

*Société*  
*Géologique du*  
*Nord*

*ANNALES*

**Tome 6 (2<sup>ème</sup> série), Fascicule 4**  
*parution 1999*

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

# SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

## Extraits des Statuts

### Article 2

- Cette Société a pour objet de concourir à l'avancement de la géologie en général, et particulièrement de la géologie de la région du Nord de la France.
- La Société se réunit de droit une fois par mois, sauf pendant la période des vacances. Elle peut tenir des séances extraordinaires décidées par le Conseil d'Administration.
- La Société publie des Annales et des Mémoires. Ces publications sont mises en vente selon un tarif établi par le Conseil. Les Sociétaires bénéficient d'un tarif préférentiel (1).

### Article 5

Le nombre des membres de la Société est illimité. Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans l'une des séances par deux membres de la Société qui auront signé la présentation, et avoir été proclamé membre au cours de la séance suivante.

## Extraits du Règlement Intérieur

§ 7. - Les Annales et leur supplément constituent le compte rendu des séances.

§ 13. - Seuls les membres ayant acquitté leurs cotisation et abonnement de l'année peuvent publier dans les Annales. L'ensemble des notes présentées au cours d'une même année, par un auteur, ne peut dépasser le total de 8 pages, 1 planche simili étant comptée pour 2 p. 1/2 de texte.

Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

§ 17. - Les notes et mémoires originaux (texte et illustration) communiqués à la Société et destinés aux Annales doivent être remis au Secréariat le jour même de leur présentation. A défaut de remise dans ce délai, ces communications prennent rang dans une publication postérieure.

§ 18. - Les Mémoires sont publiés par fascicule après décision du Conseil.

## Avertissement

La Société Géologique du Nord ne peut en aucun cas être tenue pour responsable des actes ou des opinions de ses membres.

## Tirages à part

Conformément au paragraphe 14 du Règlement Intérieur (Tome LXXXI, p. 12), les tirages à part sont à la charge des auteurs qui doivent en faire par écrit la déclaration expresse du bon à tirer.

## Cotisations et Abonnements (à la date du 1<sup>er</sup>-1-1998)

	QUALITÉ	COTISATION	ABONNEMENT aux Annales	TOTAL
FRANCE et C.E.E.	Personnes physiques (2) (3)	50,00 F	170,00 F T.T.C.	220,00 F
AUTRES PAYS	Personnes physiques	50,00 F	190,00 F T.T.C.	240,00 F

Abonnement des non-membres : FRANCE et C.E.E.: 365,00 F H.T. — ÉTRANGER : 420,00 F

## ANNALES DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD

La vente des Annales s'effectue par tomes entières aux prix suivants. Exceptionnellement, et jusqu'à épuisement du stock, certains fascicules sont en vente séparément.

Tomes I à LXXIX (manquent I, II, V à IX, XVI, XXII, XXXIV à XXXVI, XXXIX à XLIII, XLV, XLVII à LVIII).....	200,00 F H.T.
Tomes LXXX à XCV (manque XCI).....	270,00 F H.T.
Tomes XCVI à CV.....	330,00 F H.T.
Tome CVI.....	385,00 F H.T.

## TABLES GÉNÉRALES DES ANNALES

Table 1 (Tomes I à XX) - Table 2 (Tomes XX à XXX) - Table 3 (Tomes XXXI à XL) - Table 4 (Tomes XLI à LXXIX)	50,00 F H.T.
Table 5 (Tomes LXXX à CIX).....	par table

Esquisse géologique du Nord de la France, par J. GOSSELET, Fascicule IV (Terrains quaternaires).....	29,00 F H.T.
Ecorché géologique <i>infra mésozoïque</i> (extrait de « Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France », présentée par C.F.P. (M), COPESEP et S.N.P.A.).....	50,00 F H.T.

## FASCICULES SPÉCIAUX

« Géologie du Nord de la France » (T. LXXXIX, fasc. 1).....	85,00 F H.T.
« Rupture des roches et massifs rocheux » (T. XCV, fasc. 3).....	70,00 F H.T.
« Données nouvelles sur le Paléozoïque de l'Europe occidentale » (T. XCVI, fasc. 4 et T. XCVII, fasc. 1).....	200,00 F H.T.
« Apports récents à la Géologie du Gondwana » (T. XCVII, fasc. 4).....	150,00 F H.T.
« Géologie de l'Europe, du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens » (T. XCIX, fasc. 1).....	150,00 F H.T.
« Géologie appliquée aux problèmes d'énergie et de matières premières » (T. CII, fasc. 2).....	150,00 F H.T.
« Tectonique cassante en distension et coulissement » (T. CIII, fasc. 2-3).....	250,00 F H.T.
« Aspect de la Géologie de l'Ardenne, hommage au Professeur Beugnies » (T. CV, fasc. 2).....	125,00 F H.T.
« Paléozoïque supérieur continental » (T. CVI, fasc. 2).....	300,00 F H.T.
« Actualisation de quelques thèmes géologiques » (T. CVI, fasc. 4).....	125,00 F H.T.
« Géologie et aménagement régional » (T. CIX, fasc. 2).....	250,00 F T.T.C.
« Le Nord et son environnement géologique. » (T. 2, 2 <sup>me</sup> série, fasc. 1).....	175,00 F H.T.

(1) Modification adoptée lors de l'Assemblée Générale du 10 janvier 1974.

(2) Les étudiants qui en font la demande annuelle peuvent, par décision du Conseil, bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (80,00 F), soit un total de 130,00 F.

(3) Les membres de l'APBG peuvent bénéficier d'un tarif préférentiel sur l'abonnement (120,00 F), soit un total de 170,00 F.

*Société*  
*Géologique du*  
*Nord*

**ANNALES**

**Tome 6 (2<sup>ème</sup> série), Fascicule 4**  
*parution 1999*

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD  
59655 VILLENEUVE D'ASCQ CEDEX

ISSN 0767-7367

CONSEIL D'ADMINISTRATION

— 1998 —

<i>Président</i> .....	M. F. ROBAZYNSKI
<i>Premier Vice-Président</i> .....	M. J-P. LEPRÊTRE
<i>Seconds Vice-Présidents</i> .....	M. D. VACHARD
	M. J.F. DECONINCK
<i>Conseillers</i> .....	M. N. CRAMPON
	M. A. BLIECK
	M <sup>lle</sup> D. BRICE
	M. J-L. MANSY
	M. B. MISTIAEN
	M. J. SOMMÉ
<i>Secrétaire</i> .....	M. O. AVERBUCH
<i>Secrétaire Adjoint</i> .....	M. B. LEDESERT
<i>Trésorier</i> .....	M. J.M. DÉGARDIN
<i>Déléguée aux Publications</i> .....	M <sup>me</sup> Paule CORSIN
<i>Bibliothécaire</i> .....	M. A. TRENTESAUX

---

CONSEIL SCIENTIFIQUE

— 1998 —

MM. W. CHRISTENSEN (Copenhague), A. DELMER (Bruxelles), W. KUNHT (Kiel),  
B. PEYBERNES (Toulouse), M. PRICE (Reading) et H. ZIJLSTRA (Utrecht).

---

CONSEIL ÉDITORIAL

— 1998 —

MM. A. BLIECK, J.F. DECONINCK, J. FERRIÈRE, B. MISTIAEN et J. SOMMÉ  
M<sup>me</sup> Ch. VINCHON.

Nous tenons à remercier ici MM. J. MANIA, F. ROBASYŃSKI et A. TRENTESAUX qui ont bien voulu  
contribuer à l'examen des articles de ce fascicule.

## LES FORMATIONS FLUVIATILES QUATERNAIRES DES VALLÉES DE L'OUED GRANDOU ET DE L'OUED M'TAL (MÉSÉTA OCCIDENTALE MAROCAINE): MISE EN PLACE, ORIGINE ET NOUVELLES DONNÉES CHRONOSTRATIGRAPHIQUES.

The Quaternary fluvial formations of Oued Grandou and Oued M'Tal valleys (moroccan western Meseta): sedimentology, origin and new chronostratigraphic data.

par M. OUADIA(\*) et M. ABERKAN(\*\*)

*Résumé.* — Les formations fluviales quaternaires des vallées de l'Oued Grandou et de l'Oued M'Tal sont, jusqu'à maintenant, peu étudiées. Notre étude a permis de préciser la dynamique de mise en place de leurs matériaux alluviaux et leur origine. En outre, des fossiles de mammifères récoltés dans la terrasse T3 des deux oueds ont permis de revoir l'âge que lui a attribué Gigout (1951).

*Abstract.* — *The Quaternary fluvial formations of Oued Grandou and Oued M'Tal valleys are, until now, slightly studied. Our study allows to precise the depositional history of the alluvial materials and their origin. Moreover, the mammal fossils recollected from T3 terrace of two oueds permit to revise the ages attributed by Gigout (1951).*

### I. — INTRODUCTION

Dans la plaine des Doukkala se trouvent les vallées de l'Oued principal "l'Oum Rbia", de l'Oued Bouchane, de l'Oued Grandou, de l'Oued M'Tal et de l'Oued Faregh en plus d'autres vallées de petits oueds (fig. 1). Notre étude n'intéresse que la vallée de l'Oued Grandou et celle de l'Oued M'Tal. A l'exception des travaux descriptifs de Ferré et Ruhard (1975) sur le réseau hydrographique de la région et de ceux de Gigout (1951) sur les formations fluviales de ces deux vallées, aucune étude détaillée n'a été entreprise depuis lors sur leurs formations alluviales. L'objectif de la présente étude est de préciser la nature des formations fluviales quaternaires de ces deux vallées, leur provenance et la dynamique de leur mise en place. Cette contribution apporte également de nouvelles données chronostratigraphiques sur ces terrasses fluviales quaternaires.

### II. — SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Les vallées de l'Oued Grandou et de l'Oued M'Tal, relativement parallèles entre elles et de direction SE-NW, appartiennent à la plaine des Doukkala qui fait partie de la Méséta occidentale marocaine. Elles sont situées entre Sidi Bennour au Nord et Youssoufia au Sud et entre le massif des Réhamna à l'Est et l'Océan Atlantique à l'Ouest (fig. 1).

### III. — LITHOSTRATIGRAPHIE

Quatre terrasses fluviales, emboîtées les unes dans les autres, sont présentes sur les bordures de l'Oued Grandou et de l'Oued M'Tal. Leurs corrélations tiennent compte de leur altitude, de leur faciès et de leur géométrie. Ces terrasses fluviales quaternaires sont notées T1 à T0 de la plus ancienne à la plus récente :

#### 1) Terrasse T3.

C'est la terrasse la plus développée. Elle est à 0,5 m au dessus du lit actuel pour l'Oued Grandou et à 1 m pour l'Oued M'Tal. Elle est formée à la base d'un conglomérat peu consolidé (blocs de grande taille: 82 cm comme diamètre maximum à Grandou) et au sommet de sables limoneux. Sa puissance totale ne dépasse pas 6 m (a, fig 2). Sa limite inférieure ravine les colluvions inférieures quaternaires des Doukkala. Les galets sont stratifiés horizontalement et enrobés dans une matrice sableuse. Leur diamètre maximum est de 21 cm pour l'Oued Grandou et de 20 cm pour l'Oued M'Tal. Des passages de galets de faible dimension sont repérables dans la partie basale. Le passage de l'unité de base conglomératique à l'unité sommitale fine est progressif ce qui témoigne d'un passage d'une énergie forte à une énergie faible. La base de cette terrasse renferme à Grandou et à M'Tal des ossements de mammifères. Dans la partie sommitale, on note la présence de coquilles, parfois

(\*) Université Chouaïb Doukkali, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, B.P. 20, El Jadida, MAROC.

(\*\*) Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Av. Ibn Batouta, B.P. 1014, Rabat, MAROC.

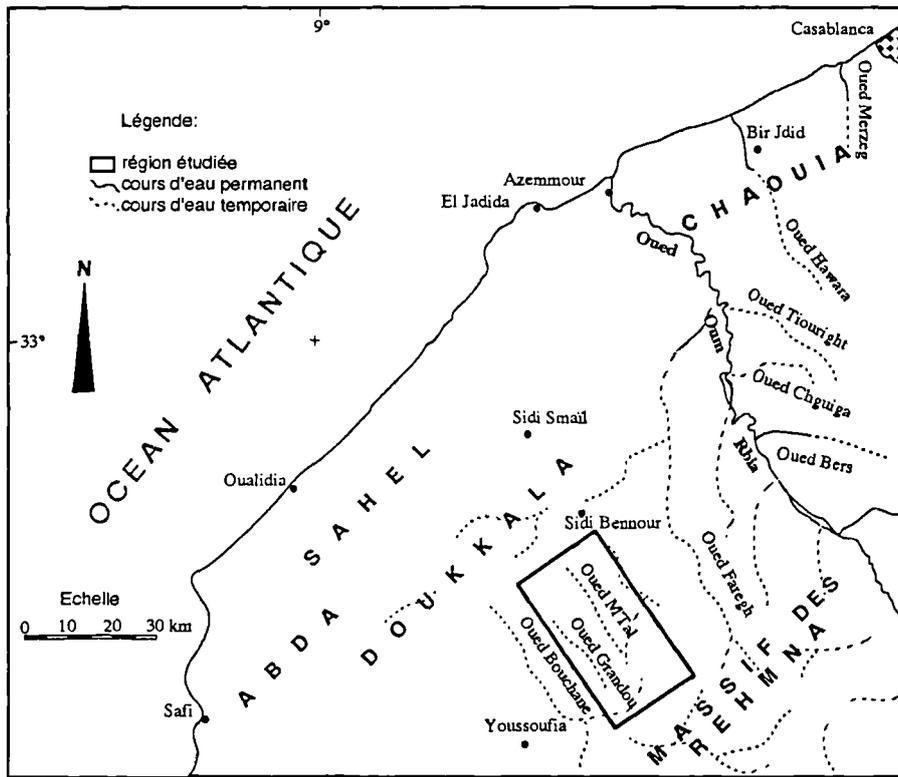


Fig. 1. — Situation géographique de la zone étudiée avec le réseau hydrographique.

Fig. 1. — Location of the studied area and drainage pattern.

entières, de gastéropodes pulmonés terrestres pouvant être rattachés aux Hélicidés.

### 2) Terrasse T2.

Cette terrasse est moins développée que la terrasse T3 et d'environ 2 m de puissance. Sa base est au niveau du lit actuel aussi bien pour l'Oued Grandou que pour l'Oued M'Tal. Elle est conglomératique à la base et sablo-limoneuse au sommet (b, fig. 2). La terrasse fluviatile T2 est relativement moins consolidée que la terrasse fluviatile T3. Les galets du conglomérat (unité de la base), de 20 cm de diamètre maximum pour l'Oued Grandou et de 18 cm pour l'Oued M'Tal, montrent une diminution de taille de la base vers le haut de la terrasse. Ils sont enrobés dans une matrice sableuse. Le passage du conglomérat à la partie sablo-limoneuse (unité du sommet) est progressif. Dans la partie sommitale de cette terrasse, contrairement à la terrasse T3, on remarque pour les deux oueds la présence d'une stratification oblique et la présence de coquilles de gastéropodes pulmonés terrestres souvent brisées.

### 3) Terrasse T1.

Cette terrasse est peu développée par rapport aux terrasses précédentes. Sa limite inférieure n'est pas visible, elle est au dessous du lit actuel aussi bien pour l'Oued Grandou que pour l'Oued M'Tal. D'une puissance de l'ordre de 1 m, elle est formée à la base d'un conglomérat moins consolidé que celui de la terrasse fluviatile T2 et au sommet de sédiments sablo-limoneux. Le diamètre maximum des galets est de 20 cm pour l'Oued Grandou et 18 cm pour l'Oued

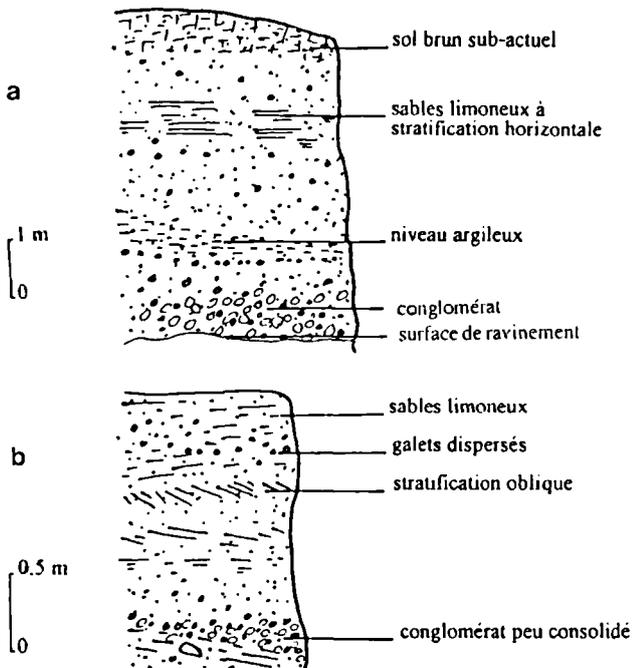


Fig. 2. — Log lithostratigraphique des terrasses T3 et T2.  
a : Terrasse T3 de l'Oued M'Tal (X=224 ; Y=209 km) ; b : Terrasse T2 de l'Oued Grandou (X=221 ; Y=207 km)

Fig. 2. — Lithostratigraphical succession of T3 and T2 terraces

M'Tal. On note une diminution de leur diamètre de la base vers le sommet. Cette réduction de diamètre est moins nette que pour les terrasses T3 et T2. Les galets hétérométriques sont stratifiés horizontalement et sont enrobés dans une matrice sableuse. Le passage du conglomérat (unité de la base) à la partie sablo-limoneuse (unité du sommet) est progressif. Dans la partie sommitale on note la présence de coquilles de gastéropodes terrestres fragmentées.

4) Terrasse T0.

C'est la terrasse la plus récente: elle représente le lit majeur actuel de l'oued. Ses galets sont de grand diamètre, 21 cm de diamètre maximum. On note la présence de quelques blocs dispersés pouvant atteindre 70 cm à Grandou. Dans la majorité des cas, les galets sont exploités comme matériaux de construction. Par endroits, il est difficile de repérer cette terrasse du fait qu'elle est endommagée par une exploitation excessive de matériaux.

IV. — SÉDIMENTOLOGIE

1) Morphométrie et pétrographie des galets

Pour chaque terrasse fluviatile l'étude morphométrique et pétrographique a été effectuée sur 100 galets.

