Rythmes et contournements synsédimentaires en série carbonatée alternante : reconstitution paléomorphologique au crétacé inférieur dans les chaînes subalpines méridionales

Dominique Le Doeuff

▶ **To cite this version:**

Dominique Le Doeuff. Rythmes et contournements synsédimentaires en série carbonatée alternante : reconstitution paléomorphologique au crétacé inférieur dans les chaînes subalpines méridionales. Stratigraphie. Université Paris Sud - Paris XI, 1977. Français. NNT : . tel-00802745

HAL Id: tel-00802745
https://theses.hal.science/tel-00802745

Submitted on 20 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

T. 75.216
T Paris 11 (1977) 356
2353

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir le Titre de

DOCTEUR 3e CYCLE

Spécialité : GÉOLOGIE STRUCTURALE

par

Dominique LE DŒUFF

Sciences de la Terre
BUPMC
CADIST

RYTHMES ET CONTOURNEMENTS SYNSÉDIMENTAIRES EN SÉRIE CARBONATÉE ALTERNANTE

RECONSTITUTION PALÉOMORPHOLOGIQUE AU CRÉTACÉ INFÉRIEUR DANS LES CHAÎNES SUBALPINES MÉRIDIONALES

THÈSES
PARIS

soutenue le 7 Novembre 1977 devant la Commission d'Examen

Monsieur F. ELLENBERGER *Président*

Monsieur B. BEAUDOIN *Rapporteur*

Madame Y. GUBLER *Examinateur*

Monsieur B.-H. PURSER *Examinateur*

B

BUPMC GR
D 907 030977 6

2 2 MARS 1978

T-43.216

T Paris 11 (1977) 356

THÈSE

présentée

A L'UNIVERSITÉ DE PARIS-SUD

CENTRE D'ORSAY

pour obtenir le Titre de

DOCTEUR 3e CYCLE

Spécialité : GÉOLOGIE STRUCTURALE

par

Dominique LE DOËUFF

T PARI1 1977 LED

RYTHMES ET CONTOURNEMENTS SYNSÉDIMENTAIRES EN SÉRIE CARBONATÉE ALTERNANTE

RECONSTITUTION PALÉOMORPHOLOGIQUE AU CRÉTACÉ INFÉRIEUR DANS LES CHAÎNES SUBALPINES MÉRIDIONALES

Sciences de la Terre
BUPMC
CADIST

soutenue le 7 Novembre 1977 devant la Commission d'Examen

BIUS JUSSIEU
THÈSES
PARIS

Monsieur F. ELLENBERGER *Président*

Monsieur B. BEAUDOIN *Rapporteur*

Madame Y. GUBLER *Examinateur*

Monsieur B.-H. PURSER *Examinateur*

A tous ceux qui m'ont aidée
à réaliser ce travail, en
témoignage d'amitié et de
reconnaissance .

CELUI QUI VOUDRA ENTRER DANS CES TERRITOIRES HEUREUX TROUVERA LES PORTES OUVERTES .

C'est par excellence la patrie de la lumière et le silence . On peut marcher des journées entières seul avec soi même, dans une joie un ordre un équilibre une paix incomparables .

Ce pays vous fait comprendre l'organisation la plus noble de la terre . Sa simplicité pleine de sagesse oblige à la plus paisible à la plus durable des joies .

Il entoure d'une logique si éblouissante que vous êtes désormais habité par un dieu de lumière et de pureté .

JEAN GIONO

RESUME

Le travail qui m'a été confié comportait deux principaux axes de recherche . Il s'agissait tout d'abord de mettre au point des méthodes d'analyse quantitatives, pour étudier les *processus de mise en place* des sédiments . Ensuite, d'utiliser toutes les informations *enregistrées* dans le sédiment pour reconstituer la paléogéographie du bassin .

Le terrain servant de support à cette étude est localisé dans les chaînes subalpines méridionales, entre Saillans et la Tinée, et de Gap à Castellane (voir fig.1) .

La période étudiée comporte deux étages, le Valanginien et l'Hauterivien . Situés entre les deux pôles calcaires symétriques du Tithonique et du Barrémien, ils sont le domaine des *alternances marne-calcaire*, le pôle marneux correspondant au Valanginien moyen .

Les alternances sont interrompues par des *faisceaux contournés* (1) dont l'abondance et la diversité justifiera une étude particulière .

Les sédiments détritiques (calcarénite, brèche) sont relativement rares . Ils seront ici essentiellement considérés par le biais de leurs relations avec le phénomène de l'alternance et du glissement synsédimentaire . Leur importance paléogéographique, non négligeable, sera soulignée .

L'ALTERNANCE MARNE CALCAIRE

Par sa monotonie apparente, l'alternance marne-calcaire nécessite des méthodes d'étude spécifiques . Ce qui a conduit à privilégier dans un premier temps, les recherches basées sur l'étude des épaisseurs de bancs, au dépens des recherches minéralogiques, chimiques et granulométriques .

Les résultats qui ont été obtenus, associés à des observations sur les niveaux détritiques et à quelques analyses calcimétriques ont montré la *non indépendance des calcaires et des marnes*, et la *polarité du couple calcaire-marne*, la discontinuité étant toujours observée au sommet des marnes .

(1) les faisceaux contournés ou FAC, sont le résultat des glissements synsédimentaires.

Etudier le phénomène dans le temps conduit à individualiser différents *rythmes* . Leur présence prouve le caractère non aléatoire de la sédimentation, et l'asymétrie de certains d'entre eux fait entrevoir un *processus de dépôt à caractère saccadé, discontinu* .

La corrélation de bancs à des distances variables (0,5 à 50km), la mise en évidence d'une *orientation des microorganismes* (spicules de spongiaires, radiolaires) a montré l'étroite correspondance entre la disposition spatiale de ces couches et la *paléomorphologie* du bassin de sédimentation où elles se déposaient .

Tous les éléments rassemblés plaident donc en faveur de la mise en place par un *courant turbide* de l'ensemble calcaire-marne considéré alors comme une séquence calcarénite calcaire marne amputée de son terme basal .

LE PHENOMENE DE GLISSEMENT SYNSEDIMENTAIRE (SLUMPING)

Malgré le peu de rapports apparents entre les deux modes de sédimentation la même démarche a été suivie pour aborder l'étude des alternances et celle des faisceaux contournés .

Tout d'abord, l'étude du FAC individu par l'analyse de sa structure interne a mis en évidence une *évolution verticale* conglomérat-bancs contournés-conglomérat-calcarénite qui s'apparente au granoclassement de séquences plus classiques .

Si l'on considère les faciès observés, toutes les étapes intermédiaires, du faisceau contourné le moins démantelé au conglomérat puis au banc calcarénitique s'observent sur l'affleurement . Ainsi se retrouve, horizontalement la séquence type qui a été dégagée précédemment .

Des corrélations, effectuées à partir de nombreuses coupes, donnent une vision moins ponctuelle du phénomène . Il s'en dégage l'image d'un faisceau contourné de dimensions plurikilométriques, dont l'allure générale est en forme d'éventail, divergeant dans la parti distale . Les bordures sont relativement raides, tandis que le fond reste, dans les zones plus centrales, remarquablement plat . Les surfaces supérieures sont souvent légèrement bombées .

L'évolution au cours du temps des faisceaux d'une même coupe est marquée par l'individualisation de "*familles*", prouvant ainsi qu'elle n'est pas plus aléatoire que celle des alternances .

De nombreux points communs sont donc apparus entre les faisceaux contournés et les binômes calcaire-marne . Ce qui laisse penser que *les processus de dépôt seraient moins nettement différenciés qu'ils le paraissaient au départ* .

L'ARCHITECTURE DU BASSIN

Les sédiments se déposant de façon dynamique, *les pentes* jouent un rôle considérable dans leur mise en place .

En utilisant les *données directionnelles inscrites dans le sédiment* (figures de courant, alignements d'objets, génératrices de rouleaux), l'architecture du bassin a été reconstituée . Mais elle ne préjugeait en rien des caractéristiques et du fonctionnement des morphologies . Il faut, pour cela s'intéresser à la nature du sédiment, aux épaisseurs et aux pourcentages des différents faciès et utiliser les corrélations effectuées pour comprendre l'influence des pentes sur la répartition des dépôts .

Deux domaines s'individualisent alors . A l'Est du Buech, une pente NNE-SSW se termine au Sud par un large sillon E.W . A l'Ouest, des morphologies particulières canalisent le transport des sédiments, depuis les zones sublittorales jusqu'au sillon du Buech .

Les grandes lignes de cette morphologie se retrouvent depuis le Tithonique calcaire (B. BEAUDOIN 1977) jusqu'au pôle marneux Valanginien .

Il faut donc imaginer un matériel *dont la nature est contrôlée par des conditions externes au bassin, resédimenté et distribué suivant les pentes d'une morphologie pérenne, entretenue par une subsidence différentielle* . Une tendance au comblement se manifeste cependant dans certaines vallées sous marines .

Les méthodes d'analyse utilisées et mises au point s'adaptent donc ici à un bassin à sédimentation argilo-carbonatée .

Mais il est bien évident que dans tout milieu aquatique, les sédiments enregistrent, au cours de leur transport et de leur mise en place, des informations permettant de reconstituer les processus du dépôt et l'environnement paléomorphologique qui en est le siège . Il n'est donc pas déraisonnable d'envisager l'application de telles méthodes à des séries sédimentaires de composition, d'âge, et de localisation très diversifiées .

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION pages

- Le cadre de l'étude 1
  - situation géographique 3
  - situation géologique 3
- Les travaux antérieurs 9
  - travaux régionaux 9
  - alternances marnes calcaires 11
  - les glissements synsédimentaires 12
- Présentation de la série 13
  - Description de quelques coupes 13
  - Caractères généraux de la série 38

L'ALTERNANCE CALCAIRE MARNE

1- Les outils d'analyse 42
  1.1 La mesure des bancs 42
    1.1.1 l'imprécision de la limite calcaire.marne 42
    1.1.2 les différences de dureté des bancs 42
    1.1.3 les petites strates centimétriques 43
    1.1.4 les logs au 1/100e 43
  1,2 Les courbes lissées 43
    1.2.1 le tracé des courbes 43
    1.2.2 le lissage 43
2- Le phénomène de l'alternance 45
  2.1 Les courbes d'épaisseur des bancs 45
    2.1.1 évolution des épaisseurs pour les calcaires et les marnes 45
    2.1.2 évolution des épaisseurs pour les calcarénites et les marnes 45
  2.2 La polarité du couple calcaire-marne 48
    2.2.1 les observations de terrain 48
    2.2.2 les analyses calcimétriques 53

2.3 Modalités de mise en place d'un banc 57
2.3.1 organisation des éléments à l'intérieur d'un banc calcaire 57
2.3.2 les analyses granulométriques de marnes 59
2.3.3 fréquence des dépôts 59
2.3.4 conclusion 61
3- Variations d'épaisseur des bancs en fonction du temps 61
3.1 Les rythmes 61
3.1.1 les oscillations de haute fréquence 61
3.1.2 les rythmes 4-5 bancs 61
3.1.3 les rythmes 14-18 bancs 63
3.2 L'augmentation ou la diminution d'épaisseur d'un grand nombre de bancs 67
3.2.1 l'augmentation d'épaisseur des bancs calcaires à la limite Valanginien -Hauterivien 67
3.2.2 la diminution d'épaisseur des marnes du Valanginien supérieur à l'Hauterivien inférieur 67
3.2.3 comparaison entre ces deux phénomènes et les rythmes 69
4- Distribution globale des épaisseurs 69
4.1 Distribution des épaisseurs 71
4.2 Répartition dans le temps des populations 71
5- La disposition spatiale d'une couche 75
5.1 L'extension du phénomène 75
5.1.1 les difficultés rencontrées 77
5.1.2 les corrélations par les coupes au 1/100e 77
5.1.3 les corrélations par les courbes lissées 79
5.1.4 les corrélations par les grandes variations d'épaisseur 79
5.2 Le banc vu en coupe longitudinale et transversale 83
5.2.1 le banc vu en coupe transversale 83
5.2.2 le banc vu en coupe longitudinale 89
5.3 Le banc vu en plan 97
5.4 La disposition spatiale du banc 99
5.5 L'arrangement des groupes de bancs dans l'espace 101
6- Conclusion

LES STRUCTURES DE CONTOURNEMENT

1- Les difficultés d'analyse 106
1.1 L'identification des faisceaux à contournement et de leurs limites 106
1.1.1 les interactions tectoniques 106
1.1.2 les séries très marneuses 106
1.1.3 les limites d'un FAC 108
1.2 Les télescopages 108
1.2.1 la coupe du Caire 108
1.2.2 les coupes de Verclause et Montclus 108
1.2.3 les discontinuités lithologiques 109
1.3 Les problèmes d'analyse des structures 109
2- Le faisceau à contournement 109
2.1 Agencement vertical d'un FAC 109
2.2 Structure interne d'un FAC 113
2.2.1 matrice et éléments : viscosité respective 113
2.2.2 les structures 115
2.2.3 plasticité du matériel 125
2.3 Les stades de formation d'un FAC 127
2.3.1 formation d'un FAC 127
2.3.2 évolution d'un FAC 127
3- Géométrie d'un faisceau à contournement 131
3.1 Les profils longitudinaux
3.2 Les profils transversaux
3.2.1 corrélation de La Croix 132
3.2.2 corrélation d'Angles et de Vergons 132
3.2.3 la corrélation Aulan-Laux Montaux-Montauban 133
3.2.4 corrélation des coupes du Caire et de Reynier 133
3.3 L'organisation planaire et spatiale d'un FAC 139
3.4 Les terminaisons d'un FAC 139
3.5 Conclusion 141
4- Evolution du phénomène de slumping au cours du temps 141
4.1 Evolution des FAC 143
4.1.1 les coupes d'Enaux et des Tourres 143
4.1.2 les coupes du Caire 143
4.1.3 la coupe de Montclus 145
4.2 Fréquence des glissements 145
4.3 Interférences entre les deux phénomènes 148
5- Conclusion 148

PALEOGEOGRAPHIE DU BASSIN

1- Les méthodes 152

1.1 Les indicateurs de pente 152

1.1.1 les directions de glissement 152

1.1.2 reconstitution des paléocourants 153

1.2 Influence des variations d'épaisseur et de nature du sédiment 155

1.2.1 signification de la corrélation ou de la non corrélation 155

1.2.2 position des coupes dans le bassin en fonction de leur pourcentage en bancs calcaires 157

1.2.3 la nature du sédiment 157

1.3 Précisions apportées par l'étude du phénomène de glissement 159

2- L'architecture du bassin 159

2.1 La région Est du bassin 159

2.1.1 les indications directionnelles 165

2.1.2 les courbes d'isopourcentage 169

2.1.3 conclusion 169

2.2 La région Ouest du terrain 169

2.2.1 au Sud de l'Aygues 171

2.2.2 au Nord de l'Aygues 172

3- Conclusion 192

Planche I à X 195

Annexe 1 = Détermination des Ammonites récoltées dans les coupes de référence 217

Annexe 2 = Liste des coupes et points d'observation 222

Annexe 3 = Liste des figures 225

Bibliographie 229

INTRODUCTION

L E C A D R E D E L ' E T U D E

Ce travail s'insère dans la recherche d'une équipe qui, constituée principalement d'élèves de l'Ecole des Mines, et animée par B. BEAUDOIN s'est attachée à reconstituer les processus de mise en place de sédiments d'âge varié, et la paléogéographie dans un milieu marin ouvert .

En 73 et 74, deux élèves ont abordé, en se limitant à quelques coupes, l'étude des deux grands types de sédiments qui caractérisent dans cette région le Valanginien-Hauterivien, les alternances marne calcaire et les faisceaux contournés (1) :

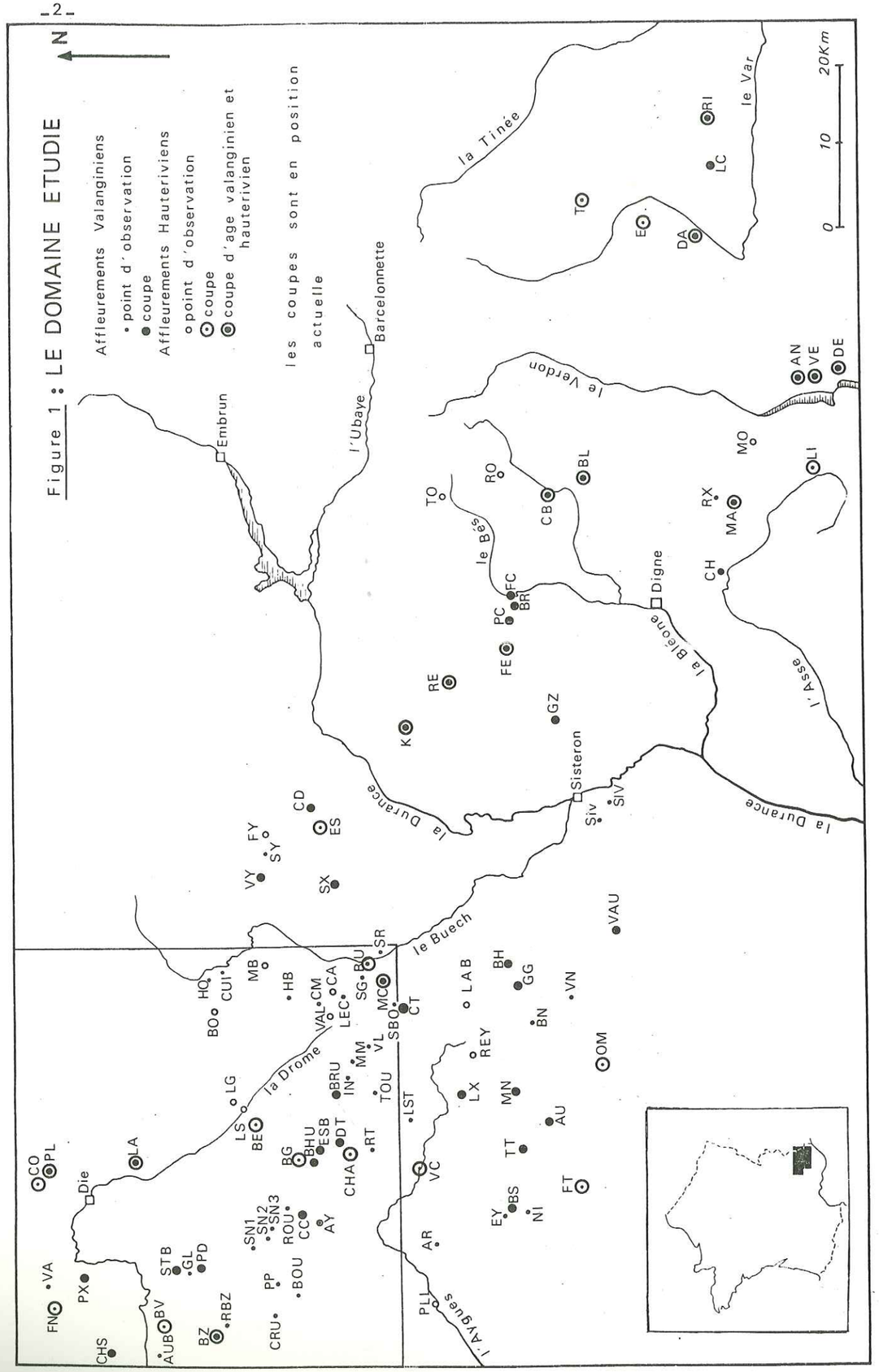
- J. BIE (73), travaillant sur les deux rives de la coupe du Caire, distantes de 500m, a suivi, au Valanginien et à l'Hauterivien l'évolution des alternances et des faisceaux contournés d'une coupe à l'autre . Ce qui lui a permis de considérer ces deux phénomènes dans le temps et l'espace .
- B. GUY (74), en corrélant les coupes des deux rives du Caire et de Reynier, a identifié des alternances et des faisceaux contournés dont l'extension minimale était de 10km . Au moyen de courbes d'épaisseur de bancs, il a montré que marnes et calcaires n'étaient pas indépendants, mais l'existence d'oscillations rythmiques qui rendent sur quelques bancs les épaisseurs comparables l'a empêché de préciser la polarité du binôme calcaire marne .

Dans la suite de ces travaux, j'ai tenté de généraliser les résultats obtenus à une vaste région, le bassin subalpin méridional, et de mettre au point de nouvelles méthodes pour mieux percevoir le mode d'organisation du dépôt, et les modalités de sa mise en place .

Parallèlement, J. MOUTTE et P. SOLER (75), I. POUSSIN (76) reconstituaient, dans le Tithonique Berriasien des morphologies particulières, les canyons sous marins . Il m'a semblé intéressant de privilégier, dans l'étude paléogéographique ces secteurs particuliers, afin de connaitre leur évolution au Valanginien Hauterivien .

(1) les faisceaux contournés ou FAC sont le résultat de glissements synsédimentaires .

Figure 1 : LE DOMAINE ETUDIE



C'est dans cet esprit que j'ai travaillé, en 77, avec P. JOSEPH et Th. SEMPERE dans la région de Luc en Diois, où nous avons suivi l'évolution de plusieurs morphologies du Berriasien à l'Hauterivien .

Il nous faut signaler enfin la collaboration de M. PINAULT qui, sur le plan matériel et scientifique, a été associé à ces différentes recherches, et l'importance du rôle d'animation et de coordination qui fut celui de B. BEAUDOIN .

SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le domaine étudié est délimité à l'W par le méridien de Saillans, à l'E par la Tinée . La bordure du Vercors et le lac de Castillon constituent les limites septentrionales et méridionales (voir fig.1) . Dès à présent, il est important de séparer deux secteurs :

. A l'E de la Durance, où la densité des observations est relativement faible (19 coupes) les limites N et S sont respectivement la ville de Barcelonnette et le lac de Castillon .

