.879	SI	0.000	6.738	6.853	6.666	0.000	6.879	6.672
TI02	0.71	TI	0.075	ALIV	0.000	1.262	1.147	1.334	0.000	1.121	1.328
AL203	8.77	AL	1.443	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.21	CR	0.023		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	11.62	FE2	1.356	ALVI	0.000	0.151	0.290	0.064	0.000	0.322	0.071
MNO	0.24	MN	0.028	TI	0.000	0.073	0.074	0.072	0.000	0.075	0.072
MGO	16.68	MG	3.468	CR	0.000	0.023	0.023	0.022	0.000	0.023	0.022
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.943	0.175	1.314	0.000	0.000	1.339
CAO	11.94	CA	1.785	FE2	0.000	0.385	0.983	0.000	0.000	1.112	0.000
NA20	1.56	NA	0.422	MN	0.000	0.028	0.000	0.027	0.000	0.000	0.028
K20	0.51	K	0.091	MG	0.000	3.397	3.455	3.361	0.000	3.468	3.364
CL	0.00	TO	15.570	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	101.55	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.133	0.000	0.000	0.104
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.193	0.000	0.000	0.244	0.000
				MN	0.000	0.000	0.028	0.000	0.000	0.028	0.000
				CA	0.000	1.748	1.778	1.591	0.000	1.785	1.627
				NA	0.000	0.252	0.000	0.409	0.000	0.000	0.373
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.057	2.000
				NA	0.000	0.162	0.420	0.000	0.000	0.422	0.036
				K	0.000	0.089	0.090	0.088	0.000	0.091	0.088
					0.000	0.251	0.511	0.088	0.000	0.513	0.125

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.010609 : 0.011241 : 0.001114 : 0.000011 : 0.450530 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -70.841030 : -0.057823 : -99.585060 : -71.592720

NI ANALYSE : 90

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	47.21	SI	6.847	SI	0.000	6.739	6.823	6.620	0.000	6.847	6.630
TI02	0.75	TI	0.082	ALIV	0.000	1.261	1.177	1.380	0.000	1.153	1.370
AL203	8.48	AL	1.450	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.11	CR	0.013		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	11.75	FE2	1.425	ALVI	0.000	0.166	0.268	0.022	0.000	0.297	0.034
MNO	0.28	MN	0.034	TI	0.000	0.081	0.082	0.079	0.000	0.082	0.079
MGO	15.53	MG	3.357	CR	0.000	0.012	0.013	0.012	0.000	0.013	0.012
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.725	0.162	1.378	0.000	0.000	1.405
CAO	11.87	CA	1.845	FE2	0.000	0.678	1.131	0.000	0.000	1.252	0.000
NA20	1.64	NA	0.461	MN	0.000	0.034	0.000	0.033	0.000	0.000	0.033
K20	0.61	K	0.113	MG	0.000	3.304	3.345	3.246	0.000	3.357	3.251
CL	0.00	TO	15.627	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.23	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.230	0.000	0.000	0.185
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.127	0.000	0.000	0.174	0.000
				MN	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.034	0.000
				CA	0.000	1.816	1.838	1.554	0.000	1.845	1.602
				NA	0.000	0.184	0.000	0.446	0.000	0.000	0.398
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.053	2.000
				NA	0.000	0.270	0.460	0.000	0.000	0.461	0.048
				K	0.000	0.111	0.112	0.109	0.000	0.113	0.109
					0.000	0.381	0.572	0.109	0.000	0.574	0.158

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.020251 : 0.010655 : 0.000999 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -81.956230 : 0.642199 : -110.196800 : -73.607640

NI ANALYSE : 91

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	48.94	SI	6.864	SI	0.000	6.725	6.839	6.641	0.000	6.864	6.651
TI02	0.68	TI	0.072	ALIV	0.000	1.275	1.161	1.359	0.000	1.136	1.349
AL203	8.97	AL	1.463	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.12	CR	0.013		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.92	FE2	1.398	ALVI	0.000	0.179	0.317	0.076	0.000	0.347	0.088
MND	0.23	MN	0.027	TI	0.000	0.070	0.071	0.069	0.000	0.072	0.070
MG0	16.31	MG	3.410	CR	0.000	0.013	0.013	0.013	0.000	0.013	0.013
NI0	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.927	0.166	1.353	0.000	0.000	1.379
CA0	11.89	CA	1.787	FE2	0.000	0.444	1.035	0.000	0.000	1.158	0.000
NA20	1.65	NA	0.449	MN	0.000	0.027	0.000	0.026	0.000	0.000	0.026
K20	0.42	K	0.075	MG	0.000	3.341	3.397	3.299	0.000	3.410	3.304
CL	0.00	TO	15.578	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	101.13	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.163	0.000	0.000	0.120
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.192	0.000	0.000	0.240	0.000
				MN	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.027	0.000
				CA	0.000	1.751	1.781	1.566	0.000	1.787	1.611
				NA	0.000	0.249	0.000	0.434	0.000	0.000	0.389
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.054	2.000
				NA	0.000	0.191	0.447	0.000	0.000	0.449	0.046
				K	0.000	0.074	0.075	0.073	0.000	0.075	0.073
					0.000	0.264	0.522	0.073	0.000	0.524	0.119

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.011547 : 0.010086 : 0.001219 : 0.000014 : 0.450630 : 0.01282

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.685310 : 0.135285 : -37.116390 : -67.926600

NI ANALYSE : 92

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	48.54	SI	6.848	SI	0.000	6.730	6.835	6.636	0.000	6.848	6.628
TI02	0.56	TI	0.059	ALIV	0.000	1.270	1.165	1.364	0.000	1.152	1.372
AL203	9.35	AL	1.555	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.33	CR	0.037		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.28	FE2	1.449	ALVI	0.000	0.259	0.387	0.143	0.000	0.403	0.133
MND	0.27	MN	0.032	TI	0.000	0.058	0.059	0.058	0.000	0.059	0.058
MG0	15.44	MG	3.247	CR	0.000	0.036	0.037	0.036	0.000	0.037	0.036
NI0	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.792	0.087	1.404	0.000	0.000	1.428
CA0	11.91	CA	1.801	FE2	0.000	0.632	1.189	0.000	0.000	1.254	0.000
NA20	1.65	NA	0.451	MN	0.000	0.032	0.000	0.031	0.000	0.000	0.031
K20	0.47	K	0.085	MG	0.000	3.191	3.241	3.146	0.000	3.247	3.143
CL	0.00	TD	15.565	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	100.80	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.182	0.000	0.000	0.172
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.171	0.000	0.000	0.196	0.000
				MN	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.032	0.000
				CA	0.000	1.770	1.797	1.563	0.000	1.801	1.571
				NA	0.000	0.230	0.000	0.437	0.000	0.000	0.429
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.029	2.000
				NA	0.000	0.213	0.451	0.000	0.000	0.451	0.008
				K	0.000	0.083	0.084	0.082	0.000	0.085	0.082
					0.000	0.296	0.535	0.082	0.000	0.536	0.090

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.010952 : 0.008278 : 0.001452 : 0.000020 : 0.450630 : 0.01282

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -64.627940 : 0.279927 : -93.247060 : -60.988890

NI ANALYSE : 93

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			= 8	= 13	= 15	= 15	= 16		
SI02	47.44	SI 6.819	SI 0.000	6.724	0.000	6.598	0.000	6.819	6.601
TI02	0.89	TI 0.096	ALIV 0.000	1.276	0.000	1.402	0.000	1.181	1.399
AL203	9.23	AL 1.564	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.21	CR 0.024	0.000	8.000	0.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.02	FE2 1.445	ALVI 0.000	0.267	0.000	0.112	0.000	0.383	0.115
MNO	0.35	MN 0.043	TI 0.000	0.095	0.000	0.093	0.000	0.096	0.093
MGO	14.90	MG 3.192	CR 0.000	0.024	0.000	0.023	0.000	0.024	0.023
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.641	0.000	1.398	0.000	0.000	1.424
CA0	11.72	CA 1.805	FE2 0.000	0.784	0.000	0.000	0.000	1.304	0.000
NA20	1.84	NA 0.513	MN 0.000	0.042	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041
K20	0.49	K 0.090	MG 0.000	3.148	0.000	3.089	0.000	3.192	3.090
CL	0.00	TO 15.592	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.09	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.243	0.000	0.000	0.214
			0.000	5.000	0.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.141	0.000
			MN 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000
			CA 0.000	1.780	0.000	1.504	0.000	1.805	1.534
			NA 0.000	0.220	0.000	0.496	0.000	0.011	0.466
			0.000	2.000	0.000	2.000	0.000	2.000	2.000
			NA 0.000	0.286	0.000	0.000	0.000	0.502	0.030
			K 0.000	0.089	0.000	0.087	0.000	0.090	0.087
			0.000	0.375	0.000	0.087	0.000	0.592	0.117

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.015455 : 0.007666 : 0.001285 : 0.000015 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -72.157750 : 0.701085 : -96.173360 : -63.043650

NI ANALYSE : 94

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			= 8	= 13	= 15	= 15	= 16		
SI02	46.98	SI 6.837	SI 0.000	6.764	0.000	6.618	0.000	6.837	6.622
TI02	0.88	TI 0.096	ALIV 0.000	1.236	0.000	1.382	0.000	1.163	1.378
AL203	8.70	AL 1.493	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.48	CR 0.055	0.000	8.000	0.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.62	FE2 1.414	ALVI 0.000	0.241	0.000	0.063	0.000	0.330	0.068
MNO	0.33	MN 0.041	TI 0.000	0.095	0.000	0.093	0.000	0.096	0.093
MGO	14.77	MG 3.204	CR 0.000	0.055	0.000	0.053	0.000	0.055	0.054
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.490	0.000	1.369	0.000	0.000	1.395
CA0	11.90	CA 1.856	FE2 0.000	0.909	0.000	0.000	0.000	1.315	0.000
NA20	1.77	NA 0.500	MN 0.000	0.040	0.000	0.039	0.000	0.000	0.039
K20	0.51	K 0.095	MG 0.000	3.170	0.000	3.101	0.000	3.204	3.103
CL	0.00	TO 15.590	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.94	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.280	0.000	0.000	0.248
			0.000	5.000	0.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.099	0.000
			MN 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000
			CA 0.000	1.836	0.000	1.516	0.000	1.856	1.550
			NA 0.000	0.164	0.000	0.484	0.000	0.004	0.450
			0.000	2.000	0.000	2.000	0.000	2.000	2.000
			NA 0.000	0.330	0.000	0.000	0.000	0.495	0.034
			K 0.000	0.094	0.000	0.092	0.000	0.095	0.092
			0.000	0.424	0.000	0.092	0.000	0.590	0.125