La méthode utilisée pour l'étude des galets est celle de Tricart (1955). L'indice d'aplatissement des galets ( $I_a = L+1/2 E$ ) varie entre  $1,6 \times 10^3$  et  $2,5 \times 10^3$  pour l'Oued Grandou et entre  $2,12 \times 10^3$  et  $2,58 \times 10^3$  pour l'Oued M'Tal. L'indice d'éroussé des galets ( $I_e = 2r \cdot 1000/L$ ) oscille entre 295 et 515 pour l'Oued Grandou et entre 292 et 371 pour l'Oued M'Tal. Les valeurs de ces deux indices prouvent que les galets des terrasses fluviatiles de l'Oued M'Tal sont relativement aplatis et peu éroussés par rapport à ceux des terrasses de l'Oued Grandou. Le cortège pétrographique des galets est dominé par des roches métamorphiques quartzitiques et schisteuses provenant du massif des Réhamna, avec un pourcentage qui varie entre 60 et 68 % pour l'Oued Grandou (a, fig. 3) et entre 60 et 70 % pour l'Oued M'Tal (b, fig. 3). Les autres types lithographiques rencontrés sont des grès (en moyenne 22 % pour l'Oued M'Tal et l'Oued Grandou) du quartz et des calcaires (qui représentent en moyenne respectivement 10 % pour l'Oued M'Tal et pour l'Oued Grandou) et enfin du silex (en moyenne 2 % pour l'Oued M'Tal).

2) Analyse de la fraction sablo-limoneuse

Le taux de carbonates (méthode des carbonates totaux) dans la fraction sablo-limoneuse oscille entre 1 % au niveau de la terrasse T0 et 18 % au niveau de la terrasse T3 pour l'Oued Grandou et entre 1 % au niveau de la terrasse T3 et 2 % au niveau de la terrasse T2 pour l'Oued M'Tal.

La méthode granulométrique utilisée pour la fraction sablo-limoneuse est celle de Tricart (1955). Les sédiments des terrasses fluviatiles sont dominés par les sables relativement plus abondants à l'Oued Grandou que dans l'Oued M'Tal. En effet, leur pourcentage varie entre 38,23 et 79,26 % pour l'Oued Grandou et seulement entre 2,88 et 20,52 % pour l'Oued M'Tal. La médiane est comprise entre 0,10 et 0,48 mm pour l'Oued Grandou et entre 0,10 et 0,42 mm pour l'Oued M'Tal ce qui montre que les sédiments

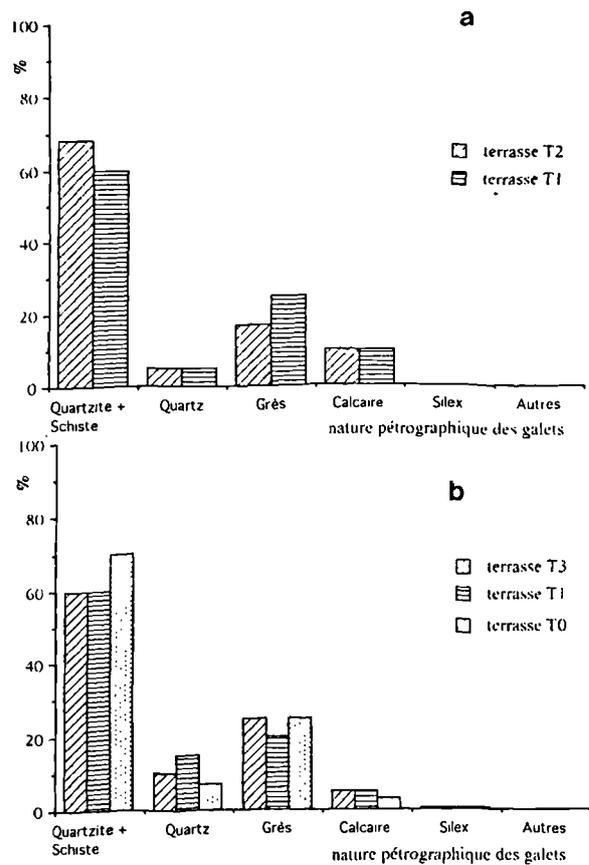


Fig. 3. — Cortège pétrographique des galets. a : galets de l'Oued Grandou ; b : galets de l'Oued M'Tal.

Fig. 3. — Petrographic suite of the pebbles.

des terrasses fluviatiles de l'Oued Grandou sont relativement grossiers vis à vis ceux de l'Oued M'Tal. L'indice de distribution [ $Cd = (Q_1 - Q_3)/2$ ] est compris entre 0,03 et 0,16mm pour l'Oued Grandou et entre 0,05 et 0,17 mm pour l'Oued M'Tal. L'indice de classement [ $S_0 = \sqrt{Q_1/Q_2}$ ] oscille entre 1,27 et 1,78 pour l'Oued Grandou (a, fig. 4) et entre 1,27 et 1,82 pour l'Oued M'Tal (b, fig. 4). Les valeurs relativement faibles de ces deux derniers indices témoignent d'un bon tri relatif des sédiments de l'Oued Grandou par rapport à ceux de l'Oued M'Tal. L'indice d'asymétrie ( $Sk$ ) semble être légèrement plus fort pour les sédiments de l'Oued Grandou que ceux de l'Oued M'Tal. Il varie entre 0,82 et 1,50 pour l'Oued Grandou et entre 0,46 et 0,92 pour l'Oued M'Tal.

Dans les sédiments de la fraction sablo-limoneuse, on a remarqué la présence de quelques fragments de roches métamorphiques (quartzitiques). Les grains de quartz sont de couleur plus ou moins jaunâtre et dans les terrasses fluviatiles, les grains éroussés luisants dominent avec un pourcentage qui varie entre 43 et 76 % pour l'Oued Grandou (a, fig. 5) et entre 42 et 56 % pour l'Oued M'Tal (b, fig. 5). Ils sont suivis des ronds mats avec un pourcentage compris entre 31 et 46 % pour l'Oued Grandou et entre 39 et 48 % pour l'Oued M'Tal. En troisième position viennent les non usés avec un pourcentage variant entre 10 et 17 % pour l'Oued Grandou et entre 10 et 18 % pour l'Oued M'Tal.

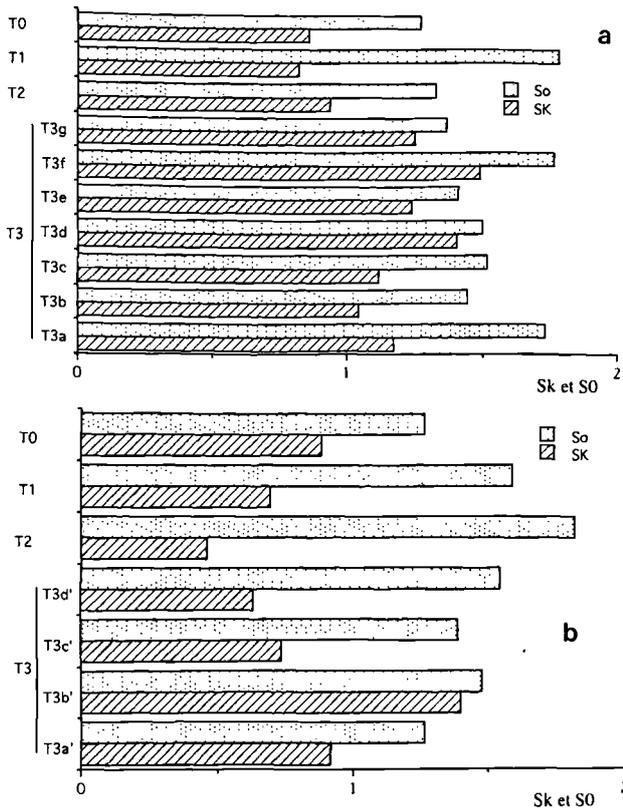


Fig. 4. — Indice de classement (SO) et indice d'asymétrie (Sk)  
a : de l'Oued Grandou ; b : de l'Oued M'Tal.

Fig. 4. — Sorting index (SO) and asymmetry index (Sk).

Le cortège des minéraux lourds des terrasses fluviales est dominé par les minéraux métamorphiques composés de micas (essentiellement de la chlorite provenant du massif des Réhamna (Ouada, 1998) avec un pourcentage qui varie entre 52,63 et 97,47 % pour l'Oued Grandou (a, fig. 6) et entre 24,89 et 76,08 % pour l'Oued M'Tal (b, fig. 6). Ils sont suivis par l'andalousite avec un pourcentage compris entre 0,70 et 32,46 % pour l'Oued Grandou et entre 4,98 et 54,00 % pour l'Oued M'Tal. En troisième place vient la staurotide.

La teneur pondérale (poids des minéraux lourds x 100/poids de minéraux lourds + poids de minéraux légers) est d'environ 35 %. C'est au niveau de la terrasse T0 que sont enregistrées les valeurs les plus faibles. L'indice de maturité défini par Rechiniac (1962) (I.M. = % tourmaline + % zircon + % rutile + % anatase + % brookite / % autres minéraux) est voisin de 0,02. Ses valeurs les plus élevées sont enregistrées pour l'Oued Grandou. On note également une augmentation de la valeur de cet indice au niveau de la terrasse T0. Les valeurs élevées des teneurs pondérales et les faibles valeurs de l'indice de maturité des sédiments des terrasses fluviales des deux oueds témoignent de la faible altération de ces sédiments et de la proximité de leurs provinces émettrices.

V. — ELÉMENTS DE DATATION

Des fossiles de mammifères ont été trouvés dans les terrasses T3 de l'Oued Grandou et de l'Oued M'Tal. La

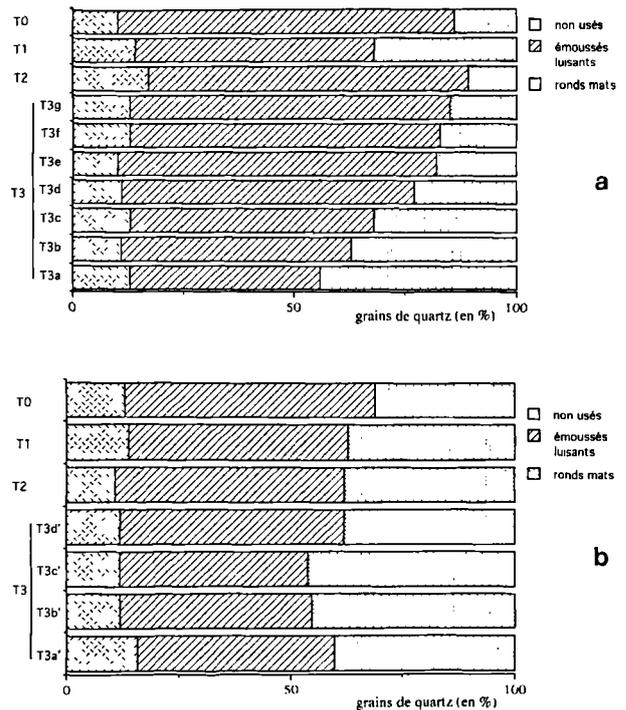


Fig. 5. — Morphoscopie des grains de quartz.  
a : de l'Oued Grandou ; b : de l'Oued M'Tal.

Fig. 5. — Quartz grain morphoscopy.

terrasse T3 de l'Oued Grandou a en effet livré deux chevilles osseuses droite et gauche ainsi qu'un crâne, malheureusement très fragmentaire, de *Gazella cuvieri*. Cette espèce a été signalée dans de nombreux sites du Pléistocène supérieur du Maghreb: Arambourg (1957) l'a signalée dans les niveaux inférieurs de Kifan bel Ghomari, à Taza, à Mugharet-el-Alya, à Tanger et Taforalt; Thomas (1981) et Amani (1991) l'ont également signalée à Jbel Irhoud, site qui daterait d'au moins 100000 ans ou d'âge soltanien. La gazelle de Grandou se rapproche sensiblement de celle du Pléistocène supérieur d'Oran (Algérie) mentionnée par Thomas (1981) (Tab. I). Ceci permet d'attribuer un âge pléistocène supérieur à la terrasse fluviale T3 de l'Oued Grandou.

<i>Gazella cuvieri</i>	Longueur cm	D.T. base cm	D.A.P. base cm	I.R.
Grandou	160-170	24,3	35	69,4
Oran (Algérie) (Thomas, 1981)	190	30	42	71

Tab. I. — Comparaison de *Gazella cuvieri* de Grandou avec celle d'Oran en Algérie.  
D.T. (diamètre transversal), D.A.P. (diamètre antéro-postérieur), I.R. (indice de robustesse)

Table. I. — Comparison of *Gazella cuvieri* from Grandou and Oran (Algeria). D.T.: transversal diameter, D.A.P.: antero-posterior diameter, I.R.: robustness index.

Quant à la base de la terrasse T3 de l'Oued M'Tal, elle a livré un métacarpe gauche du bovidé *Bos primigenius* dont

il manque l'épiphyse distale. Par ses mensurations, le bovidé de M'Tal se rapproche de son homologue des "Grès de Rabat" attribué par Amani (1991) au Pléistocène supérieur (Tab. II). La terrasse T3 aurait, d'après ces fossiles de mammifères de basses steppes, un âge soltanien (correspondant au Würm en Europe).

B. primigenius	D.T. proximal	D.A.P. proximal	D.T. milieu diaphyse	Longueur	I.R.L./D.T. milieu diaphyse
M'Tal- base T3	83	48,5	envi.50	260 estimé	520
Grès de Rabat (Amani, 1991)	85 (85)	48	49	255	520
		48	50	253	506

Tab. II. — Comparaison de *Bos primigenius* de M'Tal avec celui des "Grès de Rabat".

D.T (diamètre transversal), D.A.P. (diamètre antéro-postérieur), I.R.L. (indice de robustesse au niveau de la longueur)

Table II. — Comparison of *Bos primigenius* from M'Tal and from "Rabat sandstone".

## VI. — DISCUSSION

Dans les deux vallées étudiées, nous avons pu distinguer quatre terrasses fluviales.

La dynamique sédimentaire responsable de la mise en place des formations fluviales des deux vallées est caractérisée par un seul stade à énergie forte passant progressivement à une énergie faible, à l'exception de la terrasse T2 où la présence, d'une stratification oblique au sommet témoigne d'une forte énergie de la base au sommet. Ainsi, les variations de l'énergie, en liaison possible avec les fluctuations climatiques, ne sont pas brutales.

Par ailleurs, la mise en place de la base conglomératique des terrasses fluviales pourrait être contemporaine d'une phase au cours de laquelle l'érosion mécanique est intense, cette dernière pouvant être la conséquence d'une action tectonique. Une relation avec des conditions rhexistasiques peut être aussi envisagée. Toutefois, le sommet des terrasses fluviales, marqué par des sédiments fins, semblerait mis en place au cours d'une phase où le degré d'aridité est relativement faible.

Les galets moyennement aplatis et émoussés dans les deux vallées de même que les sédiments moyennement classés de la fraction fine témoignent d'un tri des sédiments relativement moyen qui peut être expliqué par la proximité des provinces émettrices.

Les grains de quartz ronds mats abondants, à l'Oued M'Tal, prouvent qu'au niveau des bassins des deux oueds M'Tal et Grandou l'action éolienne est présente.

Le taux des carbonates généralement faible, le cortège pétrographique des galets dominé par les galets provenant de roches métamorphiques (en moyenne 60 %) et le cortège de minéraux lourds dominé par les minéraux métamorphiques représentés essentiellement par plus de 40 % des micas, par l'andalousite et par la staurotite témoignent que les provinces émettrices sont représentées essentiellement par le massif métamorphique des Réhama à quartzites et à schistes paléozoïques.

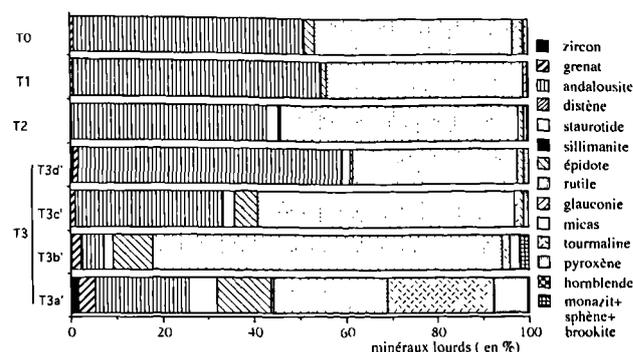
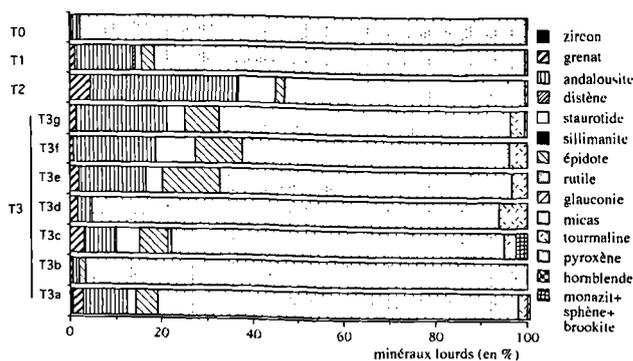


Fig. 6. — Cortège des minéraux lourds. a : de l'Oued Grandou ; b : de l'Oued M'Tal.

Fig. 6. — Heavy minerals suites.

La stabilité du cortège pétrographique des galets et de celui de minéraux lourds, pour les terrasses fluviales des plus anciennes aux plus récentes de chaque oued, permet de supposer que les provinces émettrices seraient restées les mêmes au cours du Quaternaire.

La forte teneur pondérale en minéraux lourds (environ 35 %) et le faible indice de maturité (autour de 0,02) expliqueraient par la proximité des provinces émettrices et par la faible altération des terrasses fluviales.

Les spécimens osseux de la terrasse T3 de l'Oued Grandou (chevilles osseuses de *Gazella cuvieri*) et de la terrasse fluviale T3 de l'Oued M'Tal (métacarpe osseux de *Bos primigenius*) ont permis de rectifier l'âge rissien attribué par Gigout (1951) et de dater la terrasse du Pléistocène supérieur.

La présence dans la terrasse T3 à Grandou et à M'Tal, de faunes de basses steppes, comme les bovidés et les gazelles, témoignerait d'une phase rhexistasique au cours de laquelle cette terrasse s'est déposée (Ouada & Aberkan, 1992 et Ouadia, 1998).

## VII. — CONCLUSION

La dynamique sédimentaire fluviale ayant été responsable de la mise en place des formations fluviales de la vallée de l'Oued Grandou ne diffère pas beaucoup de celle responsable de la mise en place des formations alluviales de la vallée de l'Oued M'Tal. En effet, celle-ci

semble être caractérisée par un seul stade à énergie forte (mise en place de l'unité conglomératique à la base) en passant progressivement à une énergie faible (dépôt de l'unité sablo-limoneuse au sommet). Il est donc probable qu'elle soit en relation avec des fluctuations des conditions climatiques.

Quant à l'origine des matériaux alimentant les terrasses fluviales, ils résulteraient essentiellement du massif des Réhamna. L'homogénéité du cortège pétrographique des galets et du cortège minéralogique des minéraux lourds, pour toutes les terrasses, témoignerait de la constance des provinces émettrices au cours du Quaternaire.

Si l'on considère les fossiles de mammifères recueillis dans les terrasses T3 de l'Oued Grandou et de l'Oued M'Tal il est vraisemblable qu'elles appartiennent au Pléistocène supérieur.