. A l'W de la Durance, les points d'observation, plus rapprochés (34 coupes) ne dépassent pas beaucoup au Nord Die et au Sud Sisteron .

. Au NW, le rectangle figuré sur la carte représente le terrain étudié avec P. JOSEPH et Th. SEMPERE dans le cadre de leur travail d'option à l'Ecole des Mines (1977) .

SITUATION GEOLOGIQUE

Pour entreprendre une étude sédimentologique il est nécessaire de s'assurer d'un support stratigraphique et structural afin d'obtenir des datations aussi précises que possible, et de retrouver les positions respectives des points d'observation avant les déformations tectoniques majeures .

C'est pourquoi j'ai entrepris un rapide historique des travaux stratigraphiques et précisé sur quelques points les connaissances actuelles en matière de géologie structurale .

o LA STRATIGRAPHIE DU VALANGINIEN HAUTERIVIEN

Très tôt, la stratigraphie du Crétacé inférieur a fait l'objet dans cette région de nombreuses études .

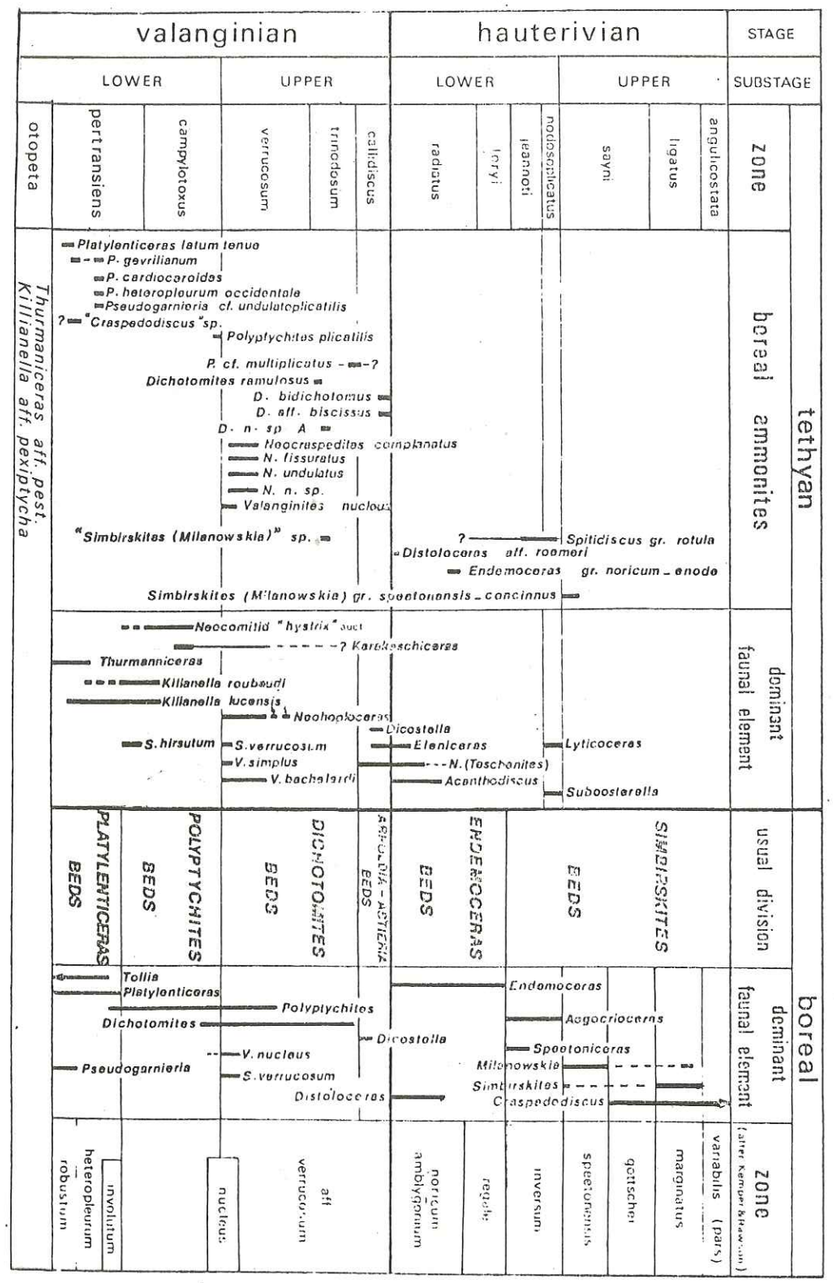


Figure 2 : Zones d'Ammonites au Valanginien et à l'Hauterivien d'après J.P. Thieuloy (1973)

Il nous faut d'abord citer la thèse de W. KILLIAN en 1888 dans laquelle l'auteur divise le Valanginien en deux parties, à la base, les niveaux très marneux à ammonites pyriteuses et dans la partie supérieure, une série moins marneuse à petits bancs calcaires .
Il n'effectue aucune subdivision dans l'Hauterivien ..

E. HAUG en 1891 a confirmé les résultats obtenus par W. KILLIAN et a décrit le niveau de marnes à ammonites pyriteuses du Valanginien inférieur et le faciès vaseux, uniforme caractéristique de ces étages .

V. PAQUIER (1895, 1900), P. LORY (1898) ont encore précisé quelques détails .
Avant d'aborder les travaux plus récents, citons

J. GOGUEL (44) qui a recherché les limites des faciès "pélagiques" et littoraux dans l'ensemble de la "fosse vocontienne" et décrit la série en de multiples coupes .

M. MOULLADE (66) et P. COTILLON (72) ont travaillé respectivement à l'W et à l'E de la Durance et établi des subdivisions plus précises dans les étages .
Le lecteur désireux de connaitre un historique plus détaillé des travaux stratigraphiques propres à la région se reportera à ces deux auteurs .

Les biozonations parallélisées des Ammonites et des Foraminifères (M. MOULLADE 66 et P. COTILLON 72) montrent sans équivoque que, pendant la période étudiée, le support chronologique le plus précis est fourni par les ammonites .
J'ai donc demandé à J.P. THIEULOY de déterminer les Ammonites récoltées dans les coupes .
J'en profite pour le remercier vivement pour les nombreuses heures qu'il y a consacrées et les renseignements paléoécologiques qu'il m'a communiqués à cette occasion .
Il subdivise le Valanginien et l'Hauterivien respectivement en 6 et 7 zones dont les dénominations figurent sur le tableau de la fig.2 . Dans une publication qui paraitra en Décembre 77 dans les travaux du Laboratoire de Grenoble, J.P. THIEULOY décrit la faune caractéristique des différentes zones, en s'appuyant sur une coupe de référence .

o LA GEOLOGIE STRUCTURALE DES CHAINES SUBALPINES MERIDIONALES

Situées au carrefour des chaînes provençales et alpines, les chaînes subalpines méridionales étaient classiquement reconnues comme la superposition de deux phases de plissements, les plis E.W appartenant à la phase pyrénéo-provençale à l'Eocène moyen, les plis N.S. à NW.SE. à la phase qui affecte la chaîne alpine au Néogène .

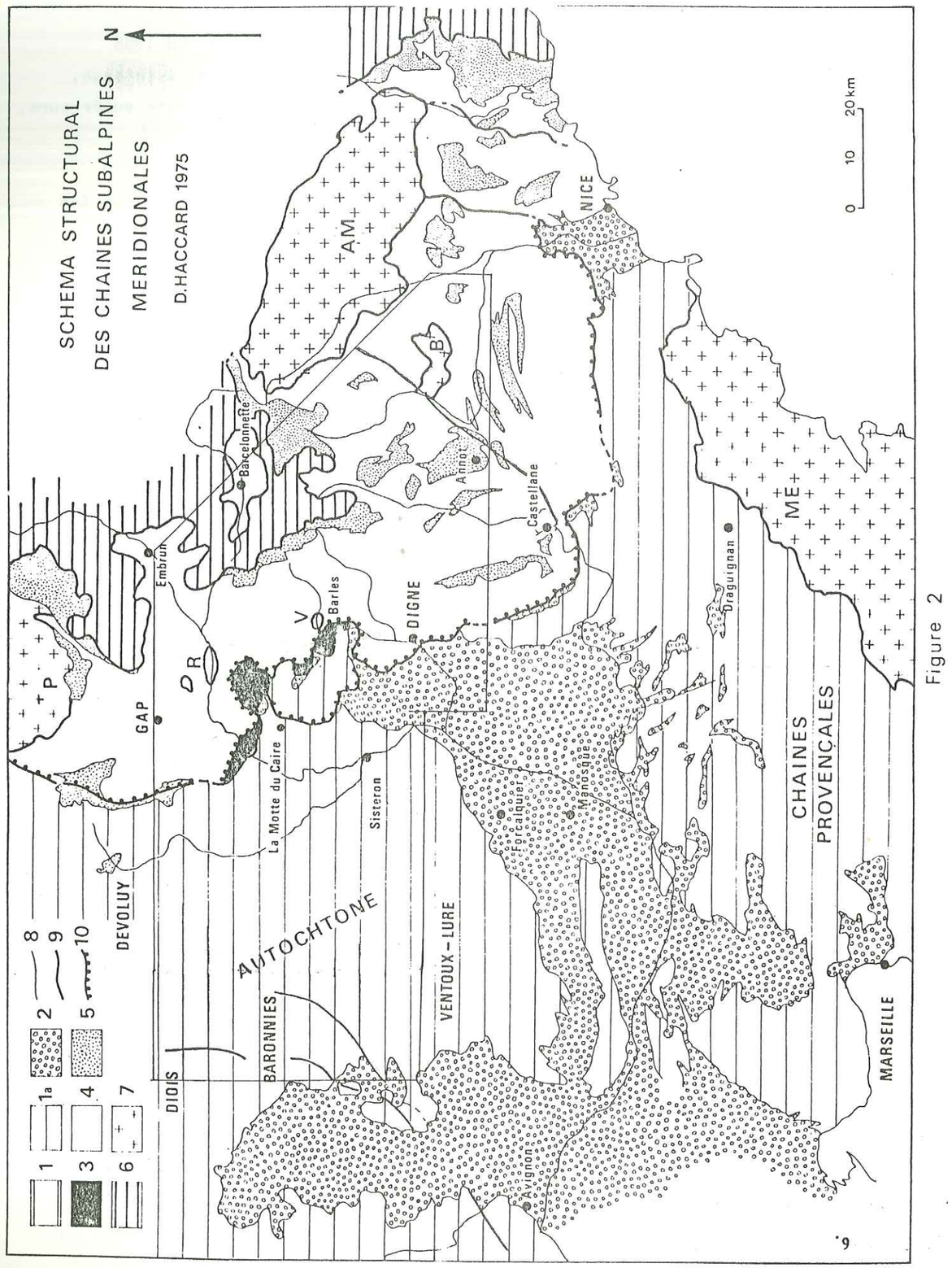


Figure 2

Figure 3 (D. HACCARD, 1975)

Schéma structural des Chaînes Subalpines méridionales

1 - Autochtone, lobe de Mélan-Clamensane (1a), et Chaînes provençales. 2- Tertiaire de l'autochtone caractérisé par un Eocène *continental* (exception faite des affleurements du Dévoluy), de l'Oligocène continental (Molasses rouges), du Miocène marin et du Pliocène 3- Nappe de Turriers. 4- Nappe de Digne. 5- Tertiaire de la nappe de Digne, caractérisé par de l'Eocène *marin*, et, au Nord et à l'Est, un Eocène terminal - Oligocène (?) marin (bassin du Flysch d'Annot) ; au Sud un Oligocène continental (bassin de Barrème-Taulanne) ; le Miocène y est continental. 6- Nappes de l'Ubaye - Embrunais et des Alpes maritimes franco-italiennes. 7- Massifs cristallins et leur tégument (Carbonifère et Permien) : MC Massif central, ME Maures-Estérel, AM Argentera-Mercantour, P Pelvoux, R Remollon, V Verdaches, B Barrot. 8- failles ou décrochements. 9- trace du contact de la couverture décollée sur les massifs cristallins. 10- Contact anormal de la nappe de Digne et chevauchements des Arcs de Castellane et de Nice.

Des recherches récentes, effectuées par B. BEAUDOIN, R. CAMPREDON, M. FRANCO, G. GIANNERINI , P. GIGOT, C. GRANDJACQUET, D. HACCARD, M. LANTEAUME, H. SPINI, J.F. TAPOUL, ont montré que la structure des chaînes subalpines méridionales était essentiellement due à la superposition d'un domaine septentrional allochtone à un domaine méridional autochtone qui se rattache, au S, à la Provence .

Le domaine septentrional, bassin mobile subsident, est bordé au S et à l'W par une plateforme à sédimentation néritique . Du Lias à l'Oligocène, un comportement différentiel des socles aux compressions et distensions individualise deux ensembles structuraux . A partir du Miocène, la déformation compressive subméridienne conduit à la mise en place de l'allochtone sur l'autochtone, qui s'achève au Villafranchien selon le front du chevauchement Digne Castellane Nice . Le déplacement effectué est évalué à une quarantaine de kilomètres (voir fig.3) .

Sciences de la Terre BUPMC CADIST

LES TRAVAUX ANTERIEURS

Peu de travaux d'ordre sédimentologique ont été effectués dans la région, au Valanginien et à l'Hauterivien .

Mon travail visant essentiellement les processus de mise en place des sédiments, il dépasse le cadre régional qui lui sert de support .

J'ai donc, après l'inventaire des travaux effectués dans la région, établi un bref compte rendu de l'état des recherches concernant les deux phénomènes auxquels je me suis intéressée : l'alternance marne calcaire, et les glissements synsédimentaires .

LES TRAVAUX REGIONAUX

. En 1912, W. KILLIAN avait défini une fosse allongée NW.SE ou "Fosse Vocontienne" où la sédimentation, à caractère "pélagique" était relayée sur les bordures par une sédimentation néritique, caractéristique de faciès peu profonds (voir fig.4) .

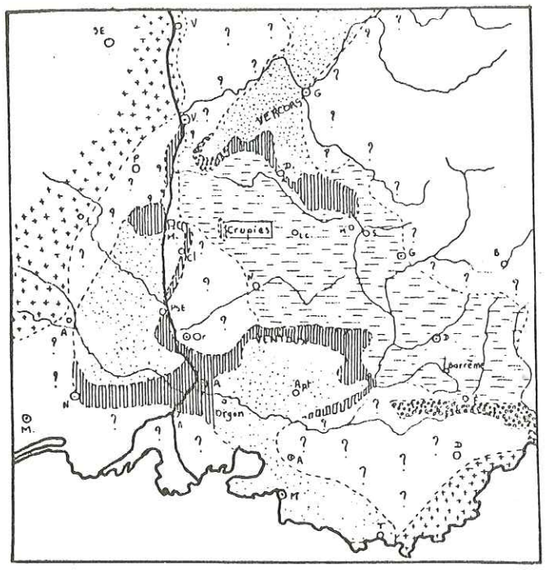
. J. GOGUEL (38,44) a mis en évidence les nombreux faisceaux contournés hauteriviens et, le premier, a attribué leur origine à des *glissements synsédimentaires* . Il a observé leur répartition le long d'une bande étroite, de Verclause à Sisteron, et a suggéré l'hypothèse d'une *flexure* le long de laquelle les glissements se seraient produits .

. J. RECY (65) a également étudié le phénomène de slumping, mais son analyse des structures trop éloignée des observations de terrain et trop peu basée sur des données quantifiables n'a pas été reprise ici .

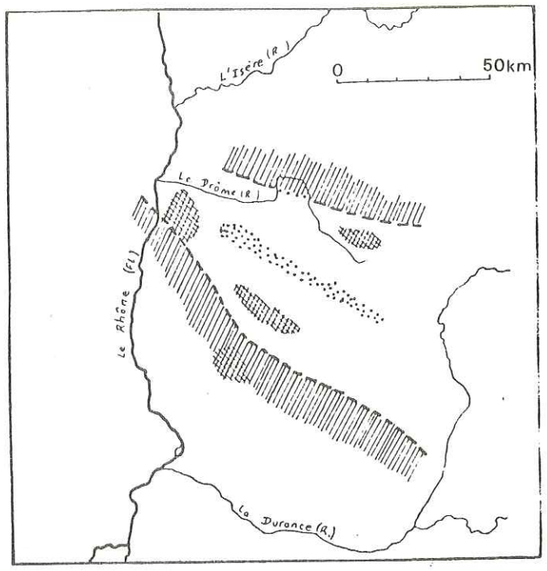
. M. MOULLADE (66) s'est surtout intéressé à la présence de *termes détritiques* au Valanginien supérieur et à l'Hauterivien inférieur, dans le secteur occidental . Il considère qu'il y a dans certains cas ravinement du substratum, ce qu'il attribue à de légers mouvements épeirogéniques des massifs hercyniens avoisinants . Il a précisé la paléogéographie de ce secteur qui est pour lui la terminaison occidentale de la "fosse vocontienne" .

. P. COTILLON (72) étudiant la marge Sud a souligné les relations de *l'architecture* du bassin avec les *accidents tectoniques* de l'arc de Castellane . Son analyse des sédiments tidaux et infratidaux a mis en évidence une *séquence évoluant verticalement des argiles au calcaire*, la discontinuité étant situé au sommet des calcaires . Il propose une évolution progressive ou le caractère asymétrique de la séquence s'estompe puis disparait, faisant place à l'alternance marne calcaire caractéristique des milieux plus profonds .

BIUS JUSSIEU THESES PARIS



a) d'après W. KILIAN - 1912



b) d'après J. GOGUEL - 1944

Faciès urgonien

Faciès intermédiaire (calcaire à débris, calcaires à silex, etc.)

Faciès vaseux (bathyal) à Céphalopodes (fausse vocontienne)

Faciès glauconieux du Barrémien et absence de dépôt aptiens

? ? Affleurements inconnus (recouverts ou érodés)

Limite des faciès urgoniens (masse supérieure)

Calcaires de transition correspondant à la masse supérieure

Zone à éléments urgoniens (Orbitolines, Polypiers,...)

Figure 4 Représentations du bassin vocontien

extrait de la thèse de S. FERRY

. S. FERRY (76), travaillant dans le Barrémien et l'Aptien inférieur, à l'Ouest du Buech, a principalement étudié les *épandages bioclastiques* provenant des massifs avoisinants . Il a clairement établi l'analogie entre ses calcarénites et les *séquences turbiditiques* de BOUMA, et le rôle des morphologies sous marines dans le transport des sédiments .

. Enfin B. BEAUDOIN (77) a effectué, dans le Jurassique terminal Berriasien, entre la Drôme et la Tinée, et de Gap à Castellane un travail méthodologique visant à restituer -à partir des données directement fournies par le sédiment- *les processus et conditions du dépôt*, puis l'architecture du bassin . L'ensemble des dépôts lui parait correspondre à une *resédimentation* gouvernée par l'existence de *pentes*, parfois acheminée par les voies préférentielles que sont les *canyons sous marins* . L'image paléomorphologique est, au Nord des calcaires blancs (récifaux ou pararécifaux), celle d'un bassin marqué par deux sillons subméridiens (celui du Buech, et du Var) séparés par une zone haute .

- LES ALTERNANCES MARNE CALCAIRE

Elles ont très tôt attiré l'attention des chercheurs par le caractère énigmatique de leur mise en place . LOMBARD (1956) cite les principales explications invoquées : les oscillations du fond, les variations climatiques, les variations de condition chimique, les courants marins . Il retient l'hypothèse du calcaire précipitant lorsque l'apport des marnes se déplaçant sur les pentes se réduit . En 1972, il reprendra cette hypothèse. Il est évident que la vaste répartition des alternances (elles existent aussi bien en milieu tidal que profond) explique partiellement la multiplicité des causes citées .

En 1972, B. BEAUDOIN soulignait le caractère dynamique de certains sédiments calcaires tithoniques et berriasiens qui ne sont autres que des "flyschs calcaires" et posait la question de leur rapports avec les alternances .

Il m'a donc paru intéressant d'aborder le problème sous cet angle : existe-t-il encore une sédimentation "*in situ*" ou faut-il considérer que la totalité des alternances relève, dans le secteur étudié, d'une *mise en place dynamique ?*

- LES GLISSEMENTS SYNSEDIMENTAIRES

Les études synthétiques consacrées à ce phénomène sont rares . De nombreux travaux, décrivant des structures diverses, et formulant des hypothèses permettent, en revanche de préciser certains points .

Sur les facteurs déclenchants, les avis sont partagés . Il s'agit, pour MARSHALL (33), HOLLAND (59), LEWIS (71) de tremblements de terre, pour FAIRBRIDGE (46), WELLMAN (52), RENZ-LAKEMAN et MEULEN (55), BRADLEY (57), LOWRY (70), de mouvements tectoniques . Pour STANLEY (75), l'accumulation rapide de sédiments sous consolidés serait responsable du phénomène, pour DEBELMAS (53), BLANC (72) la nature du sédiment jouerait un rôle . MOORE (61) fait intervenir l'augmentation de pression dans les pores du sédiment . Pour LAIRD (68) et MORRIS (71) les causes sont multiples .

. Les faisceaux à contournement seraient localisés sur les pentes des géosynclinaux (JONES 37) dans les canyons (STANLEY 67-69) sur des marges instables de bordures océaniques (MORRIS 71) dans les deltas (HENKEL 70) donc généralement en bas des pentes des zones à accumulation rapide (MOORE 61) .