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.022177 : 0.009195 : 0.001182 : 0.000006 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -78.947960 : 0.880450 : -107.448900 : -67.502100

NI ANALYSE : 95

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	47.97	SI 6.921	SI 0.000	6.824	6.899	6.706	0.000	6.921	6.702	
TI02	0.66	TI 0.072	ALIV 0.000	1.176	1.101	1.294	0.000	1.079	1.298	
AL203	8.00	AL 1.361	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.17	CR 0.019	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FE0	11.85	FE2 1.430	ALVI 0.000	0.166	0.255	0.024	0.000	0.282	0.019	
MNO	0.24	MN 0.029	TI 0.000	0.071	0.071	0.069	0.000	0.072	0.069	
MG0	15.59	MG 3.353	CR 0.000	0.019	0.019	0.019	0.000	0.019	0.019	
NI0	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.647	0.149	1.386	0.000	0.000	1.410	
CA0	12.05	CA 1.863	FE2 0.000	0.763	1.163	0.000	0.000	1.274	0.000	
NA20	1.55	NA 0.434	MN 0.000	0.029	0.000	0.028	0.000	0.000	0.028	
K20	0.56	K 0.103	MG 0.000	3.306	3.342	3.248	0.000	3.353	3.246	
CL	0.00	TD 15.585	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	98.64	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.225	0.000	0.000	0.208	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.114	0.000	0.000	0.156	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.029	0.000	
			CA 0.000	1.837	1.857	1.580	0.000	1.863	1.596	
			NA 0.000	0.163	0.000	0.420	0.000	0.000	0.404	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.049	2.000	
			NA 0.000	0.265	0.432	0.000	0.000	0.434	0.016	
			K 0.000	0.102	0.103	0.100	0.000	0.103	0.100	
			0.000	0.366	0.535	0.100	0.000	0.537	0.116	

Activ. : EDEN : TREM : MG_HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.022179 : 0.013568 : 0.001080 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -81.200970 : 0.491410 : -112.630000 : -74.812630

NI ANALYSE : 96

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	47.27	SI 6.811	SI 0.000	6.730	6.789	6.582	0.000	6.811	6.598	
TI02	0.74	TI 0.080	ALIV 0.000	1.270	1.211	1.418	0.000	1.189	1.402	
AL203	8.87	AL 1.507	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.25	CR 0.028	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FE0	11.65	FE2 1.404	ALVI 0.000	0.219	0.292	0.038	0.000	0.318	0.058	
MNO	0.20	MN 0.024	TI 0.000	0.079	0.080	0.078	0.000	0.080	0.078	
MG0	15.37	MG 3.301	CR 0.000	0.028	0.028	0.028	0.000	0.028	0.028	
NI0	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.544	0.144	1.357	0.000	0.000	1.385	
CA0	12.25	CA 1.891	FE2 0.000	0.844	1.166	0.000	0.000	1.273	0.000	
NA20	1.70	NA 0.475	MN 0.000	0.024	0.000	0.024	0.000	0.000	0.024	
K20	0.62	K 0.114	MG 0.000	3.262	3.291	3.190	0.000	3.301	3.198	
CL	0.00	TD 15.636	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	98.92	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.287	0.000	0.000	0.230	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.131	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.024	0.000	
			CA 0.000	1.869	1.886	1.541	0.000	1.891	1.602	
			NA 0.000	0.131	0.000	0.459	0.000	0.000	0.398	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.047	2.000	
			NA 0.000	0.339	0.474	0.000	0.000	0.475	0.063	
			K 0.000	0.113	0.114	0.110	0.000	0.114	0.110	
			0.000	0.451	0.587	0.110	0.000	0.589	0.173	

Activ. : EDEN : TREM : MG_HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.027415 : 0.010086 : 0.001169 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -81.965370 : 0.999981 : -116.192000 : -68.965610

NI ANALYSE : 97

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	46.93	SI 6.916	SI 0.000	6.816	6.893	6.704	0.000	6.916 6.678
TI02	0.81	TI 0.090	ALIV 0.000	1.184	1.107	1.296	0.000	1.084 1.312
AL203	7.82	AL 1.359	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.010
CR203	0.07	CR 0.008	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FE0	12.60	FE2 1.553	ALVI 0.000	0.155	0.247	0.022	0.000	0.274 0.000
MND	0.24	MN 0.030	TI 0.000	0.088	0.089	0.087	0.000	0.090 0.087
MGO	14.73	MG 3.235	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008 0.008
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.666	0.152	1.405	0.000	0.000 1.517
CA0	11.77	CA 1.859	FE2 0.000	0.865	1.278	0.100	0.000	1.392 0.000
NA20	1.48	NA 0.423	MN 0.000	0.030	0.000	0.029	0.000	0.000 0.029
X20	0.53	K 0.100	MG 0.000	3.189	3.225	3.137	0.000	3.235 3.124
CL	0.00	TO 15.572	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	96.98	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.212	0.000	0.000 0.235
				0.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2	0.000	0.000	0.118	0.000	0.161 0.000
			MN	0.000	0.000	0.030	0.000	0.030 0.000
			CA	0.000	1.832	1.853	1.590	0.000 1.859 1.560
			NA	0.000	0.168	0.000	0.410	0.000 0.000 0.408
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000 2.050 1.968
			NA	0.000	0.249	0.422	0.000	0.423 0.000
			K	0.000	0.098	0.099	0.097	0.000 0.100 0.096
				0.000	0.347	0.521	0.097	0.000 0.523 0.096

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.017926 : 0.012107 : 0.000937 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -81.981860 : 0.392474 : -112.977800 : -76.879700

NI ANALYSE : 98

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+
			=8	=13	=15	=15	=16	
SI02	46.49	SI 6.885	SI 0.000	6.760	6.829	6.651	0.000	6.885 6.656
TI02	0.62	TI 0.069	ALIV 0.000	1.240	1.171	1.296	0.000	1.115 1.297
AL203	7.68	AL 1.341	FE3 0.000	0.000	0.000	0.053	0.000	0.000 0.048
CR203	0.04	CR 0.005	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000 8.000
FE0	12.11	FE2 1.500	ALVI 0.000	0.077	0.160	0.000	0.000	0.226 0.000
MND	0.34	MN 0.043	TI 0.000	0.068	0.069	0.067	0.000	0.069 0.067
MGO	15.39	MG 3.397	CR 0.000	0.005	0.005	0.005	0.000	0.005 0.005
NIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.832	0.370	1.396	0.000	0.000 1.429
CA0	11.86	CA 1.882	FE2 0.000	0.641	1.027	0.000	0.000	1.303 0.000
NA20	1.41	NA 0.405	MN 0.000	0.042	0.000	0.041	0.000	0.000 0.041
X20	0.52	K 0.098	MG 0.000	3.336	3.370	3.282	0.000	3.397 3.284
CL	0.00	TO 15.625	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
TOT	96.46	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.210	0.000	0.000 0.174
				0.000	5.000	5.000	0.000	5.000 5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000 0.000
			FE2	0.000	0.000	0.091	0.000	0.197 0.000
			MN	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000 0.043 0.000
			CA	0.000	1.848	1.867	1.609	0.000 1.882 1.645
			NA	0.000	0.152	0.000	0.391	0.000 0.000 0.355
				0.000	2.000	2.000	2.000	0.000 2.122 2.000
			NA	0.000	0.246	0.402	0.000	0.000 0.405 0.037
			K	0.000	0.096	0.097	0.095	0.000 0.098 0.095
				0.000	0.342	0.499	0.095	0.000 0.503 0.132

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.020095 : 0.012658 : 0.000534 : 0.000001 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -97.508500 : 0.462157 : -129.745300 : -91.500460

NI ANALYSE : 99

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	48.56	SI 6.927	SI 0.000	6.790	6.903	6.728	0.000	6.927	6.685
TI02	0.75	TI 0.080	ALIV 0.000	1.210	1.097	1.272	0.000	1.073	1.315
AL203	8.25	AL 1.388	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.16	CR 0.018	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	13.21	FE2 1.576	ALVI 0.000	0.151	0.286	0.075	0.000	0.314	0.024
MNO	0.35	MN 0.042	TI 0.000	0.079	0.080	0.078	0.000	0.080	0.078
MGO	15.19	MG 3.230	CR 0.000	0.018	0.018	0.018	0.000	0.018	0.017
YIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.905	0.156	1.322	0.000	0.000	1.549
CA0	11.71	CA 1.790	FE2 0.000	0.640	1.241	0.209	0.000	1.358	0.000
NA20	1.42	NA 0.393	MN 0.000	0.041	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041
X20	0.47	K 0.086	MG 0.000	3.166	3.219	3.137	0.000	3.230	3.117
CL	0.00	TO 15.529	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	100.07	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.120	0.000	0.000	0.174
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.174	0.000	0.000	0.219
			MN	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.042
			CA	0.000	1.755	1.784	1.618	0.000	1.790
			NA	0.000	0.245	0.000	0.382	0.000	0.379
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.051	1.933
			NA	0.000	0.140	0.391	0.000	0.393	0.000
			K	0.000	0.084	0.085	0.083	0.000	0.086
			0.000	0.000	0.224	0.477	0.083	0.000	0.083