La présence dans la terrasse T3 de spécimens de basses steppes, bovidés et gazelle, témoignerait d'une phase rhexistastique.

Remerciements. — Les auteurs tiennent à remercier Monsieur Fathi AMANI, chargé de recherche à l'Institut national des Sciences de l'Archéologie et du Patrimoine à Rabat (Maroc), pour la détermination des fossiles de mammifères, ainsi que Mr A. Trentesaux qui a bien voulu revoir ce travail.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARAMBOURG C. (1957). — Observations sur les gazelles fossiles du Pléistocène supérieur de l'Afrique du Nord. *Bull. Soc. Hist. nat. Afr. N. Alger*, 48 pp. 49-81, 2 pl.
- AMANI F. (1991). — La faune du gisement à Hominidés du Jbel Irhoud. Contribution à l'étude de la chronologie et de l'environnement du Quaternaire marocain. Thèse de 3ème cycle, Fac. Sci. Rabat, 61 tab., 77 fig., 16 pl., 229 p.
- FERRE M. et RUHARD J.P. (1975). — Ressources en eau t. 2, (Plaines et bassins du Maroc atlantique) ; les bassins des Abdoukalla et du Sahel d'Azemmour à Safi. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc.*, n° 231, pp. 261-298.
- GIGOUT M. (1951). — Etudes géologiques sur la Méséta marocaine occidentale (arrière pays de Casablanca, Mazagan et Safi). *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc.*, n° 86, 507 p.
- OUADIA M. et ABERKAN M. (1992). — Contribution à l'étude de la répartition des sites archéologiques dans la zone atlantique entre Bir Jdid et Safi (Maroc). Colloque "Homme préhistorique de Témara et ses contemporaines du bassin méditerranéen depuis 100000 ans", Témara.
- OUADIA M. et ABERKAN M. (1996). — Contribution à l'étude géomorphologique et sédimentologique du Quaternaire de la vallée d'Oum Rbia (Méséta côtière atlantique - Maroc). 13ème Colloque des Bassins sédimentaires marocains, Marrakech, p. 158.
- OUADIA M. (1998). — Les formations plio-quaternaires dans le domaine mésétien occidental du Maroc entre Casablanca et Safi : géomorphologie, sédimentologie, paléoenvironnements quaternaires et évolution actuelle. Thèse Doc. Es. Sc., Fac. Sci. Rabat, n° 1646, 319 p.
- RECHINIAC A. (1962). — Etude sédimentologique des principales formations détritiques du Paléogène aquitain. Thèse de 3ème cycle, Bordeaux, n° 156, 263 p.
- THOMAS N. (1981). — La faune de la grotte à Néandertaliens du Jbel Irhoud (Maroc) *Quaternaria*, 23, , 13 fig. 7 tab. pp. 191-217, Rome.
- TRICART J. (1955). — Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson et Cie Ed., Paris, 496 p., 35 fig., 8 pl., h.t., 1 carte.

## ANALYSE PÉTROSTRUCTURALE DES MYLONITES DE LA ZONE DE CISAILLEMENT DE BOUGMANE (BOU AZZER-ELGRAARA, ANTI-ATLAS MAROC)

### Petrostructural analysis of mylonites of the Bougmane shear zone (Bou Azzer - El Graara, Anti - Atlas, Morocco)

par Abdelmejid RAHIMI(\*), Abdellatif SAIDI(\*\*), Zouhir BAROUDI(\*),  
Ali SAQUAQUE(\*\*\*) et Maria Luisa ARBOLEYA(\*\*\*\*)

*Résumé.* — La déformation des orthogneiss du Précambrien I, affleurant au Sud de la boutonnière de Bou-Azzer El Graara, est caractérisée par le développement de plusieurs zones de cisaillement ductiles, dont celle de Bougmane est la plus importante. L'étude cinématique montre que le développement de cette zone mylonitique résulte d'une déformation hétérogène, non-coaxiale, engendrée dans des conditions du faciès des schistes verts. A l'échelle de l'échantillon et du grain, on met en évidence l'association de déformations continues et discontinues responsables de la mylonitisation. L'augmentation de l'intensité de déformation vers la zone de cisaillement de Bougmane est exprimée par la diminution de l'angle entre les plans C et S, et par la diminution de la taille des grains, accompagnée d'importants changements minéralogiques comme la destruction progressive de la phase feldspathique, la recristallisation du quartz et des micas et la néocristallisation d'albite et de muscovite.

*Abstract.* — The deformation of lower Proterozoic orthogneiss, in the southern Bou-Azzer El Graara area, is characterised by development of several ductile shear zones, being that of Bougmane the most important of them. The kinematic development of this shear zone results from heterogeneous, non-coaxial deformation, generated under greenschists facies conditions. At the sample and grain scales, we note that an association of continuous-discontinuous deformation mechanisms is responsible for the mylonitisation. The increase in the intensity of deformation toward the Bougmane shear zone is expressed by a decrease both in the angle between S and C planes, and in grain size, accompanied by important petrographic modifications (progressive defeldspathisation, complete recrystallization of quartz and micas and neocrystallization of albite and muscovite).

### I. — INTRODUCTION

La boutonnière de Bou-Azzer El Graara est constituée principalement de terrains protérozoïques (PI et PII) recouverts en discordance par le Précambrien III et l'Adoudounien (fig. 1). Les terrains du Précambrien II ont fait l'objet de plusieurs études pétro-structurales, aboutissant à l'élaboration de deux modèles géodynamiques.

Le premier proposé par Leblanc et Lancelot (1980), invoque la fermeture d'un domaine océanique septentrional par subduction vers le sud, sous le craton où la boutonnière de Bou Azzer El Graara correspond à une marge continentale affectée par la phase majeure panafricaine B1 (675 Ma). Cette dernière est responsable de l'obduction d'écaillés ophiolitiques sur le craton Ouest africain et elle est suivie d'une collision lors de la phase ultime B2 (625 Ma).

Le deuxième modèle proposé par Saquaque *et al.* (1989) où la boutonnière de Bou-Azzer El-Graara est considérée comme le résultat d'une collision entre un ensemble arc / avant-arc situé au Nord et la bordure septentrionale du craton

Ouest africain. Cette collision serait le stade ultime d'une subduction à pendage nord.

Au Sud de ces terrains affleurent des formations attribuées au Précambrien I dont l'étude reste très fragmentaire. Ces formations affleurent largement dans le Sud de la partie centrale de la boutonnière de Bou-Azzer El Graara (fig. 1). Il s'agit, d'un complexe lithologique constitué de granitoïdes et de roches métamorphiques (fig. 2), dont la structuration est classiquement considérée comme le résultat de phases de déformations superposées (Leblanc, 1975). Sur le terrain la déformation est marquée par le développement d'une seule foliation de direction variable (N70 à N130) et à fort pendage (50° à 80° Nord). Elle porte généralement une linéation d'étirement de plongement ne dépassant jamais les 30°E. Cette foliation est accompagnée par des zones de cisaillements ductiles où la linéation d'étirement est bien définie (Rahimi, 1991).

Le but de cet article est d'examiner la zone de cisaillement ductile majeur de Bougmane et de présenter les résultats concernant la géométrie, la cinématique et l'âge des déformations mylonitiques qui y sont associées.

(\*) Faculté des sciences Ben Msik, Dép. Géologie, B.P. 7955, Casablanca, Maroc.

(\*\*) Faculté des sciences et techniques, B.P. 618, Marrakech, Maroc.

(\*\*\*) REMINEX, Groupe ONA Marrakech, Maroc.

(\*\*\*\*) Departament de Geologia, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Spain.

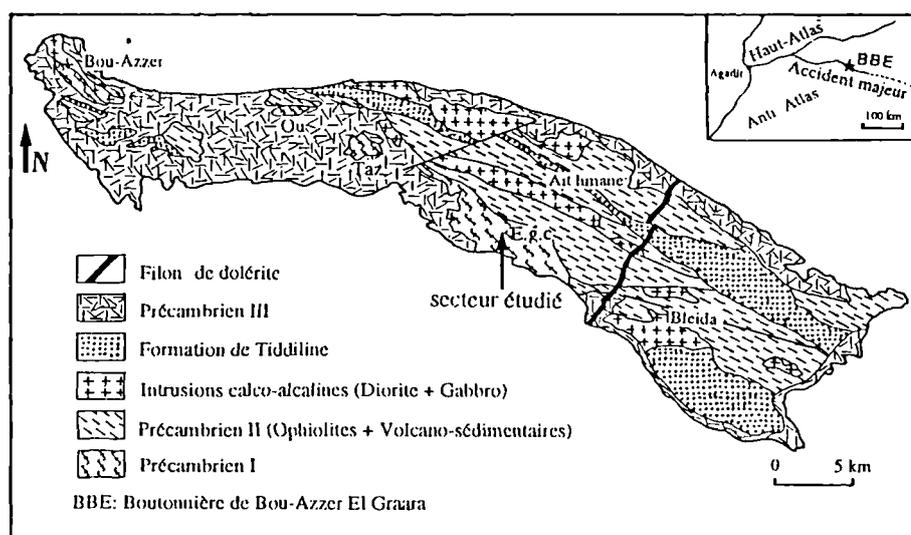


Fig. 1. — Carte géologique de la boutonnière de Bou-Azzer El-Graara d'après Leblanc (1975) montrant le secteur étudié

Fig. 1. — Geological map of the Bou Azzer El-Graara eroded anticlinal fold, following Leblanc, 1975, with indication of the studied area.

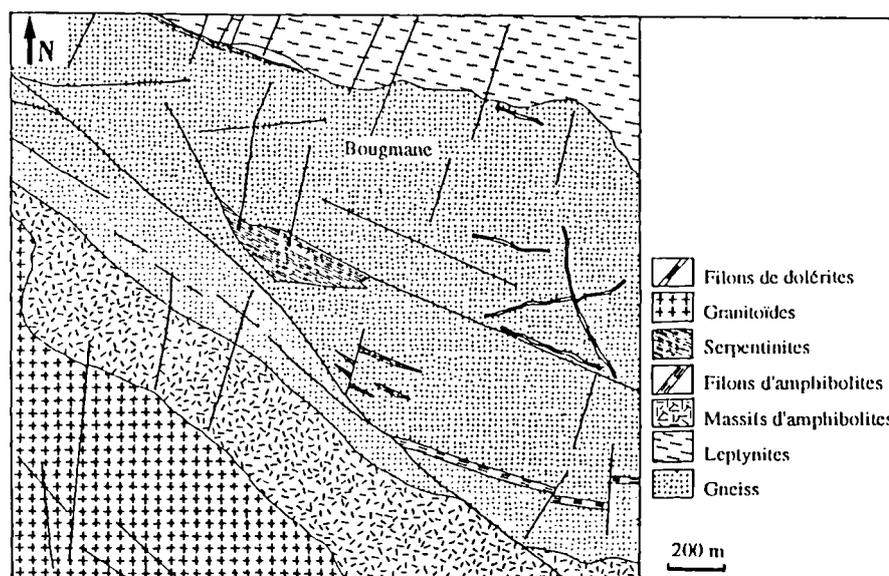


Fig 2. — Carte géologique de la région de Bougmane.

Fig 2. — Geological map of the Bougmane area.

## II. — DESCRIPTION DE LA ZONE DE CISAILLEMENT MAJEURE

Les terrains attribués au Précambrien I de la région de Bougmane sont orientés WNW-ESE, parallèlement aux unités pan-africaines de la boutonnière. Il s'agit d'un complexe lithologique constitué de leptynites, gneiss et amphibolites intrudés dans la partie Sud-Ouest par des diorites et granodiorites. Les gneiss et les leptynites dérivant de la déformation d'anciennes roches plutoniques (monzogranites et granodiorites), sont constitués de quartz, microcline, plagioclase, biotite, muscovite, épidote et chlorite. Les amphibolites sont formées essentiellement d'actinote, hornblende verte, plagioclase, quartz, épidote, chlorite et minéraux opaques.

Les levés cartographiques de cette région, ont permis de mettre en évidence plusieurs zones de cisaillement ductiles, de longueur et de largeur variables, dont la plupart sont spatialement liées à des limites lithologiques. Elles se traduisent par une réorientation progressive et une intensification de la foliation qui tend à prendre une allure sigmoïde. Dans ces zones de cisaillement, la foliation devient subverticale et porte souvent une linéation d'étirement subhorizontale (Rahimi *et al.*, 1998).

La plus remarquable de ces zones de cisaillement ductiles est celle du sud de Bougmane (fig. 2), d'orientation moyenne NW-SE, de pendage sub-vertical (80°N), et qui est parallèle à la direction des structures majeures de la boutonnière de Bou-Azzer El-Graara. Elle constitue une zone privilégiée où la

structure des gneiss peut être analysée. Cette structure mylonitique de plusieurs dizaines de mètres de puissance et d'une dizaine de kilomètres d'étendue latérale, sépare les gneiss des amphibolites et offre le gradient de déformation le plus intense de cette région.

Au sein de cette bande de cisaillement occupée par des gneiss fins micacés, on rencontre des méga-fentes injectées de serpentines se terminant en biseau. Les serpentines sont liées au complexe ophiolitique panafricain situé au Nord du secteur étudié. Ces dernières sont parfois interrompues par des failles qui peuvent décaler certains de leurs segments. Dans cette mégastructure subverticale, la foliation subit une rotation et devient plus intense (plans de foliation très serrés et étirement important des minéraux) vers le centre de la bande. Une linéation d'étirement subhorizontale, marquée par l'étirement de muscovite et de chlorite, s'y développe et s'accompagne parfois de stries de glissement.

Les trajectoires de foliation adoptent une allure sigmoïdale en liaison avec le développement des zones de cisaillement et parallèlement aux limites de faciès. L'existence d'une seule famille de zones de cisaillement ductiles et le développement de gradients de déformation vers ces zones de cisaillement traduisent bien le caractère hétérogène et non coaxial de cette déformation où cette zone de cisaillement a joué en décrochement ductile dextre. Ce caractère est confirmé par la présence de structures amygdalaires définies par l'interaction entre les plans de foliation et ceux de cisaillement (C/S) et par le développement de certaines microstructures dissymétriques (ombres de pression, structures C/S, micas sigmoïdes, porphyroclastes de feldspath potassique de type  $\sigma$  (Passchier et Trouw, 1996)). La présence de microplis dissymétriques à flanc long-flanc court, synchrones à la déformation majeure (la foliation est parallèle au plan axial du micropli), au voisinage de celle-ci, montre aussi le mouvement dextre de cette zone de cisaillement ductile.

A l'intérieur de cette bande de cisaillement, la présence des plis à axes courbes souligne que la déformation finie est de grande amplitude (Quinquis *et al.*, 1978; Berthé et Brun, 1980). Ces plis (d'axes  $30^\circ$  au N 130), affectant essentiellement les gneiss, sont caractérisés par le fait qu'ils remplissent la foliation et sont moulés par celle-ci.

### III. — ANALYSE DE LA DEFORMATION

#### 1) Évolution de la déformation dans les gneiss

Les gneiss de cette région, traversés par des filons de dolérites non déformés, montrent une déformation hétérogène.

La distribution de l'intensité de cette dernière a permis d'établir un gradient de déformation croissant vers la zone de cisaillement (fig. 3). Il est marqué par le développement des textures (protomylonites, mylonites et ultramylonites) caractéristiques d'une mylonitisation (Higgins, 1971). Cette mylonitisation, de plus en plus évoluée du Nord vers le Sud, est caractérisée par le passage progressif entre les différents stades de la déformation cataclastique. Elle est exprimée à différentes échelles par l'individualisation de deux familles de plans d'anisotropie.

- Les plans C sont subverticaux de direction constante N110 à N130, ils sont parallèles à la trace cartographique du cisaillement majeur. Ce sont des plans de mouvement le long desquels s'effectue un déplacement horizontal.

- Les plans S, obliques sur les précédents et également à pendages forts, constituent des plans d'orientation préférentielle des minéraux tels que les phyllosilicates, et d'étirement de certains cristaux de feldspath et des rubans de quartz; ils contiennent, au moins aux stades peu évolués de la déformation, les ombres de pression aux extrémités des clastes feldspathiques.

La variation de l'angle entre ces deux plans permet de distinguer trois stades de déformation avec un passage progressif de l'un à l'autre.

- Dans le stade le moins déformé, où les plans C sont faiblement développés, l'angle entre les plans C et S est d'environ  $40$  à  $45^\circ$ .

- Dans le deuxième stade de mylonitisation, l'angle entre les deux plans (C et S) diminue progressivement, par rotation des plans S, alors que les plans C gardent leur orientation approximativement constante. On remarque aussi une augmentation dans le nombre et la longueur des plans C en allant vers les ultramylonites. Cette augmentation est due à la création de nouveaux plans de cisaillement et à l'activation des plans S qui deviennent de plus en plus des plans de mouvement en s'approchant de la direction des plans C (Berthé *et al.*, 1979).

- Dans le dernier stade, où la déformation est très intense, les plans C et S deviennent jointifs et forment une seule anisotropie C-S parallèle à la trace cartographique du cisaillement majeur.

L'évolution de ces deux plans d'anisotropie (C et S) est accompagnée de la recristallisation et la diminution de la taille des cristaux de minéraux constituant la roche. Les passages entre ces stades de déformation sont généralement progressifs et les transformations minéralogiques et texturales qui leur sont associées, sont classiques des évolutions mylonitiques de Crevola (1987) ou de la succession de Tobisch *et al.* (1991). Elles se traduisent généralement par la destruction de la phase

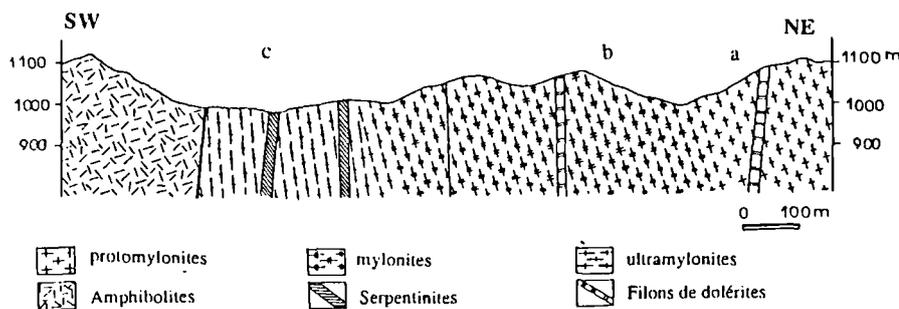


Fig. 3. — Coupe géologique illustrant l'évolution de la déformation dans les gneiss.