. Les auteurs précédents ont remarqué des structures variées à l'intérieur des FAC, boules, plis, blocs glissés, certains ont ébauché une classification des FAC en fonction du démantèlement .
KUENEN (56) a observé la présence d'un banc granoclassé au dessus de certains FAC . FERRY (76) celle d'une calcarénite au sommet des conglomérats .
BEAUDOIN (77) a dégagé des observations de terrain une séquence type comprenant de bas en haut un conglomérat lié au frottement, le faisceau contourné passant à une séquence granoclassée, qui se termine parfois par du calcaire fin .

. Mais très peu d'auteurs s'étaient préoccupés de la *géométrie* des FAC, dans les trois dimensions de l'espace, ni du rapport entre cette géométrie et les *pentes* sur lesquelles elle s'est élaborée, leur reconstitution à l'échelle d'un bassin n'a été effectuée que très rarement en fonction des indications fournies par les FAC .
L'évolution des structures au cours du transport n'avait fait l'objet que de peu d'observations sur le terrain .
Le caractère *répétitif* du phénomène, qui permet d'étudier son évolution dans le *temps* a été souligné encore plus rarement .

Les questions fondalentales soulevées par ce type de dépôt étaient donc loin d'être résolues . L'implantation de mon terrain dans une région et à une époque favorables aux glissements synsédimentaires paraissait donc offrir d'intéressantes perspectives de recherche .

- PRESENTATION DE LA SERIE

Les affleurements valanginiens et hauteriviens de la zone étudiée sont constitués de bancs calcaires et d'interlits marneux appelés faisceaux à sédimentation alternante (ou F.S.A.) Des faisceaux à contournement ou(F.A.C), conséquence du glissement synsédimentaire des alternances marne-calcaire s'y intercalent
Des bancs de calcarénite, sédiment calcaire plus grossier, et parfois des conglomérats monogéniques apparaissent à l'W de la Durance . Leur présence n'a été que rarement décelée dans la partie orientale du terrain .
J'ai choisi trois coupes pour décrire la série .
Appartenant à des domaines paléogéographiques différents, elles établissent un panorama des principales formations rencontrées et soulignent les variations de la série .

o DESCRIPTION DE QUELQUES COUPES

Coupe de Montclus voir fig.5

Cette coupe a été levée le long de la N94, entre Serres et Rosans . Il nous a fallu utiliser plusieurs ravins et effectuer des raccords entre ces petites coupes pour obtenir la totalité de la série (voir carte de la fig.6) .
Etant donné l'intérêt de cette coupe et l'absence de discontinuité lithologique, j'ai étudié aussi le Barrémien qui n'est pas l'objet de ma thèse . Il est en effet exceptionnel de pouvoir étudier sur 800m une série ou les faisceaux à contournement sont aussi nombreux et variés .
L'impossibilité de dessiner chaque banc à l'échelle choisie (1/500e) a imposé l'emploi de figurés pour les faisceaux à sédimentation alternante .
Deux critères sont pris en considération :

- l'épaisseur des bancs calcaires qui est représentée par l'espacement des traits horizontaux
- les pourcentages en calcaire $\frac{ec}{ec + em}$ ou ec = l'épaisseur d'un banc calcaire
  em = l'épaisseur du banc marneux susjacent .
  La largeur du log est moindre dans le cas d'un pourcentage élevé en marnes, elle augmente dans le cas contraire .
  (voir la légende de la fig. 4') .

LE VALANGINIEN

- A1 55m : Alternances marne-calcaire . Les bancs calcaires,épais de 10cm à la base atteignent 20cm au sommet .
Ammonites récoltées : la liste complète figure dans l'annexe, seules les datations sont consignées ici .
F3, F4 : zone à *Campylotoxus*
F5 : zone à *Verrucosum*

- S2 30m : Faisceau à contournement .
Le dessin montre des couches calcaires s'interrompant, quelquefois tordues et des boules calcaires au milieu d'une matrice marneuse .
Les bancs calcaires sont plus nombreux à la base du FAC .
F6 : zone à *Verrucosum*

- A3 130m : Ce faisceau se divise de la façon suivante
1) 70m de bancs d'épaisseur variable (10-30cm) caractérisés par des calcaires très marneux .
Constituée de petites ammonites pyriteuses, la faune est datée par F7, F8 et F9 de la zone à *Verrucosum*
2) 60m de petits bancs calcaires (5-15cm) séparés par des marnes d'épaisseur très variable (10-120cm)
F12 : zone à *Trinodosum*
F13 : limite de la zone à *Trinodosum* et la zone à *Callidiscus*
F14 : zone à *Callidiscus*

. 8m d'éboulis

- A4 10m : Les bancs calcaires sont ici très épais (50cm en moyenne) et contrastent ainsi avec les faisceaux A3 et A6 .

- S5 25m : Dans ce FAC, les couches, peu tordues varient légèrement d'épaisseur . Malgré la présence de boules ce faisceau semble peu démantelé .

- A6 1/3m : les calcaires sont épais de 20-30cm, les niveaux marneux peu épais (20cm) sont rares .
2/4m : nous sommes ici en présence d'un élément lithologique majeur . Il s'agit d'une barre de calcarénite à silex rencontrée souvent dans la partie occidentale du terrain . Elle est datée du Valanginien terminal ou de l'Hauterivien basal suivant les lieux, ici l'absence d'ammonites caractéristiques à proximité immédiate laisse subsister une incertitude . A sa base, de petits bancs s'individualisent . La partie supérieure, très compacte ne comprend aucune discontinuité à l'exception de quelques stratifications entrecroisées .
3/3m : 4 bancs calcaires de 20 à 50cm et des interlits marneux de 20 à 70cm surmontent la barre .

- Eboulis de 4m .

L'HAUTERIVIEN

Nous avons vu qu'une incertitude existait quant au passage exact du Valanginien à l'Hauterivien .
Nous allons admettre que la barre de calcarénite représente approximativement cette limite .

- A7 4m : petits bancs calcaires et calcarénitiques de 5 à 20cm groupés en faisceaux de 50-60cm séparés par des interlits marneux de 50 à 90cm.

- S8 25m : faisceau à contournement ou les bancs calcaires sont plus abondants à la base (voir S2) .
Vers le sommet du faisceau des couches calcaires sont ployées sur elles-même . De telles structures sont appelées "rouleaux" pour éviter la confusion avec les plis, d'origine tectonique .
L'axe de leur génératrice perpendiculaire à la ligne de plus grande pente donne ainsi sa direction (voir chapitre 2) qui est ici N70-250 .

- A9 5m : Bancs calcaires et lits marneux d'épaisseur variable (10 à 50cm) .
F17 : Hauterivien inférieur .

- S10 4m : faisceau à contournement très marneux ou les éboulis gènent l'observation .

- A11 1,8m : un banc double calcaire est surmonté par trois bancs de calcarénite fine séparés par des interlits marneux .

- S12 5m : Dans ce faisceau à contournement les rouleaux, aplatis, sont particulièrement abondants . La direction de la pente est N120-300 .

- A13 3,5m : Alternances marnes-calcaires dont l'épaisseur varie de 10 à 50cm.

- Eboulis : 2m .

- S14 8m : ce faisceau pose le problème de l'unicité des FAC . En effet il est constitué à sa base de bancs calcarénitiques à silex peu ondulés, épais de 50 à 90cm . Sa partie supérieure comprend au contraire des bancs calcaires de 10-20cm dont certains forment des rouleaux donnant une direction N125-305 pour la pente .

- A15 9,5m : Il faut noter une légère diminution du pourcentage en marnes tandis que les bancs calcaires sont un peu plus épais (10 à 70cm)
F18 : Hauterivien inférieur
F19 : zone à *Jeannoti* = Hauterivien inférieur terminal

- Eboulis : 3m

- A16 17m : les bancs présentent les mêmes caractéristiques qu'en A15 .
Un banc de calcarénite, épais de 50cm présente des stratifications entrecroisées
F20 : zone à *Nodosoplicatus* .

- S17 11m : nous remarquons ici des bancs tordus calcarénite à silex comme en S14 .
Mais ils sont associés à des bancs calcaires également contournés ; il n'y a pas individualisation de deux ensembles .
La direction de la pente est N55-235 .

- A18 3m : Quelques bancs calcaires épais de 20 à 60cm sont séparés par des lits marneux de 20cm . Un banc de calcarénite de 50cm les surmonte .

- S19 26m : faisceau à contournement constitué seulement de calcaire et de marnes . Les couches sont peu tordues et l'ensemble assez homogène .

- A20 2m : Les quelques bancs calcaires, peu épais (15-30cm) sont assez marneux . Le faisceau comprend aussi 3 interlits marneux de 20-40cm et un banc calcarénitique de 3-4cm .

- S21 18m : Peu de structures sont visibles à cause des éboulis .

- A22 7m : Les bancs calcaires et interlits marneux d'épaisseur comparable varient entre 15 et 70cm .

- S23 5m : Les éboulis masquent la plupart des structures . Un rouleau nous donne une direction N155-335 .

- A24 7m : Les bancs calcaires et interlits marneux, d'épaisseur comparable, varient entre 10 et 40cm .
F22 : limite probable de l'Hauterivien inférieur et supérieur .

- S25 3m : Dans ce faisceau à contournement, très marneux les bancs calcaires sont plus minces que ceux des alternances qui l'encadrent ce qui laisse supposer un matériel d'âge différent ou de provenance éloignée . L'état du faisceau, peu contourné, permet d'écarter cette dernière solution .

- A26 3m : 4-5 alternances identiques aux précédentes constituent ce faisceau.
F23 : Base de l'Hauterivien supérieur .

- S27 25m : Faisceau à contournement assez peu ondulé vers la base . Les rouleaux sont situés dans la partie supérieure, ceci a déjà été observé dans S8 et S14 .

- A28 17m : Les interlits marneux relativement épais (30-70cm) ont une épaisseur moyenne faible à cause des nombreux bancs doubles .
L'épaisseur des bancs calcaires est de 20 à 50cm .

- S29 10m : Constitué à sa base de bancs biseautés peu ou pas ondulés, ce FAC comprend à mi hauteur un rouleau et quelques couches obliques, et dans sa partie terminale des fragments de couches beaucoup plus démantelés et des boules . Cet ensemble est un exemple d'évolution verticale plus complète encore que ceux de S27, S8 et S14 . Direction de la pente N100-280 .

- A30 5m : Gros bancs calcaires (20-60cm) séparés par des interlits plus réduits (10-25cm)

- S31 5m : Faisceau à contournement remarquable par ses structures en rouleaux très fines, à charnières renflées (voir fig. 62) .
Il est surmonté par un banc de calcarénite qui s'interrompt . Il peut avoir été raviné par le FAC qui le surmonte . Direction de la pente N115-295 .

- S32 20m : Ce FAC très marneux contraste avec le faisceau précédent par des structures internes non visibles . Il contient des lambeaux de bancsde calcarénite à silex au milieu des rouleaux calcaires .
Direction de la pente N165-345 .

- S33 15m : En relief dans le paysage, ce faisceau est constitué de gros bancs de calcarénite fine, à silex, assemblés en rouleaux, couches tordues, boules .
La matière marneuse contient de petits grumeaux calcaires millimétriques, elle est peu importante . Sans doute ce FAC correspond-il à la barre à silex décrite à la limite Valanginien Hauterivien . A l'Hauterivien supérieur elle aurait glissé et se serait resédimentée plus en aval .
Ce qui constituerait un exemple de la lenteur de la lithification des sédiments puisque cette barre, à l'Hauterivien supérieur aurait encore pu se déformer de façon souple .
Direction de la pente : N145-325 .

- S34 25m : Plus marneux que le précédent, ce faisceau est principalement constitué de bancs calcaires disposés en rouleaux et d'une matrice marneuse . Quelques lambeaux de bancs calcarénitiques à silex s'y rencontrent encore .
Direction de la pente N100-280 .

- A35 10m : Les bancs calcaires de 20-30cm sont séparés par des zones masquées .
Deux chenaux, larges de 1m, remplis de calcarénite sont observables .
L'un montre des stratifications entrecroisées ; à la surface inférieure de l'autre des rostres de belemnite s'alignent suivant la direction N115-295 (voir le ch.3 paragraphe 1.1.2)

- Eboulis 59m .

- S36 2m : Faisceau uniquement constitué de bancs calcaires peu ondulés .

- S37 25m : La dimension de ses éléments caractérise ce faisceau . Il contient en effet d'énormes blocs (3m de haut, 7-8m de large) ce qui donne une idée des possibilités de transport par glissement synsédimentaire . Un rouleau de 4m de haut indique une direction de pente de N175-355, vérifiée par des structures de taille plus réduite .
Un banc de calcarénite granoclassée, à base bréchique surmonte une partie du FAC . Ses extrémités biseautées laissent supposer qu'il s'est mis en place dans une morphologie chenalisante dont les bordures sont visibles sur l'affleurement .

- S38 4m : FAC presque uniquement calcaire, contenant de nombreux rouleaux . Certains bancs sont calcarénitiques, mais la calcarénite est très fine .
Direction de la pente N170-350 .

- Eboulis 2,5m .

- S39 2m : Ce faisceau, très calcaire, comprend de bas en haut :
  - des boules micritiques de quelques cm à quelques dm
  - des bancs s'interrompant en biseaux, certains constitués de calcarénite fine et des rouleaux
  - des boules micritiques et calcarénitiques

Direction de la pente N160-340 .

- A40 3m : Trois petits bancs calcaires de 10cm et un gros banc de 70cm sont séparés par des interlits d'épaisseur variable (30 à 150cm) .

- S41 4m : Faisceau à contournement très marneux
Direction de la pente N175-355 .

- A42 1m : Trois bancs calcaires se succèdent sans interlits marneux

- S43 1,5m : Comme les précédents ce faisceau est presque entièrement calcaire, les bancs sont biseautés . Un banc calcarénitique, de forme chenalisante, le surmonte .
Direction de la pente N20-200 .

- A44 1,5m : Trois bancs calcaires se succèdent sans interlits marneux .

- S45 3,5m : Faisceau à contournement très calcaire . Il comprend des boules et des bancs biseautés .

- S46 7m : Ce faisceau, très calcaire comprend de bas en haut
  - des boules micritiques et calcarénitiques
  - des bancs biseautés et des rouleaux
  - des boules conglomératiques dont la taille décroit
  - elles passent de façon continue à une calcarénite .

Cette évolution verticale est caractéristique d'une séquence complète .
Elle sera étudiée au chapître 2 paragraphe 2.1

- A47 1m : Trois bancs de calcarénite dont l'un présente des galets mous au sommet . L'autre est granoclassé, le troisième, plus grossier, contient des entroques .

- S48 13m : Ce faisceau, très éboulé dans sa partie médiane commence par un conglomérat à boules centimétriques ou décimétriques .
Il contient ensuite des bancs ondulés, micritiques et calcarénitiques, et se termine par un conglomérat dont les boules diminuent de taille vers le haut . Un banc calcarénitique ondulé surmonte le tout .
Orientation de rostres de Belemnites : vers N30
Direction de la pente N170-350 .
F27 Limite probable de l'Hauterivien .
Les ammonites provenant du FAC, nous ne connaissons pas l'âge du dépôt . Seule sa limite inférieure est déterminée .

LE BARREMIEN

- S49 4m : Ce faisceau est constitué de gros bancs de calcaire, légèrement ondulés .
Un seul banc est calcarénitique et contient des silex .
Direction de la pente N120-300 .

- S50 16m : Les éboulis ne permettent pas d'observations dans ce FAC .

- Eboulis 5m .

- A51 7m : Les calcaires et les calcarénites sont groupés en faisceaux de 2 à 4 bancs de 10-30cm .
Les marnes sont plus épaisses (20 à 120cm) .
Des figures de courant (prod, flute et bounce cast) indiquent le sens du courant, vers N70 .

- S52 3m : Dans le FAC, assez marneux, les éléments évoluent continuement du bas vers le haut des fragments de bancs jusqu'à un conglomérat . Un banc de calcarénite présentant des convolute laminations surmonte le tout .

- A53 70cm : Banc triple comprenant une calcarénite à rides et galets mous encadrée par deux bancs calcaires .

- S54 10m : Ce faisceau comprend de bas en haut :
  - des boules de calcaire formant un conglomérat
  - des bancs de micrite et de calcarénite ployés en rouleau
  - un banc de calcarénite à silex contourné qui disparait plus loin surmonté d'un autre banc sous lequel des grooves cast sont orientés N40-220 .

Direction de la pente N120-300 . F28 Barrémien supérieur .

- S55 12m : Gros bancs de 50-70cm parfois disposés en rouleaux . Ils sont micritiques et calcarénitiques .
Direction de la pente N130-310 .

- A56 2,5m : Un banc de 10cm de calcarénite est surmonté par trois alternances marne calcaire .

- S57 8m : Faisceau à gros bancs micritiques tordus en rouleau .
Direction de la pente N150-330 .
F30 : Barrémien supérieur .

- A58 4m : Des bancs calcaires et calcarénitiques de 10 à 50cm sont séparés par des éboulis .
Des terriers, peu nombreux sont visibles dans un banc calcarénitique .

- S59 1m : Conglomérat à éléments centimétriques .

- S60 1m : Faisceau dont les éléments sont des boules calcaires décimétriques surmontées par un banc calcarénitique .
La suite de la coupe est masquée par les éboulis .

Figure 4' :

Légende des coupes

COUPE de MONTCLUS (MC 1)