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.006786 : 0.009196 : 0.000898 : 0.000009 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -70.411290 : -0.303888 : -100.531400 : -74.361830

NI ANALYSE : 100

FE3+			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	46.64	SI 6.886	SI 0.000	6.793	6.867	6.679	0.000	6.886	6.647
TI02	0.49	TI 0.054	ALIV 0.000	1.207	1.133	1.321	0.000	1.114	1.353
AL203	8.69	AL 1.513	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.07	CR 0.008	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.73	FE2 1.572	ALVI 0.000	0.285	0.376	0.146	0.000	0.399	0.107
MNO	0.16	MN 0.020	TI 0.000	0.054	0.054	0.053	0.000	0.054	0.053
MGO	14.20	MG 3.125	CR 0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008
YIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.624	0.125	1.382	0.000	0.000	1.545
CA0	11.77	CA 1.862	FE2 0.000	0.927	1.320	0.142	0.000	1.413	0.000
NA20	1.48	NA 0.424	MN 0.000	0.020	0.000	0.019	0.000	0.000	0.019
X20	0.49	K 0.092	MG 0.000	3.083	3.117	3.031	0.000	3.125	3.016
CL	0.00	TO 15.557	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.72	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.217	0.000	0.000	0.252
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2	0.000	0.000	0.123	0.000	0.000	0.159
			MN	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.020
			CA	0.000	1.837	1.857	1.589	0.000	1.862
			NA	0.000	0.163	0.000	0.411	0.000	0.409
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.041	1.954
			NA	0.000	0.255	0.423	0.000	0.424	0.000
			K	0.000	0.091	0.092	0.090	0.000	0.092
			0.000	0.000	0.346	0.515	0.090	0.000	0.516

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.014352 : 0.009067 : 0.001438 : 0.000010 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.380490 : 0.459230 : -102.623800 : -62.410500

NI ANALYSE : 101

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	47.57	SI 6.956	SI 0.000	6.882	0.000	6.759	0.000	6.956	6.719
TI02	0.67	TI 0.074	ALIV 0.000	1.118	0.000	1.241	0.000	1.044	1.281
AL203	8.16	AL 1.407	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	0.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.59	FE2 1.540	ALVI 0.000	0.274	0.000	0.126	0.000	0.363	0.078
MNO	0.28	MN 0.035	TI 0.000	0.073	0.000	0.072	0.000	0.074	0.071
MGO	14.35	MG 3.128	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
VIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.488	0.000	1.302	0.000	0.000	1.514
CAO	11.82	CA 1.852	FE2 0.000	1.036	0.000	0.194	0.000	1.435	0.000
NA2O	1.57	NA 0.445	MN 0.000	0.034	0.000	0.034	0.000	0.000	0.034
K2O	0.56	K 0.104	MG 0.000	3.095	0.000	3.039	0.000	3.128	3.021
CL	0.00	TO 15.541	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.57	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.233	0.000	0.000	0.282
			0.000	5.000	0.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	0.000
			MN 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.000
			CA 0.000	1.833	0.000	1.567	0.000	1.852	1.508
			NA 0.000	0.167	0.000	0.433	0.000	0.008	0.430
			0.000	2.000	0.000	2.000	0.000	2.000	1.938
			NA 0.000	0.273	0.000	0.000	0.000	0.437	0.000
			K 0.000	0.103	0.000	0.102	0.000	0.104	0.101
			0.000	0.377	0.000	0.102	0.000	0.541	0.101

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.017156 : 0.010765 : 0.001350 : 0.000009 : 0.450630 : 0.01282

LnkD. : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -72.274110 : 0.465993 : -102.620600 : -66.216200

NI ANALYSE : 102

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+	
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16		
SI02	46.15	SI 6.750	SI 0.000	6.612	6.721	6.509	0.000	6.750	6.498
TI02	0.61	TI 0.067	ALIV 0.000	1.388	1.279	1.491	0.000	1.250	1.502
AL203	9.48	AL 1.635	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.04	CR 0.005	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	13.81	FE2 1.689	ALVI 0.000	0.214	0.349	0.085	0.000	0.384	0.072
MNO	0.44	MN 0.055	TI 0.000	0.066	0.067	0.065	0.000	0.067	0.065
MGO	14.08	MG 3.069	CR 0.000	0.005	0.005	0.004	0.000	0.005	0.004
VIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.934	0.196	1.629	0.000	0.000	1.656
CAO	11.45	CA 1.795	FE2 0.000	0.721	1.328	0.000	0.000	1.474	0.000
NA2O	1.73	NA 0.491	MN 0.000	0.053	0.000	0.053	0.000	0.000	0.052
K2O	0.58	K 0.108	MG 0.000	3.007	3.056	2.960	0.000	3.069	2.955
CL	0.00	TO 15.663	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.37	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.204	0.000	0.000	0.196
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
			FE2 0.000	0.000	0.159	0.000	0.000	0.215	0.000
			MN 0.000	0.000	0.054	0.000	0.000	0.055	0.000
			CA 0.000	1.758	1.787	1.527	0.000	1.795	1.532
			NA 0.000	0.242	0.000	0.473	0.000	0.000	0.468
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.064	2.000
			NA 0.000	0.239	0.489	0.000	0.000	0.491	0.004
			K 0.000	0.106	0.108	0.104	0.000	0.108	0.104
			0.000	0.345	0.596	0.104	0.000	0.599	0.109

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.007651 : 0.004194 : 0.000812 : 0.000011 : 0.450630 : 0.01282

LnkD. : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -74.485180 : 0.601156 : -97.984200 : -66.670160

NI ANALYSE : 103

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SIO2	46.72	SI	6.876	SI	0.000	6.771	6.838	6.848	0.000	6.876	6.627
TIO2	0.44	TI	0.049	ALIV	0.000	1.229	1.162	1.352	0.000	1.124	1.373
AL2O3	8.50	AL	1.475	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR2O3	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	13.33	FE2	1.641	ALVI	0.000	0.223	0.305	0.075	0.000	0.351	0.048
MNO	0.32	MN	0.040	TI	0.000	0.048	0.048	0.047	0.000	0.049	0.047
MGO	14.23	MG	3.122	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.704	0.250	1.521	0.000	0.000	1.610
CAO	11.92	CA	1.880	FE2	0.000	0.912	1.291	0.065	0.000	1.479	0.000
NA2O	1.51	NA	0.431	MN	0.000	0.039	0.000	0.039	0.000	0.000	0.038
X2O	0.43	K	0.081	MG	0.000	3.074	3.105	3.018	0.000	3.122	3.009
CL	0.00	TO	15.594	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.40	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.235	0.000	0.000	0.248
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.091	0.000	0.000	0.162	0.000
				MN	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040	0.000
				CA	0.000	1.851	1.870	1.583	0.000	1.880	1.564
				NA	0.000	0.149	0.000	0.417	0.000	0.000	0.415
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.082	1.979
				NA	0.000	0.276	0.429	0.000	0.000	0.431	0.000
				K	0.000	0.080	0.080	0.078	0.000	0.081	0.078
					0.000	0.355	0.509	0.078	0.000	0.512	0.078

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.015178 : 0.008502 : 0.001106 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -75.677780 : 0.579605 : -110.249700 : -58.142910

NI ANALYSE : 104

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SIO2	47.51	SI	6.831	SI	0.000	6.717	6.802	6.605	0.000	6.831	6.598
TIO2	0.20	TI	0.022	ALIV	0.000	1.283	1.198	1.395	0.000	1.169	1.402
AL2O3	9.62	AL	1.631	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR2O3	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.83	FE2	1.543	ALVI	0.000	0.321	0.425	0.182	0.000	0.462	0.173
MNO	0.34	MN	0.041	TI	0.000	0.021	0.022	0.021	0.000	0.022	0.021
MGO	14.71	MG	3.152	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.766	0.197	1.492	0.000	0.000	1.517
CAO	11.97	CA	1.844	FE2	0.000	0.751	1.217	0.000	0.000	1.364	0.000
NA2O	1.61	NA	0.449	MN	0.000	0.041	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040
X2O	0.47	K	0.086	MG	0.000	3.100	3.139	3.048	0.000	3.152	3.045
CL	0.00	TO	15.600	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	99.26	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.217	0.000	0.000	0.204
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.122	0.000	0.000	0.179	0.000
				MN	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041	0.000
				CA	0.000	1.814	1.836	1.566	0.000	1.844	1.577
				NA	0.000	0.186	0.000	0.434	0.000	0.000	0.423
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.065	2.000
				NA	0.000	0.255	0.447	0.000	0.000	0.449	0.011
				K	0.000	0.085	0.086	0.083	0.000	0.086	0.083
					0.000	0.340	0.533	0.083	0.000	0.535	0.094

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.012234 : 0.007073 : 0.001565 : 0.000016 : 0.450630 : 0.01282

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -64.189670 : 0.547881 : -96.248870 : -57.067230

NI ANALYSE : 105

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.87	SI	6.864	SI	0.000	6.784	6.854	6.653	0.000	6.864	6.632
TI02	0.76	TI	0.084	ALIV	0.000	1.216	1.146	1.347	0.000	1.136	1.368
AL203	8.75	AL	1.511	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.46	FE2	1.526	ALVI	0.000	0.277	0.363	0.118	0.000	0.375	0.092
MNO	0.29	MN	0.036	TI	0.000	0.083	0.084	0.081	0.000	0.084	0.081
MGO	14.35	MG	3.132	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.535	0.063	1.411	0.000	0.000	1.501
CA0	11.90	CA	1.868	FE2	0.000	0.974	1.363	0.068	0.000	1.409	0.000
NA20	1.60	NA	0.454	MN	0.000	0.036	0.000	0.035	0.000	0.000	0.035
X20	0.53	K	0.099	MG	0.000	3.096	3.128	3.036	0.000	3.132	3.027
CL	0.00	TO	15.574	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.51	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.251	0.000	0.000	0.255
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.099	0.000	0.000	0.117	0.000
				MN	0.000	0.000	0.036	0.000	0.000	0.036	0.000
				CA	0.000	1.846	1.865	1.560	0.000	1.868	1.539
				NA	0.000	0.154	0.000	0.440	0.000	0.000	0.439
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.020	1.978
				NA	0.000	0.295	0.454	0.000	0.000	0.454	0.000
				K	0.000	0.098	0.099	0.096	0.000	0.099	0.096
					0.000	0.393	0.553	0.096	0.000	0.553	0.096