Fig. 3. — Geological section showing deformation in the gneiss.

feldspathique et la recristallisation corrélative des phyllites et par une importante néocrystallisation d'albite. L'albite ainsi formée est facilement transformée au cours de la déformation en muscovite. Le quartz donne naissance au début à des lits polycristallins discontinus (formés de sous-grains à bordures lobées) puis monocristallins plus ou moins continus, issus de l'étirement des amandes quartzo-feldspathiques. L'évolution texturale est marquée par des faciès où l'alternance des lits quartzo-feldspathiques et phylliteux est de plus en plus prononcée (fig. 4). Ces transformations sont accompagnées par la néocrystallisation de minéraux tels que la chlorite et l'épidote, ce qui indique bien l'existence de phénomènes de transfert de matière et la présence d'une phase fluide facilitant le transport des éléments chimiques.

## 2) Mécanismes de la déformation

L'étude microscopique de la déformation révèle qu'au début les feldspaths sont affectés par une fracturation

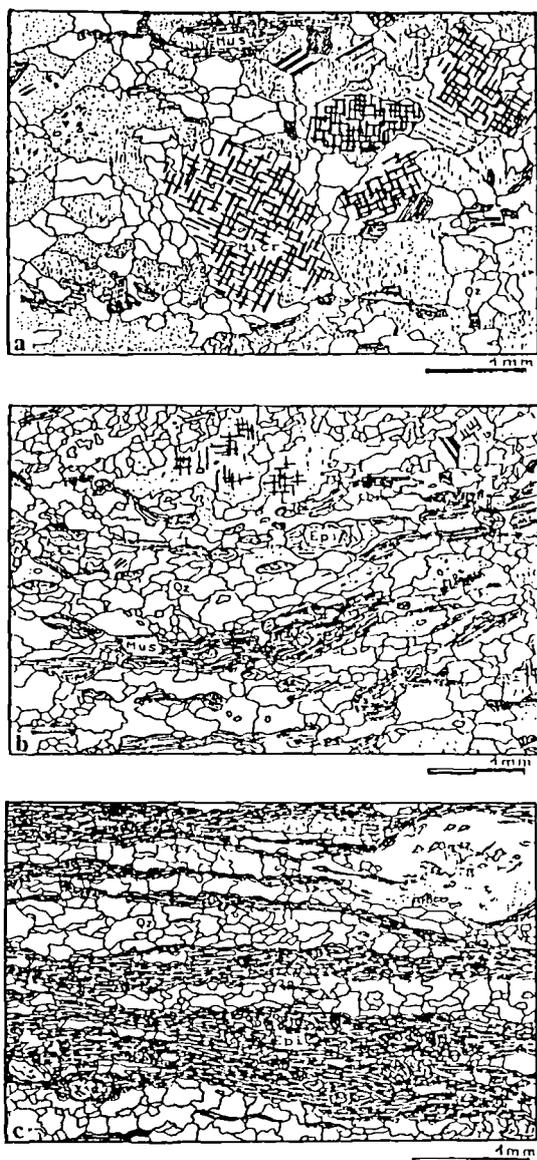


Fig. 4. — Les principaux stades de mylonitisation (a): protomylonites ; (b): mylonites ; (c): ultramylonites.

Fig. 4. — Main stages in mylonitization.

caractérisée par le développement des fentes remplies de quartz et par le déplacement des fragments de feldspaths le long des plans de cisaillement (fig. 5). Cette observation est classique dans les roches quartzo-feldspathiques (Berthé *et al.*, 1979; Watts et Williams, 1979; White *et al.*, 1980) et elle est considérée comme une déformation à basse température en présence d'eau, où la fracturation des feldspaths s'accompagne de réactions rétro-morphiques (Dixon et Williams, 1983). De plus une diffusion intracrystallin exprimé par l'albitisation et la muscovitisation des feldspaths. La déformation des cristaux de quartz se fait par glissement et recristallisation par rotation. Donc dans ces stades de mylonitisation, la déformation est compensée par la combinaison de mécanismes ductiles (fig. 6) et fragiles.

Lorsque la déformation devient intense, le développement des plans C augmente la porosité interconnectée (Etheridge *et al.*, 1983). Celle-ci crée un réseau de circulation des fluides, ce qui favorise les mécanismes de diffusion intercrystalline, caractérisés par des phénomènes de dissolution-cristallisation. La présence des cristaux de quartz en forme de rubans polycristallins, avec des joints polygonaux et des points triples, est une signature de la dominance des glissements intracrystallins (Drury *et al.*, 1985). La déformation est alors compensée par des néocrystallisations et par des glissement au joints des grains (Kerrich *et al.*, 1980; LaTour et Barnett, 1987; Selverstone *et al.*, 1991; Tobisch *et al.*, 1991). Cependant, la forte néogénèse des micas blancs (muscovite et séricite), combinée à la très petite taille des grains dans les ultramylonites, est due à l'activité de la diffusion aux joints des grains en milieu hydraté (Marquer, 1987; Gapais, 1987).

Ces mécanismes de diffusion sont classiquement associés à un comportement superplastique, marqué par l'activité de glissements aux joints des grains (Boullier et Gueguen, 1975; Schmid *et al.*, 1977; White, 1977; Etheridge et Wilkie, 1979). La prépondérance de ces mécanismes de déformation est maintenue par la néogénèse et la dispersion de fines particules micacées le long des joints, en limitant la croissance des néoblastes de quartz et feldspath (White, 1976; 1977; Etheridge et Wilkie, 1979; White *et al.*, 1980; Gapais et White, 1982).

## IV. — CONDITIONS PHYSIQUES DE LA DÉFORMATION

Dans l'absence des silicates d'alumine et des couples ou associations de minéraux thermo-barométriques, la détermination des conditions physiques de cette déformation, est difficilement appréciable. Mais plusieurs caractères attestent que cette déformation s'est produite dans les conditions du faciès des schistes verts. Ainsi, l'instabilité de la biotite dans les gneiss et la recristallisation de sous grains de quartz suggèrent des conditions thermiques en dessous de 550°C (Simpson, 1985). De même, la néogénèse des micas blancs (séricite et muscovite) le long des fractures des feldspaths, indique des conditions rétro-morphiques de basse température (Beach, 1976; Mitra, 1978; Watts et Williams, 1979; Dixon et Williams, 1983). Le développement des rubans polycristallins est caractéristique d'une déformation à température minimale, de l'ordre de 350 à 400°C (White, 1976; Boullier et Bouchez, 1978).

Les plans de cisaillement et de foliation sont surtout marqués par des cristallisations de chlorite-séricite-épidote. Les conditions P-T de stabilité de ces associations minéralogiques sont estimées à 2-3 Kbar et 300-400°C (Clavieres, 1990; Monié, 1994).

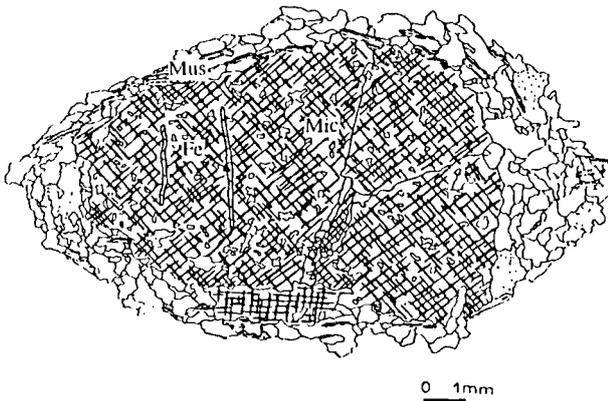


Fig. 5. — Aspect de la déformation discontinue dans les feldspaths.  
Mus: muscovite ; Mic: microcline ; Fe : fente.

Fig. 5. — Aspect of discontinuous deformation in the feldspaths.

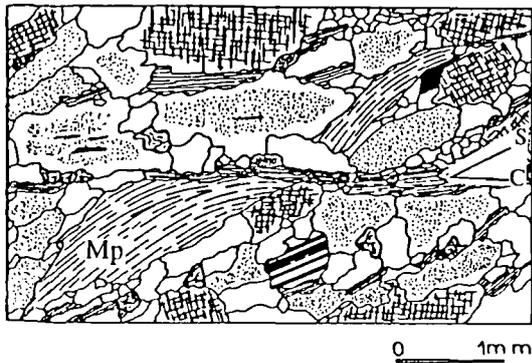


Fig. 6. — Aspect microscopique de la déformation continue dans les gneiss.

Mp: micas en forme de poisson ; S: plan de schistosité ; C: plan de cisaillement.

Fig. 6. — Aspect of continuous microdeformation in the gneiss.  
Mp: fish shaped micas, S: schistosity surface, C: shear plane

## V. — DISCUSSION ET CONCLUSION

L'étude de la déformation des terrains éburnéens de la région de Bougmane révèle qu'ils sont affectés par une

déformation pénétrative exprimée par le développement d'une foliation porteuse d'une linéation d'étirement et des zones de cisaillement (Rahimi *et al.*, 1998). Cette déformation est régie par la combinaison entre la diffusion et le glissement aux joints des grains. Elle est associée à une mylonitisation dont les structures, les micro-structures, les mécanismes de déformation et les transformations minéralogiques sont compatibles conditions thermodynamiques du faciès des schistes verts (T= 300 à 400 °C et P= 2 à 3 kbars). La déformation de cette région est caractérisée surtout par le développement d'une zone de cisaillement ductile accompagnée d'une mylonitisation de plus en plus évoluée du Nord vers le Sud. Les mylonites associées à cette bande de cisaillement se traduisent par une structure plano-linéaire (foliation verticale, linéation horizontale). Les critères de cisaillement macroscopiques (allure sigmoïde de la foliation et dissymétrie des queues de cristallisation) et microscopiques (structures C/S, ombres de pression, micas sigmoïdes) sont caractéristiques d'une déformation hétérogène non coaxiale où le sens de cisaillement est dextre. Il s'agit de la première description de ce genre de structure dans les gneiss du Précambrien I de la boutonnière de Bou-Azzer El-Graara.

Pour ce qui est de l'âge de cette déformation, et en l'absence d'études radiométriques des intrusions de cette région, la cinématique des mylonites du Précambrien I de Bougmane ne permet pas à elle seule de trancher la question de leur âge. Cependant, la déformation reste un trait structural remarquable pour comprendre l'évolution tectonique de ce secteur. Ainsi, sur le terrain, la présence de lentilles de serpentinites schistosées et allongées parallèlement à la foliation et dont la mise en place ne peut être liée qu'au complexe ophiolitique du domaine panafricain de la boutonnière de Bou-Azzer El Graara, suggère que cette déformation ne peut s'être développée qu'au cours de la phase majeure panafricaine "B1". Ceci est également confirmé par le fait que les formations du Précambrien I et du Précambrien II sont affectées par la même déformation qui passe en continuité des unes aux autres. Il faut aussi ajouter aussi que les caractéristiques de cette zone de cisaillement sont similaires à celles décrites dans le domaine nord panafricain. Donc, au cours du cycle panafricain, les terrains éburnéens du secteur étudié sont affectés par une déformation responsable du développement des mylonites de la zone de cisaillement de Bougmane. Ceci est en accord avec les caractéristiques de la déformation affectant les gneiss du Précambrien I de la boutonnière de Kerdous et qui est rattachée à l'orogénèse panafricaine (Hassenforder, 1985).

*Remerciements.* — Les auteurs remercient C. Lamouroux de l'université de Lille 1, pour ses suggestions et ses critiques constructives.

## BIBLIOGRAPHIE

- BEACH A. (1976). — The inter-relations of the fluid transport, deformation, geochemistry and heat flow in early proterozoic shear zones in the Lewisian complex. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 280, pp. 569-604.
- BERTHÉ D. et BRUN J.P. (1980). — Evolution of folds during progressive shear in the South Armorican Shear Zone, France. *J. Struct. Geol.*, 2, pp. 127-133.
- BERTHÉ 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, pp. 31-42.
- BOULLIER A.M. et BOUCHEZ J.L. (1978). — Le quartz en rubans dans les mylonites. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t. XX, n°3, pp. 253-262.
- BOULLIER A.M. et GUEGUEN Y. (1975). — SC mylonites: origin of some mylonites by superplastic flow. *Contr. Mineral. Petrol.*, 50, pp. 93-104.
- CHARLOT R. (1982). — Caractérisation des événements éburnéens et panafricains dans l'Anti-atlas marocain. Apport de la méthode géochronologique Rb/Sr. *Notes et Mémoires Service Géologique Maroc*, 313, 106p.
- CLAVIERES (1990). — Muscovitisation et feldspathisation hydrothermales dans le massif granitique de Millas (Pyrénées orientales). Géométrie, géochimie, modélisation. Thèse Univ., Paris VI, 165p.

- CREVOLA G. (1987). — Les orthomicaschistes, produits de la déformation cisailante ductile synmétamorphe de granites avec transfert de matière: principaux caractères et exemples dans la chaîne varisque du Sud de la France. *Geodinamica Acta, Paris, 1*, 3, pp. 207-221.
- DIXON J. et WILLIAMS G. (1983). — Reaction softening in mylonites from the Arnaboll thrust southerland. *Scott. J. Geol.*, 19, pp. 157-168.
- DRURY N.R., WHITE S.H. et HUMPHREYS F.J. (1985). — Large strain deformation studies using magnesium as a rock analogue, part. II. *Phys. Earth./ Planet. Inter.*, 40, pp. 208-228.
- ETHERIDGE M.A. et WILKIE J.C. (1979). — Grain size reduction, grain boundary sliding and the flow strenght of mylonites. *Tectonophysics*, 58, pp. 159-178.
- ETHERIDGE M.A., WALL V.J. et VERNON R.H. (1983). — The role of the fluid phase during regional metamorphism and deformation. *J. Metamorphic. Geol.*, 1, pp. 205-226.
- GAPAIS D. (1987). — Les orthogneiss, structures, mécanismes de déformation et analyse cinématique. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Rennes I, 364p.
- GAPAIS D. et WHITE S.H. (1982). — Ductile shear bands in a naturally deformed quartzite. *Textures and microtextures*, 5, pp. 1-17.
- HASSENFORDER B. (1985). — Les mylonites de la zone de faille ductile pan-africaine des Ameln (Kerdous, Anti-Atlas, Maroc). Une analyse pétrostructurale de la déformation S/C. *Géol. Bull., Strasbourg*, 38, 2, pp. 215-226.
- HIGGINS M. W. (1971). — Cataclastic rocks. U.S Geol. Survey. *Professional Paper*, 687, p.97.
- KERRICH R., ALLISON I., BARNETT R.L., MOSS S. et STRAKEY J. (1980). — Microstructural and chemical transformations accompanying deformation of granite in a shear zone at Mieville, Switzerland; with implications for stress corrosion cracking and superplastic flow. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 73, pp. 221-242.
- LATOUR T.E et BARNETT R.L. (1987). — Mineralogical changes accompanying mylonitization in the Bitterroot dome of the Idaho batholith: implications of timing of deformation. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 98, n° 3, 356 à 363.
- LEBLANC M. (1975). — Ophiolites précambriennes et gites arseniers de cobalts (Bou-Azzer, Maroc).Thèse d'Etat, Montpellier; 280p.
- LEBLANC M. et LANCELOT J.R. (1980). — Interprétation géodynamique panafricaine (Précambrien terminal) de l'Anti-Atlas maroc à partir de données géologiques et géochronologiques. *Canad. J. Earth Sc.*, 17, pp. 142-155.
- MARQUER D. (1987). — Transfert de matière et déformation progressive des granitoïdes. Exemple des massifs de l'Aar et du Gothard (Alpes centrales suisses). Thèse, Univ. Rennes, *Mémoires et documents du C.A.E.S.S.*, n° 10, 237p.
- MITRA G. (1978). — Ductile deformation and mylonites: The mechanical processes involved in deformation of crystalline basement rocks. *Amer. J. Sci.*, vol. 278, pp. 1057-1084.
- MONIE P., SOLIVA J., BRUNEL M. et MALUSKI H. (1994). — Les cisaillements mylonitiques du granite de Millas ( Pyrénées, France). Age Crétacé <sup>40</sup>Ar/ <sup>39</sup>Ar et interprétation tectonique. *Bull. Soc. géol. France* n° 6. pp. 559-571.
- PASSCHIER C.W. et TROUW R.A.J. (1996). — *Microtectonics, Springer, Verlag, Berlin*, 289p.
- QUINQUIS H., AUDREN C.L., BRUN J.P. et COBBOLD, P.R. (1978). — Intensive progressive shear in Ile de Groix blue schists and compatibility with subduction or obduction. *Nature*, 273, pp. 43-45.
- RAHIMI A. (1991). — Les formations métamorphiques du Précambrien I d'El-Graara central (Boutonnière de Bou-Azzer El-Graara) Anti-Atlas, Maroc. Etude pétrographique et structurale. Thèse 3ème cycle. Marrakech, 158p.
- RAHIMI A., SAQUAQUE A. et NACHIT H. (1998). — Structures et microstructures de déformations dans le Précambrien I du Sud d'Aït Hmane (Anti-Atlas, Maroc). *Africa Geosciences Review*, Vol. 5, pp. 117-121.
- SAQUAQUE A., ADMOU H., KARSON J.A., HEFFRAN K. et REUBER I. (1989). — Precambrian accretionary tectonics in the Bou Azzer El-Graara region. Anti-Atlas (Morocco). *Geology*, 17, pp. 1107-1110.
- SCHMID S.M., BOLAND J.N. et PATERSON M.S. (1977). — Superplastic flow in fine grained limestone. *Tectonophysics*, 43, pp. 257-292.
- SELVERSTONE J., MORTEANI G. et STAUDE J.M. (1991). — Fluid channelling during ductile shearing: transformation of granodiorite to aluminos schists in the Tauern window, Eastern Alps. *J. metamorphic. Geology*, 9, 419-431.
- SIMPSON C. (1985). — Deformation of granitic rocks across the brittle-ductile transition. *J. Struct. Geol.*, 7, n°5, pp. 503-511.
- TOBISCH O.T., BARTON M.D., VERNON R.H. et PATERSON S.R. (1991). — Fluid enhanced deformation: transformation of granitoids to banded mylonites, Western Sierra Nevada, California, an Southwestern Australia. *J. Struct., Geol.*, 13, n°10, pp. 1137-1156.
- WATTS M.J. et WILLIAMS G.D. (1979). — Fault rocks as indicators of progressive shear deformation in the Guingamp region, Brittany. *J. Stuct. Geol.*, 1, pp. 323-332.
- WHITE S.H. (1976). — The effects of strain on the microstructures fabrics and deformation mechanisms in quartzites. *Phill. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 283, pp. 69-86.
- WHITE S.H. (1977). — Geological significance of recovery and recrystallization processes in quartz. *Tectonophysics*, 39, pp. 143-170.
- WHITE S.H., BURROWS S.E., CARRERAS J., SHAW N. D. et HUMPHREYS F. J. (1980). — On mylonites in ductile shear zones. *J. Struct. Geol.*, 2, pp. 175-187.

## PROPAGATION D'UN TRACEUR EN MILIEU POREUX POUR DES FONCTIONS D'ENTREE QUELCONQUES ET DANS UN CHAMP DE VITESSES VARIABLES.