éch : 1/500

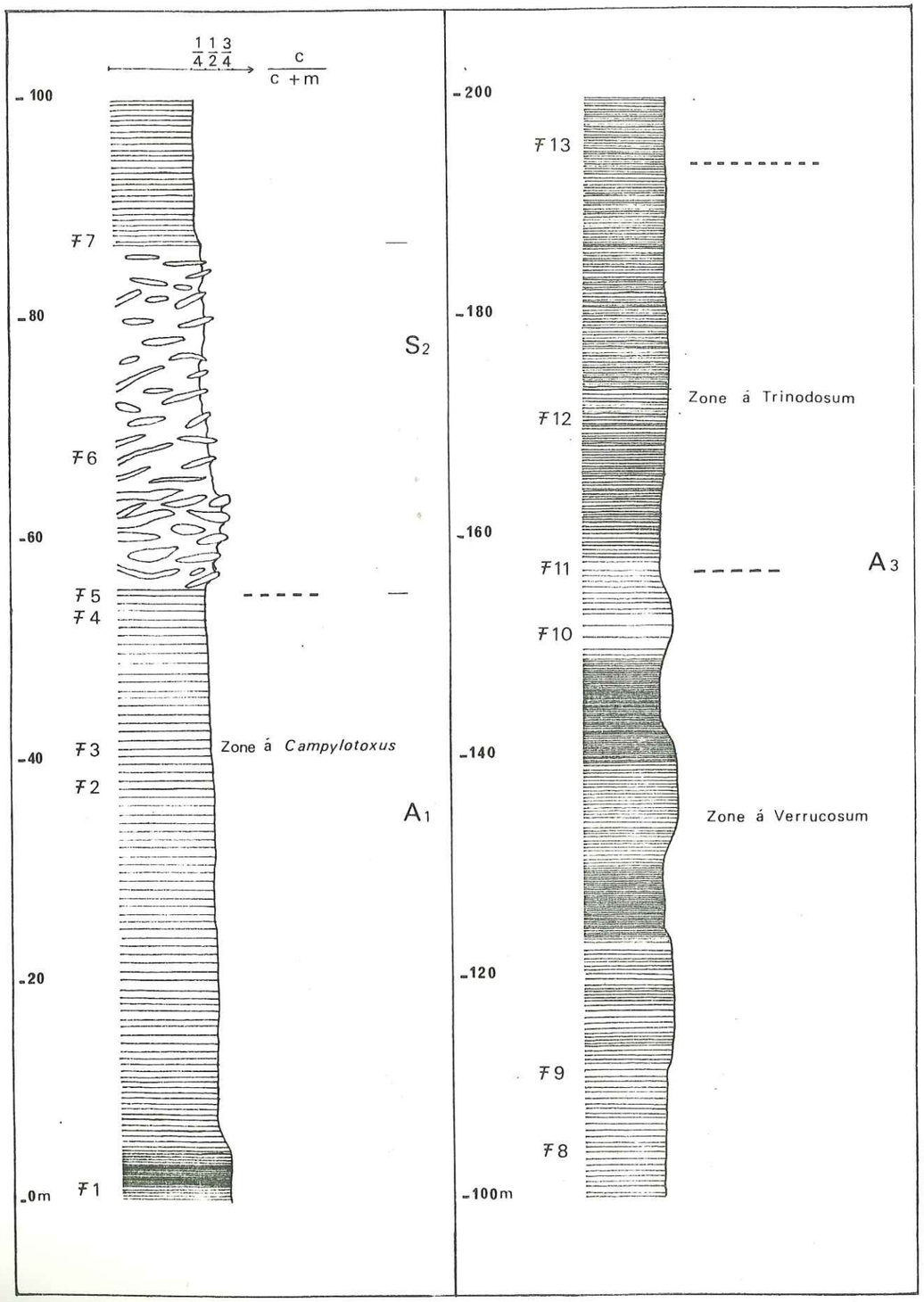


Figure 5

MC 2

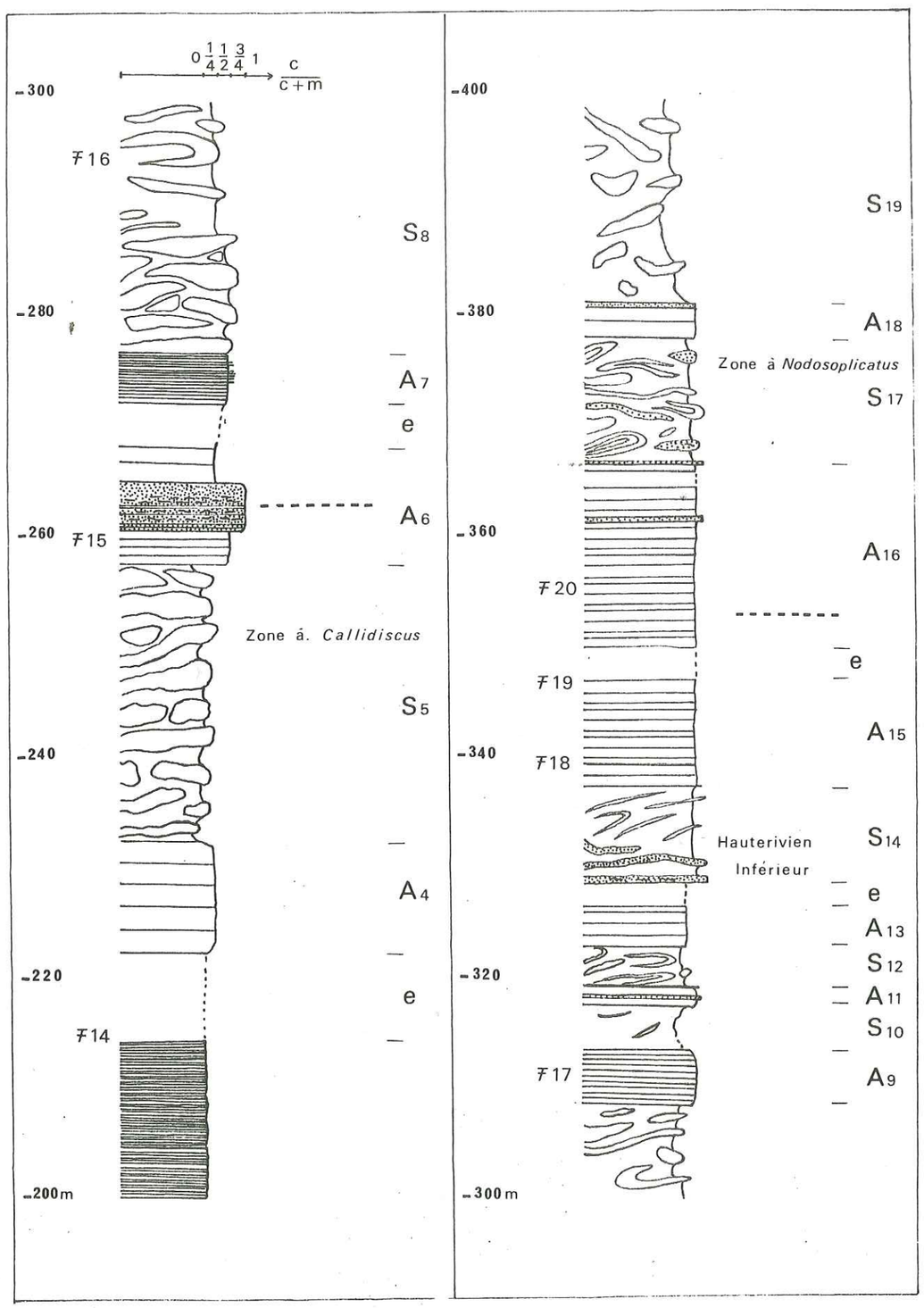


Figure 5

MC 3

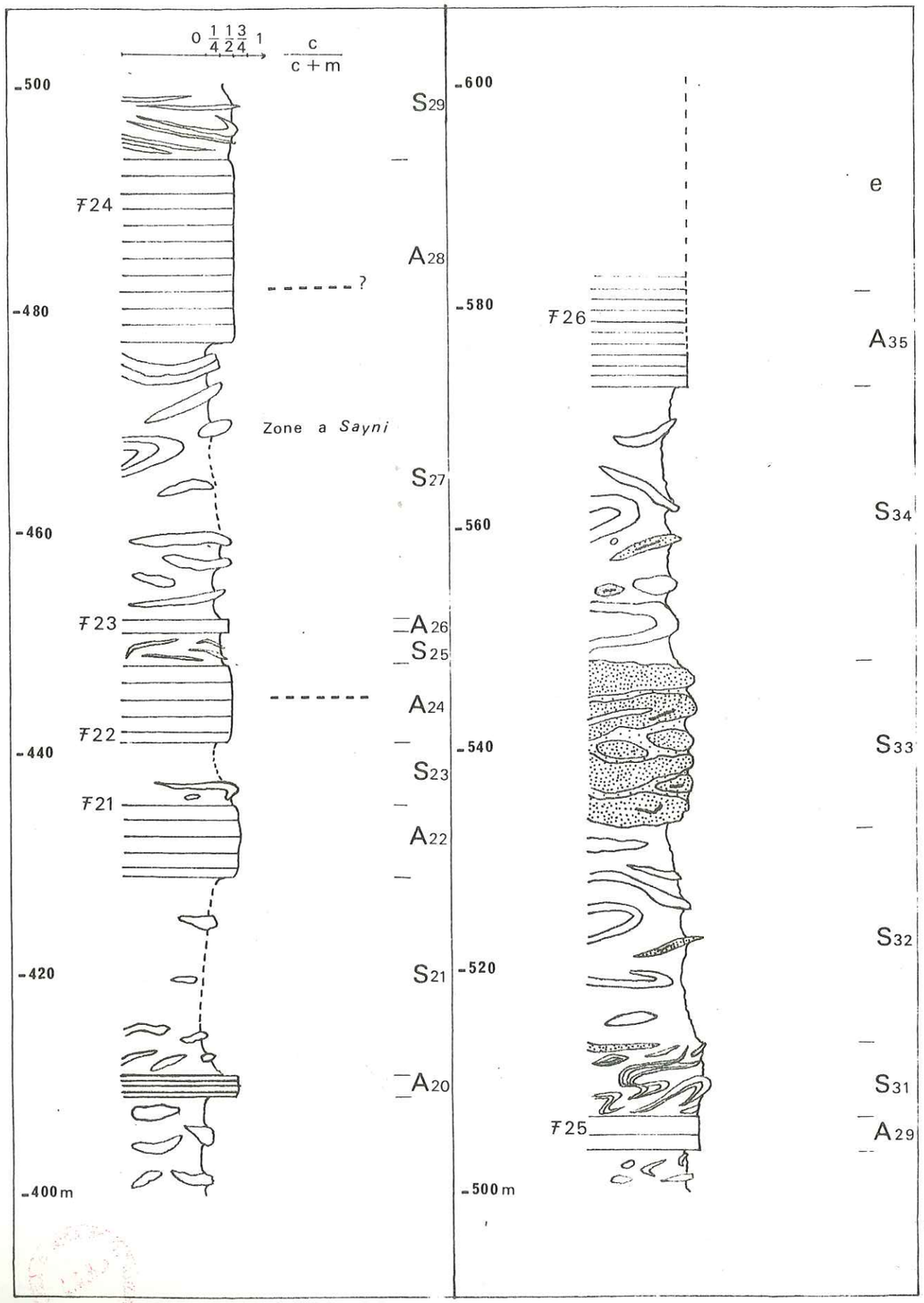


Figure 5

MC 4

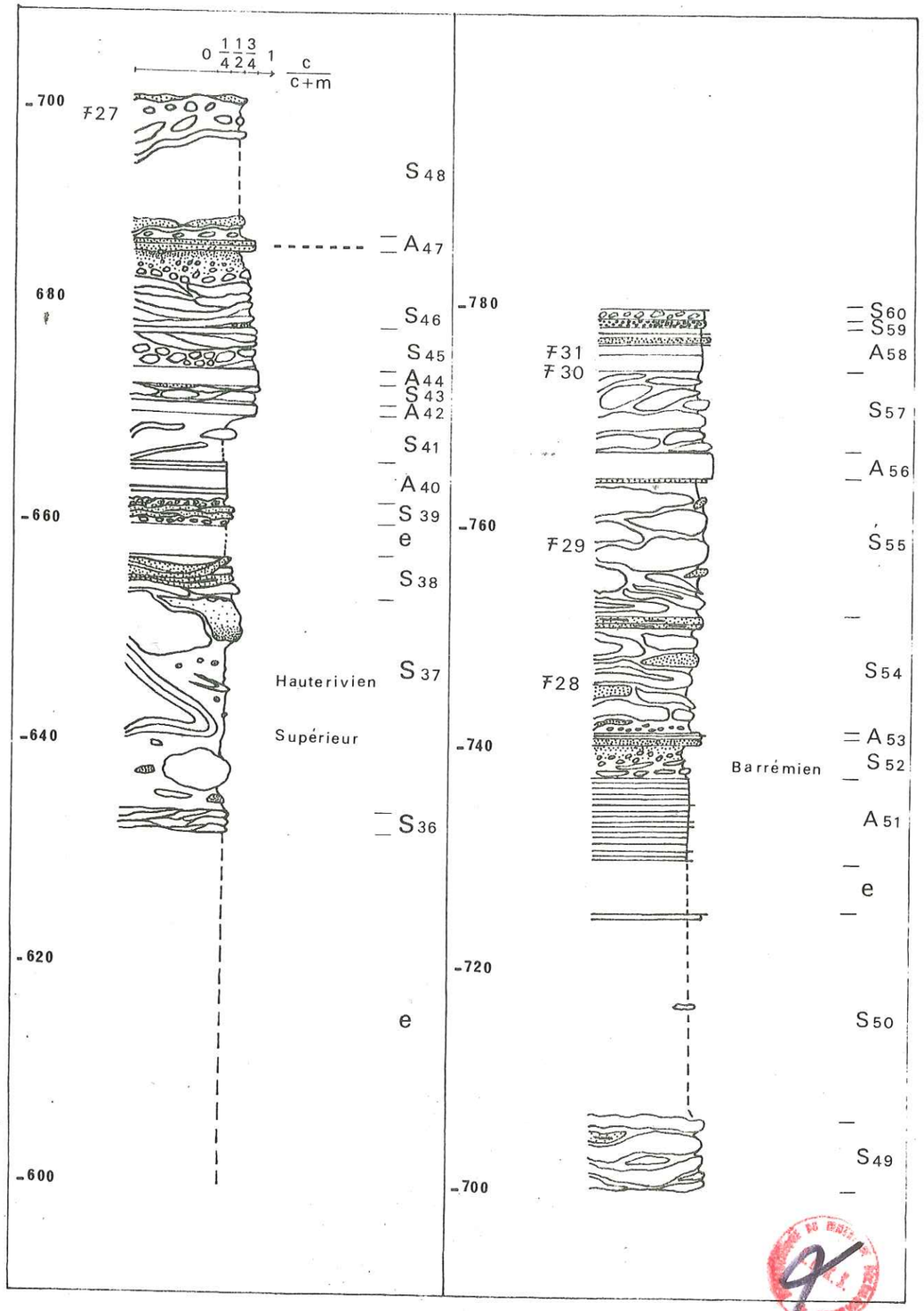
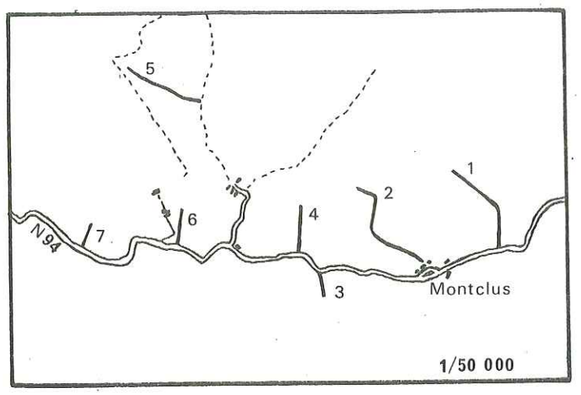


Figure 5



1 début	x : 866,8 y : 241,1	fin	x : 866,3 y : 241,6	Coupe levée de 0 à 260 m
2 d	x : 866,2 y : 241,3	f	x : 865,7 y : 241,3	de 260 à 477 m
3 d	x : 865,3 y : 240,8	f	x : 865,3 y : 240,5	477 à 504 m
4 d	x : 865,2 y : 240,8	f	x : 865,2 y : 241,3	504 à 572 m
5 d	x : 864,3 y : 242	f	x : 863,9 y : 242,4	572 à 632 m
6 d	x : 863 y : 241,2	f	x : 863 y : 241,5	632 à 725 m
7 d	x : 863,3 y : 240,8	f	x : 863,3 y : 241,1	725 à 780 m

Figure 6 : Localisation des coupes effectuées á Montclus

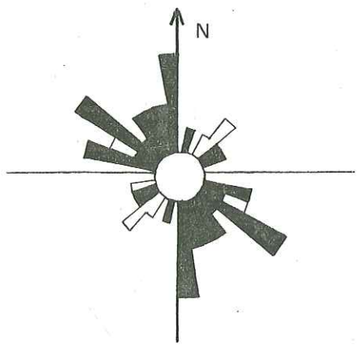


Figure 7 : Coupe de MONTCLUS : Direction et sens de la pente données par les paléohorizontales des FAC (en noir), les figures de courant et les orientation des bélemnites (en blanc)

COMMENTAIRES GENERAUX

Cette coupe est remarquable, tout d'abord par la *variation des faciès* au cours du temps . Tandis que l'Hauterivien se caractérise par une grande épaisseur (400m) due à des faisceaux contournés abondants, et par des bancs calcarénitiques, le Valanginien, épais de 250m, est le domaine de l'alternance marne-calcaire .

Il faut signaler d'ailleurs l'interêt de cette multiplicité de FAC qui en fait un lieu de choix pour leur étude (voir au chapître 2, paragraphe 4.1.3) .

Les directions et les sens recueillis réunis sur un même diagramme (voir fig.7), se regroupent pour l'Hauterivien en trois principaux ensembles l'un indiquant une pente vers le NE, l'autre vers le SE, le troisième étant grossièrement NNW-SSE, ce qui souligne l'existence d'une *morphologie complexe*, où le transport s'effectue vers l'Est .
Une *évolution de cette morphologie*, du Valanginien à l'Hauterivien peut seule expliquer la diversité des dépôts, elle sera interprétée au chapître 3 comme la progression du confluent de deux morphologies sous marines .

La coupe de La Charce (CHA) - 1/500e voir fig.8

Cette coupe a été levée en trois parties :

- Le Valanginien inférieur au dessus de la D61 au lieu dit Détroit d'Establet (DT)
- Le Valanginien supérieur dans le ravin qui part de la D138 au point côté 632 (DT)
- L'Hauterivien en bordure de la D61 à la sortie du village de La Charce en allant vers Rottier (CHA)

Les conventions adoptées pour la représentation du log de Montclus sont valables ici aussi .

Localisations :

Valanginien = DT

- début x = 848,2
  y = 246,3
- fin x = 848,95
  y = 246,45

Hauterivien = CHA
- début x = 847,25
  y = 245,5
- fin x = 846,4
  y = 245,25

- S1 19m : Nous ne pouvons dire si le Valanginien basal figure sur le dessin . En effet le FAC S1 daté du Berriasien peut avoir des éléments beaucoup plus anciens que les alternances qui l'encadrent . Des différences d'âge importantes ont déjà été enregistrées dans d'autres cas (voir ch.2 paragraphe 2.2.3) . Ce faisceau S1, très démantelé est surtout constitué de boules décimétriques .
Vers la haut, un banc de calcarénite ondulé marque peut être la limite d'un deuxième faisceau beaucoup moins épais, dont les éléments seraient plus allongés .

- A2 15m : Les bancs calcaires, assez minces (15cm) sont séparés par des interlits marneux de 20 à 90cm . Les bancs de calcaire marneux sont peu fréquents .

- Eboulis 10m .

- A3 36m : Les alternances se regroupent en deux parties :
1) 16m . Quelques feuillets centimétriques ou millimétriques de calcarénite s'intercalent entre des bancs calcaires minces (5 à 20cm) et des interlits marneux importants (30-70cm) .
2) Les bancs calcaires deviennent plus épais (20cm en moyenne), et plus marneux vers le haut du faisceau . Les interlits marneux varient de 30 à 100cm .

F4 = Valanginien inférieur non terminal
F5 = Zone à *Campylotoxus*

- S4 30m : Ce faisceau a une grande importance stratigraphique et paléogéographique . Composé principalement de calcarénites, on le retrouve dans les coupes localisées au voisinage de l'axe Pontaix-La Charce (voir fig.89) .
Appelé "Zone jaune" à cause de son aspect, dans le paysage, il est facilement repérable . Il apparait comme une bande plus déprimée souvent couverte de végétation (voir photo 3) .
Le pourcentage en sédiments contournés, égal à 100% à La Charce varie de 0 à 100% dans les autres coupes .
Une évolution verticale s'observe ici :
- à la base, les bancs calcarénitiques, souvent laminés, sont de couleur rousse . Ils s'organisent en rouleaux dont le déversement indique une pente vers N200 . Un bloc de taille pluridécamétrique composé aussi de bancs calcarénitiques non déformés y a aussi été observé .
- puis des bancs calcarénitiques roux où s'intercalent des laminites grises de calcaire graveleux .
On observe des rides et parfois des convolute laminations .

- au sommet, les bancs, de **couleur** grise sont uniquement constitués de calcaire graveleux . La direction de la pente, indiquée par les rouleaux est ici N145-325 . Ce faisceau est daté ici de la limite Valanginien supérieur-inférieur mais il n'en est pas de même pour toutes les coupes (voir chapître 3 paragraphe 2.2.2.1) .

- A5 122m : J'ai distingué quatre parties dans ce faisceau :
1) 13m . Des interlits marneux bien développés (20 à 200cm) caractérisent ce passage qui comprend trois ou quatre feuillets millimétriques ou centimétriques de calcarénite .
2) 59m . Des petits bancs calcaires (12cm en moyenne) sont groupés en faisceaux de 5-6 bancs . Les interlits marneux, peu importants dans ces faisceaux (5 à 20cm) sont de 50 à 120cm entre les faisceaux
F6 Valanginien inférieur
F11 Valanginien supérieur non basal
F14 Zone à *Verrucosum*
F15 Zone à *Callidiscus*
3) 26m . L'épaisseur des bancs calcaires augmente sensiblement (20cm en moyenne) les faisceaux disparaissent .
F16-F17 Zone à *Callidiscus*
4) 24m . Les bancs calcaires deviennent beaucoup plus épais (37cm en moyenne) . Le passage est très rapide (4-5 bancs) et correspond à la limite Valanginien Hauterivien (J.P. THIEULOY, communication orale) . Les interlits marneux varient peu .

- S6 3,5m : Ce faisceau à contournement est constitué de bancs légèrement ondulés . Il semble peu démantelé .

- A7 19m : Remarquables par leur épaisseur régulière, les bancs calcaires mesurent une trentaine de cm en moyenne, les interlits 40 à 60cm . Les bancs doubles ou triples ont disparu .
F18 Hauterivien basal
F19 Zone à *Sayni*

- S8 10,5m : Les bancs sont légèrement ondulés dans ce faisceau, peu démantelé .

- A9 33m : Les alternances deviennent un peu plus irrégulières, l'épaisseur des bancs calcaires est en moyenne de 38cm, celles des marnes de 20 à 60cm .
F20 Zone à *Jeannoti*
F21 Zone à *Nodosoplicatus*

- Zone faillée .

- A10 39m : Vers le haut du faisceau les marnes deviennent plus abondantes . L'épaisseur des calcaires est un peu plus faible (30cm en moyenne) .
F23 Hauterivien supérieur
F24 Zone à *Ligatus*

- La série se continue sur une dizaine de m jusqu'à la limite Hauterivien Barrémien puis est masquée par les éboulis .