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.017802 : 0.008890 : 0.001321 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -73.296020 : 0.694379 : -105.940300 : -64.269110

NI ANALYSE : 106

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.41	SI	6.837	SI	0.000	6.734	6.807	6.614	0.000	6.837	6.594
TI02	0.64	TI	0.071	ALIV	0.000	1.266	1.193	1.386	0.000	1.163	1.406
AL203	8.63	AL	1.499	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.07	CR	0.008		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	13.04	FE2	1.607	ALVI	0.000	0.210	0.300	0.065	0.000	0.336	0.040
MNO	0.26	MN	0.032	TI	0.000	0.070	0.071	0.069	0.000	0.071	0.068
MGO	14.32	MG	3.145	CR	0.000	0.008	0.008	0.008	0.000	0.008	0.008
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.695	0.200	1.500	0.000	0.000	1.578
CA0	11.82	CA	1.866	FE2	0.000	0.888	1.290	0.055	0.000	1.440	0.000
NA20	1.54	NA	0.440	MN	0.000	0.032	0.000	0.031	0.000	0.000	0.031
X20	0.56	K	0.105	MG	0.000	3.097	3.131	3.042	0.000	3.145	3.033
CL	0.00	TO	15.611	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.29	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.231	0.000	0.000	0.241
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.110	0.000	0.000	0.167	0.000
				MN	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.032	0.000
				CA	0.000	1.838	1.858	1.574	0.000	1.866	1.558
				NA	0.000	0.162	0.000	0.426	0.000	0.000	0.424
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.066	1.983
				NA	0.000	0.271	0.438	0.000	0.000	0.440	0.000
				K	0.000	0.104	0.105	0.102	0.000	0.105	0.102
					0.000	0.375	0.543	0.102	0.000	0.545	0.102

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.015079 : 0.007986 : 0.001014 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -77.749490 : 0.635680 : -109.923700 : -69.485650

NI ANALYSE : 107

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	47.71	SI 6.893	SI 0.000	6.790	6.851	6.678	0.000	6.893	6.657	
TI02	0.72	TI 0.078	ALIV 0.000	1.210	1.149	1.322	0.000	1.107	1.343	
AL203	8.24	AL 1.404	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.00	CR 0.000	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FE0	12.82	FE2 1.549	ALVI 0.000	0.173	0.246	0.039	0.000	0.297	0.012	
MNO	0.26	MN 0.032	TI 0.000	0.077	0.078	0.076	0.000	0.078	0.076	
MGO	15.05	MG 3.241	CR 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
VIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.688	0.282	1.432	0.000	0.000	1.523	
CA0	12.24	CA 1.895	FE2 0.000	0.839	1.173	0.069	0.000	1.384	0.000	
NA20	1.39	NA 0.389	MN 0.000	0.031	0.000	0.031	0.000	0.000	0.031	
K20	0.43	K 0.079	MG 0.000	3.193	3.221	3.140	0.000	3.241	3.130	
CL	0.00	TO 15.561	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	98.86	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.214	0.000	0.000	0.228	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.085	0.000	0.000	0.165	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	0.032	0.000	
			CA 0.000	1.867	1.884	1.623	0.000	1.895	1.602	
			NA 0.000	0.133	0.000	0.377	0.000	0.000	0.376	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.092	1.978	
			NA 0.000	0.250	0.387	0.000	0.000	0.389	0.000	
			K 0.000	0.078	0.079	0.077	0.000	0.079	0.077	
			0.000	0.329	0.466	0.077	0.000	0.469	0.077	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.017580 : 0.011631 : 0.001068 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LKND : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -78.462830 : 0.413131 : -117.618500 : -73.092110

NI ANALYSE : 108

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.70	SI 6.819	SI 0.000	6.698	6.810	6.610	0.000	6.819	6.591	
TI02	0.60	TI 0.063	ALIV 0.000	1.302	1.190	1.390	0.000	1.181	1.409	
AL203	9.90	AL 1.634	FE3 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CR203	0.06	CR 0.007	0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000	
FE0	12.90	FE2 1.511	ALVI 0.000	0.304	0.442	0.195	0.000	0.453	0.171	
MNO	0.18	MN 0.021	TI 0.000	0.062	0.063	0.061	0.000	0.063	0.061	
MGO	15.23	MG 3.179	CR 0.000	0.007	0.007	0.006	0.000	0.007	0.006	
VIO	0.00	NI 0.000	FE3 0.000	0.813	0.060	1.407	0.000	0.000	1.487	
CA0	11.90	CA 1.786	FE2 0.000	0.671	1.253	0.058	0.000	1.298	0.000	
NA20	1.67	NA 0.453	MN 0.000	0.021	0.000	0.021	0.000	0.000	0.021	
K20	0.57	K 0.102	MG 0.000	3.122	3.174	3.081	0.000	3.179	3.072	
CL	0.00	TO 15.575	NI 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
TOT	101.71	CL 0.000	CA 0.000	0.000	0.000	0.171	0.000	0.000	0.182	
			0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000	
			MG 0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
			FE2 0.000	0.000	0.195	0.000	0.000	0.213	0.000	
			MN 0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	0.021	0.000	
			CA 0.000	1.754	1.783	1.560	0.000	1.786	1.543	
			NA 0.000	0.246	0.000	0.440	0.000	0.000	0.438	
			0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.020	1.982	
			NA 0.000	0.200	0.453	0.000	0.000	0.453	0.000	
			K 0.000	0.100	0.102	0.099	0.000	0.102	0.098	
			0.000	0.300	0.555	0.099	0.000	0.555	0.098	

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.008651 : 0.006619 : 0.001488 : 0.000028 : 0.450630 : 0.01282

LKND : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -60.954920 : 0.267812 : -88.821980 : -57.473370

NI ANALYSE : 109

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.56	SI	6.840	SI	0.000	6.748	6.806	6.612	0.000	6.840	6.618
TI02	0.61	TI	0.067	ALIV	0.000	1.252	1.194	1.388	0.000	1.160	1.382
AL203	8.56	AL	1.483	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.08	CR	0.009		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.89	FE2	1.461	ALVI	0.000	0.210	0.281	0.046	0.000	0.322	0.053
MNO	0.35	MN	0.044	TI	0.000	0.066	0.067	0.065	0.000	0.067	0.065
MGO	14.95	MG	3.273	CR	0.000	0.009	0.009	0.009	0.000	0.009	0.009
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.617	0.225	1.412	0.000	0.000	1.439
CA0	12.05	CA	1.897	FE2	0.000	0.824	1.160	0.000	0.000	1.328	0.000
NA20	1.55	NA	0.442	MN	0.000	0.043	0.000	0.042	0.000	0.000	0.042
K20	0.56	K	0.105	MG	0.000	3.230	3.257	3.165	0.000	3.273	3.167
CL	0.00	TO	15.620	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.16	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.261	0.000	0.000	0.225
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.133	0.000
				MN	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.044	0.000
				CA	0.000	1.872	1.888	1.573	0.000	1.897	1.611
				NA	0.000	0.128	0.000	0.427	0.000	0.000	0.389
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.074	2.000
				NA	0.000	0.307	0.439	0.000	0.000	0.442	0.038
				K	0.000	0.104	0.104	0.101	0.000	0.105	0.102
					0.000	0.411	0.544	0.101	0.000	0.547	0.140

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.023074 : 0.010267 : 0.001170 : 0.000003 : 0.450630 : 0.01282

LnKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -79.717400 : 0.809778 : -116.520200 : -69.190290

NI ANALYSE : 110

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	46.70	SI	6.812	SI	0.000	6.693	6.784	6.584	0.000	6.812	6.587
TI02	0.70	TI	0.077	ALIV	0.000	1.307	1.216	1.416	0.000	1.188	1.413
AL203	8.71	AL	1.498	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.31	CR	0.036		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.23	FE2	1.492	ALVI	0.000	0.165	0.276	0.032	0.000	0.310	0.036
MNO	0.37	MN	0.046	TI	0.000	0.075	0.076	0.074	0.000	0.077	0.074
MGO	15.04	MG	3.270	CR	0.000	0.035	0.036	0.035	0.000	0.036	0.035
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.804	0.189	1.442	0.000	0.000	1.469
CA0	11.71	CA	1.831	FE2	0.000	0.662	1.166	0.000	0.000	1.307	0.000
NA20	1.62	NA	0.458	MN	0.000	0.045	0.000	0.044	0.000	0.000	0.044
K20	0.57	K	0.106	MG	0.000	3.213	3.257	3.161	0.000	3.270	3.162
CL	0.00	TO	15.626	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.96	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.212	0.000	0.000	0.180
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.131	0.000	0.000	0.185	0.000
				MN	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.046	0.000
				CA	0.000	1.799	1.823	1.557	0.000	1.831	1.590
				NA	0.000	0.201	0.000	0.443	0.000	0.000	0.410
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.062	2.000
				NA	0.000	0.249	0.456	0.000	0.000	0.458	0.033
				K	0.000	0.104	0.106	0.103	0.000	0.106	0.103
					0.000	0.353	0.562	0.103	0.000	0.564	0.136

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.014286 : 0.008105 : 0.000895 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKO : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -80.187660 : 0.566744 : -107.685400 : -72.820000