### Mass transfert in porous media in unsteady flow and for different input functions

Par Erick CARLIER(\*)

*Résumé.* — Partant du principe de conservation de la masse, une fonction temporelle d'injection a été établie. Elle permet de simuler, entre les temps de début et de fin d'introduction d'un traceur, différents types d'injection en flux décroissant ou croissant, ainsi que les cas particuliers des injections de Dirac, en créneau et continue. Cette fonction, associée à une expression analytique de réponse impulsionnelle dans une intégrale de convolution, permet de calculer la concentration de sortie à débit constant ou variable, la variabilité pouvant intervenir après et/ou pendant l'injection du traceur. Seul le cas mono dimensionnel, en advection-dispersion sans échanges ni dégradation, est envisagé. Un code de calcul, C.E.S., a été écrit en VISUAL BASIC pour simuler ce type de transfert.

*Abstract.* — An input function of tracer or pollutant has been elaborated in order to simulate the output response in general case of injection and unsteady flows. This function combined with the equation of the impulse response in an integral of convolution enables to compute the response in steady or unsteady flow, even if the unsteady flow occurs during and after the time interval of injection. We take into account advection and dispersion without sorption and biodegradation in a 1-D model. A computer code has been written in Visual BASIC to simulate the mass transfer.

#### Liste des symboles

$f(t)$ : fonction d'injection (densité de probabilité) ( $L^{-1}$ )	D: coefficient de dispersion ( $D = \alpha \cdot U$ ) ( $L^2 \cdot T^{-1}$ )
M: masse totale injectée (M)	X: distance (L)
m: masse injectée entre $t_1$ et $t_2$ (M)	Q: débit ( $L^3 \cdot T^{-1}$ )
N(a,b): loi normale de moyenne a et de variance b	$h(t)$ : réponse impulsionnelle ( $T^{-1}$ )
q: paramètre de calage de $f(t)$ ( $T^{-1}$ )	T: durée d'injection (T)
t, $t_1$ , $t_2$ : temps (T)	$\alpha$ : dispersivité (L)
u, x, $\tau$ , $\zeta$ : variables d'intégration.	c: concentration ( $M \cdot L^{-3}$ )
U: vitesse moyenne ( $L \cdot T^{-1}$ )	

#### I. — INTRODUCTION

Généralement, les courbes de restitution de traceur sont interprétées avec des hypothèses simplificatrices sur les conditions d'injection: fonction de Dirac, en créneau ou continue (Sauty, 1977). Les fonctions de sorties d'allure gaussienne sont fréquemment analysées comme étant des réponses à une entrée de type Dirac, rigoureusement jamais

réalisée. Elles ne sont donc pas des réponses impulsionnelles au sens strict. Celles-ci peuvent être déterminées par les opérations de convolution-déconvolution si les fonctions d'entrée et de sortie sont connues. Si les équations analytiques des réponses impulsionnelles sont généralement connues, il en est autrement des fonctions d'entrées; or, le problème important à résoudre est de prévoir l'évolution de la concentration du polluant en un point qui peut être une source

(\*) Université d'ARTOIS, Laboratoire d'Artois, Mécanique et Habitat (L.A.M.H), EA 2472, Faculté Jean Perrin, Boulevard J. Souvraz, BP18, 62307 Lens Cedex.

ou un captage d'alimentation en eau potable. La prévision, et donc la prévention, ne sera possible que par convolution de la réponse impulsionnelle avec la fonction d'entrée, ou en introduisant celle-ci dans un modèle numérique de simulation. L'objet de cette étude est d'établir une fonction temporelle de simulation d'injection, respectant la loi de conservation de la masse, et permettant de reproduire des entrées à flux décroissant, constant et croissant, phénomènes souvent rencontrés au niveau des piézomètres d'injection, ainsi que les cas particuliers de l'impulsion de Dirac et de l'injection continue. Cette fonction peut aussi être intégrée dans des modèles simulant des pollutions diffusées dont la zone d'infiltration n'est pas un point mais une surface (Duffy et Lee, 1992). Associée à l'expression analytique d'une réponse impulsionnelle dans une intégrale de convolution, elle permet de calculer les concentrations à la sortie du système étudié dont les caractéristiques géométriques sont généralement mal ou méconnues; c'est l'approche "boîte noire", souvent utilisée pour l'étude des systèmes karstiques (Villiermaux *et al.*, 1969; Stanton *et al.*, 1981; Lepiller *et al.*, 1996; Zuber, 1986; Dreiss, 1989; Dzikowski *et al.*, 1991, 1992).

## II. — ELABORATION DE LA FONCTION D'ENTREE

Considérons une masse  $M$  injectée de  $t=0$  à  $t=T$  et une fonction de flux  $f(t)$  ( $T^{-1}$ ) telle que:

$$m = M \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \quad (1)$$

représente la masse introduite dans le milieu pendant l'intervalle de temps ( $t_2 - t_1$ ). Au temps  $T$ , toute la masse  $M$  a été introduite; la fonction  $f(t)$  doit donc satisfaire la contrainte:

$$\int_0^T f(t) dt = 1 \quad (2)$$

Les tables d'intégrales de Gradshteyn et Ryzhik suggèrent l'emploi d'équations de la forme:

$$\int_0^u e^{-q^2 x^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2q} \cdot \phi(qu) \quad (3)$$

$$\text{avec } q > 0 \text{ et } \phi(qu) = \frac{2}{\sqrt{p}} \cdot \int_0^{qu} e^{-\zeta^2} d\zeta \quad (4)$$

avec  $\zeta$  variable d'intégration.

Par analogie avec la loi normale de moyenne  $m$  et de variance  $\sigma^2$ , la variable  $(qu)$  suit une loi qui est égale au double de la loi normale de moyenne nulle et de variance

$$\frac{1}{\sqrt{2}} :$$

$$\phi(qu) = 2 \cdot \int_0^{qu} N\left(0, \frac{1}{\sqrt{2}}\right) \cdot d\zeta \quad (5)$$

En posant  $\zeta = \frac{\tau}{\sqrt{2}}$ , l'équation (5) devient:

$$\phi(qu) = 2 \cdot \int_0^{\sqrt{2}qu} N(0,1) d\zeta = 2 \cdot P(0 < x < \sqrt{2} qu) \quad (6)$$

soit:

$$\phi(qu) = 2 \cdot (P(x < \sqrt{2}qu) - 0,5) \quad (7)$$

En posant  $u = T$ , il est possible d'établir une expression analytique de la fonction  $f(t)$  qui satisfasse la loi de conservation de la masse:

$$f(t) = \frac{2q}{\phi(qT)} \cdot \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-q^2 t^2} \quad (8)$$

L'équation (1) montre que  $\int_0^T f(t) dt = 1$ .

En combinant (7) et (8), il vient:

$$f(t) = \frac{q}{\sqrt{\pi} (P(x < \sqrt{2}qT) - 0,5)} \cdot e^{-q^2 t^2} \quad (9a)$$

Cette équation, dont les solutions décroissent avec le temps, a été utilisée pour simuler le transfert de masse en colonne par un modèle numérique à particules (Delay & *all*, 1994).

Une fonction croissante peut être construite à partir de (9):

$$f(t) = \frac{2}{T} \cdot \frac{q}{\sqrt{\pi} (P(x < \sqrt{2}qT) - 0,5)} \cdot e^{-q^2 t^2} \quad (9b)$$

avec  $\int_0^T f(t) dt = 1$ .

$P(x < \sqrt{2} qT)$  est la probabilité qu'a la variable  $x$  d'être inférieure à  $\sqrt{2} qT$ , cette variable suivant une loi normale centrée réduite.

Le paramètre  $q$ , dont la dimension est l'inverse d'un temps, est le paramètre de calage; le temps  $T$  est fixé par l'expérimentation; la probabilité pour que la variable  $x$  soit inférieure à  $\sqrt{2} qT$  est tabulée. Dans le programme de calcul C.E.S., cette probabilité est calculée par la méthode de Simpson.

III. — CALCUL DES FONCTIONS DE SORTIE A DEBIT CONSTANT ET VARIABLE PAR CONVOLUTION

1) Intégrale de convolution

La réponse impulsionnelle utilisée est relative à une répartition gaussienne des concentrations dans l'espace:

$$h(t) = \frac{U}{\sqrt{4.\pi.D.t}} \cdot e^{-\frac{(X-Ut)^2}{4.D.t}} \quad (10)$$

avec  $\int_0^{\mu} \eta(\tau).d\tau = 1$

L'expression 10 est la solution, pour un signal de DIRAC, de l'équation de dispersion:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D * \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - U * \frac{\partial c}{\partial x}$$

La fonction d'entrée est:

$$E(t) = \frac{q}{\sqrt{\pi} (P(x < \sqrt{2qT}) - 0,5)} \cdot e^{-q^2 t^2} \quad (11a)$$

Ou

$$E(t) = \frac{2}{T} \cdot \frac{q}{\sqrt{\pi} (P(x < \sqrt{2qT}) - 0,5)} \cdot e^{-q^2 t^2} \quad (11b)$$

Par la méthode de convolution, la concentration à la sortie du système s'exprime par:

$$c(t) = \frac{M}{Q} \cdot \int_0^T E(\tau).h(t-\tau).d\tau \quad (12)$$

où T est la durée d'injection. En posant  $\zeta = t - \tau$ , l'expression 12 devient:

$$c(t) = \frac{M}{Q} \cdot \int_{t-T}^t E(t-\zeta).h(\zeta).d\zeta \quad (13)$$

Le calcul de 13 est effectué selon la méthode numérique de Simpson.

2) Principe de transformation de la réponse impulsionnelle et des paramètres de l'intégrale de convolution.

Pour un débit Q et un temps t, le volume d'eau sorti est Q.t. Pour un débit Q', le même volume d'eau sera sorti du système au temps t' =  $\frac{Q}{Q'}$  . t.

Considérons qu'au temps t<sub>1</sub> le débit passe de Q<sub>0</sub> à Q<sub>1</sub>; la réponse impulsionnelle au temps t<sub>1</sub> h(t<sub>1</sub>, Q<sub>0</sub>) est, d'après (10), égale à h(t<sub>1</sub> .  $\frac{Q_0}{Q_1}$ , Q<sub>1</sub>). En terme de concentration, on

obtient la relation C(t<sub>1</sub>, Q<sub>0</sub>) = C(t<sub>1</sub> .  $\frac{Q_0}{Q_1}$ , Q<sub>1</sub>).

Pour un temps chronologique t > t<sub>1</sub>, tel que t = t<sub>1</sub> + Δt, le temps de "calcul" intervenant dans l'expression de la réponse impulsionnelle sera t<sub>1</sub> .  $\frac{Q_0}{Q_1}$  + Δt

pour t<sub>2</sub> > t > t<sub>1</sub>

$$C(t) = h\left(t - t_1 + t_1 \cdot \frac{Q_0}{Q_1}\right) = C\left(t - t_1 \left(1 - \frac{Q_0}{Q_1}\right)\right) \quad (14)$$

Si, à t<sub>2</sub>, le débit passe de Q<sub>1</sub> à Q<sub>2</sub>, nous avons l'égalité:

$$C\left(t_2 - t_1 \cdot \left(1 - \frac{Q_0}{Q_1}\right), Q_1\right) = C\left(t_2 - t_1 \cdot \left(1 - \frac{Q_0}{Q_1}\right) \cdot \frac{Q_1}{Q_2}, Q_2\right) \quad (15)$$

Pour un temps chronologique t = t<sub>2</sub> + Δt, le temps de "calcul" sera

$$\left(t_2 - t_1 \cdot \left(1 - \frac{Q_0}{Q_1}\right)\right) \cdot \frac{Q_1}{Q_2} + \Delta T,$$

soit, en remplaçant Δt par t - t<sub>2</sub>:

$$\text{temps de "calcul"} = t - t_2 \cdot \left(1 - \frac{Q_1}{Q_2}\right) - t_1 \cdot \left(1 - \frac{Q_0}{Q_1}\right) \cdot \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) \quad (16)$$

Par récurrence, on établit la formule générale, pour un temps chronologique t supérieur à t<sub>n</sub>:

temps de "calcul" =

$$\text{temps chronologique} - \sum_{k=1}^n t_k \cdot \left(1 - \frac{Q_{k-1}}{Q_k}\right) \cdot \frac{Q_k}{Q_n} \quad (17)$$

De même, les vitesses moyennes, temps d'injection, coefficient de dispersion et paramètre de calage de la fonction d'entrée doivent être transformés:

$$U_n = U_0 \cdot \frac{Q_n}{Q_0} \quad (18)$$

$$D_n = D_0 \cdot \frac{Q_n}{Q_0} \quad (19)$$

$$T_n = T \cdot \frac{Q_0}{Q_n} \quad (20)$$

$$q_n = q \cdot \frac{Q_n}{Q_0} \quad (21)$$

Dans le cas où la variation de débit intervient aussi pendant le temps d'injection T, celui-ci est divisé en un nombre d'intervalles égal au nombre de variation de débit durant T; pour chaque intervalle, les masses injectées respectives sont calculées par l'équation 1 selon la méthode de Simpson, ainsi que l'intégrale de convolution 13 dans laquelle la masse totale M est remplacée par la masse relative à l'intervalle considéré ; les résultats obtenus pour les différents intervalles et pour un même temps chronologique sont additionnés.

Pour un intervalle  $T_i$  du temps d'injection total T, pour lequel le débit est  $Q_i$ , afin de satisfaire la loi de conservation de masse, le paramètre de calage q, relatif à T, doit être transformé en :

$$q_i = q \cdot \frac{T}{T_i} \quad (22)$$

pour les variations de débits ultérieures à  $T_i$ , les transformations suivantes doivent être réalisées:

$$q_n = q_i \cdot \frac{Q_n}{Q_i} \quad (23)$$

$$T_n = T_i \cdot \frac{Q_i}{Q_n} \quad (24)$$

exemple: considérons le scénario suivant:

$0 < t_1 < T$ : le débit passe de  $Q_0$  à  $Q_1$  à  $t_1$

$t_1 < t_2 < T$ : le débit passe de  $Q_1$  à  $Q_2$  à  $t_2$

$t_3 > T$ : le débit passe de  $Q_2$  à  $Q_3$  à  $t_3$ .

Le calcul des concentrations à la sortie du système s'effectuera de la façon suivante:

$t < t_1$  : calcul entre 0 et  $t_1$

$t_1 < t < t_2$  : calcul entre 0 et  $t_1 \cdot \frac{Q_0}{Q_1}$  + calcul entre  $t_1$  et  $t_2$ .

$t_2 < t < t_3$  : calcul entre 0 et  $t_1 \cdot \frac{Q_0}{Q_2}$  + calcul entre  $t_1$  et

$(t_2 - t_1) \cdot \frac{Q_1}{Q_2} + t_1$  + calcul entre  $t_2$  et T

$t > t_3$  : calcul entre 0 et  $t_1 \cdot \frac{Q_0}{Q_3}$  + calcul entre  $t_1$

et  $(t_2 - t_1) \cdot \frac{Q_1}{Q_3} + t_1$  + calcul entre  $t_2$  et  $(T - t_2) \cdot \frac{Q_2}{Q_3} + t_2$

#### IV. — EXEMPLES DE SIMULATION

Les exemples présentés reprennent, comme réponse impulsionnelle expérimentale, celle obtenue par Porel (1988) sur matériaux siliceux dont voici les caractéristiques:

- Débit: 1,71 cm<sup>3</sup>/s
- Vitesse moyenne: 0,063 cm/s
- Dispersivité: 0,56 cm
- Masse injectée: 5054,2 microgrammes.
- Distance d'observation: 179,1 cm.

Les cas suivants sont envisagés:

— réponse à une injection instantanée de traceur à débit constant (fig. 1)

— réponse à une injection à flux décroissant à débit constant (fig. 2)

— réponse à une injection en créneau à débit constant (fig. 3)

— réponse à une injection à flux croissant à débit constant (fig. 4)

— réponse à une injection en créneau avec variation du débit pendant et après le temps d'injection (fig. 5)

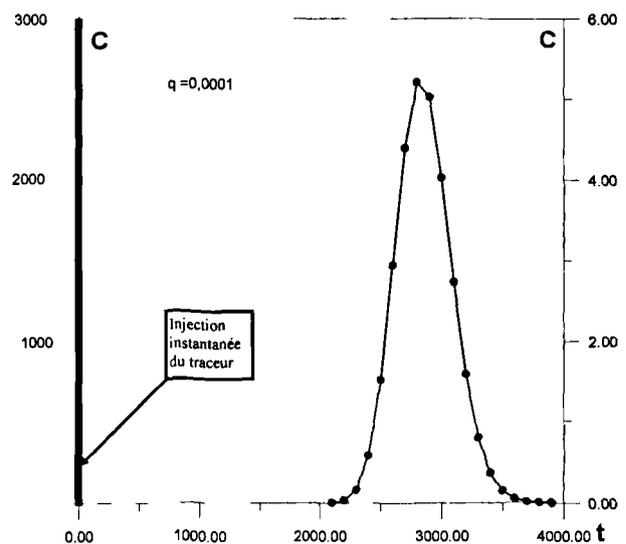


Fig.1. — Courbe de restitution d'un traceur en réponse à une injection instantanée (q: coefficient de calage, C: concentration en mg/l, t: temps en secondes)

Fig.1. — Response to a Dirac input

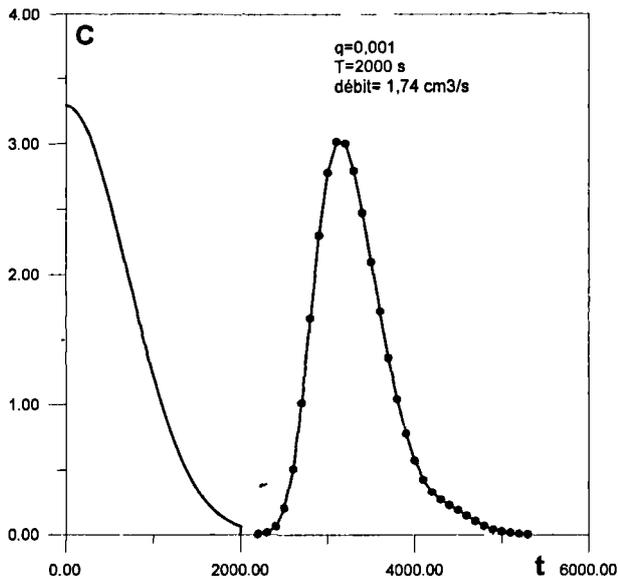


Fig. 2. — Courbe de restitution d'un traceur en réponse à une injection en flux décroissant à débit constant (q: coefficient de calage, C: concentration en mg/l, t: temps en secondes)