COUPE de LA CHARCE (CHA 1)

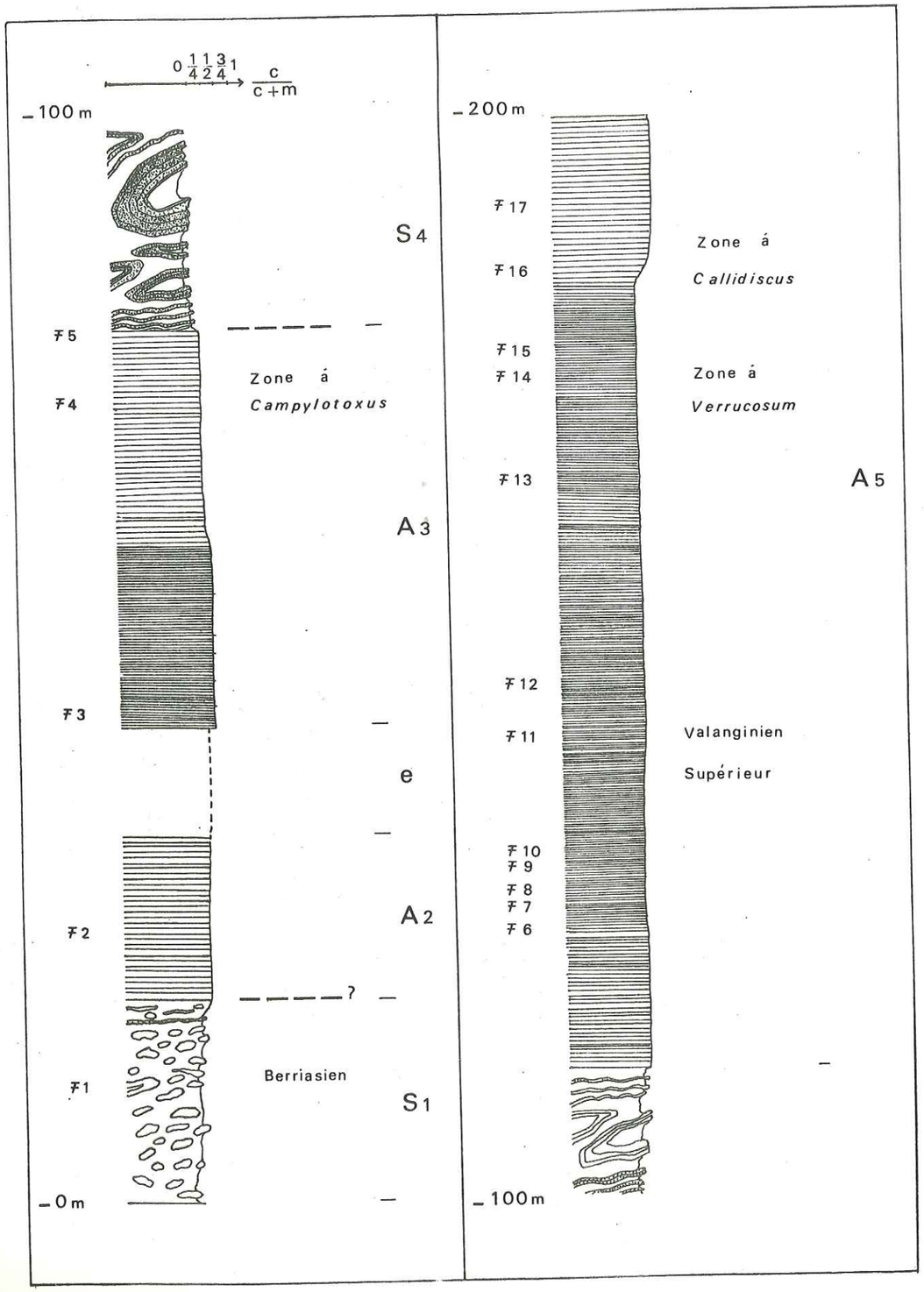


Figure 8

CHA 2

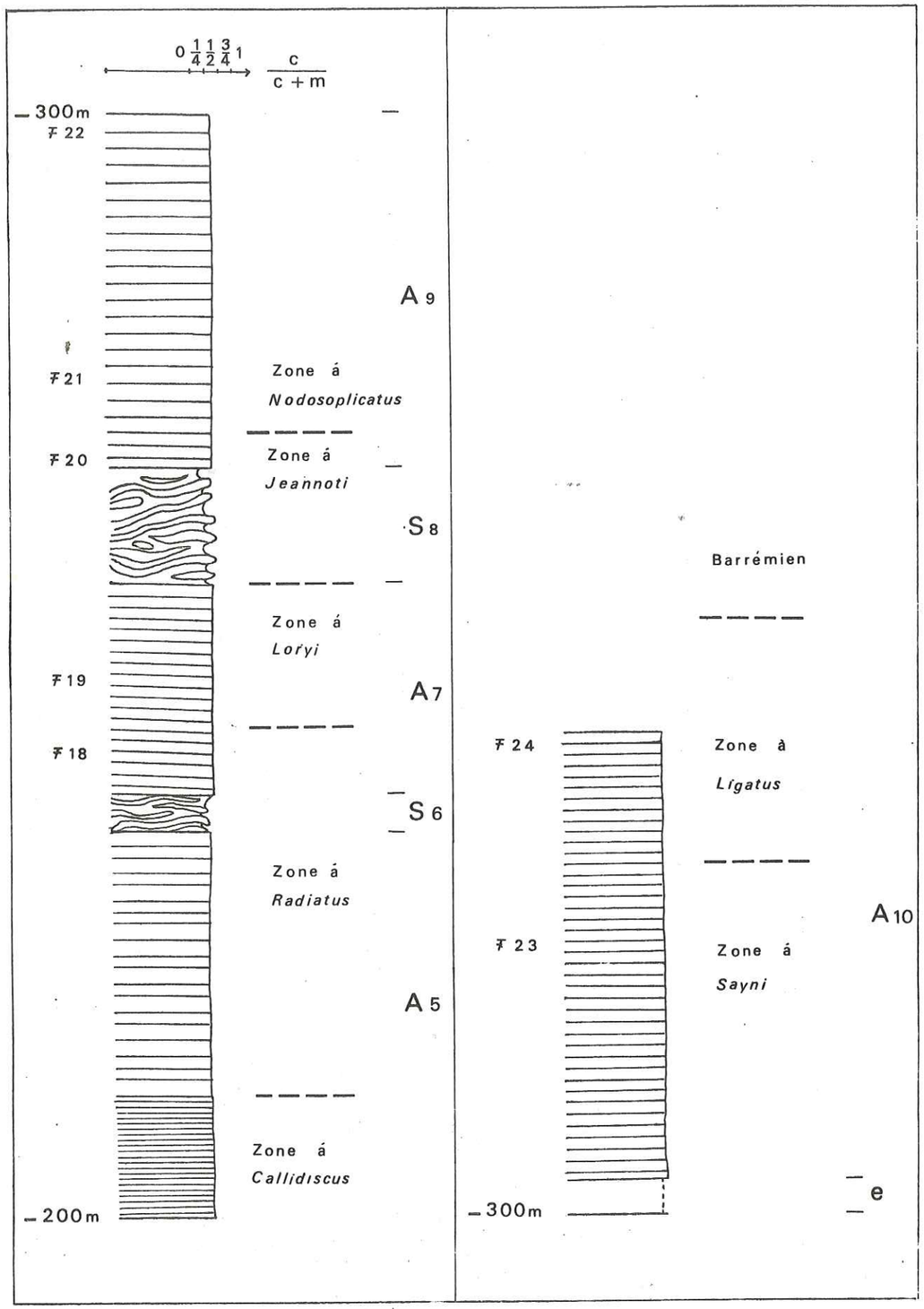


Figure 8

échelle : 1/4000

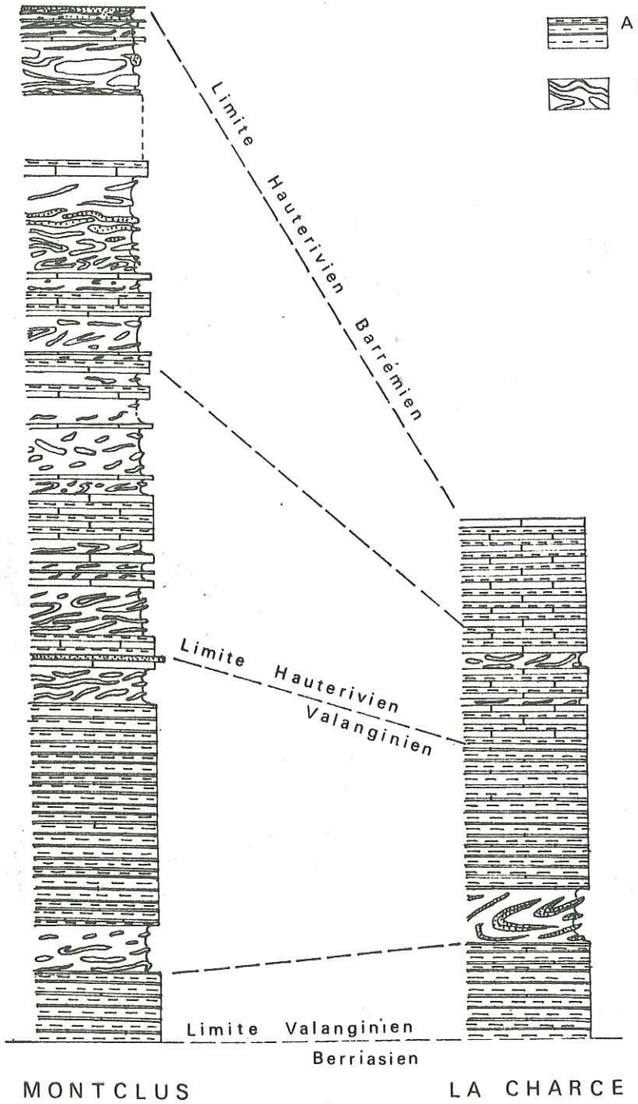


Figure 9 : Comparaison entre La Charce et Montclus

COMMENTAIRES GENERAUX

Si l'on compare la coupe de La Charce et celle de Montclus, voir fig.9 , La Charce se caractérise par le petit nombre de faisceaux à contournement (voir fig. 8) . Mais la présence de la "*Zone jaune*" au Valanginien pose le problème des modalités de sa mise en place, et de l'existence de *morphologies* qui auraient pu la guider .

A l'Hauterivien, l'épaisseur de la série est *réduite* (130m si l'on enlève les faisceaux contournés) . Mesurée dans les même conditions, à Montclus elle n'est pas plus épaisse, mais il faut tenir compte des alternances disparues, ravinées par les glissements synsédimentaires . L'épaisseur de l'Hauterivien dans d'autres coupes exemptes de faisceaux contournés est en général de 200m .

J.P. THIEULOY, a observé qu'aucune zone ne manquait . Il n'y a donc pas de lacunes importantes à des périodes déterminées . En outre, l'abondance en ammonites lui semble caractéristique de ce ralentissement de la sédimentation qui se traduit par le *dépôt d'un moins grand nombre de bancs* .
Sans doute la coupe de La Charce se trouve-t-elle à l'Hauterivien à l'écart des zones où s'effectue préférentiellement le dépôt des bancs .

La coupe du Caire (K.RG) fig.10

La coupe du Caire, visible de la N551, entre La Motte et le Caire, donne le spectacle remarquable d'une série continue du Tithonique à l'Hauterivien . Etant donné la qualité exceptionnelle de cet affleurement, la série entière rive droite et rive gauche a été levée banc à banc par B. BEAUDOIN, J. BIE et M. PINAULT en 73 (BIE et al. 73) . Je présente ici la coupe de la rive gauche plus complète et d'accès plus facile que celle de la rive droite .

DESCRIPTION DE LA COUPE

- A1 102m : La série se décompose en 3 parties
  20m : les alternances berriasiennes se caractérisent par des bancs d'une vingtaine de cm, où les bancs calcaires sont légèrement plus épais que les interlits marneux .
  32m : Dans ce passage, légèrement plus marneux se situe la limite Berriasien Valanginien déterminée par Calpionelles .
  50m : La série devient ici beaucoup plus marneuse les interlits marneux mesurant en moyenne 80cm les bancs calcaires une vingtaine de cm .
  F1 - F2 - F3 Zone à *Verrucosum* . A ce niveau de nombreuses ammonites pyriteuses ont été récoltées .

- S2 10m : Ce faisceau à contournement n'est pas facile à observer en raison des éboulis .
  Les bancs calcaires, assez marneux sont ondulés . On observe quelques boules . Direction de la pente N40-220 .

- A3 30m : Les bancs calcaires sont d'épaisseur assez irrégulière (10-50cm) les interlits marneux toujours épais (80cm en moyenne) .
F4 Zone à *Callidiscus* .

- S4 15m : Faisceau à contournement où les couches sont repliées en rouleaux . Des couches ondulées et des boules peuvent aussi être observées .
Direction de la pente N100-280 .

- A5 6m : Les bancs deviennent plus épais et d'aspect moins friable (25 à 30cm en moyenne) . Les interlits marneux varient .
F5 Zone à *Callidiscus* .

- S6 5m : Dans ce faisceau, peu démantelé, les bancs sont légèrement ondulés .

- A7 5,50m : Les alternances présentent les mêmes caractéristiques qu'en A5
F6 Limite Valanginien Hauterivien .

- S8 5m : Les couches sont tordues en rouleaux très allongés, à charnière renflée .
Direction de la pente N40-220 .

- A9 1,5m : Deux bancs calcaires de 60cm sont séparés par 40cm de marnes . A partir de ce faisceau les bancs calcaires sont plus épais . Ce faisceau marque donc le passage lithologique du Valanginien à l'Hauterivien qui coincide à quelques mètres près avec les données paléontologiques .
F7 Hauterivien inférieur .

- S10 2m : Dans ce faisceau, peu démantelé, les couches sont légèrement ondulées .

- A11 1,5m : Deux bancs calcaires de 69 et 56cm sont séparés par 28cm de marnes .
F8 Hauterivien inférieur .

- S12 1,5m : Le faisceau S12 présente les mêmes caractéristiques que le faisceau S10 .

- A13 2m : Trois bancs calcaires de 36, 26cm et 53cm sont séparés par 49 et 40 cm de marnes .

- S14 10m : Ce faisceau comprend des couches tordues en rouleaux, des bancs biseautés et des boules .
Direction de la pente NO-180 .

- A15 25m : Ce faisceau est formé de deux bancs simples et d'un banc double épais en moyenne de 40cm et de deux interlits de 46 et 29cm .

- S16 12m : De bas en haut, nous observons dans ce faisceau quelques bancs peu ondulés, puis des rouleaux et des boules, puis des bancs biseautés .
Direction de la pente NO-180 .

- A17 9m : De gros bancs calcaires (40cm en moyenne) sont séparés par des marnes moins épaisses (25-30cm) .
F10 Base de l'Hauterivien Supérieur .

- S18 4m : Dans ce faisceau, les couches sont tordues en rouleaux .
Direction de la pente N60-240 .

- A19 1,5m : Deux bancs de 38 et 48cm sont séparés par 38cm de marnes .

- S20 4m : Ce faisceau présente les mêmes caractéristiques que le faisceau S18 .

- A21 11,5m : Les bancs calcaires sont de 45cm en moyenne les interlits marneux de 35cm .

- S22 3,5m : Des rouleaux à charnière renflée constituent principalement ce faisceau . Les quelques bancs ondulés sont situés dans sa partie inférieure .
Direction de la pente NO-180 .

- A23 24m : L'apparition de petits bancs calcaires d'une dizaine de cm abaisse l'épaisseur moyenne des bancs à 30cm . Les interlits marneux sont aussi de 30cm .
F11 et F12 Hauterivien supérieur .

- S24 2,5m : Ce faisceau est constitué de couches ondulées .

- A25 5m : Entre des bancs calcaires de 40cm s'intercalent des lits marneux un peu plus minces .

- S26 13m : Quelques couches sont tordues en rouleaux, certaines couches présentent une bordure arrondie, l'autre effilée . Ce sont des "ailes d'avion", décrites au ch.2, dont la propriété est d'avoir le plus souvent leur extrémité arrondieorientée vers l'aval, ce qui indique le sens de la pente .
Il est ici vers N200 .

- A27 16,5m : Des bancs calcaires et des interlits marneux d'une quarantaine de cm se succèdent régulièrement .

- S28 8m : Les couches sont tordues en rouleaux .
La direction de la pente est N60-240 .

- A29 22m : Les alternances ne diffèrent pas sensiblement du faisceau A47 . Les marnes sont en moyenne un peu plus épaisses (48cm) tandis que les calcaires restent d'une quarantaine de cm .
F13 Hauterivien supérieur .

- S30 8m au moins : Ce faisceau comprend de nombreuses couches tordues en rouleau . Des ailes d'avion donnent le sens de la pente : vers N200 .

COUPE du CAIRE (K1)

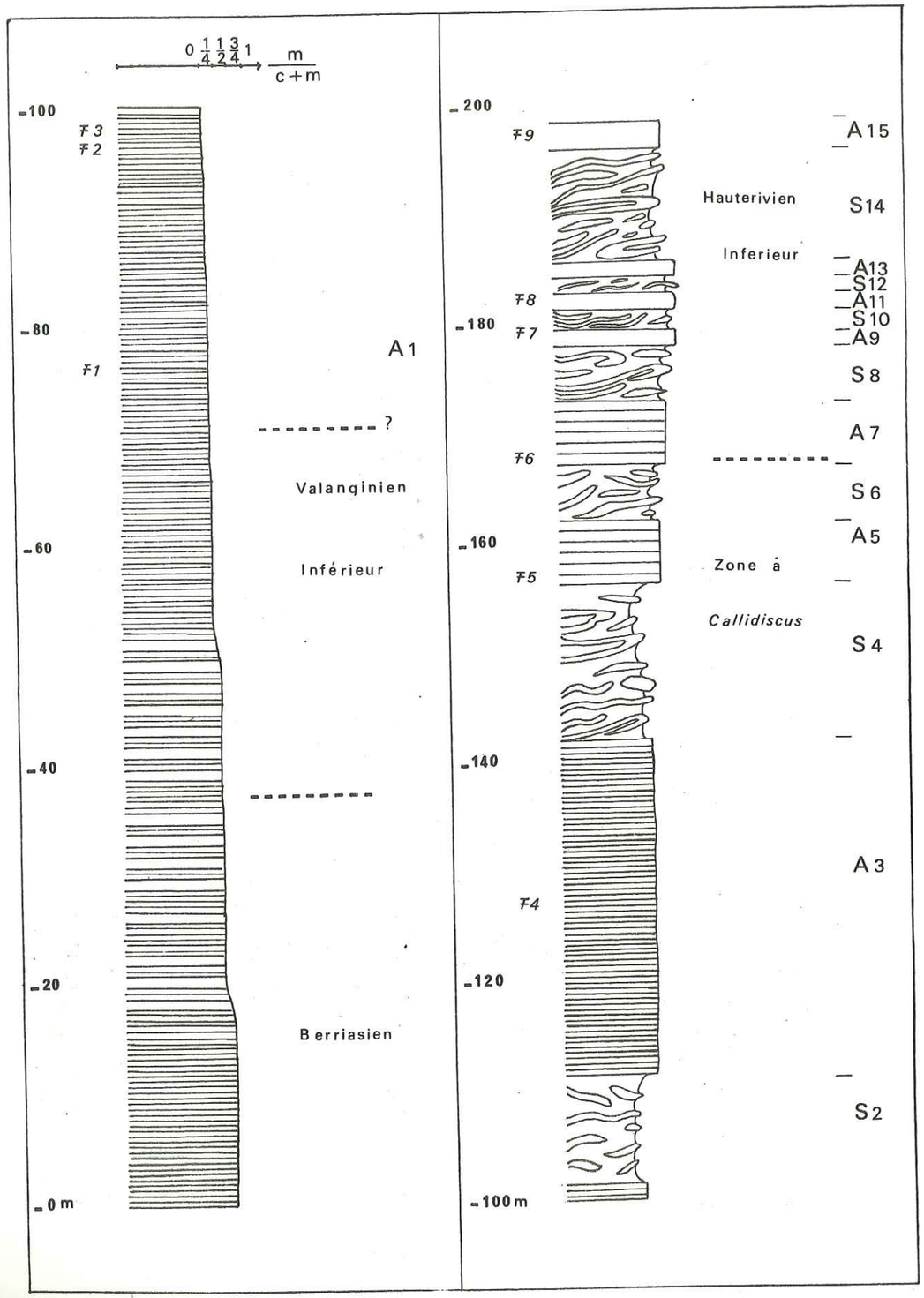


Figure 10

K 2

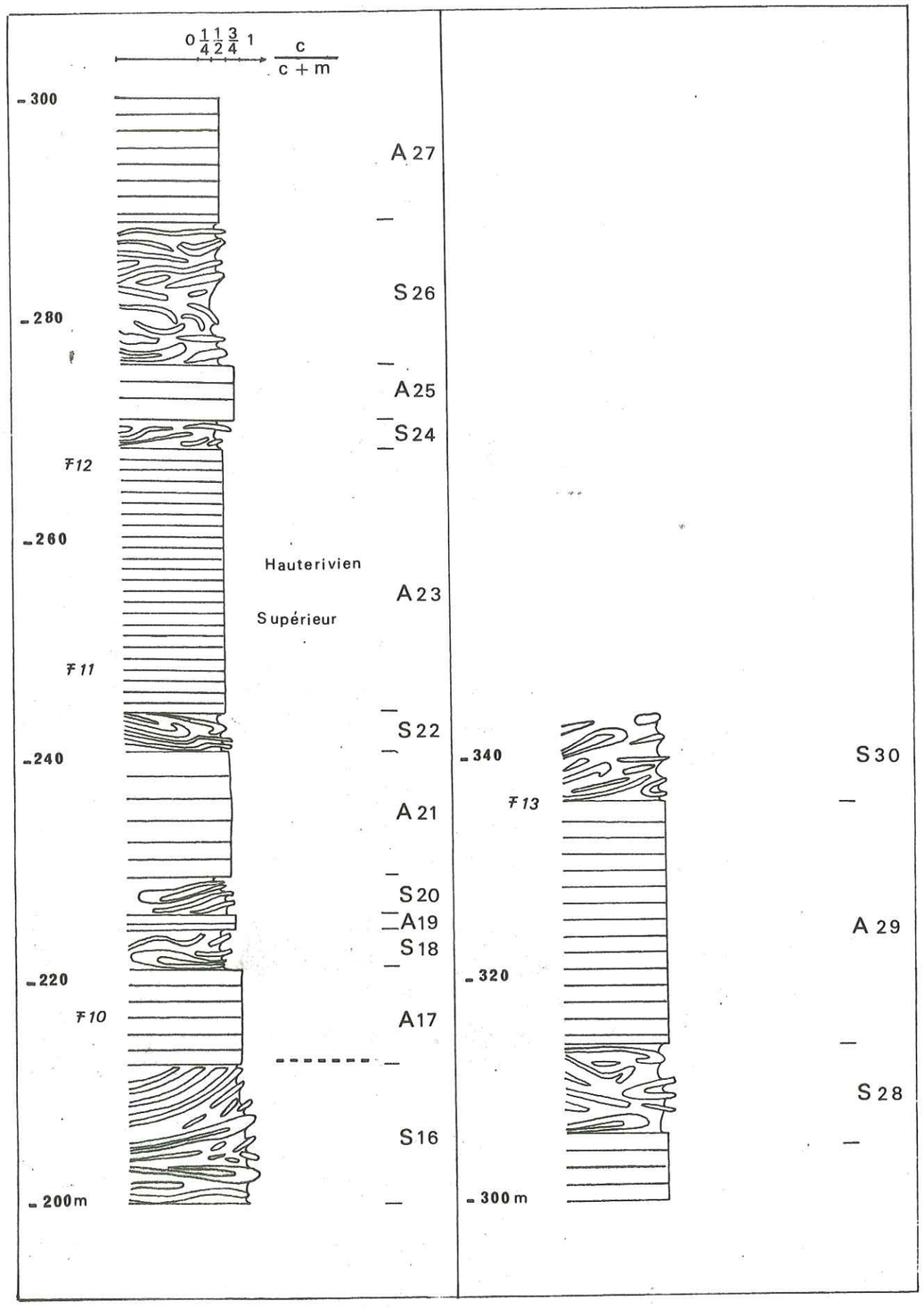


Figure 10

COMMENTAIRES GENERAUX

Par son Valanginien où les faisceaux contournés sont presque absents, son Hauterivien où ils abondent, cette coupe s'apparente à celle de Montclus . Mais ses autres caractéristiques montrent bien qu'elle appartient à un domaine très différent . En effet *aucun banc calcarénitique n'est signalé*, ni dans les alternances ni dans les faisceaux contournés . D'autre part, ces mêmes FAC contrastent par leur *monotonie* avec ceux de Montclus et La Charce . Ils ne semblent jamais très démantelés et l'on n'observe pas de classement de bas en haut des structures .
En outre, si l'épaisseur du Valanginien est un peu réduite, celle de l'Hauterivien (moins de 200m) semble plus correspondre aux épaisseurs habituelles à cette époque que celle de La Charce (130m) et de Montclus(400m) .
La pente est orientée ici vers l'W et le SW ce qui fait supposer l'existence d'un *sillon* séparant les coupes MC et K .

o CARACTERES GENERAUX DE LA SERIE

Les caractères propres à la série étudiée ont été dégagés à partir des coupes qui précèdent . Mais l'ensemble des coupes levées a permis de préciser l'importance paléogéographique des différentes formations .