NI ANALYSE : 111

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	46.30	SI	6.756	SI	0.000	6.666	6.740	6.539	0.000	6.756	6.535
TI02	0.84	TI	0.092	ALIV	0.000	1.334	1.260	1.461	0.000	1.244	1.465
AL203	9.51	AL	1.636	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.14	CR	0.016		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.11	FE2	1.478	ALVI	0.000	0.281	0.372	0.123	0.000	0.392	0.117
MND	0.27	MN	0.033	TI	0.000	0.091	0.092	0.089	0.000	0.092	0.089
MGO	14.54	MG	3.162	CR	0.000	0.016	0.016	0.016	0.000	0.016	0.016
VID	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.609	0.108	1.431	0.000	0.000	1.455
CAO	11.90	CA	1.861	FE2	0.000	0.849	1.256	0.000	0.000	1.337	0.000
NA20	1.63	NA	0.461	MN	0.000	0.033	0.000	0.032	0.000	0.000	0.032
X20	0.64	K	0.119	MG	0.000	3.121	3.155	3.061	0.000	3.162	3.059
CL	0.00	TO	15.616	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.88	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.248	0.000	0.000	0.231
				CA	0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.110	0.000	0.000	0.141	0.000
				MN	0.000	0.000	0.033	0.000	0.000	0.033	0.000
				CA	0.000	1.836	1.857	1.554	0.000	1.861	1.569
				NA	0.000	0.164	0.000	0.446	0.000	0.000	0.431
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.035	2.000
				NA	0.000	0.291	0.460	0.000	0.000	0.461	0.015
				K	0.000	0.118	0.119	0.115	0.000	0.119	0.115
					0.000	0.409	0.579	0.115	0.000	0.580	0.130

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.016214 : 0.007048 : 0.001299 : 0.000008 : 0.450630 : 0.01280

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -72.501210 : 0.833181 : -105.014000 : -61.669860

NI ANALYSE : 112

			SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+			
FE3+			=8	=13	=15	=15	=16				
SI02	46.66	SI	6.765	SI	0.000	6.666	6.732	6.517	0.000	6.765	6.542
TI02	0.70	TI	0.076	ALIV	0.000	1.334	1.268	1.481	0.000	1.235	1.458
AL203	8.99	AL	1.537	FE3	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
CR203	0.26	CR	0.030		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.29	FE2	1.491	ALVI	0.000	0.180	0.262	0.000	0.000	0.302	0.028
MND	0.22	MN	0.027	TI	0.000	0.075	0.076	0.074	0.000	0.076	0.074
MGO	15.12	MG	3.268	CR	0.000	0.029	0.030	0.029	0.000	0.030	0.029
VID	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.676	0.226	1.433	0.000	0.000	1.467
CAO	12.10	CA	1.880	FE2	0.000	0.792	1.155	0.000	0.000	1.324	0.000
NA20	1.77	NA	0.498	MN	0.000	0.027	0.000	0.026	0.000	0.000	0.026
X20	0.56	K	0.104	MG	0.000	3.220	3.252	3.148	0.000	3.268	3.160
CL	0.00	TO	15.675	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.67	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.291	0.000	0.000	0.216
				CA	0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.102	0.000	0.000	0.167	0.000
				MN	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.027	0.000
				CA	0.000	1.853	1.871	1.521	0.000	1.880	1.502
				NA	0.000	0.147	0.000	0.479	0.000	0.000	0.398
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.074	2.000
				NA	0.000	0.343	0.495	0.000	0.000	0.498	0.084
				K	0.000	0.102	0.103	0.100	0.000	0.104	0.100
					0.000	0.445	0.598	0.100	0.000	0.601	0.184

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.023500 : 0.008088 : 0.000897 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01280

LAKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -86.594790 : 1.066581 : -117.304600 : -72.729240

NI ANALYSE : 113

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.96	SI	6.813	SI	0.000	6.717	6.795	6.594	0.000	6.813	6.594
TI02	0.64	TI	0.071	ALIV	0.000	1.283	1.205	1.406	0.000	1.187	1.406
AL203	9.13	AL	1.596	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.06	CR	0.007		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.65	FE2	1.444	ALVI	0.000	0.290	0.386	0.139	0.000	0.408	0.139
MNO	0.28	MN	0.035	TI	0.000	0.070	0.071	0.069	0.000	0.071	0.069
MGO	14.57	MG	3.219	CR	0.000	0.007	0.007	0.007	0.000	0.007	0.007
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.648	0.121	1.398	0.000	0.000	1.423
CA0	11.67	CA	1.854	FE2	0.000	0.776	1.203	0.000	0.000	1.294	0.000
NA20	1.59	NA	0.457	MN	0.000	0.035	0.000	0.034	0.000	0.000	0.034
K20	0.49	K	0.093	MG	0.000	3.174	3.211	3.116	0.000	3.219	3.116
CL	0.00	TO	15.589	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.04	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.237	0.000	0.000	0.211
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.116	0.000	0.000	0.151	0.000
				MN	0.000	0.000	0.035	0.000	0.000	0.035	0.000
				CA	0.000	1.828	1.849	1.558	0.000	1.854	1.583
				NA	0.000	0.172	0.000	0.442	0.000	0.000	0.417
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.040	2.000
				NA	0.000	0.278	0.456	0.000	0.000	0.457	0.025
				K	0.000	0.091	0.092	0.090	0.000	0.093	0.090
					0.000	0.370	0.548	0.090	0.000	0.550	0.115

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.016728 : 0.008468 : 0.001519 : 0.000011 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.002590 : 0.680758 : -101.419700 : -60.152740

NI ANALYSE : 114

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	47.18	SI	6.855	SI	0.000	6.756	6.824	6.651	0.000	6.855	6.639
TI02	0.55	TI	0.060	ALIV	0.000	1.244	1.176	1.349	0.000	1.145	1.361
AL203	8.85	AL	1.516	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.21	CR	0.024		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.72	FE2	1.424	ALVI	0.000	0.251	0.334	0.123	0.000	0.371	0.107
MNO	0.18	MN	0.022	TI	0.000	0.059	0.060	0.058	0.000	0.060	0.058
MGO	15.18	MG	3.288	CR	0.000	0.024	0.024	0.023	0.000	0.024	0.023
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.662	0.207	1.367	0.000	0.000	1.404
CA0	12.06	CA	1.878	FE2	0.000	0.742	1.103	0.015	0.000	1.257	0.000
NA20	1.39	NA	0.392	MN	0.000	0.022	0.000	0.021	0.000	0.000	0.021
K20	0.55	K	0.102	MG	0.000	3.240	3.273	3.190	0.000	3.288	3.184
CL	0.00	TD	15.561	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.87	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.202	0.000	0.000	0.202
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.108	0.000	0.000	0.168	0.000
				MN	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.022	0.000
				CA	0.000	1.851	1.869	1.620	0.000	1.878	1.616
				NA	0.000	0.149	0.000	0.380	0.000	0.000	0.379
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.068	1.996
				NA	0.000	0.237	0.390	0.000	0.000	0.392	0.000
				K	0.000	0.101	0.102	0.099	0.000	0.102	0.099
					0.000	0.337	0.491	0.099	0.000	0.494	0.099

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHI
 : 0.016831 : 0.011120 : 0.001577 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.152510 : 0.414518 : -107.101000 : -62.763770

VI ANALYSE : 115

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SIO2	46.37	SI	6.767	SI	0.000	6.665	6.729	6.544	0.000	6.767	6.539
TIO2	0.84	TI	0.092	ALIV	0.000	1.335	1.271	1.456	0.000	1.233	1.461
AL2O3	9.20	AL	1.583	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR2O3	0.05	CR	0.006		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE2	12.49	FE2	1.525	ALVI	0.000	0.224	0.303	0.074	0.000	0.351	0.069
MNO	0.37	MN	0.046	TI	0.000	0.091	0.092	0.089	0.000	0.092	0.089
MGO	14.62	MG	3.180	CR	0.000	0.006	0.006	0.006	0.000	0.006	0.006
VIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.695	0.261	1.474	0.000	0.000	1.500
CAO	12.06	CA	1.886	FE2	0.000	0.807	1.176	0.000	0.000	1.371	0.000
NA2O	1.51	NA	0.427	MN	0.000	0.045	0.000	0.044	0.000	0.000	0.044
K2O	0.50	K	0.093	MG	0.000	3.132	3.162	3.075	0.000	3.180	3.073
CL	0.00	TO	15.606	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.01	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.237	0.000	0.000	0.220
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.079	0.000	0.000	0.154	0.000
				MN	0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.046	0.000
				CA	0.000	1.858	1.876	1.587	0.000	1.886	1.603
				NA	0.000	0.142	0.000	0.413	0.000	0.000	0.397
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.086	2.000
				NA	0.000	0.279	0.425	0.000	0.000	0.427	0.016
				K	0.000	0.092	0.093	0.090	0.000	0.093	0.090
					0.000	0.370	0.518	0.090	0.000	0.520	0.106

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.015784 : 0.007505 : 0.001128 : 0.000004 : 0.450630 : 0.01280

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -75.690350 : 0.743404 : -112.746600 : -66.026100