Fig. 2. — Response to a decrease flux in steady flow

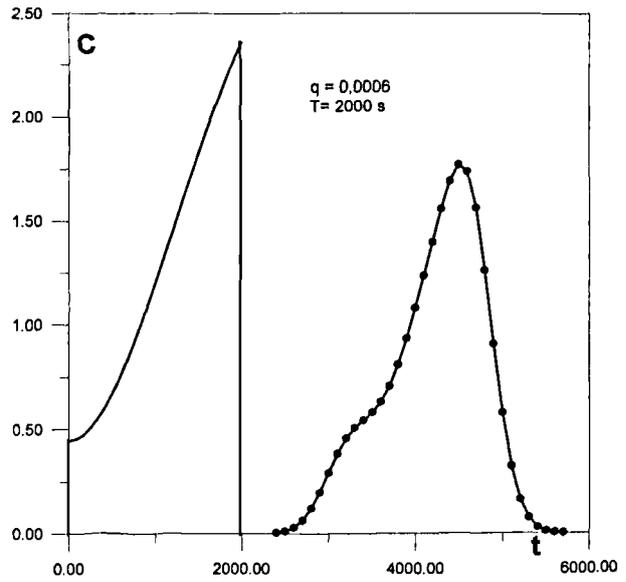


Fig. 4. — Courbe de restitution d'un traceur en réponse à une injection à flux croissant à débit constant (q: coefficient de calage, C: concentration en mg/l, t: temps en secondes)

Fig. 4. — Response to an increase input in steady flow

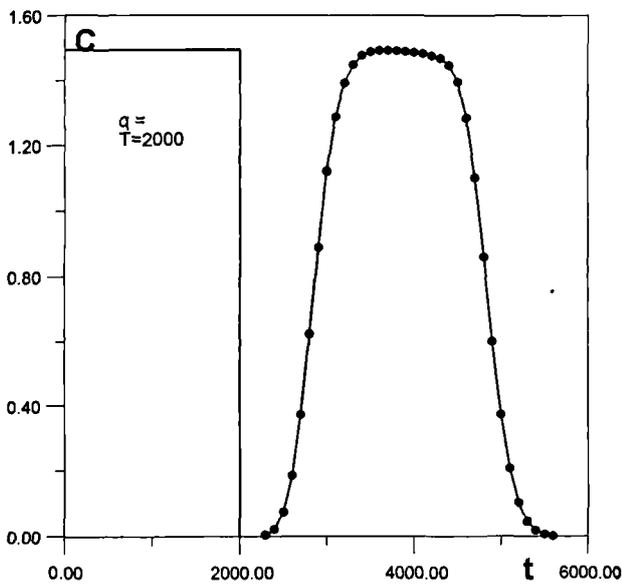


Fig. 3. — Courbe de restitution d'un traceur en réponse à une injection en créneau à débit constant (q: coefficient de calage, C: concentration en mg/l, t: temps en secondes)

Fig. 3. — Response to a step input in steady flow

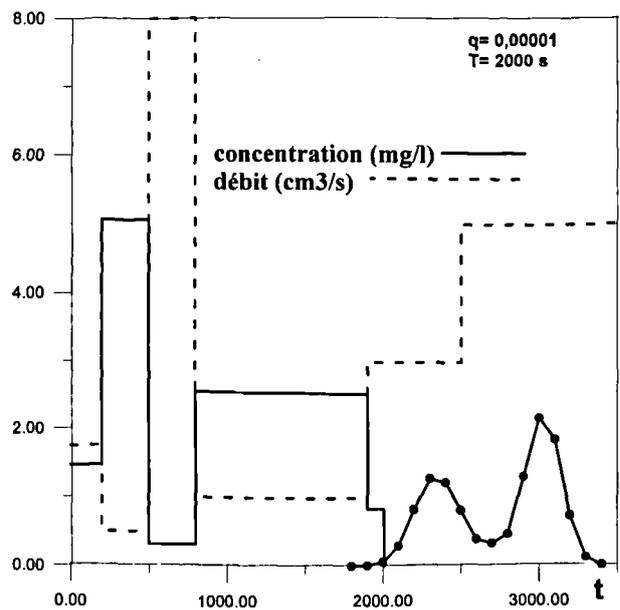


Fig. 5. — Courbe de restitution d'un traceur en réponse à une injection en créneau avec variation du débit pendant et après le temps d'injection (q: coefficient de calage, C: concentration en mg/l, t: temps en secondes)

Fig. 5. — Response to a step input in unsteady flow which acts during and after the injection time.

Une des préoccupations de l'expérimentateur qui souhaite obtenir la réponse impulsionnelle est de savoir si l'injection qu'il a effectuée est proche de l'injection de Dirac, jamais

rigoureusement réalisée. Nous avons simulé la réponse pour différents temps d'injection à débit constant avec les mêmes conditions expérimentales définies au paragraphe IV (fig. 6).

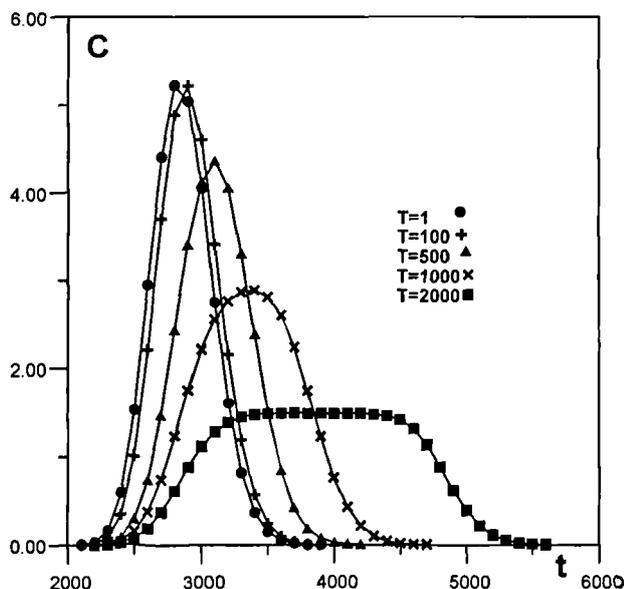


Fig.6. — Courbes de restitution d'un traceur pour divers temps d'injection à débit constant (C: concentration en mg/l, t: temps en secondes, T: temps d'injection en secondes)

Fig.6. — Response for several injection times

Cette figure montre que l'on s'écarte notablement de la réponse impulsionnelle pour des temps d'injection supérieurs à 100 s. Les temps modaux  $T_m$ , correspondant aux concentration maximales, répondent, en fonction des temps d'injection  $T_i$ , à la relation affine  $T_m = 0,557 \cdot T_i + 2854$ . Pour une injection instantanée, le temps modal  $T_{mi}$  est proche

de 2854 s. Le temps  $T_{mi}$  est une fonction croissante de la distance  $x$  et, si l'on considère une distance  $x$  croissante et un temps d'injection  $T_i$  constant, le terme  $0,557 \cdot T_i$  deviendra de plus en plus petit devant  $T_{mi}$ ; ce qui signifie qu'au plus la distance parcourue par le traceur sera grande, au plus l'erreur commise sur le temps modal vrai correspondant à une injection brève sera faible. Dans notre cas, si l'on considère une erreur relative  $(T_m - T_{mi})/t_m$  comprise entre 0 et  $y\%$ , on en déduit que le temps d'injection  $T_i$  doit être inférieur à  $(T_m \cdot y)/55,7$ . Par exemple, si l'on prend le temps modal vrai de 2854s, et que l'on fixe un seuil d'erreur relative de 1% à ne pas dépasser, soit 28,54s, on peut se permettre un temps d'injection de 51 s et ceci pour une distance de parcours de 179 cm. On peut donc considérer, qu'en colonne de laboratoire, l'erreur commise sur la réponse impulsionnelle est faible.

### V. — CONCLUSION

La fonction analytique présentée permet de simuler les injections de masse à flux décroissant, croissant ainsi que les deux cas extrêmes que sont les injections de Dirac et continue à flux constant. Son association avec une expression analytique de réponse impulsionnelle dans une intégrale de convolution permet de simuler les réponses à des injections quelconques avec variation du débit. Le calcul des réponses à débit constant pour des temps d'injection de plus en plus grands montre que l'erreur commise sur la réponse impulsionnelle est faible lorsqu'on réalise une injection que l'on veut la plus brève possible. La suite de ce travail concernera le cas bidimensionnel, et intégrera les phénomènes d'échange et d'adsorption entre phases solide et liquide.

### BIBLIOGRAPHIE

- DELAY F., MARSILY de G. et CARLIER E. (1994). — One-dimensional solution of the transport equation in porous media in transient state by a new numerical method for the management of particle track. *Computers & Geosciences*, Vol.20, No 7/8, pp1169-1200
- DREISS S.J. (1989). — Regional scale transport in a karst aquifer. Linear systems et time moment analysis. *Water. Res. Research*, 25(1), pp.126-134.
- DUFFY J.C. et LEE D.H. (1992). — Base flow response from nonpoint source contamination: simulated spatial variability in source, structure and initial condition. *Water. Res. Research*, 28(3), pp.905-914.
- DZIKOWSKI M., CARLIER E., CRAMPON N. et de MARSILY G. (1991). — Relations entre réponses impulsionnelles et conditions hydrodynamiques des systèmes dans le cadre de traçages artificiels: théorie et applications sur colonne de laboratoire. *Journal of Hydrol.*, vol 125, pp.129-148.
- DZIKOWSKI M. et DELAY F. (1992). — Simulation algorithm of time-dependent tracer test systems in Hydrogeology. *Computers & Geosciences*, vol 18, pp.697-705.
- GRADSHTEYN I.S. et RYZHIK I.M. (1980). — Table of integrals, series and product. *Academic Press, INC*, 1160 p.
- LEPILLER M. et MONDAIN P.H. (1986). — Les traçages artificiels en hydrogéologie karstique. Mise en oeuvre et interprétation. *Hydrogéologie*, n°1, pp.33-52.
- POREL G. (1988). — Transfert de soluté en aquifère crayeux. Causes de modifications des résultats de traçages. *Thèse Univ. de Lille*, 327 p.
- SAUTY J.P. (1977). — Contribution à l'identification des paramètres de dispersion dans les aquifères par interprétation des expériences de traçages. *Thèse de Doct. Ing., Univ. de Grenoble*, 157 p.
- STANTON W.I. et SMART P.L. (1981). — Repeated dye traces of underground streams in the Mendip Hills, Somerset. *Proc. Univ. Bristol Spelaeol. Soc.*, vol 16, n°1, pp.47-58.
- VILLERMAUX J. et VAN SWAAIJ W.P.M. (1969). — Modèle représentatif de la distribution des temps de séjour dans un réacteur semi-infini à dispersion axiale avec zones stagnantes. Application à l'écoulement ruisselant dans les colonnes d'anneaux *Raschig. Chem Engng. Sci. G.B.*, n° 24, 1097p.
- ZUBER A. (1986). — On the interpretation of tracer data in variable flow systems. *Journal of Hydrol*, vol 86, pp.45-57.

## LES COLLECTIONS DU MUSÉE D'HISTOIRE NATURELLE DE LILLE

### *Collections of the Natural History Museum of Lille*

par T. MALVESY (\*)

L'actuel Musée d'Histoire Naturelle abrite sous un même toit plusieurs Musées que l'histoire a rassemblés : Musée zoologique, Musée Gosselet de Géologie et Minéralogie, Musée houiller, Musée industriel & commercial et Musée Moillet d'Ethnographie, ces deux derniers étant affectés au MHN de Lille depuis le début des années 1990.

Le Musée Gosselet de Géologie et de Minéralogie a été inauguré le 30 Novembre 1902 (\*\*) dans l'enceinte même de la Faculté des Sciences de Lille au 19 de la rue de Bruxelles. Il rejoignait ainsi le Musée de Zoologie, transféré du Palais Rihour, dès 1854, à la création de la Faculté des Sciences à Lille.

La collection de Géologie représente plus de 80 000 pièces paléontologiques, paléobotaniques, pétrographiques, sédimentologiques et minéralogiques dont la quasi-totalité a été récoltée dans la région à la fin du siècle dernier et au début de ce siècle sous la responsabilité du professeur de Géologie Jules Gosselet (Cambrai 1832 – Lille 1916). Ce dernier a même succombé à une pneumonie en Janvier 1916, alors qu'il était à la retraite et qu'il ne voulait pas laisser le soin à personne de réparer les dégâts provoqués dans la collection de Géologie par l'explosion du dépôt d'armes des 18-Ponts.

Deux guerres plus tard et (...) après une longue période de stagnation, le Musée d'Histoire Naturelle a vu, à partir des années 80, une véritable résurrection et une expansion considérable de son rayonnement (\*\*\*). Mais dans les tourmentes de ce siècle, les anciens registres d'inventaires ont définitivement disparu. Il était donc logique de porter un effort important sur l'inventaire physique mais aussi informatique de ces collections : ce qui fut fait à l'initiative de la Conservatrice Sophie Beckary et développé de façon systématique, suite à la nomination d'un Attaché de Conservation en Géologie affecté tout particulièrement aux inventaires. Depuis, plus d'un tiers de la collection a été inventorié manuellement grâce à l'action combinée de vacataires municipaux l'été (840 heures de travail en 1998), d'étudiants stagiaires faisant l'objet d'une convention UFR-Mairie (770 h.) et de bénévoles (1000 h.). En Avril 1999, un objecteur de conscience, détenteur d'une maîtrise de Géologie, sera plus particulièrement affecté à l'inventaire informatique qui a pris beaucoup de retard pour des raisons matérielles et de manque de personnel. Le logiciel informatique utilisé est SNBase de la société Mobydoc basée à Toulouse.

Dans le même temps, des actions étaient engagées pour récupérer des collections absentes du Musée depuis de nombreuses années (la disparition des anciens registres ne nous aide pas en ce sens):

- en 1997, la collection d'insectes du Houiller du Nord-Pas-de-Calais détenue depuis 1942-43 par le Professeur Laurentiaux ;

- en 1997, une cinquantaine de Rhynchonellidés du dévonien supérieur des Ardennes, publiées et figurées (plus quelques types) par Gosselet en 1887(\*\*\*\*) et que conservait le Professeur Saertenaer depuis 1961 ;

- en 1999, suite à une convention Mairie de Lille-Université des Sciences de Villeneuve d'Ascq, la collection qui avait suivi le déménagement de l'Université en 1967.

Des démarches seront engagées pour récupérer dans cette même année, la seule et unique trace de Tétrapode du Westphalien de la région, détenue depuis 1971 par M. Dollé et une météorite de 8 kilogrammes officiellement déposée au Musée Gosselet en 1935 (ASGN, t.LX, p.39) et actuellement dans un bureau d'un chercheur de l'Université des Sciences de Villeneuve d'Ascq.

Ce travail de foumi et de policier (le service du contentieux de la Mairie de Lille a même été mobilisé avec succès pour certains cas) a pour but de donner une seconde vie à la collection paléontologique du Musée Gosselet. Il faut impérativement éviter la dispersion des échantillons, dernière étape avant la disparition complète d'un patrimoine comme le savent

(\*)Musée d'Histoire Naturelle, 19 rue de Bruxelles, 59000 Lille

(\*\*) Le centenaire du Musée de Géologie sera célébré en 2002, avec une exposition sur son père-fondateur : Jules Gosselet.

(\*\*\*) Extrait de "Histoire de la Faculté des Sciences 1854 - 1970" édité pour les cent ans d'Université lilloise 1896 - 1996, USTL. Les parties reproduites ont été écrites par Roger Marcel, conservateur universitaire de zoologie.

(\*\*\*\*) Gosselet, 1887, Note sur quelques Rhynchonelles du terrain Dévonique supérieur. ASGN t.XIV

pertinemment tous les chercheurs qui ont par le passé et encore aujourd'hui travaillé sur d'anciennes collections. Il va de soi, que c'est avant tout un travail en direction des chercheurs et non à leur rencontre : c'est uniquement au travers de l'intérêt des scientifiques porté à notre collection que celle-ci revivra et servira. Le rôle du Musée est de faire le lien entre un riche patrimoine scientifique et historique et la communauté scientifique ; mieux la collection sera gérée, plus grande sera la facilité d'accès des chercheurs auprès de cette collection.

La première collection géologique du Musée a avoir été complètement inventoriée et informatisée fut celle des Types & Figurés. A l'heure actuelle près de 2000 références ont été retrouvées ; au vu des publications (essentiellement les Annales de la Société Géologique du Nord) du XIXe et du début du XXe siècle, un grand nombre de Types & Figurés restent à redécouvrir...Travail qui s'effectue au fur et à mesure des inventaires. Chaque groupe systématique a fait l'objet d'une réactualisation de sa taxonomie et de sa bibliographie. Ceci n'est qu'une première étape, et une étude plus complète des échantillons est souhaitée.

## Collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille

### I. — LES TRILOBITES (types et figures)

#### Collections of the Natural History Museum of Lille

##### I. — Types and figured Trilobita

par T. MALVESY (\*), P. MORZADEC (\*\*) et R. FEIST (\*\*\*)

**Résumé.** — Dans le cadre de l'inventaire de la collection de Paléontologie du Musée d'Histoire Naturelle de Lille, le premier catalogue concerne les 74 Trilobites figurés dont 1 holotype : *Acastella artesia* (Richter & Richter, 1954), 6 paratypes, 3 syntypes et 3 lectotypes(\*\*\*\*).

**Abstract.** — in the case of the inventory of Paleontological collection of Natural History Museum of Lille, the first listing is 74 figured Trilobita : 1 holotype : *Acastella artesia* (Richter & Richter, 1954), 6 paratypes, 3 syntypes and 3 lectotypes(\*\*\*\*).

#### I. — INTRODUCTION

Les Trilobites types & figurés sont au nombre de 74 : 6 sont des paratypes, 3 des lectotypes, 3 des syntypes et 1 un holotype : *Acastella artesia* (Richter & Richter, 1954).

C'est Barrois (1881 ; 1882 ; 1912 ; 1920), Gosselet (1880 ; 1888 ; 1912) et Dehée (1929) qui ont apporté les premières études concernant les Trilobites des Ardennes, de l'Artois mais aussi de la Haute-Garonne et de la Galice en Espagne. En 1986, Morzadec réétudiait une partie de la collection dans l'étude du Pridoli-Lochkovien de l'Artois.

MGL 1092 (1) : pygidium, moule interne (*Calymene blumenbachi* Brongniart, 1863 in Barrois *et al.*, 1920, pl.XV, fig.11 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.36, fig.6).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 206m, Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon** : Membre d'Angres, Formation de Noulette.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

**Donateur** : M. Simon.

Famille *HOMALONOTIDAE* Chapman, 1890  
Sous famille *HOMALONOTINAE* Chapman, 1890

Genre *DIGONUS* Gurich, 1909

*Digonus roemeri* (De Koninck, 1876)

#### II. — CATALOGUE SYSTEMATIQUE

Phylum ARTHROPODA Siebold & Stannius, 1845  
Classe TRILOBITA Walch, 1771

Ordre PHACOPIIDA Salter, 1864  
Sous-Ordre CALYMENINA Swinnerton, 1915

Famille *CALYMENIDAE* Burmeister, 1843  
Sous famille *CALYMENINAE* Burmeister, 1843

Genre *CALYMENE* Brongniart, 1822

*Calymene (Calymene)* sp.