Au Valanginien basal, le type d'alternances du Berriasien terminal où les épaisseurs de bancs calcaires et d'interlits marneux sont comparables (20-30cm) se prolonge avec une augmentation progressive des interlits marneux (photo3) .
Les bancs calcaires deviennent ensuite plus friables, les marnes augmentant encore d'épaisseur . De petites ammonites pyriteuses sont récoltées en abondance .
Puis les bancs calcaires deviennent moins friables et les marnes diminuent sensiblement d'épaisseur, caractérisant ainsi la zone à *Campylotoxus* .
A cette période, une formation caractéristique apparait dans certaines coupes à l'W du terrain : c'est la "zone jaune", épaisse de 10 à 120m, ou calcarénites et marnes alternent (voir coupes CHA, PD, STB, PX ...) . Elle ne s'est pas déposée partout en même temps, ses limites inférieures varient du Valanginien inférieur non terminal au Valanginien supérieur peu élevé ou moyen, ses limites supérieures, du Valanginien supérieur peu élevé à la zone à *Callidiscus*

Le Valanginien supérieur marque un retour à une sédimentation plus marneuse, il comprend un 2e niveau à ammonites pyriteuses .
Puis les bancs calcaires deviennent plus durs, ils sont parfois groupés en faisceaux de 3 à 6 alternances de 10-20cm séparés par des interlits marneux de 80-100cm .
L'augmentation d'épaisseur des calcaires marque la zone à *Callidiscus* (ils mesurent alors 20cm) . La répartition et le pourcentage des faisceaux contournés au Valanginien est variable . Cependant les pourcentages importants se localisent suivant un alignement Buis les Baronnies - Sisteron .

La limite Valanginien-Hauterivien est marquée dans tout le terrain par un épaississement des bancs calcaires qui mesurent alors 30-40cm . Cet épaississement survient en 4-5 bancs .
La présence locale de glauconie (coupes de Charsac, Fontchaude, Chabrières, les Planeaux) caractérise cet intervalle de temps .
A l'W du terrain, une barre de calcarénite à silex apparait localement (voir coupe de Montclus) . Elle n'est pas partout synchrone, son âge varie du Valanginien supérieur à l'Hauterivien inférieur . Mais on ne sait si ces différences d'âge sont dues à un ravinement du substratum ou à un dépôt en plusieurs épisodes .

Pendant l'Hauterivien, la régularité et la monotonie apparente de l'alternance ne permettront pas de distinguer des périodes significatives . Les bancs et interlits d'une quarantaine de cm affleurent parfois en falaises d'aspect caractéristique .
Rares à l'E du terrain, les faisceaux contournés sont fréquents à l'W (voir Montclus) mais ce n'est pas une règle générale . A La Charce ils sont rares, tandis qu'au Caire ils constituent 40% de la série .

La limite Hauterivien Barrémien se traduit par une diminution des interlits marneux . Des bancs calcarénitiques isolés sont présents dans la série, au Valanginien et à l'Hauterivien, mais ils sont localisés à l'W du terrain .

Les épaisseurs des sédiments sont caractérisées par d'importantes variations puisque le Valanginien, épais de 130m au Caire l'est de 220 à La Charce et 250 à Montclus . Les variations sont encore plus sensibles à l'Hauterivien puisque son épaisseur, 400m à Montclus n'est plus que de 200m au Caire et 130m à La Charce mais il ne faut pas oublier que l'essentiel des variations est due à la présence ou à l'absence de faisceaux contournés au sein des séries alternantes .

L'ALTERNANCE CALCAIRE MARNE

Caractérisée par sa *régularité* et sa *répétitivité*, l'alternance marne calcaire figure sans doute parmi les *formations rythmées* les plus monotones (B. BEAUDOIN et al. 74, B. BEAUDOIN 77) . Pour saisir les modes d'organisation du dépôt, je me suis intéressée dans un premier temps au binome calcaire marne en tant qu'individu, afin de comprendre son *agencement vertical* .
L'étape suivante consistait à resituer le dépôt dans son contexte, par l'étude des groupes de bancs organisés en *rythmes* .
Enfin, par les corrélations banc à banc, il a été possible de reconstituer la *disposition spatiale* d'un couple calcaire marne, et de percevoir ainsi la *signification* de certains rythmes .

1. LES OUTILS D'ANALYSE

Pour ces formations, l'analyse sera essentiellement basée sur la mesure banc à banc des affleurements sur les plus grandes épaisseurs possibles .

1.1 LA MESURE DES BANCS

1.1.1 Une première difficulté attend l'observateur qui se livre à de telles mesures, c'est l'imprécision de la limite calcaire-marne . Une zone intermédiaire existe presque toujours . Elle peut faire varier de 5cm la mesure d'un banc calcaire . L'erreur est donc importante . La solution adoptée consiste à fixer qualitativement la limite à un certain état de dureté du sédiment . Aussi l'erreur restera-t-elle plus ou moins constante tout au long de la coupe .
1.1.2 La solution précédente, applicable si tous les bancs calcaires et marneux sont comparables n'est pas valable partout . En effet, dans le Valanginien de Vergons par exemple, des niveaux un peu plus durs s'individualisent au milieu des marnes tandis qu'entre deux bancs calcaires apparait parfois une zone plus friable .

Une analyse chimique attribue dans ce cas un pourcentage en CaO plus élevé pour le banc "marneux" que pour le niveau "calcaire" ce qui souligne les difficultés de définir ce qu'est un banc calcaire et un interlit marneux .

Mais si des différences de dureté apparaissent dans un niveau marneux, elles indiquent qu'un évènement quelconque s'est produit dans la sédimentation, même si le pourcentage en CaO n'est pas suffisant pour justifier l'appellation "calcaire" . Il sera donc reporté comme banc dur sur le log .

En effet, seules plusieurs analyses chimiques de chaque banc donneraient une idée exacte de sa composition et aideraient ainsi à comprendre l'organisation du dépôt .
1.1.3 Dans certaines coupes (ex Rigaud), de petites strates centimétriques sont juxtaposées et constituent une unité morphologique . L'ensemble des strates fait l'objet d'une seule mesure dans ce cas, mais il ne faut pas négliger les informations que nous donnent ces affleurements quant au processus de dépôt .
1.1.4 Les logs au 1/100e
Ils permettent de comparer l'allure générale de deux coupes, et de les corréler si les épaisseurs des bancs présentent des analogies évidentes .
Mais il est assez difficile d'évaluer par ce moyen l'évolution des épaisseurs des bancs, et les corrélations deviennent hasardeuses dès qu'un nombre important de bancs ne se retrouve pas dans l'une et l'autre coupe .

1.2 Les courbes lissées

Très proches des méthodes diagraphiques utilisées lors de sondages, les courbes lissées mettent en évidence également l'évolution dans le temps des sédiments (rythmes) et dans l'espace (corrélations coupe à coupe) .
1.2.1 Le tracé des courbes
Pour être lisibles, les courbes d'épaisseur des bancs calcaires ou marneux doivent donner une vision globale de la série .

C'est pourquoi, chaque banc calcaire, replacé en ordonnée suivant son n° d'ordre est séparé de son voisin par 2mm . La courbe des marnes est décalée de 1mm afin de respecter l'arrangement réel . L'épaisseur des bancs est figurée en abscisse à droite de la ligne médiane pour la courbe C des calcaires à gauche pour la courbe M des marnes (voir fig.11) .
1.2.2 Le lissage
Il s'est révélé nécessaire pour l'élimination des fluctuations qui masquaient certains rythmes .

Mais il constitue aussi une perte d'information qu'il faudra compenser par d'autres méthodes d'analyse . Il fait disparaitre en effet les épaisseurs minimales et maximales qui ne sont pas non plus sans signification .

La méthode adoptée, qui consiste à joindre les milieux des segments a pour avantage sa rapidité . Après 3 ou 4 lissages, la courbe évolue peu, il est rarement nécessaire de les dépasser .

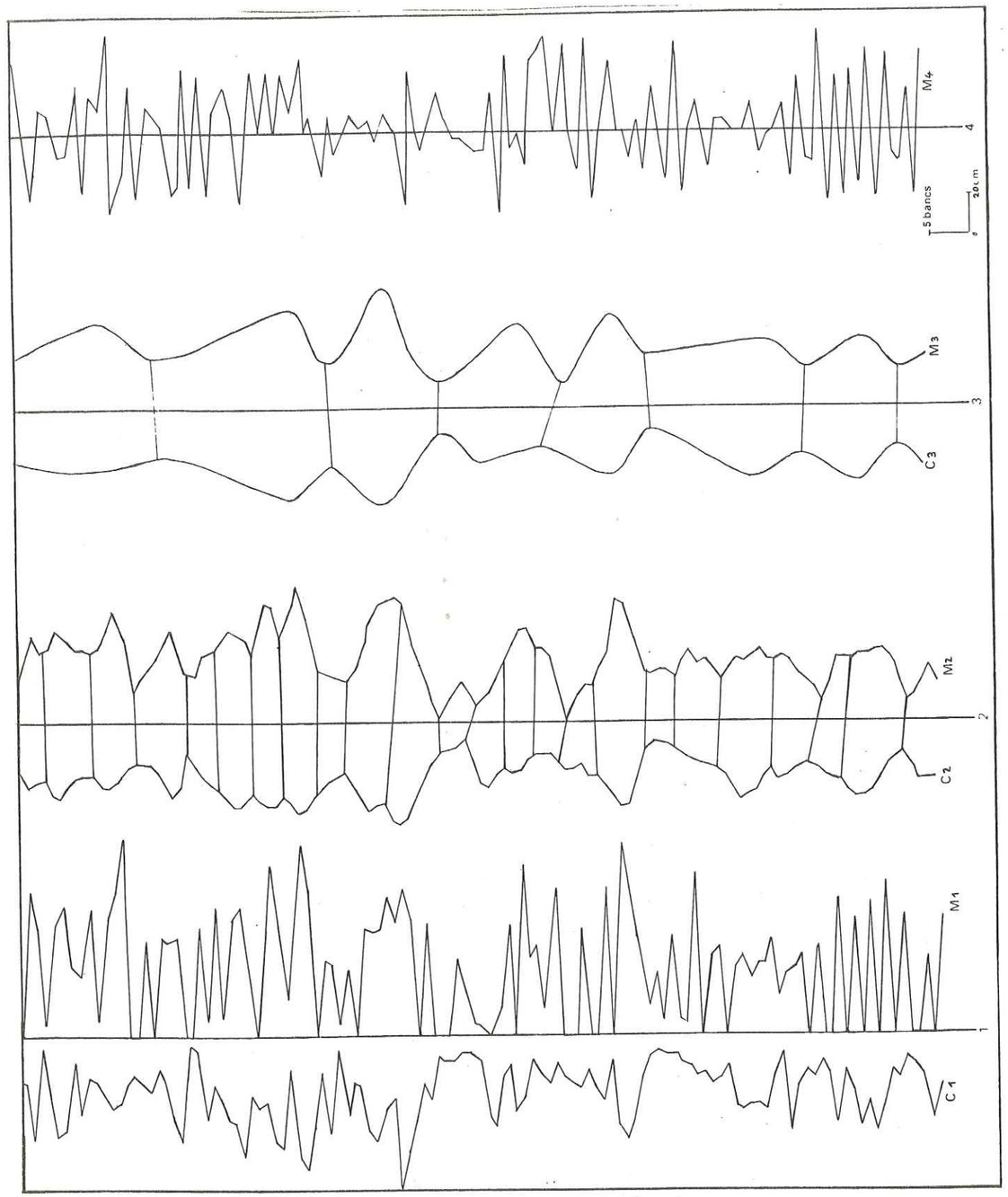


Figure 11 : Evolution de l'épaisseur des bancs en fonction du temps (Hauterivien supérieur, La Melle)
C : courbe des calcaires
M : courbe des marnes

2. LE PHENOMENE DE L'ALTERNANCE

A ceux qui souhaitent comprendre le processus de dépôt de ces alternances, le problème se pose de la façon suivante . S'agit-il de bancs calcaires et marneux totalement indépendants, chacun d'eux constituant isolèment une séquence unité, ou faut-il considérer le binôme calcaire marne comme la matérialisation d'une seule séquence unité ?
Calcaires et marnes sont-ils génétiquement liés ?

2.1 LES COURBES D'EPAISSEUR DES BANCS

2.1.1 Les nombreuses courbes mettent en évidence une même évolution des épaisseurs (voir fig.11) .
Ces courbes ont été opposées pour mieux mettre en évidence le phénomène . A chaque pic calcaire, traduisant un ensemble de bancs plus épais, correspond un pic marneux . Le lissage des courbes rend cette correspondance encore plus évidente (voir fig.11 courbe 2) .

Ce résultat, qui a été retrouvé pour une quinzaine de coupes montre qu'une relation génétique existe entre les bancs calcaires et les interlits marneux : il serait en effet impossible d'expliquer ces variations similaires si des processus différents étaient responsables de leur mise en place .

2.1.2 Une question se pose alors . Dans le cas d'une alternance calcarénite marnes, peut-on observer le même phénomène ?
La coupe des Planeaux (PL) où une série à bancs calcarénitiques et marneux de 64m s'intercale dans une succession classique calcaréo-marneuse nous fournit la réponse .

Effectivement, tout se passe comme si les calcarénites remplaçaient les calcaires, à un pic calcarénitique correspond un pic marneux (voir fig.12) . Il est donc illusoire d'introduire une discontinuité fondamentale entre les mécanismes de mise en place des calcaires et des calcarénites .

D'autre part, la courbe de la fig.13 montre qu'une oscillation très ample, dont la période est d'une centaine de bancs, se continue dans la zone calcarénitique, ce qui implique une certaine *identité* dans les processus de dépôt .

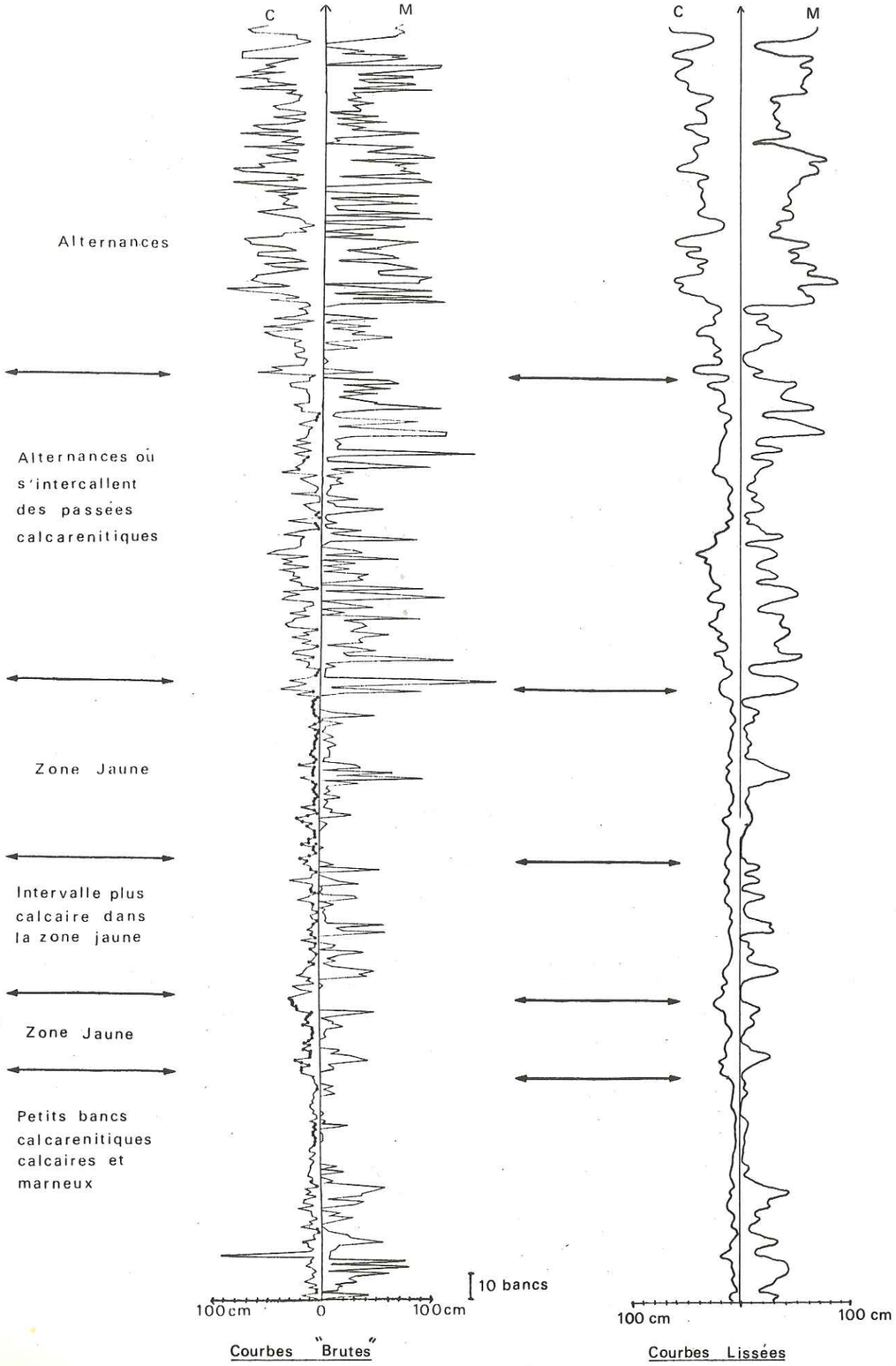


Figure 12 : Courbes d'épaisseur des bancs au Valanginien
Coupe des PLANEAUX

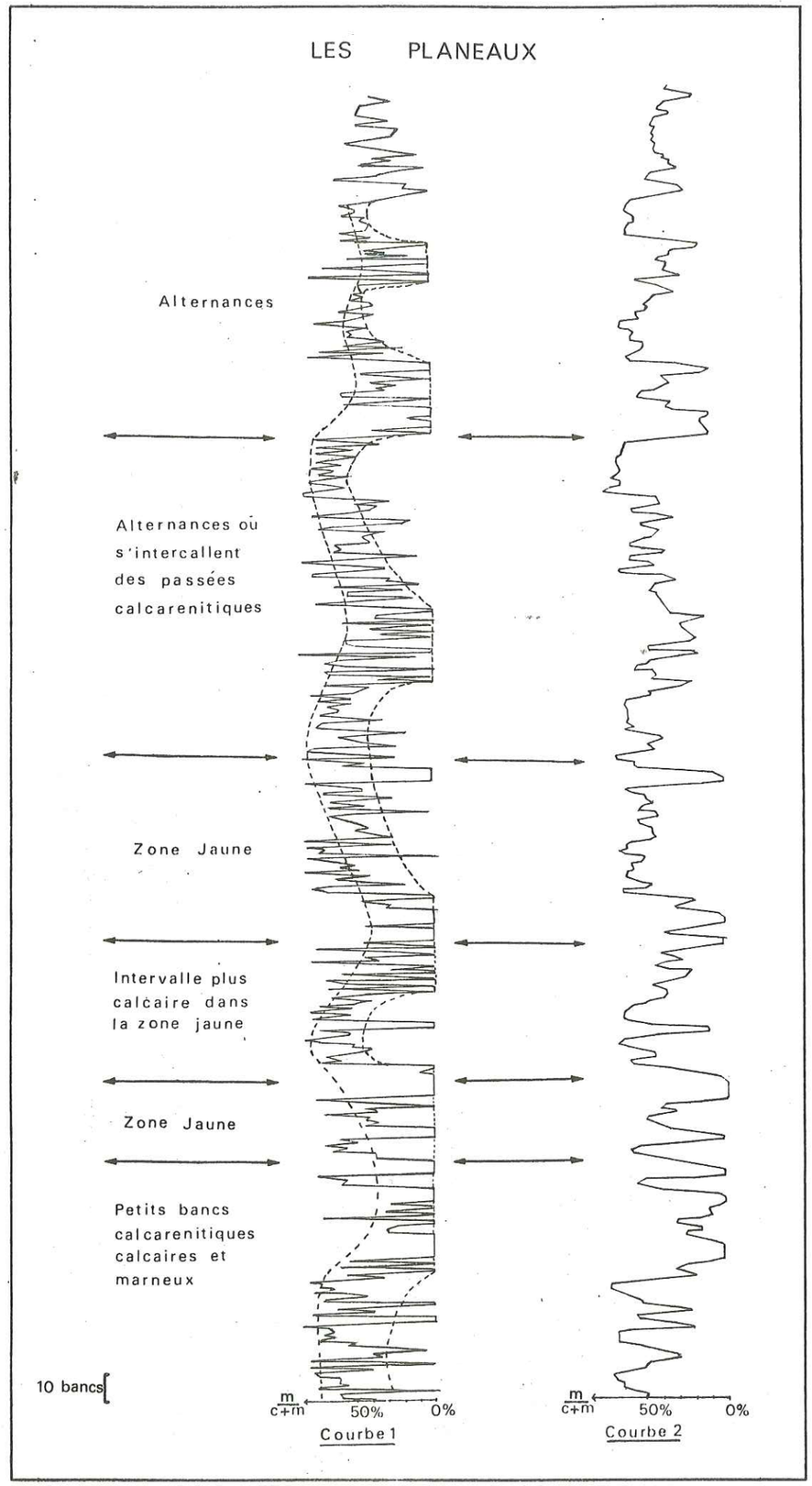


Figure 13 : Courbes $\frac{m}{c+m}$

Nous pouvons donc admettre que calcarénites calcaires et marnes ne sont pas indépendants . Mais nous n'avons étudié que des successions à deux termes, et il ne nous est pas possible de savoir, par les mesures d'épaisseur, quelle est la polarité du dépôt . Nous ignorons si le rapport, pour un banc calcaire est avec l'interlit marneux d'en dessus ou d'en dessous . 2.1.3 En effet, B. GUY (74) a calculé les coefficients de corrélation dans les deux cas, sur l'exemple de l'Hauterivien de Reynier . Cette coupe comporte environ 180 couples calcaires marnes . Il s'agit de comparer la valeur des coefficients .