VI ANALYSE : 117

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SIO2	45.63	SI	6.727	SI	0.000	6.611	6.704	6.497	0.000	6.727	6.496
TIO2	1.00	TI	0.111	ALIV	0.000	1.389	1.296	1.503	0.000	1.273	1.504
AL2O3	9.29	AL	1.615	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR2O3	0.17	CR	0.020		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE2	12.63	FE2	1.558	ALVI	0.000	0.197	0.314	0.057	0.000	0.342	0.055
MNO	0.33	MN	0.041	TI	0.000	0.109	0.111	0.107	0.000	0.111	0.107
MGO	14.37	MG	3.158	CR	0.000	0.019	0.020	0.019	0.000	0.020	0.019
VIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.799	0.157	1.504	0.000	0.000	1.531
CAO	11.53	CA	1.822	FE2	0.000	0.732	1.251	0.000	0.000	1.369	0.000
NA2O	1.68	NA	0.480	MN	0.000	0.041	0.000	0.040	0.000	0.000	0.040
K2O	0.56	K	0.105	MG	0.000	3.103	3.147	3.050	0.000	3.158	3.049
CL	0.00	TO	15.637	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.19	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.223	0.000	0.000	0.199
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.189	0.000
				MN	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.041	0.000
				CA	0.000	1.790	1.816	1.536	0.000	1.822	1.560
				NA	0.000	0.210	0.000	0.464	0.000	0.000	0.440
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.052	2.000
				NA	0.000	0.262	0.479	0.000	0.000	0.480	0.024
				K	0.000	0.104	0.105	0.102	0.000	0.105	0.102
					0.000	0.366	0.584	0.102	0.000	0.586	0.125

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.011615 : 0.005626 : 0.000873 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01280

LKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -78.118060 : 0.724911 : -104.552300 : -68.694210

NI ANALYSE : 118

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.76	SI	6.743	SI	0.000	6.638	6.704	6.523	0.000	6.743	6.519
TI02	0.68	TI	0.075	ALIV	0.000	1.362	1.296	1.477	0.000	1.257	1.481
AL203	9.47	AL	1.645	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.25	CR	0.029		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.17	FE2	1.500	ALVI	0.000	0.258	0.340	0.115	0.000	0.388	0.109
MNO	0.50	MN	0.062	TI	0.000	0.074	0.075	0.073	0.000	0.075	0.073
MGO	14.34	MG	3.150	CR	0.000	0.029	0.029	0.028	0.000	0.029	0.028
YIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.713	0.265	1.451	0.000	0.000	1.476
CA0	11.92	CA	1.882	FE2	0.000	0.764	1.159	0.000	0.000	1.358	0.000
NA20	1.46	NA	0.417	MN	0.000	0.061	0.000	0.060	0.000	0.000	0.060
X20	0.52	K	0.098	MG	0.000	3.101	3.131	3.047	0.000	3.150	3.045
CL	0.00	TD	15.602	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.07	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.225	0.000	0.000	0.208
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.066	0.000	0.000	0.142	0.000
				MN	0.000	0.000	0.062	0.000	0.000	0.062	0.000
				CA	0.000	1.853	1.871	1.596	0.000	1.882	1.612
				NA	0.000	0.147	0.000	0.404	0.000	0.000	0.388
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.087	2.000
				NA	0.000	0.264	0.415	0.000	0.000	0.417	0.015
				K	0.000	0.096	0.097	0.095	0.000	0.098	0.095
					0.000	0.360	0.512	0.095	0.000	0.515	0.110

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.013050 : 0.006463 : 0.001241 : 0.000006 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -70.838660 : 0.702599 : -108.716600 : -61.704880

NI ANALYSE : 119

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.34	SI	6.653	SI	0.000	6.529	6.616	6.427	0.000	6.653	6.420
TI02	0.57	TI	0.063	ALIV	0.000	1.471	1.384	1.573	0.000	1.347	1.580
AL203	10.52	AL	1.820	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.13	CR	0.015		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.91	FE2	1.584	ALVI	0.000	0.315	0.426	0.185	0.000	0.473	0.176
MNO	0.35	MN	0.044	TI	0.000	0.062	0.063	0.061	0.000	0.063	0.061
MGO	14.03	MG	3.069	CR	0.000	0.015	0.015	0.015	0.000	0.015	0.015
YIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.859	0.256	1.531	0.000	0.000	1.556
CA0	11.68	CA	1.837	FE2	0.000	0.696	1.189	0.000	0.000	1.381	0.000
NA20	1.56	NA	0.444	MN	0.000	0.043	0.000	0.042	0.000	0.000	0.042
X20	0.65	K	0.122	MG	0.000	3.011	3.051	2.964	0.000	3.069	2.961
CL	0.00	TD	15.650	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.74	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.203	0.000	0.000	0.189
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.130	0.000	0.000	0.204	0.000
				MN	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.044	0.000
				CA	0.000	1.802	1.826	1.571	0.000	1.837	1.583
				NA	0.000	0.198	0.000	0.429	0.000	0.000	0.417
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.084	2.000
				NA	0.000	0.238	0.441	0.000	0.000	0.444	0.011
				K	0.000	0.119	0.121	0.118	0.000	0.122	0.117
					0.000	0.357	0.562	0.118	0.000	0.566	0.129

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.007521 : 0.003725 : 0.001189 : 0.000014 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -64.746230 : 0.702601 : -97.039330 : -55.612410

NI ANALYSE : 120

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.98	SI	6.804	SI	0.000	6.717	6.794	6.598	0.000	6.804	6.585
TI02	0.93	TI	0.104	ALIV	0.000	1.283	1.206	1.402	0.000	1.196	1.415
AL203	8.91	AL	1.555	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.21	CR	0.025		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	11.71	FE2	1.449	ALVI	0.000	0.252	0.346	0.106	0.000	0.358	0.090
MNO	0.36	MN	0.045	TI	0.000	0.102	0.103	0.100	0.000	0.104	0.100
MGO	14.45	MG	3.187	CR	0.000	0.024	0.025	0.024	0.000	0.025	0.024
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.586	0.066	1.387	0.000	0.000	1.428
CA0	11.69	CA	1.854	FE2	0.000	0.845	1.278	0.019	0.000	1.327	0.000
NA20	1.55	NA	0.445	MN	0.000	0.045	0.000	0.044	0.000	0.000	0.044
X20	0.63	K	0.119	MG	0.000	3.146	3.183	3.091	0.000	3.187	3.085
CL	0.00	TO	15.585	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.42	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.229	0.000	0.000	0.230
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.104	0.000	0.000	0.123	0.000
				MN	0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.045	0.000
				CA	0.000	1.830	1.851	1.569	0.000	1.854	1.564
				NA	0.000	0.170	0.000	0.431	0.000	0.000	0.430
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.021	1.994
				NA	0.000	0.269	0.444	0.000	0.000	0.445	0.000
				K	0.000	0.117	0.119	0.115	0.000	0.119	0.115
					0.000	0.387	0.563	0.115	0.000	0.564	0.115

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.016037 : 0.008257 : 0.001258 : 0.000007 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -73.173630 : 0.663849 : -105.199300 : -64.543590

NI ANALYSE : 121

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.53	SI	6.751	SI	0.000	6.656	6.713	6.522	0.000	6.751	6.523
TI02	0.89	TI	0.099	ALIV	0.000	1.344	1.287	1.478	0.000	1.249	1.477
AL203	8.79	AL	1.537	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.26	CR	0.030		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FE0	12.35	FE2	1.532	ALVI	0.000	0.171	0.241	0.006	0.000	0.288	0.007
MNO	0.41	MN	0.052	TI	0.000	0.098	0.099	0.096	0.000	0.099	0.096
MGO	14.41	MG	3.185	CR	0.000	0.030	0.030	0.029	0.000	0.030	0.029
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.651	0.261	1.480	0.000	0.000	1.507
CA0	11.95	CA	1.899	FE2	0.000	0.860	1.202	0.000	0.000	1.397	0.000
NA20	1.54	NA	0.443	MN	0.000	0.051	0.000	0.050	0.000	0.000	0.050
X20	0.62	K	0.117	MG	0.000	3.140	3.167	3.077	0.000	3.185	3.077
CL	0.00	TO	15.646	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.75	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.262	0.000	0.000	0.234
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.061	0.000	0.000	0.135	0.000
				MN	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.052	0.000
				CA	0.000	1.872	1.888	1.572	0.000	1.899	1.601
				NA	0.000	0.128	0.000	0.428	0.000	0.000	0.399
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.086	2.000
				NA	0.000	0.309	0.440	0.000	0.000	0.443	0.028
				K	0.000	0.116	0.117	0.113	0.000	0.117	0.113
					0.000	0.424	0.557	0.113	0.000	0.560	0.142

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.018813 : 0.007361 : 0.000811 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -86.207390 : 0.938327 : -122.239100 : -74.009150

NI ANALYSE : 122

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.96	SI	6.814	SI	0.000	6.739	6.783	6.583	0.000	6.814	6.589
TI02	0.70	TI	0.078	ALIV	0.000	1.261	1.217	1.417	0.000	1.186	1.411
AL203	8.60	AL	1.504	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.16	CR	0.019		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.07	FE2	1.497	ALVI	0.000	0.226	0.280	0.036	0.000	0.318	0.042
MNO	0.30	MN	0.038	TI	0.000	0.077	0.078	0.075	0.000	0.078	0.075
MGO	14.46	MG	3.196	CR	0.000	0.019	0.019	0.018	0.000	0.019	0.018
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.508	0.212	1.446	0.000	0.000	1.473
CAO	12.11	CA	1.924	FE2	0.000	0.972	1.231	0.000	0.000	1.389	0.000
NA20	1.59	NA	0.457	MN	0.000	0.037	0.000	0.036	0.000	0.000	0.036
K20	0.51	K	0.096	MG	0.000	3.160	3.181	3.087	0.000	3.196	3.090
CL	0.00	TO	15.623	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	96.46	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.301	0.000	0.000	0.265
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.047	0.000	0.000	0.108	0.000
				MN	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.038	0.000
				CA	0.000	1.903	1.915	1.558	0.000	1.924	1.596
				NA	0.000	0.097	0.000	0.442	0.000	0.000	0.404
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.069	2.000
				NA	0.000	0.355	0.455	0.000	0.000	0.457	0.038
				K	0.000	0.095	0.096	0.093	0.000	0.096	0.093
					0.000	0.451	0.551	0.093	0.000	0.554	0.131

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.025845 : 0.009174 : 0.001103 : 0.000002 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -82.668560 : 1.035696 : -124.147800 : -69.204510