MGL 1106 (1): cranidium (*Homalonotus roemeri* De Koninck, 1876 in Barrois *et al.*, 1920, pl.XVII, fig.4 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.32, fig.9).

MGL 1115 (1 à 4 & 6-7) : moule interne de pygidiums (1, 2 & 3), moule interne de cranidium (4), glabelle et joues fixes (6), joue mobile (3) (*Homalonotus roemeri* De Koninck, 1876 in Barrois *et al.*, 1920, pl.XVII, fig.5 (1115-4), 9(3) 8(2) 7(1) 6(6) 3(7) ; *Homalonotus (Digonus) roemeri* (De Koninck, 1876) in Richter & Richter, 1954, pl.1, fig.11 (4) 12 a & b(1) ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.32, fig.10, (4), 6(3), 4(2), 1(1)).

(\*)Musée d'Histoire Naturelle, 19 rue de Bruxelles, 59000 Lille.

(\*\*)Université de Rennes I, Institut de Géologie, laboratoire de Micropaléontologie et Paléontologie marines, Avenue du Général Leclerc, 35042 Rennes cedex.

(\*\*\*)Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, case courrier 064, Place Eugène bataillon, 34095 Montpellier cedex 5.

(\*\*\*\*) Remarque : Tous les échantillons sont désignés sous le sigle MGL (Musée Géologie Lille), vient ensuite le numéro d'inventaire (ex : 1115) d'un ensemble d'exemplaires recueillis au même point, suivi du numéro de chacun de ces échantillons et éventuellement de A et B (empreinte - contre empreinte). Exemple : MGL 1115 (1 à 4, 6-7).

**Donateur :** M. Taine.  
**Localité :** Mondrepuits, (Ardenne, Aisne, France).  
**Horizon :** Schistes de Mondrepuits.  
**Age :** Dévonien, Lochkovien inférieur.

*Digonus* sp. cf. sp. E (Richter & Richter, 1954)

**MGL 1114 (1 & 2) :** pygidiums (*Homalonotus* in Barrois *et al.*, 1920, pl.XV, fig.17 (1), 18(2) ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.32, fig.2 (1), 3(2)).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 203m (-2) et 207m (-1), Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre d'Angres, Formation de Noulette.  
**Age :** Dévonien, Lochkovien inférieur.

Genre *PARAHOMALONOTUS* Reed, 1918

Tous les *Parahomalonotus* ont en commun :  
**Age :** Dévonien, Lochkovien inférieur.

*Parahomalonotus vialai* (Gosselet, 1912)

**MGL 1100 :** pygidium étiré (*Homalonotus roemeri* De Koninck, 1876 *in* Barrois *et al.*, 1920, pl.XV, fig.13 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.31, fig.4 a & b).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 bis 166m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Drocourt, Formation de Noulette.

**MGL 1101 (1 & 2) :** pygidiums (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.8 (-1), 12 (-2) ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, redétermination p.190).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1102 :** céphalon (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.2 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.31, fig.5, paratype).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1103 :** thorax et pygidium (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.5 ; *Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Barrois *et al.*, 1920, pl.XV, fig.15 et 16 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.31, fig.1 a, b, c, lectotype).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 136-139m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1104 :** pygidium (*Homalonotus roemeri* De Koninck, 1876 *in* Barrois *et al.*, 1920, pl.XV, fig.12 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, p.190).  
**Localité :** concession de Drocourt, groupe d'Hénin-Liétard des HBNPC, fosse n°4, 308-309m, Drocourt (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Drocourt, Formation de Noulette.

**MGL 1105 :** thorax et pygidium (*Homalonotus ornatus* Koch, 1883 *in* Barrois *et al.*, 1920, pl.XV, fig.14 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, p.190).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°6, 372m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1108 (1) :** pygidium (Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.31, fig.2).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 138m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1108 (2) :** pygidium (Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.31, fig.9).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 136-139m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1109 (1 à 3) :** pygidiums (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.6 (-3), 11(-2) 13(-1) ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, pl.31, fig.3 (-1) paratype 6(-2) paratype 10(-3) paratype).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 134m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1110 (1) :** thorax et pygidium (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.3 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, p.190).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 135m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 1110 (2) :** thorax (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.4 ; Morzadec *in Rachebœuf*, 1986, p.190).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 134m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 5000 (1 à 3) :** pygidium (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.7 (1), 9(2), 10(3) ; *Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Richter & Richter, 1954, pl.I, fig.6 (3)).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 139 à 141m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**MGL 5024 (A) :** céphalon (*Homalonotus vialai* Gosselet, 1912 *in* Gosselet *et al.*, 1912, pl.I, fig.1).  
**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 136m, Liévin (Pas de Calais, France).  
**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

Sous-ordre PHACOPINA Struve, 1958

Famille *DALMANITIDAE* Vogdes, 1890  
Sous-Famille *ACASTAVINAE* Struve, 1958  
Genre *ACASTELLA* Reed, 1925

*Acastella heberti* (Gosselet, 1888)

Tous les *Acastella heberti* ont en commun :

**Localité** : Mondrepuits, (Ardenne, Aisne, France).

**Horizon** : Schistes de Mondrepuits.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

**MGL 1082 (1)** : céphalon, moulage en latex (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.34, fig.8).

**MGL 1084** : cranidium, moule interne (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.34, fig.5).

**MGL 1115 (5)** : pygidium, moulage en latex (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.34, fig.2).

**MGL 2023 (1 à 3)** : (1) cephalon moule interne, (2) pygidium moule interne, (3) pygidium moule interne (*Dalmanites* in Gosselet, 1880, fasc.II, pl.I, fig.14 (2023, 1 et 2); *Dalmanites heberti* Gosselet, 1888 in Gosselet, 1888, p.190; *Acaste spinosa* Salter, 1864 in Barrois et al., 1920, pl.XVII, fig.1, 1a, 2, 2a (1 et 2); *Acaste (Acastella) heberti heberti* (Gosselet, 1888) in Richter & Richter, 1954, pl.II, fig.27a-b (2), 28 (3), 29 a-b (1); Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.34, fig.1(1)(paratype), 4 a-b(-2) (lectotype) & 6(3)).

**Note** : En 1880, Gosselet n'a pas encore créé l'espèce, mais figure les échantillons; en 1888, page 190, il mentionne *Dalmanites heberti* Goss., sans figuration et parmi d'autres espèces sans préciser qu'il s'agit d'une nouvelle espèce.

*Acastella* cf. *jacquemonti* Hollard, 1963

**MGL 1083 (1)** : pygidium partiellement décortiqué (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.35, fig.8 a-b).

**Localité** : concession de Drocourt, groupe d'Hénin-Liétard des HBNPC, fosse n°4, 292m, Drocourt (Pas de Calais, France).

**Horizon** : Membre de Drocourt, Formation de Noulette.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

**MGL 1085** : pygidium déformé (*Acaste spinosa* Salter, 1864 in Barrois et al., 1920, pl.XV, fig.7; *Acaste (Acastella)* cf. *heberti* (Gosselet, 1888) in Richter & Richter, 1954, pl.2, fig.30; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.35, fig.7).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 bis, 135m, Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon** : Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

*Acastella artesia* (Richter & Richter, 1954)

Tous les *Acastella artesia* ont en commun :

**Horizon** : Membre de Méricourt, Formation de Noulette.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

**MGL 1086 (3 & 7)** : céphalons (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.33, fig.6 a-b (7), 11(3)).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 133-137m, Liévin (Pas de Calais, France).

**MGL 1087 (1 & 2)** : pygidiums (Holotype de *Acaste ? (Acastella ?) artesia* Richter & Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, pl.2, fig.31 a-b (2), 32(1); Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.33, fig.3 (1) (paratype), fig.7 a-b (2)).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 132-136m, Liévin (Pas de Calais, France).

**Donateur** : Compagnie des Mines de Liévin.

**MGL 1089** : céphalon étiré transversalement, moule interne (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.33, fig.8).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 134m, Liévin (Pas de Calais, France).

**MGL 1095 (2)** : céphalon partiellement décortiqué (*Cryphaeus michelini* Rouault, 1851 in Barrois et al., 1920, pl.XV, fig.2; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.33, fig.2).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 139m, Liévin (Pas de Calais, France).

**MGL 1096 (1)** : pygidium (*Acaste ? (Acastella ?) artesia* Richter & Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, pl.2, fig.33; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.33, fig.9).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 135m, Liévin (Pas de Calais, France).

**MGL 1097 (1)** : pygidium (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.33, fig.4).

**Localité** : concession de Drocourt; groupe d'Hénin-Liétard des HBNPC; fosse n°4, 271m, Méricourt (Pas de Calais, France).

**MGL 4602** : céphalon (*Acaste spinosa*, Salter 1864 in Barrois et al., 1920, pl.XV, fig.6; *Acaste ? (Acastella ?) artesia* Richter & Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, pl.2, fig. 34 a & b).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5 bis, 135m, Liévin (Pas de Calais, France).

*Acastella tiro* Richter & Richter, 1954

**MGL 1091 (1)** : pygidium (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.35, fig.4).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 189m, Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon** : Membre d'Angres, Formation de Noulette.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

*Acastella* sp. B

**MGL 1091 (8); 1092 (2)** : pygidiums (Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.36, fig.7 (1091) et fig.9 (1092)).

**Localité** : concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 219m (1091), 206m (1092), Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon** : Membre d'Angres, Formation de Noulette.

**Age** : Dévonien, Lochkovien inférieur.

Sous-famille *ASTEROPYGINAE* Delo, 1935

Genre *PSEUDOCRYPHAEUS* Pillet, 1954

*Pseudocryphaeus* sp. M, (Richter & Richter, 1954)

**MGL 1094 (1 à 3) :** céphalons (*Asteropyge (Rhenops?)* sp.M Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, p.32 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, p.196).

**MGL 1095-1 :** céphalon incomplet (*Cryphaeus michelini*, (Rouault, 1851) in Barrois et al., 1920, pl.XV, fig.1 ; *Asteropyge (Rhenops?)* sp.M Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, p.32 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.36, fig.4).

**MGL 1098 (2 & 4) :** pygidium (*Cryphaeus michelini*, (Rouault, 1851) in Barrois et al., 1920, pl.XV, fig. 3 & 4 ; *Asteropyge (Rhenops?)* sp.M Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, redéterminé p.32 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, p.196).

**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 135m (1098), 136-145m (1094), 139m (1095), Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon :** Membre de Méricourt, Formation de Noulette.  
**Age :** Dévonien, Lochkovien inférieur.

Genre *PARACRYPHAEUS* Gandl, 1972

*Paracryphaeus?* sp.

**MGL 1098 (1) :** pygidium (*Cryphaeus michelini*, (Rouault, 1851) in Barrois et al., 1920, MSGN t.VI, pl.XV, fig.5 ; *Asteropyge (Rhenops?)* sp.M ? Richter, 1954 in Richter & Richter, 1954, p.32 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, p.196).

**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 135m, Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon :** Membre d'Angres, Formation de Noulette.  
**Age :** Dévonien, Lochkovien inférieur.

Genre *GOURDONIA* Pillet, 1954

*Gourdonia gourdoni* (Barrois, 1884)

**MGL 4610 (3) :** pygidium (syntype de *Dalmanites gourdoni* Barrois, 1884 in Barrois 1884, pl.VI, fig.1d ; Morzadec 1994, p.246).

**Localité :** Hont-de-Ver (= Hont-de-Bern), 1500m au Nord de l'église de Garin, vallée de l'Arboust, Garin (Haute-Garonne, France).

**Horizon :** Formation des schistes de Cathervielle.

**Age :** Dévonien, Eifelien inférieur.

**Note :** Dans la révision de Morzadec en 1994, le matériel de Lille était considéré comme perdu.

Famille *CALMONIIDAE* Delo, 1935  
Sous-famille *ACASTINAE* Delo, 1935

Genre *ACASTE* Goldfuss, 1843

*Acaste (Acaste)* sp A Richter & Richter, 1954

**MGL 1091 (4, 6 & 7) :** carapace complète (*Acaste downingiae* (Murchison, 1839) in Barrois et al., 1920, pl.XV, fig.8 (4), 9(7),10(6) ; Richter & Richter, 1954, mentionnée p.16 ; Morzadec in Rachebœuf, 1986, pl.36, fig.1 (4)).

**Localité :** concession de Liévin, groupe Lens-Liévin des HBNPC, fosse n°5, 164-235m, Liévin (Pas de Calais, France).

**Horizon :** Membre d'Angres, Formation de Noulette.

**Age :** Dévonien, Lochkovien inférieur.

Superfamille *PHACOPACEA* Hawle & Corda, 1847

Famille *PHACOPIDAE* Hawle & Corda, 1847

Sous-famille *PHACOPINAE* Hawle & Corda, 1847

Genre *PHACOPS* Emmrich, 1839

Sous-genre *PHACOPS (OMEGOPS)* Struve, 1976

Tous les *Phacops* ont en commun :

**Horizon :** calcaires et schistes d'Etroeungt.

**Age :** Famennien, Dévonien supérieur.

*Phacops (Omegeps) accipitrinus accipitrinus*  
(Phillips, 1841)

**MGL 6074 (1 & 3) :** glabelles (*Phacops bergicus* Drevermann, 1902 in Dehée, 1929, pl.I, fig.7, 8 (1) & 2 (3) ).

**Localité :** Etroeungt (Avesnois, Nord, France).

**MGL 6075 (1) :** thorax et pygidium incomplets (*Phacops bergicus* Drevermann, 1902 in Dehée, 1929, pl.I, fig.4 ).

**Localité :** Etroeungt (Avesnois, Nord, France).

**MGL 6076 :** thorax et pygidium (*Phacops bergicus* Drevermann, 1902 in Dehée, 1929, pl.I, fig.5).

**Localité :** Sémeries (Avesnois, Nord, France).

**MGL 6077 (A) :** pygidium (moulage en cire) (*Phacops bergicus* Drevermann, 1902 in Dehée, 1929, pl.I, fig.6).

**Localité :** Etroeungt (Avesnois, Nord, France).

**MGL 6078 (A) :** thorax et pygidium d'un individu de petite taille (moulage en cire) (*Phacops bergicus* Drevermann, 1902 in Dehée, 1929, pl.I, fig.9).

**Localité :** Etroeungt (Avesnois, Nord, France).

**MGL 6110 :** bouclier céphalique (*Phacops bergicus* Drevermann, 1902 in Dehée, 1929, pl.I, fig.1).

**Localité :** Godin près d'Avesnes (Avesnois, Nord, France).

Ordre *PROETIDA* Fortey & Owens, 1975

Sous-ordre *PROETINA* Fortey & Owens, 1975

Superfamille *PROETACEA* Salter, 1864

Famille *PHILLIPSIIDAE* Oehlert, 1886

Tous les *Phillipsiidae* ont en commun :

**Horizon :** calcaire à Goniaticites.

**Age :** Viséen, Carbonifère.

Sous-famille *BOLLANDIINAE*  
Hahn & Brauckmann, 1988

Genre *BOLLANDIA* Reed, 1943

*Bollandia torionis* (Gandl, 1977)

MGL 4139 (1 & 2) : pygidiums (*Phillipsia brongniarti* Fischer, 1825 in Barrois, 1881, pl.B, fig.1 b-c; *Phillipsia brongniarti* Fischer, 1825 in Barrois, 1882, pl.13, fig.8 b,c; *Griffithides (Bollandia) torionis* Gandl, 1977 in Gandl, 1977, p.187-188).

Localité : Entrellusa (région d'Oviedo, Espagne).

MGL 4142 (1) : glabelle (*Phillipsia brongniarti* Fischer, 1825 in Barrois, 1881, pl.B, fig.1e; *Phillipsia brongniarti* Fischer, 1825 in Barrois, 1882, pl.13, fig.8e; *Griffithides (Bollandia) torionis* Gandl, 1977 in Gandl, 1977, p.187-188).

Localité : Entrellusa (région d'Oviedo, Espagne).

Sous-famille *ARCHEGONINAE*  
Hahn & Brauckmann, 1984

Genre *LIOBOLE* Richter & Richter 1949

*Liobole castroi* (Barrois, 1879)

MGL 4140 : pygidium (*Phillipsia castroi* Barrois, 1879 in Barrois, 1878-79, p.277; *Phillipsia castroi* Barrois, 1879 in Barrois, 1881, pl.B, fig.2 a, c; *Phillipsia castroi* Barrois, 1879 in Barrois, 1882, pl.13, fig.9 a, c; Gandl, 1977, pl.4, fig.67, lectotype).

Localité : Puente Alba (région de Leon, Espagne).

MGL 4141 : pygidium (*Phillipsia castroi* Barrois, 1879 in Barrois, 1881, pl.B, fig.1d; *Phillipsia castroi* Barrois, 1879 in Barrois, 1882, pl.13, fig.8d; Gandl, 1977, p.187).

Localité : Mere (région d'Oviedo, Espagne).

Genre *ARCHEGONUS* Burmeister, 1843

*Archegonus (Phillibole) priscus* Gandl, 1977 ?

MGL 4143 : pygidium (*Phillipsia brongniarti* Fischer, 1825 in Barrois, 1881, pl.B, fig.2b; *Phillipsia brongniarti* Fischer, 1825 in Barrois, 1882, pl.13, fig.9b; Gandl, 1977, p.174-175).

Localité : Puente Alba (région de Leon, Espagne).

Ordre *CORYNEXOCHIDA* Kobayashi, 1935  
Sous-ordre *SCUTELLUINA* Hugé, 1953

Super-famille *SCUTELLOIDAE* Hugé, 1953  
Famille *STYGINIDAE* Vogdes, 1890

Genre *THYSANOPELTIS* Hawle & Corda, 1847

*Thysanopeltis raphaëli* (Barrois, 1886)

MGL 4613 : individu complet (syntype de *Bronteus raphaëli* Barrois 1886, in Barrois, 1886, pl.III, fig.2 a & b).

Localité : Hont-de-Ver (= Hont-de-Bern), 1500m au Nord de l'église de Garin, vallée de l'Arboust, Garin (Haute-Garonne, France).

Horizon : Formation des schistes de Cathervielle.

Age : Dévonien, Eifelien inférieur.

Donateur : Maurice Gourdon.

Note : l'individu de la figuration 2c se trouve au Musée d'Histoire Naturelle de Nantes.

Ordre *PTYCHOPARIIDA* Swinnerton, 1915  
Sous-ordre *HARPINA* Whittington, 1959

Famille *HARPETIDAE* Hawle & Corda, 1847

Genre *HARPES* Goldfuss, 1839

*Harpes pyrenaicus* Barrois, 1886

MGL 4612 : individu enroulé (syntype de Barrois, 1886, pl.II, fig.2 b).

Localité : Hont-de-Ver (= Hont-de-Bern), 1500m au Nord de l'église de Garin, vallée de l'Arboust, Garin (Haute-Garonne, France).

Horizon : Formation des schistes de Cathervielle.

Age : Dévonien, Eifelien inférieur.