$$\rho 1 = \frac{\text{cov. (emj, ecj)}}{Gm.Gc}$$

$$\rho 2 = \frac{\text{cov. (emj-1, ecj)}}{Gm.Gc}$$

cov désigne la covariance soit : cov (emj, ecj) = $\overline{(emj-m)(ecj-c)}$

avec $\bar{x}$ = valeur moyenne de x

emj = épaisseur du lit de marnes d'indice j

ecj = épaisseur du banc de calcaires d'indice j

m = $\overline{emj}$, c = $\overline{ecj}$

Gm et Gc désignent les écarts types des populations d'épaisseur des marnes et calcaires, populations qui sont sur cette coupe, sensiblement gaussiennes . Le calcul indique que ρ1 et ρ2 sont voisins, proches de 0,3 . Si bien que l'on confirme la non indépendance, on ne peut décider s'il convient de considérer un couple calcaire-marne ou marne-calcaire . Ceci tient au fait que les ecj considérés ne sont pas indépendants : il existe des oscillations de différentes périodes (analysées plus loin) qui conduisent à observer fréquemment sur quelques bancs des épaisseurs comparables .

2.2 LA POLARITE DU COUPLE CALCAIRE-MARNE

2.2.1 Les observations de terrain

L'adjonction d'un troisième terme, calcarénitique, à l'alternance, en rompant la symétrie a.b.a.b. au profit d'un rythme abc abc pouvait nous indiquer la polarité du couple calcaire-marne . Nous avons donc observé l'agencement des calcarénites, et leurs relations avec les termes de l'alternance .

- Les faciès calcarénitiques les plus grossiers sont caractérisés par des bancs de couleur rousse . Leur porosité a en effet permis la circulation d'eau et l'oxydation du fer .

Certaines de ces calcarénites ont des structures particulières, laminations

planes ou parallèles, convolute laminations . Nous avons parfois observé un granoclassement avec passage au calcaire fin au sommet du banc .

Dans le cas de l'affleurement d'Aubenasson (voir fig.14) nous pouvons reconstituer une séquence type comprenant de bas en haut :

- un terme ne présentant pas de structures particulières
- des laminations parallèles
- des laminations entrecroisées
- des galets mous micritiques flottant dans leur matrice calcarénitique.
- du calcaire micritique .

Cette séquence est l'équivalent de la séquence de Bouma : seules les laminations parallèles comprises entre les laminations entrecroisées et le terme plus fin ne se retrouvent pas ici .

Ces calcarénites sont localisées dans un secteur particulier : elles n'ont été observées qu'à l'W de la Durance, ce qui délimite les deux grands domaines paléogéographiques du terrain étudié .

- Les faciès calcarénitiques plus fins existent dans tout le terrain .

Les niveaux de base passent en continuité au calcaire fin et aux marnes ou s'interrompent sans que la succession soit complète .

La coupe SIV, sur la route de St Vincent sur Jabron nous montre un nombre exceptionnellement grand de ces séquences (voir fig.15) .

Toutes ces descriptions montrent que la polarité des séquences est bien dans le sens calcarénite calcaire marne . Mais faut-il considérer l'alternance comme une succession comparable où manquerait le terme basal ?

- Une coupe, située dans le Coniacien de la Penne (1) nous fournit de précieux éléments d'information .

Elle présente, en effet, sur 25m, 3 types de lithofaciès (M. CONARD, B. BEAUDOIN 74) :

calcarénite biodétritique (G), calcaire (ou calcilutite C) marne(M) . Ces faciès sont représentés par des niveaux suffisamment nombreux (une quarantaine de chaque type) pour que l'on cherche à établir la matrice de passage (ALLEGRE 64) d'un niveau au suivant soit :

(1) Voir B. BEAUDOIN et al. (74) .

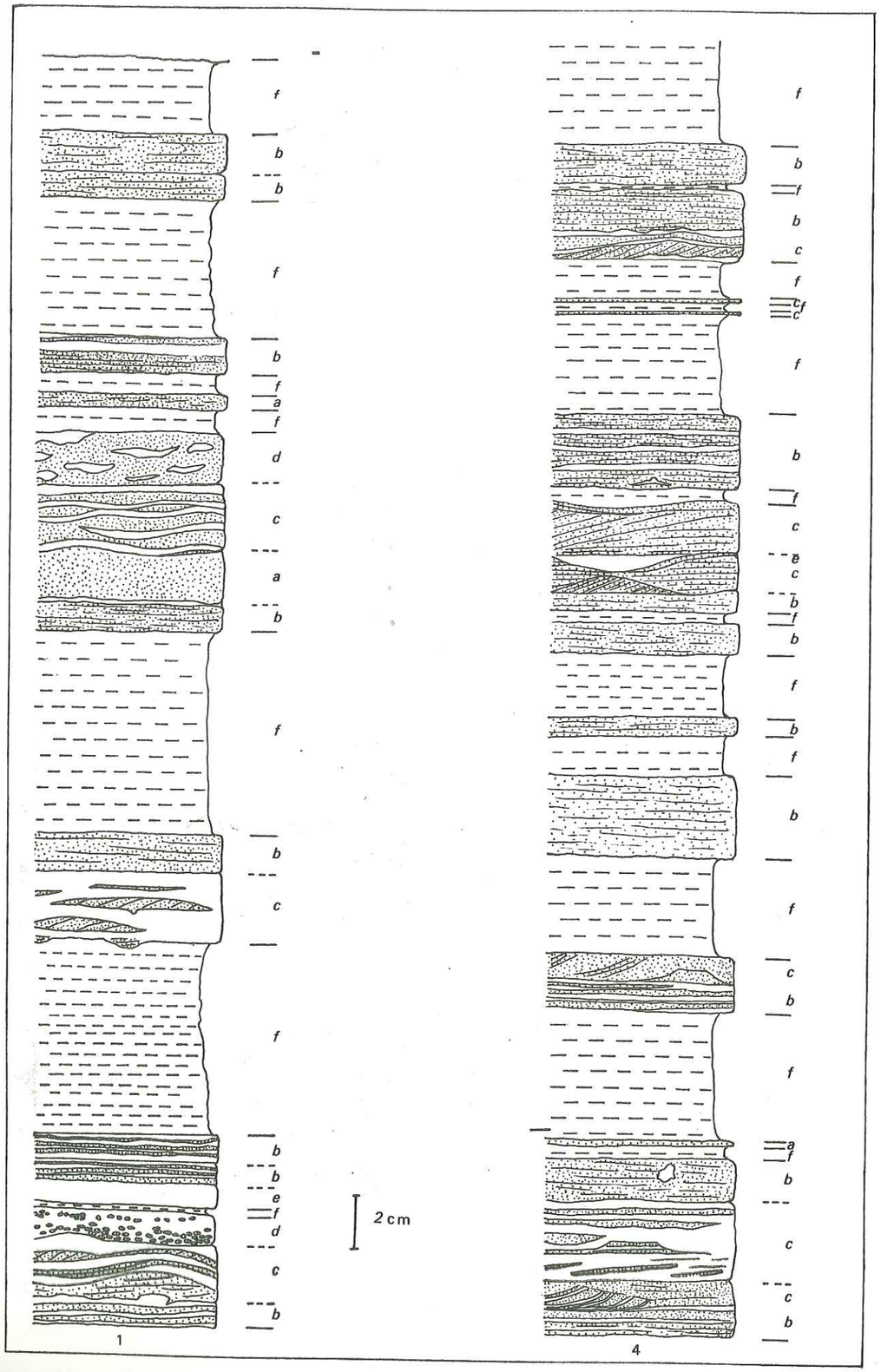


Figure 14 : Coupe détaillée dans la zone jaune d' Aubenasson

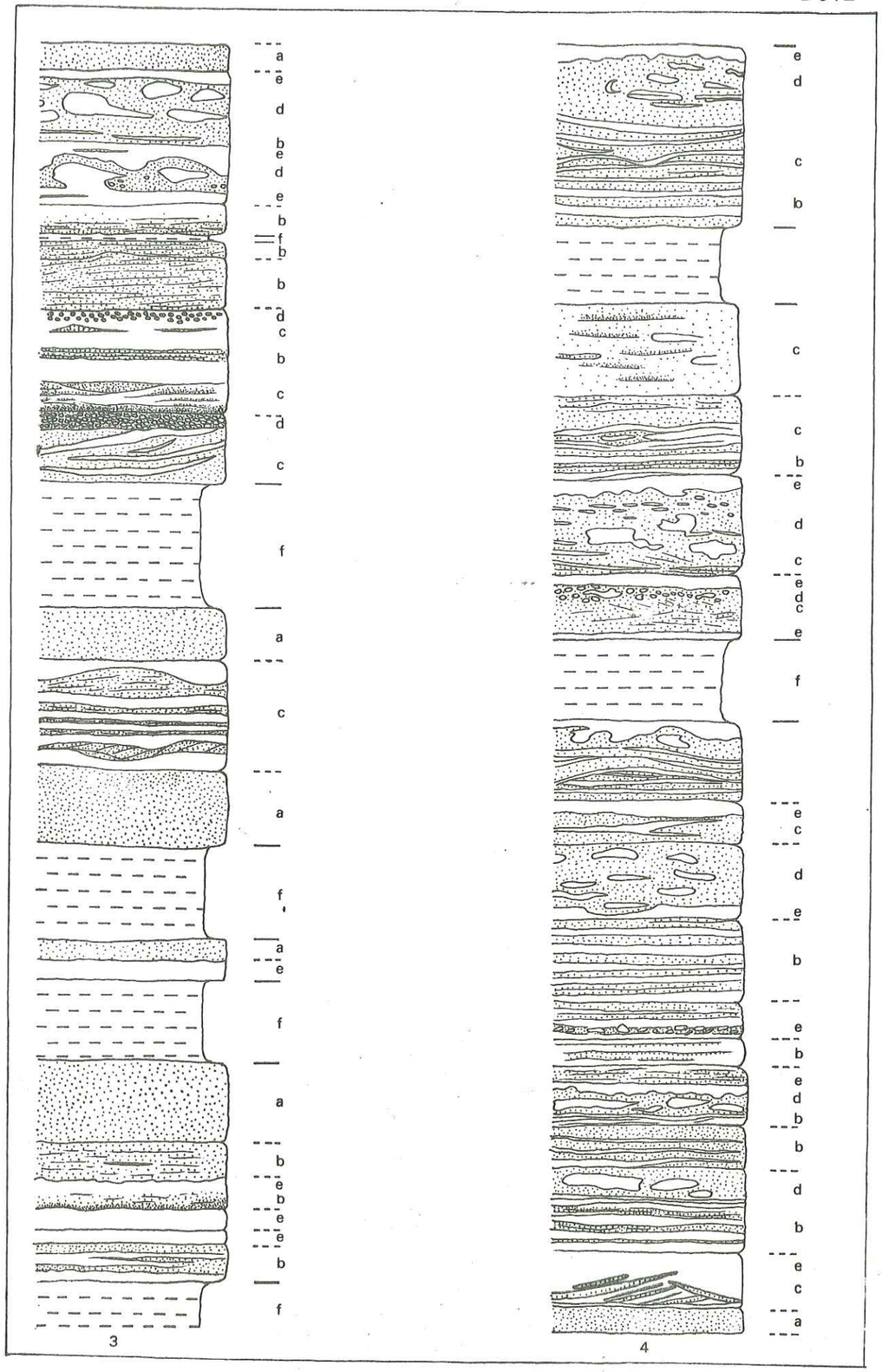


Figure 14

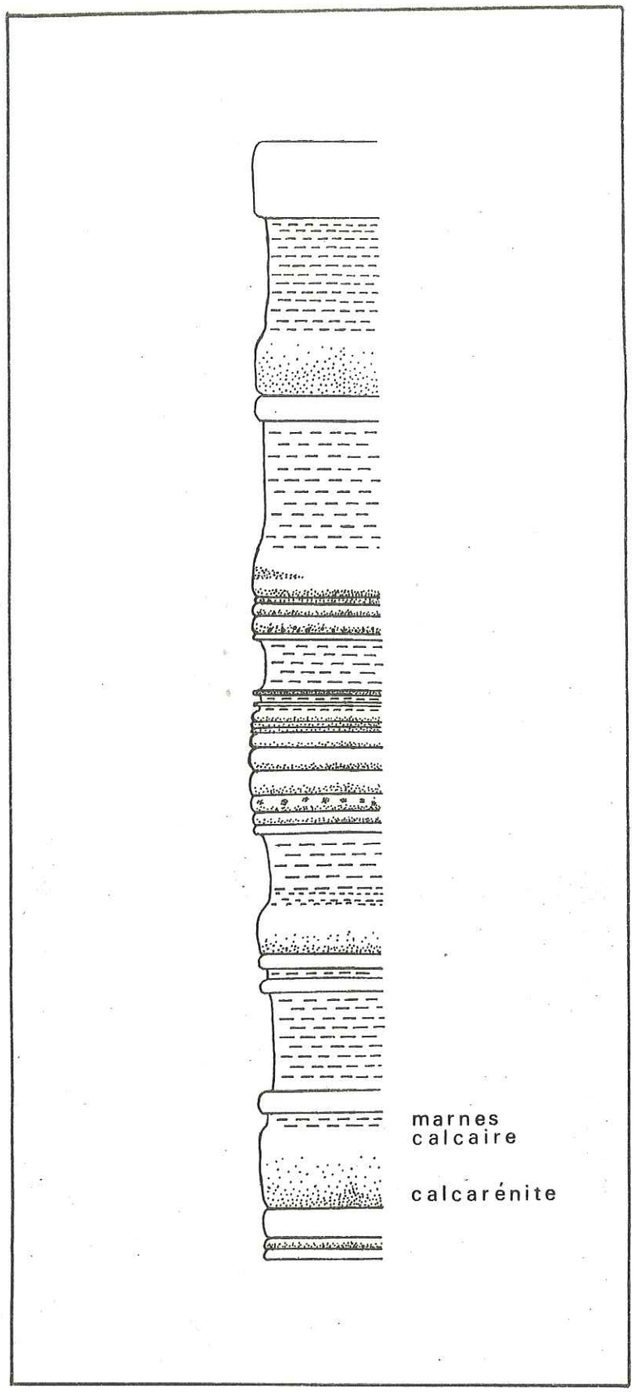


Figure 15 Coupe SIV échelle 1/50^{e}

	G	C	M
G	2	17	23
C	29	0	15
M	12	27	0
	43	44	38

soit

	G	C	M
G	5%	39%	61%
C	67%	-	39%
M	28%	61%	-

Ainsi donc, dans pratiquement 2/3 des cas, on passe d'une calcarénite à un calcaire, d'un calcaire à des marnes ; de marnes à une calcarénite. Ce qui produit à une succession G C M G C M ... . On observe par ailleurs, à la base de la plupart des calcarénites, une surface de discontinuité parfois ornée de formes de ravinement . En outre ces calcarénites présentent un net granoclassement vertical conduisant continûment au calcaire sus-jacent . On est donc là en présence d'un empilement de séquences granoclassées calcarénite-calcaire-marne . Les successions marne-calcaire (39%) correspondent alors à une succession incomplète d'où est absente la calcarénite basale de la séquence supérieure .

D'autres exemples (coupe de Rabou, Berriasien, coupe de Pont de Fer, Dogger) présentent le même type de séquences .

- D'autre part, nous avons pu reconstituer, par des corrélations, l'évolution latérale d'un banc : à plusieurs reprises, nous avons constaté qu'à un banc calcarénitique correspondait dans une autre coupe un banc calcaire (voir paragraphe 5.2.2.) .

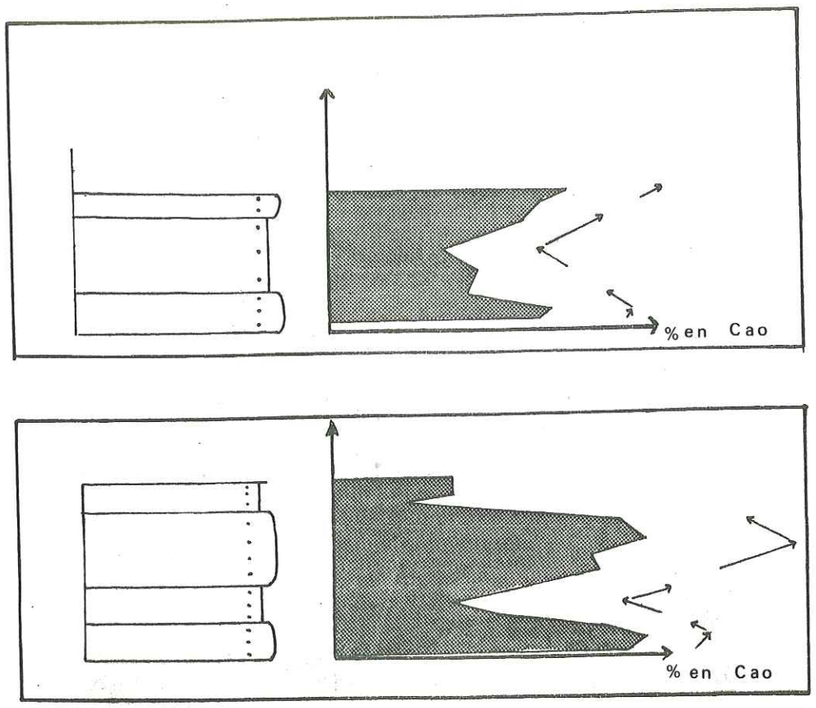
Nous devons donc conclure que le mode de dépôt des alternances calcaire-marne est comparable à celui de la séquence à 3 termes dont il est issu .

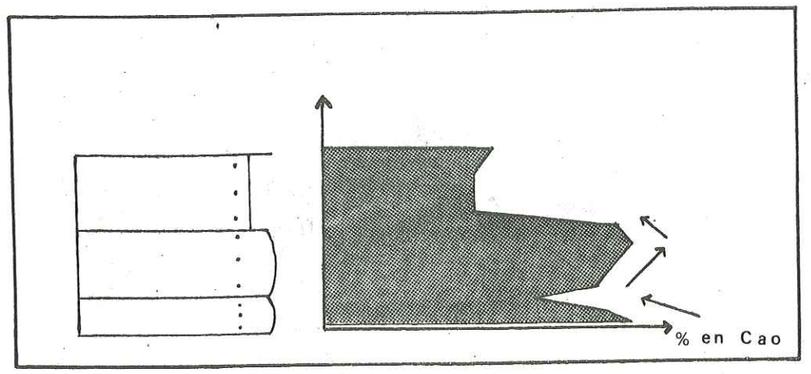
2.2.2 Les analyses calcimétriques

Une telle polarité, mise en évidence grâce au terme calcarénitique, devrait être perçue dans la composition chimique du sédiment, et en particulier dans les variations en CaO, de la base des calcaires au sommet des marnes .

J'ai effectué 107 analyses à partir d'échantillons provenant des coupes de Vergons, des Tourres, de Daluis . Je remercie à cette occasion Monsieur BERTRAND qui a mis à ma disposition le matériel de l'IFP et qui m'a fourni les renseignements nécessaires avec beaucoup de gentillesse .