NI ANALYSE : 123

FE3+				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	47.01	SI	6.848	SI	0.000	6.752	6.839	6.649	0.000	6.848	6.626
TI02	0.83	TI	0.091	ALIV	0.000	1.248	1.161	1.351	0.000	1.152	1.374
AL203	8.81	AL	1.513	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.371	CR	0.043		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FEO	12.02	FE2	1.465	ALVI	0.000	0.244	0.350	0.118	0.000	0.361	0.090
MNO	0.41	MN	0.051	TI	0.000	0.090	0.091	0.088	0.000	0.091	0.088
MGO	14.62	MG	3.175	CR	0.000	0.042	0.043	0.041	0.000	0.043	0.041
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.645	0.064	1.340	0.000	0.000	1.443
CAO	11.76	CA	1.836	FE2	0.000	0.799	1.283	0.082	0.000	1.330	0.000
NA20	1.52	NA	0.429	MN	0.000	0.050	0.000	0.049	0.000	0.000	0.049
K20	0.51	K	0.095	MG	0.000	3.130	3.170	3.082	0.000	3.175	3.072
CL	0.00	TO	15.545	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	97.86	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.199	0.000	0.000	0.218
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.116	0.000	0.000	0.134	0.000
				MN	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.051	0.000
				CA	0.000	1.810	1.833	1.583	0.000	1.836	1.559
				NA	0.000	0.190	0.000	0.417	0.000	0.000	0.415
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.021	1.974
				NA	0.000	0.234	0.429	0.000	0.000	0.429	0.000
				K	0.000	0.093	0.095	0.092	0.000	0.095	0.092
					0.000	0.327	0.523	0.092	0.000	0.524	0.092

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.012780 : 0.008639 : 0.001292 : 0.000010 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -69.559460 : 0.391627 : -101.027000 : -64.468310

NI ANALYSE : 124

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	45.89	SI	6.679	SI	0.000	6.572	6.641	6.430	0.000	6.679	6.442
TI02	0.58	TI	0.063	ALIV	0.000	1.428	1.359	1.570	0.000	1.321	1.558
AL203	10.11	AL	1.735	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.00	CR	0.000		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FED	13.18	FE2	1.604	ALVI	0.000	0.279	0.366	0.100	0.000	0.414	0.115
MNO	0.40	MN	0.049	TI	0.000	0.062	0.063	0.061	0.000	0.063	0.061
MGO	14.20	MG	3.080	CR	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.735	0.262	1.545	0.000	0.000	1.575
CAQ	12.02	CA	1.875	FE2	0.000	0.843	1.246	0.000	0.000	1.443	0.000
NA20	1.75	NA	0.494	MN	0.000	0.049	0.000	0.047	0.000	0.000	0.048
K20	0.62	K	0.115	MG	0.000	3.031	3.063	2.966	0.000	3.080	2.971
CL	0.00	TO	15.695	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	98.75	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.280	0.000	0.000	0.229
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.087	0.000	0.000	0.162	0.000
				MN	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.049	0.000
				CA	0.000	1.845	1.864	1.524	0.000	1.875	1.579
				NA	0.000	0.155	0.000	0.476	0.000	0.000	0.421
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.066	2.000
				NA	0.000	0.331	0.491	0.000	0.000	0.494	0.055
				K	0.000	0.113	0.114	0.111	0.000	0.115	0.111
					0.000	0.444	0.606	0.111	0.000	0.609	0.166

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.014275 : 0.004561 : 0.001033 : 0.000005 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -76.578180 : 1.140981 : -108.241400 : -61.745420

NI ANALYSE : 125

				SUMSI	SUMMG	SUMCA	SUMNA	SUMK	FE2+		
FE3+				=8	=13	=15	=15	=16			
SI02	48.09	SI	6.805	SI	0.000	6.663	6.761	6.570	0.000	6.805	6.586
TI02	0.35	TI	0.037	ALIV	0.000	1.337	1.239	1.430	0.000	1.195	1.414
AL203	9.42	AL	1.572	FE3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CR203	0.29	CR	0.032		0.000	8.000	8.000	8.000	0.000	8.000	8.000
FED	12.28	FE2	1.454	ALVI	0.000	0.201	0.323	0.087	0.000	0.377	0.107
MNO	0.22	MN	0.026	TI	0.000	0.036	0.037	0.036	0.000	0.037	0.036
MGO	15.89	MG	3.352	CR	0.000	0.032	0.032	0.031	0.000	0.032	0.031
NIO	0.00	NI	0.000	FE3	0.000	0.966	0.300	1.403	0.000	0.000	1.432
CAQ	12.00	CA	1.820	FE2	0.000	0.458	0.978	0.000	0.000	1.201	0.000
NA20	1.60	NA	0.439	MN	0.000	0.026	0.000	0.025	0.000	0.000	0.026
K20	0.41	K	0.074	MG	0.000	3.281	3.330	3.236	0.000	3.352	3.244
CL	0.00	TO	15.612	NI	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOT	100.55	CL	0.000	CA	0.000	0.000	0.000	0.181	0.000	0.000	0.124
					0.000	5.000	5.000	5.000	0.000	5.000	5.000
				MG	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
				FE2	0.000	0.000	0.166	0.000	0.000	0.252	0.000
				MN	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.026	0.000
				CA	0.000	1.782	1.808	1.576	0.000	1.820	1.637
				NA	0.000	0.218	0.000	0.424	0.000	0.000	0.363
					0.000	2.000	2.000	2.000	0.000	2.099	2.000
				NA	0.000	0.212	0.436	0.000	0.000	0.439	0.062
				K	0.000	0.072	0.074	0.071	0.000	0.074	0.072
					0.000	0.284	0.510	0.071	0.000	0.513	0.134

Activ. : EDEN : TREM : MG HORN : GLAU : EPI : CHL
 : 0.011179 : 0.007977 : 0.001241 : 0.000011 : 0.450630 : 0.01282

LnKD : EDEN-MG HORN : TREM-EDEN : GLAUC-MG HORN : TREM-MG HORN
 : -68.811870 : 0.337494 : -99.450800 : -64.424430

Dans la même collection :

- N°1 - H. MARTIN - Nature, origine et évolution d'un segment de croûte continentale archéenne : contraintes chimiques et isotopiques. Exemple de la Finlande orientale. 392 p., 183 fig., 51 tabl., 4 pl. (1985). 140F.
- N°2 - G. QUERRE - Paléogénèse de la croûte continentale à l' archéen : les granitoïdes tardifs (2,5-2,4 Ga) de Finlande Orientale. Pétrologie et géochimie. 226 p., 74 fig., 41 tabl., 3 pl.(1985). 85F.
- N°3 - J. DURAND - Le Grès Armoricaïn. Sédimentologie. Traces fossiles. Milieux de dépôt. 150 p., 76 fig., 9 tabl., 19 pl. (1985). EPUISE
- N°4 - D. PRIOUR - Genèse des zones de cisaillement : Application de la méthode des éléments finis à la simulation numérique de la déformation des roches. 157 p., 106 fig., 7 tabl., (1985). 55F.
- N°5 - V. NGAKO - Evolution métamorphique et structurale de la bordure sud-ouest de la "série de Poli". Segment camerounais de la chaîne panafricaine. 185 p., 76 fig., 16 tabl., 12 pl. (1986). 70F.
- N°6 - J. DE POULPIQUET - Étude géophysique d'un marqueur magnétique situé sur la marge continentale sud-armoricaine. 159 p., 121 fig., 5 tabl. (1986). 55F.
- N°7 - P. BARBEY - Signification géodynamique des domaines granulitiques. La ceinture des granulites de Laponie : une suture de collision continentale d'âge Protérozoïque inférieur (1.9-2.4 Ga). 324 p., 89 fig., 46 tabl., 11 pl. (1986). 115F.

- N°8 - Ph. DAVY - Modélisation thermo-mécanique de la collision continentale. 233 p., 72 fig., 2 tabl. (1986). EPUISE
- N°9 - Y. GEORGET - Nature et origine des granites peralumineux à cordiérite et des roches associées. Exemples des granitoïdes du Massif Armoricaïn (France) : Pétrologie et géochimie. 250 p., 140 fig., 67 tabl., (1986).
EPUISE
- N°10 - D. MARQUER - Transfert de matière et déformation progressive des granitoïdes. Exemple des massifs de l'Aar et du Gothard (Alpes centrales Suisses). 287 p., 134 fig., 52 tabl., 5 cartes hors-texte (1987).
EPUISE
- N°11 - J.S. SALIS -Variation séculaire du champ magnétique terrestre. Direction et Paléointensité sur la période 7.000 - 70.000 BP dans la chaîne des Puys. 190 p., 73 fig., 28 tabl., 1 carte hors-texte (1987).
90F.
- N°12 - Y. GERARD - Etude expérimentale des interactions entre déformation et transformation de phase. Exemple de la transition calcite-aragonite. 126 p., 42 fig., 3 tabl., 10 pl. (1987).
75F.
- N°13 - H. TATTEVIN - Déformation et transformation de phases induites par ondes de choc dans les silicates. Caractérisation par la microscopie électronique en transmission. 150 p., 50 fig., 1 tabl., 13 pl. (1987).
95F.
- N°14 - J.L. PAQUETTE - Comportement des systèmes isotopiques U-Pb et Sm-Nd dans le métamorphisme éclogitique. Chaîne Hercynienne et chaîne Alpine. 190 p., 88 fig., 39 tab., 2 pl. (1987).
95F.
- N°15 - B. VENDEVILLE - Champs de failles et tectonique en extension : modélisation expérimentale. 392 p., 181 fig., 1 tabl., 82 pl. (1987).
265F.