Donateur : Maurice Gourdon.

### III. — REPARTITION STRATIGRAPHIQUE

Sur les 74 Trilobites présentés dans ce manuscrit, 45 ont été échantillonnés dans le Pas-de-Calais et 13 dans l'Aisne (Mondrepuits dans les Ardennes) ; ce sont les 58 Trilobites du Lochkovien inférieur (fig. 1). Les 7 datés du Fammenien ont été récoltés dans le Nord (Etroeungt dans l'Avesnois) ; les 3 spécimens de l'Eifelien viennent de Haute-Garonne et les 6 du Viseen sont des échantillons espagnols des régions d'Oviédo et de Puente Alba.

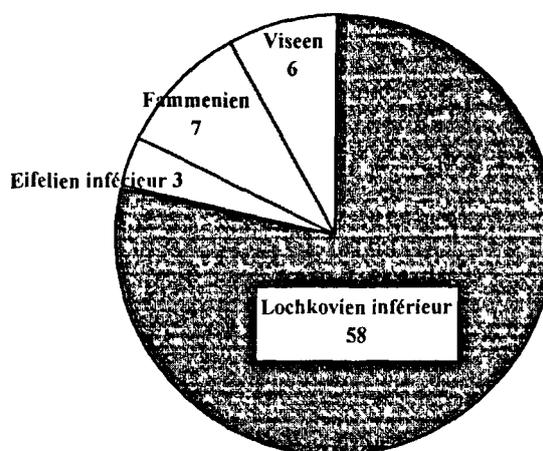


Fig. 1. — Répartition chronologique des Trilobites types et figurés du Musée d'Histoire Naturelle de Lille

Fig. 1. — Chronologic repartition of types and figured Tribolita of Lille Natural History Museum

BIBLIOGRAPHIE

- BARROIS C. (1878-79). — Le marbre griotte des Pyrénées. *Annales Société Géologique du Nord*, t.VI, p.270-300.
- BARROIS C. (1881). — El marmol amigdalóide de los Pirineos. *Bol.de la com. Map. Geol. de España*, t.VIII.
- BARROIS C. (1882). — Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice. *Mémoires Société Géologique du Nord*, tome 2, fasc. 1.
- BARROIS C. (1884). — Sur les faunes siluriennes de la Haute-Garonne. *Annales Société Géologique du Nord*, t.X, p.151-169.
- BARROIS C. (1886). — Sur la faune de Hont-de-Ver (Haute-Garonne). *Annales Société Géologique du Nord*, t.XIII, p.124-144.
- BARROIS C., PRUVOST P. et DUBOIS G. (1920). — Description de la faune Siluro-dévonienne de Liévin. *Mémoires Société Géologique du Nord*, t.VI, fasc. 2.
- DEHEE R. (1929). — Description de la faune d'Étroeuingt. *Mémoires Société Géologique du Nord*, t.V, fasc.2.
- GANDL J. (1977). — Die Trilobiten der Alba-Schichten (Unter-Visé bis Namur A). *Senckenbergiana Lethaea* 58, 1/3, p.113-217.
- GOSSELET J. (1880). — Esquisse Géologique du Nord de la France et des Contrées voisines. *Société Géologique du Nord*, vol.II, fasc.1.
- GOSSELET J. (1888). — L'Ardenne. *Ministère des Travaux Publics. Mémoires pour servir à l'explication de la carte géologique détaillée de la France*, édit. Baudry & Cie, Paris.
- GOSSELET J., BARROIS C., LERICHE M. et CREPIN A. (1912). — Description de la faune siluro-dévonienne de Liévin. *Mémoires Société Géologique du Nord*, t.VI, fasc. 1.
- RACHEBŒUF P. R. (1986). — Le groupe de Liévin. Pridoli-Lochkovien de l'Artois (N.France). Coll. Biostratigraphie du Paléozoïque, Univ. De Bretagne Occidentale.
- MORZADEC P. (1994). — Révision de *Gourdonia*, Trilobite du Dévonien des Pyrénées centrales : morphologie, évolution, environnement. *Géobios* n°27, fasc.2, p.243-253.
- RICHTER R. & RICHTER E., (1954). — Die Trilobiten des Ebbesattels und zu vergleichende Arten. (Ordovizium, Gotlandium/Devon). *Abh. sencken. naturf. Ges*, 488.

*Remerciements.* — Nous remercions vivement le Dr. Alain Blicek pour son aide et ses conseils de tous les instants ; Anne-Marie Candiller pour sa disponibilité et sa quête incessante de la bibliographie nécessaire ; Josiane Merlier et Murielle Duthilleul pour l'aide indispensable à l'entretien et la numérotation des collections géologiques du Musée ; enfin, tous les bénévoles, étudiants stagiaires et vacataires d'été, sans qui ce travail n'aurait jamais existé (ou dans 125 ans...)

INDEX

Les genres et espèces cités dans ce travail sont les suivants :

<i>Acaste</i> Goldfuss, 1843	p. 160	<i>Digonus</i> sp. cf. sp. E (Richter & Richter, 1954)	p. 158
<i>Acaste</i> ( <i>Acaste</i> ) sp A Richter & Richter, 1954	p. 160	<i>Digonus roemeri</i> (De Koninck, 1876)	p. 157
<i>Acaste</i> ? ( <i>Acastella</i> ?) <i>artesia</i> Richter & Richter	p. 159.	<i>Gourdonia gourdoni</i> (Barrois, 1884)	p. 160
<i>Acaste</i> ( <i>Acastella</i> ) cf. <i>heberti</i> (Gosselet, 1888)	p. 159	<i>Griffithides</i> ( <i>Bollandia</i> ) <i>torionis</i> Gandl, 1977	p. 161
<i>Acaste</i> ( <i>Acastella</i> ) <i>heberti heberti</i> (Gosselet, 1888)	p. 159	<i>Harpes</i> Goldfuss, 1839	p. 161
<i>Acaste downingiae</i> (Murchison, 1839)	p. 160	<i>Harpes pyrenaicus</i> Barrois, 1886	p. 161
<i>Acaste spinosa</i> Salter, 1864	p. 159	<i>Homalonotus</i> ( <i>Digonus</i> ) <i>roemeri</i> (De Koninck, 1876)	p. 157
<i>Acastella</i> Reed, 1925	p. 159	<i>Homalonotus ornatus</i> Koch, 1883	p. 158
<i>Acastella artesia</i> (Richter & Richter, 1954)	p. 159	<i>Homalonotus roemeri</i> De Koninck, 1876	p. 158
<i>Acastella</i> cf. <i>jacquemonti</i> Hollard, 1963	p. 159	<i>Homalonotus vialai</i> Gosselet, 1912	p. 158
<i>Acastella heberti</i> (Gosselet, Jules, 1888)	p. 159	<i>Liobole</i> Richter & Richter, 1949	p. 161
<i>Acastella</i> sp B	p. 159	<i>Liobole castroi</i> (Barrois, C, 1879)	p. 161
<i>Acastella tiro</i> Richter & Richter, 1954	p. 159	<i>Paracryphaeus</i> Gandl, 1972	p. 160
<i>Archegonus</i> Burmeister, 1843	p. 161	<i>Paracryphaeus</i> ? sp.	p. 160
<i>Archegonus</i> ( <i>Phillibole</i> ) <i>priscus</i> Gandl, 1977 ?	p. 160	<i>Parahomalonotus</i> Reed, 1918	p. 158
<i>Asteropyge</i> ( <i>Rhenops</i> ?) sp.M Richter, 1954	p. 160	<i>Parahomalonotus vialai</i> (Gosselet, J., 1912)	p. 158
<i>Asteropyge</i> ( <i>Rhenops</i> ?) sp.M ? Richter, 1954	p. 160	<i>Phacops</i> Emmrich, 1839	p. 160
<i>Bollandia</i> Reed, 1943	p. 161	<i>Phacops bergicus</i> Drevermann, 1902	p. 160
<i>Bollandia torionis</i> (Gandl, 1977)	p. 161	<i>Phacops</i> ( <i>Omegops</i> ) Struve, 1976	p. 160
<i>Bronteus raphaeli</i> Barrois 1886	p. 161	<i>Phacops</i> ( <i>Omegops</i> ) <i>accipitrinus accipitrinus</i>	
<i>Calymene</i> Brongniart, 1822	p. 157	(Phillips, 1841)	p. 160
<i>Calymene blumenbachi</i> Brongniart, 1863	p. 157	<i>Phillipsia brongniarti</i> Fischer, 1825	p. 161
<i>Calymene</i> ( <i>Calymene</i> ) sp.	p. 157	<i>Phillipsia castroi</i> Barrois, C., 1882	p. 161
<i>Cryphaeus michelini</i> , (Rouault, 1851)	p. 160	<i>Pseudocryphaeus</i> Pillet, 1954	p. 160
<i>Dalmanites gourdoni</i> Barrois, 1884	p. 159	<i>Pseudocryphaeus</i> sp. M. (Richter & Richter, 1954)	p. 160
<i>Dalmanites heberti</i> Gosselet, 1888	p. 159	<i>Thysanopeltis</i> Hawle & Corda, 1847	p. 161
<i>Dalmanites</i> sp. Gosselet, 1888	p. 159	<i>Thysanopeltis raphaeli</i> (Barrois, 1886)	p. 161
<i>Digonus</i> Gurich, 1909	p. 157		

Sont en vente au Siège de la Société :

### MÉMOIRES (\*)

<b>Tome I</b>	n° 1. — Ch. BARROIS, <i>Recherches sur le terrain crétacé de l'Angleterre et de l'Irlande</i> , 1876, 232 p.....	336,00 F
	n° 2. — P. FRAZER, <i>Géologie de la partie Sud-Est de la Pennsylvanie</i> , 1882, 178 p.....	252,00 F
	n° 3. — R. ZEILLER, <i>Mémoire sur la flore houillère des Asturies</i> , 1882, 24 p. ....	36,00 F
<b>Tome IV</b>	n° 1. — J. GOSSELET, <i>Etudes sur les variations du Spirifer Vermeulli</i> , 1894, 63 p., 7 pl. ....	90,00 F
<b>Tome VI</b>	n° 1. — P. BERTRAND, <i>Etude du stipe de l'Adelophyton jutieri</i> , B. Renault, 1907, 38 p., 4 pl. ....	85,00 F
	n°2. — J. GOSSELET <i>et al.</i> , <i>Faune siluro-dévonienne de Liévin</i> , 1912-1920. Fasc. 2.....	336,00 F
	n°3. — V. COMMONT, <i>Saint-Acheul et Montières : Notes de Géologie, de Paléontologie et de Préhistoire</i> , 1909, 68 p., 3 pl.....	156,00 F
<b>Tome VII</b>	n°1. — P. BERTRAND, <i>Etude des Stipes d'Asterochloena laxa</i> , Stenzel, 1911, 72 p., 6 pl.....	102,00 F
<b>Tome VIII</b>	n° 2. — Ed. LEROUX, <i>Le tunnel de l'Ave Maria</i> , 1929, 50 p., 5 pl.....	120,00 F
<b>Tome IX</b>	n°1. — G. DUBAR, <i>Etude sur le Lias des Pyrénées françaises</i> , 1925, 332 p., 7 pl. ....	432,00 F
	n°2. — G. FOURNIER <i>et al.</i> , <i>Poissons élasmobranches de Denée</i> , 1926, 23 p., 6 pl. ....	96,00 F
<b>Tome X</b>	n° 2. — J. LAVERDIERE, <i>Terrains paléozoïques des Pyrénées occidentales</i> , 1931, 132 p., 8 pl.....	180,00 F
<b>Tome XII</b>	— D. LEMAITRE, <i>Faune des calcaires dévoniens du Bassin d'Anceis</i> , 1934, 268 p., 18 pl.....	336,00 F
<b>Tome XIII</b>	— P. BRICHE <i>et al.</i> , <i>Flore infraliasique du Boulonnais</i> , 1963, 145 p., 11 pl.....	252,00 F
<b>Tome XIV</b>	— G. WATERLOT, <i>Les Gigantotrachés du Siluro-Dévonien de Liévin</i> , 1966, 23 p., 5 pl. ....	84,00 F
<b>Tome XV</b>	— J. MANIA, <i>Gestion des Systèmes aquifères. Applications au Nord de la France</i> , 1978, 228 p. ....	180,00 F
<b>Tome XVI</b>	— A. BOUROZ <i>et al.</i> , <i>Essai de synthèse des données acquises dans la gènèse et l'évolution des marqueurs pétrographiques dans les bassins houillers</i> , 1983, 118 p., 10 pl. ....	250,00 F

### PUBLICATIONS (\*)

Publication N° 1. — J. CHOROWICZ, <i>Etude géologique des Dinarides le long de la transversale Split-Karlovac (Yougoslavie)</i> .....	130,00 F
Publication N° 2. — J. CHARVET, <i>Essai sur un orogène alpin : Géologie des Dinarides au niveau de la transversale de Sarajevo (Yougoslavie)</i> .....	150,00 F
Publication N° 3. — J. ANGELIER, <i>Néotectonique de l'arc égéen</i> .....	140,00 F
Publication N° 4. — J.J. FLEURY, <i>Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde-Olonos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plate-forme et d'un bassin dans leur cadre alpin</i> .....	175,00 F
Publication N° 5. — M. COUSIN, <i>Les rapports Alpes-Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie</i> .....	175,00 F
Publication N° 6. — F. THIEBAULT, <i>L'évolution géodynamique des Héliénides externes en Péloponnèse méridional</i> .....	185,00 F
Publication N° 7. — P. DEWEVER, <i>Radiolaires du Trias et du Lias de la Téthys</i> .....	180,00 F
Publication N° 8. — J. FERRIERE, <i>Paléogéographie et tectoniques superposées dans les Hellénides internes : les massifs de l'Othrys et du Pélion (Grèce continentale)</i> .....	185,00 F
Publication N° 9. — H. MAILLOT, <i>Les Paléoenvironnements de l'Atlantique sud : Apport de la géochimie sédimentaire</i> .....	130,00 F
Publication N° 10. — Cl. BROUSMICHE, <i>Les Fougères sphénoptériennes du Bassin Houllier Sarro-Lorrain</i> .....	200,00 F
Publication N° 11. — B. MISTIAEN, <i>Phénomènes récifaux dans le Dévonien d'Afghanistan (Montagnes Centrales). Analyse et systématique des Stromatopores</i> .....	200,00 F
Publication N° 12. — T. HOLTZAPFFEL, <i>Les minéraux argileux. Préparation, analyses diffractométriques et détermination</i> .....	T.T.C. 90,00 F
Publication N° 13. — J.L. MANSY, <i>Géologie de la Chaîne d'Ormeica des Rocheuses aux plateaux intérieurs (Cordillère Canadienne). Evolution depuis le Précambrien</i> .....	200,00 F
Publication N° 14. — C. BECK, <i>Géologie de la Chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela)</i> .....	125,00 F
Publication N° 15. — J.M. DEGARDIN, <i>Le Silurien des Pyrénées : Biostratigraphie, Paléogéographie</i> .....	125,00 F
Publication N° 16. — J. SIGAL, <i>Les recherches sur les Foraminifères fossiles en France des environs de 1930 à l'immédiat après-guerre</i> .....	T.T.C. 100,00 F
Publication N° 17. — F. DELAY, <i>Etude et cartographie géologiques du Massif pyrénéen de l'Agly (Fasc. 1 : Evolution tectono-métamorphique ; Fasc. 2 : Traitement informatique des microanalyses chimiques ; Fasc. 3 : Carte géol. en couleurs 1/25000 Massif Agly</i> .....	T.T.C. (les 3 fasc.) 360,00 F
Publication N° 18. — A. KHATIR, <i>Structuration et déformation progressive au front de l'allochtone ardennais (Nord de la France)</i> .....	T.T.C. 150,00 F
Publication N° 19. — C. LAMOUREUX, <i>Les mylonites des Pyrénées. Classification. Mode de formation. Evolution</i> .....	150,00 F
Publication N° 20. — G. MAVRIKAS, <i>Evolution Crétacé-Eocène d'une plate-forme carbonatée des Hellénides externes. La plate-forme des Ori Valtou (Massif du Gavrovo), Zone de Gavrovo-Tripolitza (Grèce continentale)</i> .....	150,00 F
Publication N° 21. — P. BRACQ, <i>Effet d'échelle sur le comportement hydrodynamique et hydrodispersif de l'aquifère crayeux, apport de l'analyse morphostructurale</i> .....	150,00 F
Publication N° 22. — N. FAGEL, <i>Flux argileux du Néogène au Quaternaire dans l'Océan Indien Nord, mise en évidence et interprétation</i> .....	150,00 F
Publication N° 23. — G. BUSSON <i>et A. CORNÉE</i> , <i>L'événement océanique anoxique du Cénomaniens supérieur-terminal</i> .....	125,00 F
Publication N° 24. — B. LOUCHE, <i>Limites littorales de la nappe de la Craie dans la région Nord Pas-de Calais. Relations eaux souterraines-eaux superficielles-mer</i> .....	150,00 F
Publication N° 25. — J. G. BREHERET, <i>L'Aptien et l'Albien de la fosse vocontienne (des bordures au bassin). Evolution de la sédimentation et enseignements sur les événements anoxiques</i> .....	300,00 F

Les membres abonnés bénéficient d'une réduction de 20% sur l'un exemplaire de chacune de ces publications.  
Les prix sont augmentés des frais de port et d'emballage quand les volumes ne sont pas pris directement au dépôt.  
(\*) Tous les prix sont indiqués hors taxe, sauf indication contraire (T.T.C.).

## SOMMAIRE

Tome 6 (2<sup>m</sup>e série), Fascicule 4

parution 1999

	pages
M. OUADIA et M. ABERKAN. — Les formations fluviatiles quaternaires des vallées de l'Oued Grandou et de l'Oued M'Tal (Méséta occidentale marocaine) : mise en place, origine et nouvelles données chronostratigraphiques. ....	137
Abdelmejid RAHIMI, Abdellatif SAIDI, Zouhir BAROUDI, Ali SAQUAQUE et Maria Luisa ARBOLEYA. — Analyse pétrostructurale des mylonites de la zone de cisaillement de Bougmane (Bou Azzer-ElGraara, Anti-Atlas Maroc).....	143
Erick CARLIER. — Propagation d'un traceur en milieu poreux pour des fonctions d'entrée quelconques et dans un champ de vitesses variables.....	149
— T. MALVESY, P. MORZADEC et R. FEIST. — Les collections du Musée d'Histoire Naturelle de Lille. I. — Les <u>trilobites</u> (types et figures) .....	157

© 1999 Société Géologique du Nord Editeur, Lille

Toute reproduction, même partielle, de cet ouvrage est interdite. Une copie ou reproduction par quelque procédé que ce soit, photographie, microfilm, bande magnétique, disque ou autre, constitue une contrefaçon passible des peines prévues par la loi du 11 mars 1957 sur la protection des droits d'auteurs.

Imprimé en France (Printed en France)