- N°16 - E. TAILLEBOIS - Cadre géologique des indices sulfurés à Zn, Pb, Cu, Fe du secteur de Gouézec-St-Thois : Dévono-Carbonifère du flanc Sud du Bassin de Châteaulin (Finistère). 195 p., 64 fig., 41 tabl., 8 pl. photo., 8 pl. h.texte. (1987). 110F.
- N°17 - J.P. COGNE - Contribution à l'étude paléomagnétique des roches déformées. 204 p., 86 fig., 17 tabl., (1987). 90F.
- N°18 - E. DENIS - Les sédiments briovériens (Protérozoïque supérieur) de Bretagne septentrionale et occidentale : Nature, mise en place et évolution. 263 p., 148 fig., 26 tab., 8 pl. (1988). 140F.
- N°19 - M. BALLEVRE - Collision continentale et chemins P-T : l'unité pennique du Grand Paradis (Alpes Occidentales). 340 p., 146 fig., 10 tabl., (1988). 145F.
- N°20 - J.P. GRATIER - L'équilibrage des coupes géologiques. Buts, méthodes et applications. Atelier du Groupe d'Etudes Tectoniques le 8 Avril 1987 à Rennes. 165 p., 82 fig., 2 tabl. (1988). 85F.
- N°21 - R.P. MENOT - Magmatismes paléozoïques et structuration carbonifère du Massif de Belledonne (Alpes Françaises). Contraintes nouvelles pour les schémas d'évolution de la chaîne varisque ouest-européenne. 465 p., 101 fig., 31 tab., 6 pl., (1988). 200F.
- N°22 - S. BLAIS - Les ceintures de roches vertes archéennes de Finlande Orientale : Géologie, pétrologie, géochimie et évolution géodynamique. 312 p., 107 fig., 98 tab., 11 pl. photo, 1 pl. h.texte, (1989). 160F.

- N°23 - A. CHAUVIN - Intensité du champ magnétique terrestre en période stable de transition, enregistrée par des séquences de coulées volcaniques du quaternaire. 217 p., 100 fig., 13 tab. (1989). 100F.
- N°24 - J.P. VUICHARD - La marge austroalpine durant la collision alpine : évolution tectonométamorphique de la zone de Sesia-Lanzo. 307 p., 143 fig., 26 tab., 6 pl. hors-texte. (1989). 170F.
- N°25 - C. GUERROT - Archéen et Protérozoïque dans la chaîne hercynienne ouest-européenne : géochimie isotopique (Sr-Nd-Pb) et géochronologie U-Pb sur zircons. 180 p., 68 fig., 29 tab., 1 pl. (1989) 90F.
- N°26 - J.L. LAGARDE - Granites tardi carbonifères et déformation crustale. L'exemple de la Méséta marocaine. 353 p., 244 fig., 15 pl. (1989) 210F.
- N°27 - Ph. BARDY - L'orogène cadomien dans le Nord-Est du Massif Armoricain et en Manche Occidentale. Etude tectonométamorphique et géophysique. 395 p., 142 fig., 7 tab., 1 pl. hors-texte. (1989). 175F.
- N°28 - D. GAPAIS - Les Orthogneiss : Structures, mécanismes de déformation et analyse cinématique. 377 p., 184 fig., 3 tab., (1989). 275F.
- N°29 - E. LE GOFF - Conditions pression-température de la déformation dans les orthogneiss : Modèle thermodynamique et exemples naturels. 321 p., 146 fig., 42 tab. (1989).
- N°30 - D. KHATTACH - Paléomagnétisme de formations paléozoïques du Maroc. 220 p., 97 fig., 35 tab., (1989). 100F.

BON DE COMMANDE

A retourner à :

Centre Armoricaïn d'Etude Structurale des Socles
Mémoires et documents du CAESS
Université de Rennes I - Campus de Beaulieu
35042 - RENNES Cédex (France).

NOM

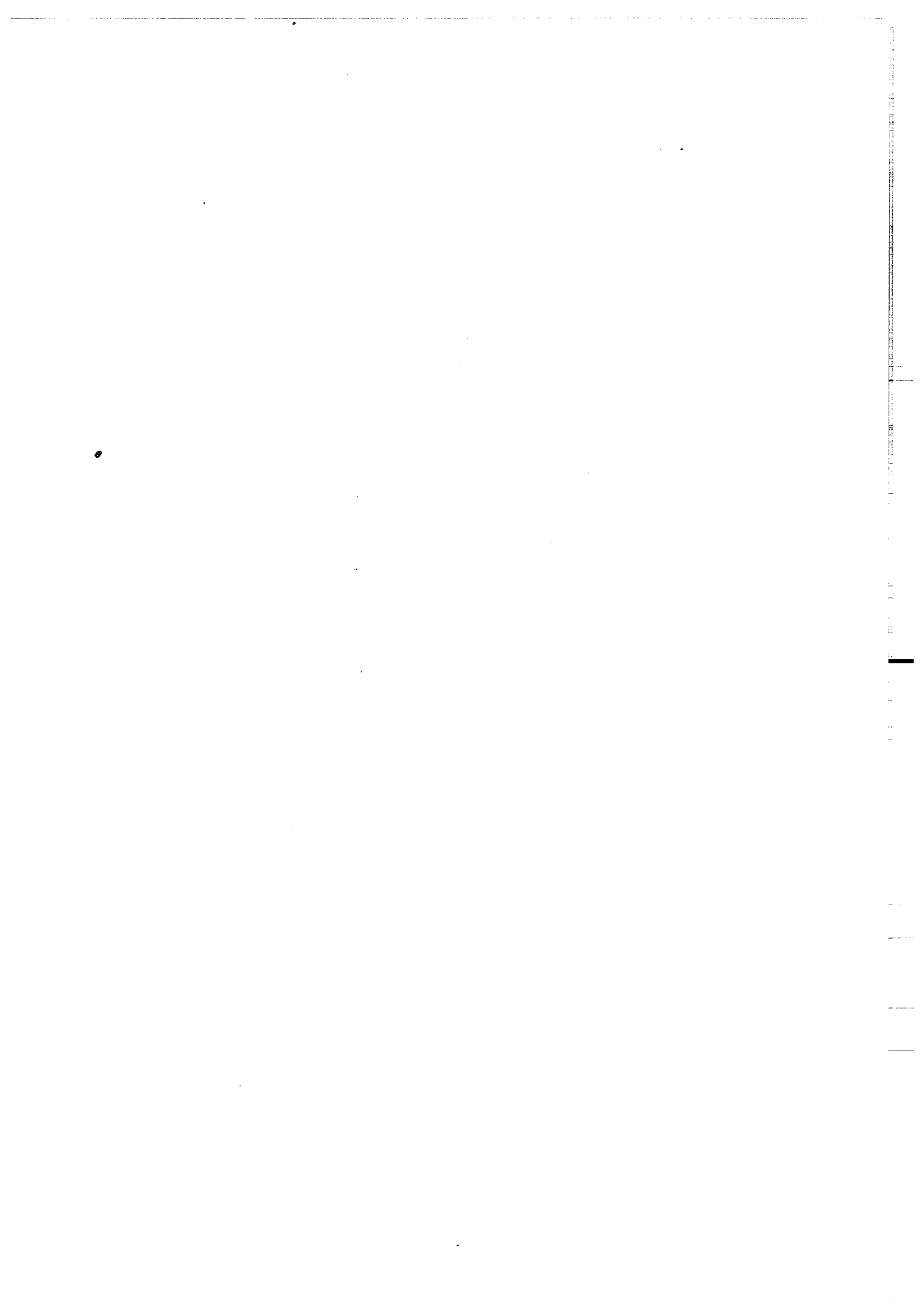
ORGANISME

ADRESSE

Veillez me faire parvenir les ouvrages suivants :

N°	Auteur	Nb Exemplaires	Prix Unitaire	TOTAL
Frais d'envoi :			Total	
1 volume : 20,00 F			Frais d'envoi	
			Montant total	

Veillez établir votre chèque au nom de l' Agent comptable de l'Université de Rennes I et le joindre au bon de commande.



RESUME.

L'ensemble des travaux rassemblés dans ce mémoire contribue à la connaissance de l'orogène cadomien dans le Nord-Est du Massif Armoricaïn et en Manche Occidentale. Une double approche, géologique et géophysique est envisagée. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- La structuration des terrains briovériens (Protérozoïque supérieur) du Nord-Est du Massif Armoricaïn (Cotentin) résulte en grande partie de l'évolution tectonométamorphique cadomienne régie par le fonctionnement de grands chevauchements crustaux (à vergence nord et sud) synchrones de la mise en place des plutons dioritiques des Moulinets, de Jardeheu (batholite de La Hague), de Coutances et du granite de la Chapelle du Fest (région de Coutances-Granville). L'évolution du métamorphisme définie par la construction d'un chemin Pression-Température-temps-déformation traduit un contexte géodynamique de collision selon le processus : chevauchement → épaissement crustal → remontée → érosion.

- La modélisation des anomalies magnétiques, définissant en Manche Occidentale une suite de marqueurs linéaires d'orientation générale NE-SW, permet de préciser les paramètres (physiques et géométriques) des corps responsables des anomalies et montre l'existence d'un axe de divergence magnétique d'orientation N 70. Une interprétation de l'extrémité méridionale des profils de sismique réflexion profonde SWAT dans le Golfe normano-breton (SWAT 07-08-09-10) confirme l'existence de grands accidents crustaux assimilables à des chevauchements.

L'étude tectonique et métamorphique des terrains briovériens de la presqu'île du Cotentin et les diverses signatures géophysiques (corps magnétiques à pendage nord et sud, existence de chevauchements synthétiques et antithétiques liés à la subduction cadomienne) sont compatibles avec une interprétation de l'orogène cadomien en termes de tectonique des plaques. Le modèle proposé pour cette orogénèse "vieille de 600 Ma" se caractérise par une chaîne à double déversement.

Mots Clés : Chaîne cadomienne - Massif Armoricaïn - Chevauchements
- Chemin Pression-Température - Manche Occidentale - Modélisations
magnétiques - Sismique profonde.