La plus grande difficulté est provenue de l'extrême bioturbation des bancs : plusieurs bancs calcaires de 60cm d'épaisseur, sciés sur toute leur hauteur, se sont révélés bioturbés, à tel point qu'il était très difficile de trouver 1cm^2 de surface indemne

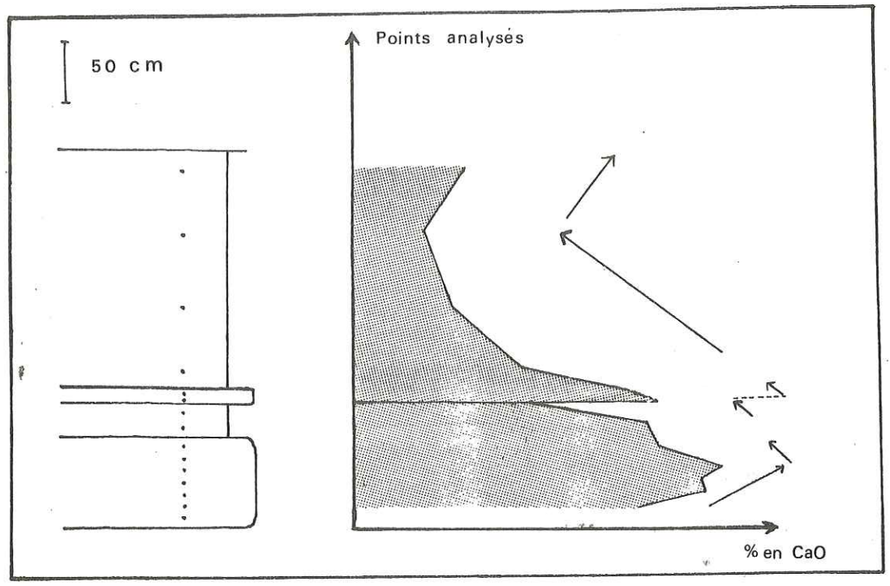




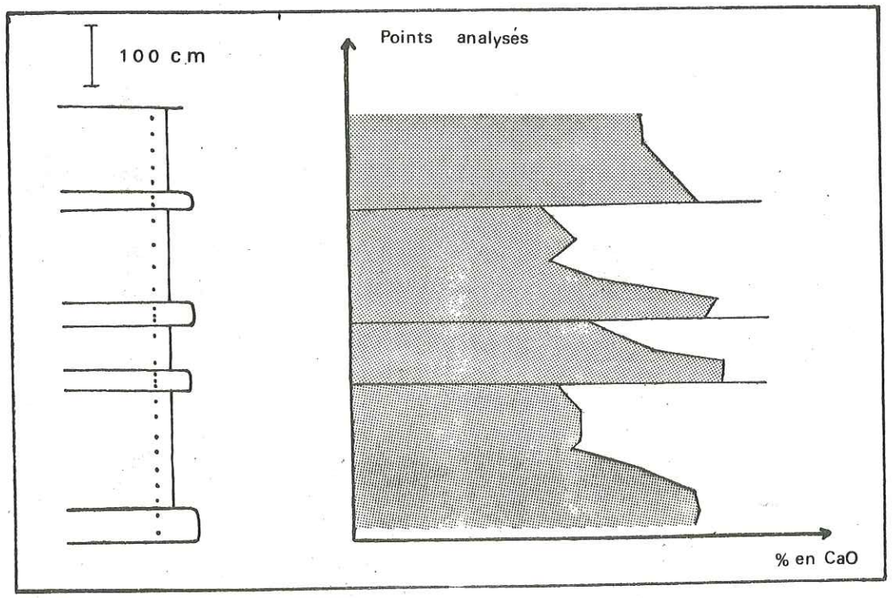
Coupe de Vergons 1 / 100e

Figure 16 : Analyses calcimétriques

Analyses calcimétriques



Coupe de Vergons (Hauterivien)



Coupe de Daluis (Valanginien)

Figure 17

Les terriers étaient de taille diverse, de plusieurs cm à quelques dixièmes de mm .
Vers le sommet du banc, la bioturbation était si intense que la roche en redevenait plus homogène . La base du banc était moins bioturbée, et les terriers de plus grande taille: ceci est un argument en faveur du caractère discontinu des dépôt mais il ne faut pas s'étonner si, dans de tels échantillons, le pourcentage en Cao reste constant à l'intérieur du banc et diminue à la périphérie, à cause des contaminations marneuses . Il en est de même pour les niveaux marneux où le pourcentage minimum en CaO se trouve au centre du banc : la bioturbation y est intense même si elle s'observe difficilement .

Le prélèvement doit donc être effectué dans un banc peu bioturbé, en choisissant l'échantillon à broyer dans la zone la plus favorable .
Il est intéressant, pour suivre l'évolution des pourcentages, de prélever des échantillons rapprochés . L'idéal étant évidemment un forage qui permettrait alors une analyse continue .

Les figures 16 et 17 où aucune asymétrie n'apparait sont donc des exemples de milieu très bioturbé . Dans la fig.17 qui comprend 28 échantillons prélevés aussi régulièrement que possible dans la coupe de Daluis, l'asymétrie est visible . Il s'agit de roches peu ou pas bioturbées .
Elle est rarement visible pour les bancs calcaires trop minces, mais dans tous les niveaux marneux le pourcentage en CaO décroit vers le sommet du banc .

Une telle évolution confirme la parenté entre la séquence calcarénite-calcaire-marne et l'alternance calcaire-marne .
Il y a granoclassement dans le sens défini par B. BEAUDOIN (72), c'est à dire *"variation continue et dans le même sens de la taille moyenne des éléments à l'intérieur d'un mélange"* .

Mais il ne s'agit pas ici simplement de la taille, mais de la forme des éléments : les plaquettes argileuses se déposeront en dernier en raison de leur facilité à rester en suspension . Peut-être est-ce l'explication de la chute brutale du pourcentage en CaO, au niveau du passage Calcaire-Marne . Les particules micritiques, plus sphériques, se déposeraient beaucoup plus facilement que les argiles, la limite calcaire-marne ne signifie donc pas la même chose au sommet du banc calcaire et au sommet des marnes, malgré leur aspect similaire .

Pour conclure, il est intéressant de comparer les résultats trouvés ici par calcimètrie avec ceux qui sont obtenus lors de sondages par les méthodes diagraphiques . La mesure de la radioactivité naturelle ou diagraphie Gamma . Ray permet d'effectuer des analyses séquentielles . Dans le cas du Trias de Chailly (Bassin Parisien) (voir O. SERRA 70), une évolution verticale à caractère dissymétrique apparait clairement . Ce qui laisse à penser que la mesure de paramètres physiques, dans le cas de séries comparables à celles-ci, pourrait renforcer les moyens d'analyse .

2.3 MODALITES DE MISE EN PLACE D'UN BANC

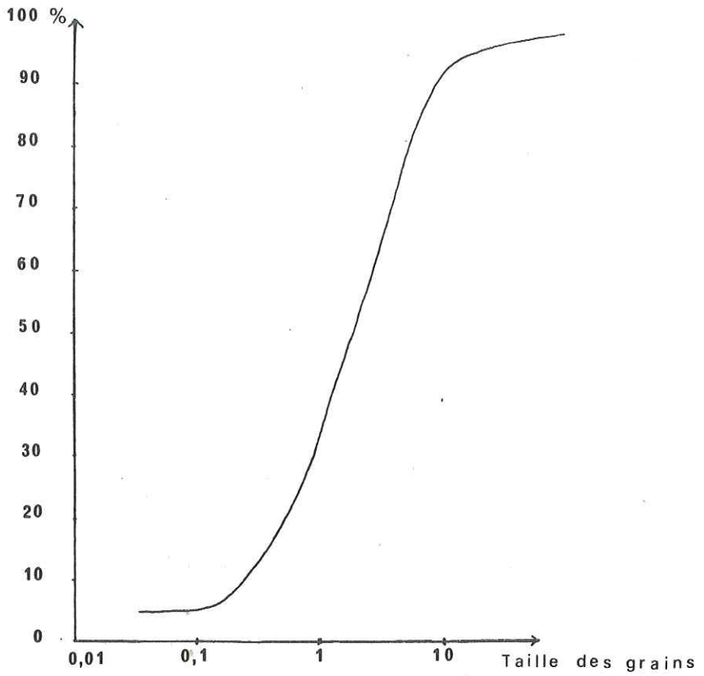
2.3.1 Organisation des éléments à l'intérieur d'un banc calcaire

Examinés en lames minces, les calcaires valanginiens et hauteriviens sont constitués de particules micritiques, dont l'étude au microscope électronique à balayage est en cours, de quelques microorganismes (globigérines, radiolaires ...) et d'une accumulation de spicules de spongiaires ou d'holothuries .

B. BEAUDOIN et M. CONARD (74) ont mis en évidence une orientation préférentielle des spicules, en observant des lames minces de calcaire, d'âge Crétacé supérieur .
Les techniques d'étude utilisées figurent dans leur publication .

Ils soulignaient également la correspondance entre les figures de courant à la semelle des bancs, et la direction des spicules à l'intérieur des mêmes bancs .
Je l'ai vérifié pour de nombreuses calcarénites, et j'ai pu constater que les directions des spicules restaient également comparables à celles mesurées dans les bancs calcaires voisins .
Donc le courant est bien la cause de l'orientation des spicules dans les bancs de calcaire fin et les calcarénites .

Cette méthode nous a été particulièrement utile pour reconstituer les pentes du bassin . De plus, des radiolaires, de forme conique nous ont indiqué le sens des courants (voir chapître 3, paragraphe 1.1.2 et photo 14). Ceci suggère une mise en place cinématique des dépôts et correspond au granoclassement de la séquence calcaire-marne .



Courbe granulométrique de l'échantillon 2 III

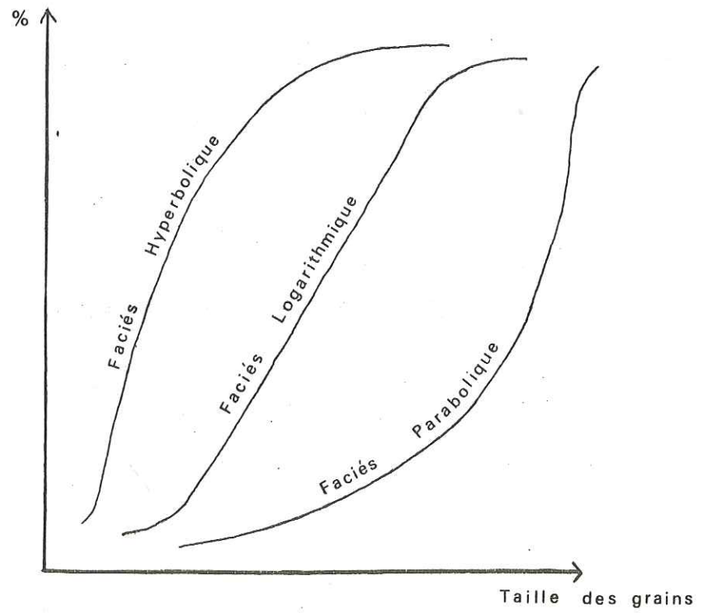


Figure 18 : Les différents types de courbes en granulométrie des fractions fines

2.3.2 Les analyses granulométriques de marnes

Les analyses granulométriques ont été effectuées suivant la méthode de la pipette d'ANDREASSEN raccourcie (voir A. RIVIERE, 52) . Je dois, à cette occasion remercier A. MARTIN pour son aide et ses explications qui m'ont été précieuses .

Les courbes cumulées tracées sur papier semi logarithmique ont un "faciès logarithmique" ce qui caractérise un sédiment bien classé apporté par un courant pouvant être un courant de turbidité .

Les 5 analyses, effectuées sur des échantillons provenant de Daluis et Vergons ont donné les mêmes résultats, la granulométrie du sédiment exclut un dépôt par décantation (voir fig.18) .

2.3.3 Fréquence des dépôts

Le dépôt d'un banc étant un phénomène instantané à l'échelle géologique, il nous a paru intéressant d'étudier le temps moyen séparant le dépôt de deux bancs successifs au niveau d'un étage ou d'un sous-étage : il est calculé en divisant la durée de l'étage par le nombre d'unités de dépôt .

Remarquons que cet intervalle temporel, que nous avons appelé temps de latence, est toujours surestimé : d'une part les phénomènes d'érosion minorent le nombre de bancs initialement déposés ; d'autre part, lorsque l'unité de dépôt calcaire-marne se réduit au seul terme supérieur, il n'est pas possible de discerner de contact dans les marnes .

Si l'on considère la carte de la figure 19 où le temps de latence est représenté par un cercle plein à l'Hauterivien, des pointillés au Valanginien, il apparait clairement qu'il est plus important à l'Hauterivien (30 000 ans en moyenne) qu'au Valanginien (25 000 ans) . La fréquence des dépôts semble donc directement liée à l'épaisseur des bancs . Le calcul effectué dans la zone Jaune des Planeaux, qui est constituée de petites plaquettes calcarénitiques et de marnes donne 10 000 ans entre le dépôt de deux plaquettes, ce qui confirme le résultat précédent : les bancs minces correspondent à des dépôts fréquents .

D'autre part, les coupes situées près des marges méridionales ou septentrionales se caractérisent par la rapidité d'accumulation des bancs : étant plus proches des zones d'élaboration des sédiments, elles sont alimentées plus fréquemment .

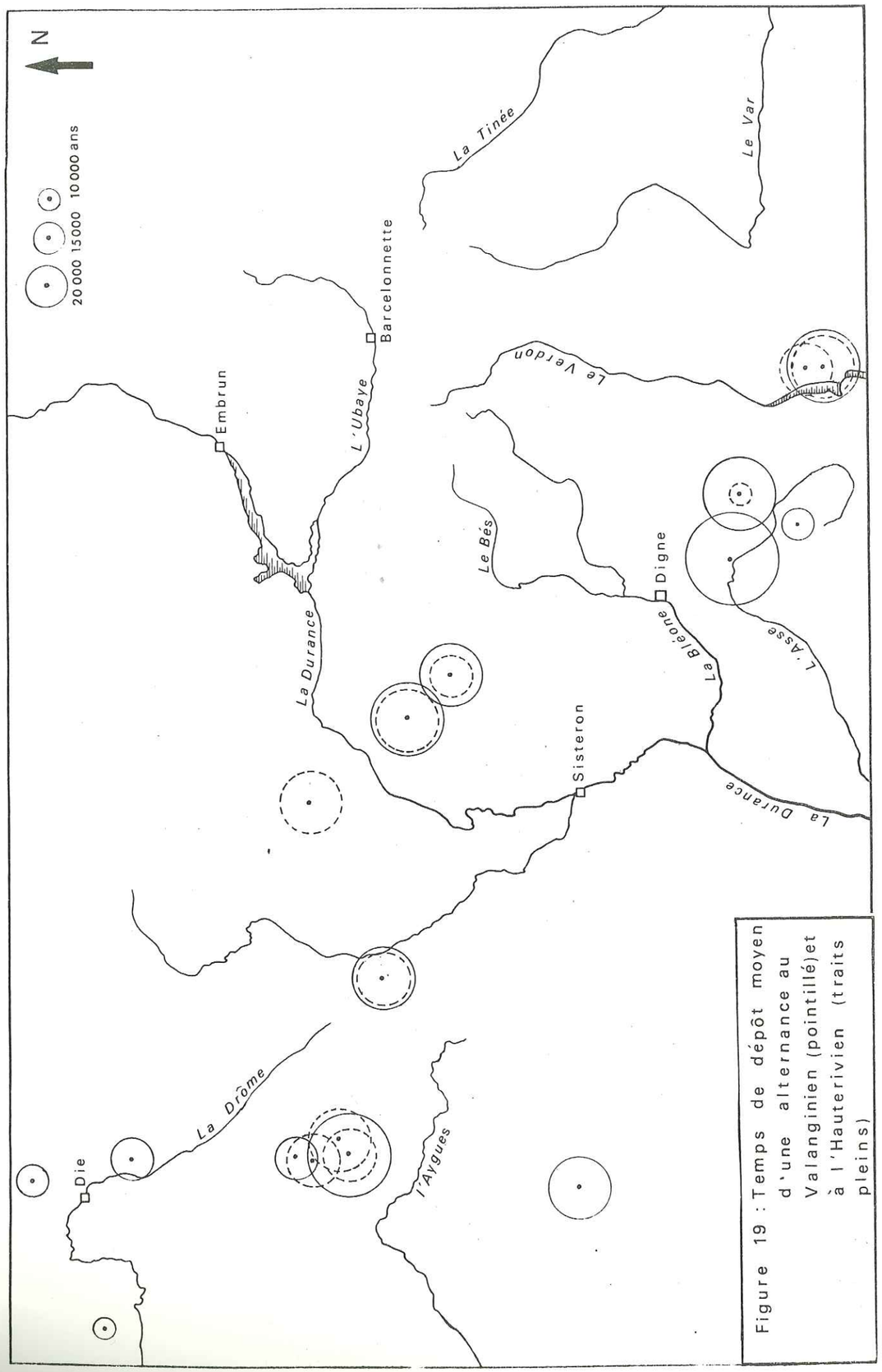


Figure 19 : Temps de dépôt moyen d'une alternance au Valanginien (pointillé) et à l'Hauterivien (traits pleins)

2.3.3 Conclusion

Des méthodes différentes montrent donc que marnes et calcaires ont été apportés par des courants . Aboutir à un mode de transport unique n'a rien de surprenant puisque l'alternance est constituée des deux termes d'une même unité de dépôt (voir paragraphe 2.2) .

Mais quelle est la nature de ce courant ? Nous n'avons jamais observé, sous les bancs calcaires, les figures de courant qui ornent fréquemment la semelle des calcarénites . Ceci implique que l'énergie nécessaire à leur formation n'a pas été atteinte .

D'autre part, au moment du dépôt, le courant est très faible : des particules de 10µ se déposent lorsque la vitesse du courant est de 0,1cm/s . Il s'agit sans doute d'un courant turbide ayant perdu beaucoup de vitesse et déposé en amont les éléments grossiers, quand ils existaient dans le stock initial .

3. VARIATIONS D'EPAISSEUR DES BANCS EN FONCTION DU TEMPS

3.1 LES RYTHMES

Nous suivrons ici la définition adoptée par A. LOMBARD (72, p.139) : "*distribution d'une durée en une suite d'intervalles réguliers rendue sensible par le retour régulier d'un repère*" .

3.1.1 Les courbes lissées éliminant un certain nombre de données, nous avons soustrait à l'une d'elles la courbe initiale d'épaisseur des bancs afin de visualiser ce qu'on y supprimait . Des oscillations de haute fréquence, dont la période est généralement de 1-2 bancs apparaissent .
Elles sont représentées, pour les marnes, sur la fig.11 courbe 4 . Il est compréhensible que les zones de grande amplitude soient superposées aux importantes variations des autres courbes .

A quoi correspondent ces oscillations ? sans doute illustrent-elles le côté partiellement aléatoire de la sédimentation .

3.1.2 Les rythmes qui apparaissent le mieux, sur toutes les courbes lissées sont ceux qui affectent 4 à 5 bancs (voir fig.11 courbe 2) .

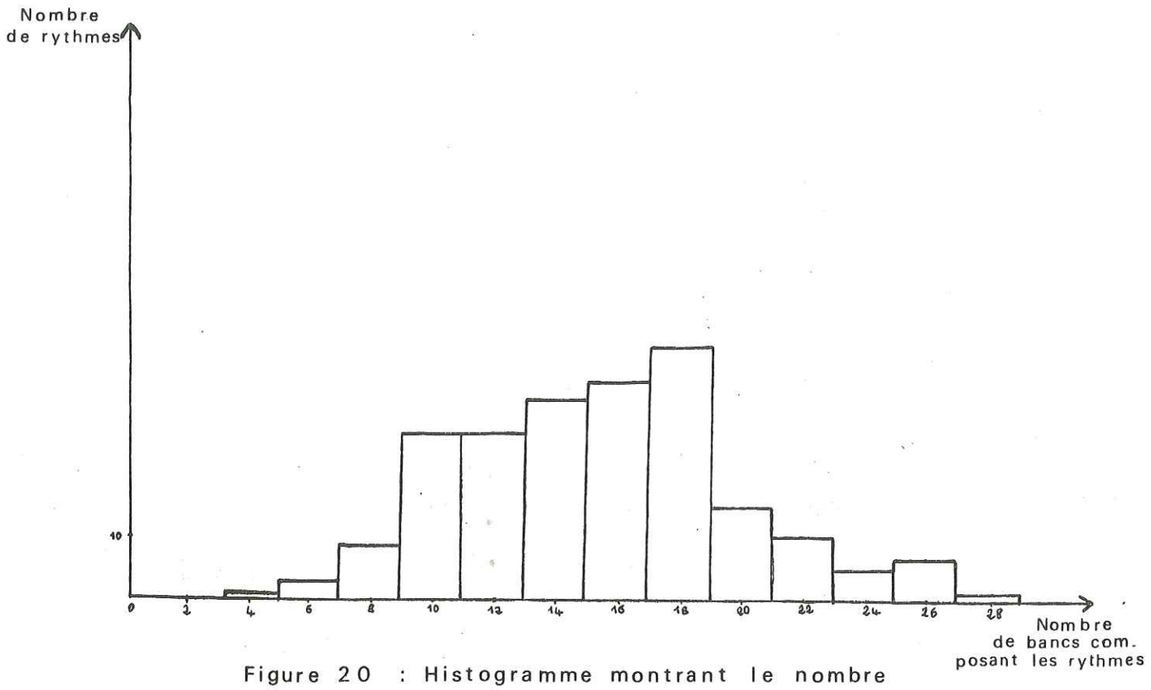


Figure 20 : Histogramme montrant le nombre de bancs caractérisant les rythmes

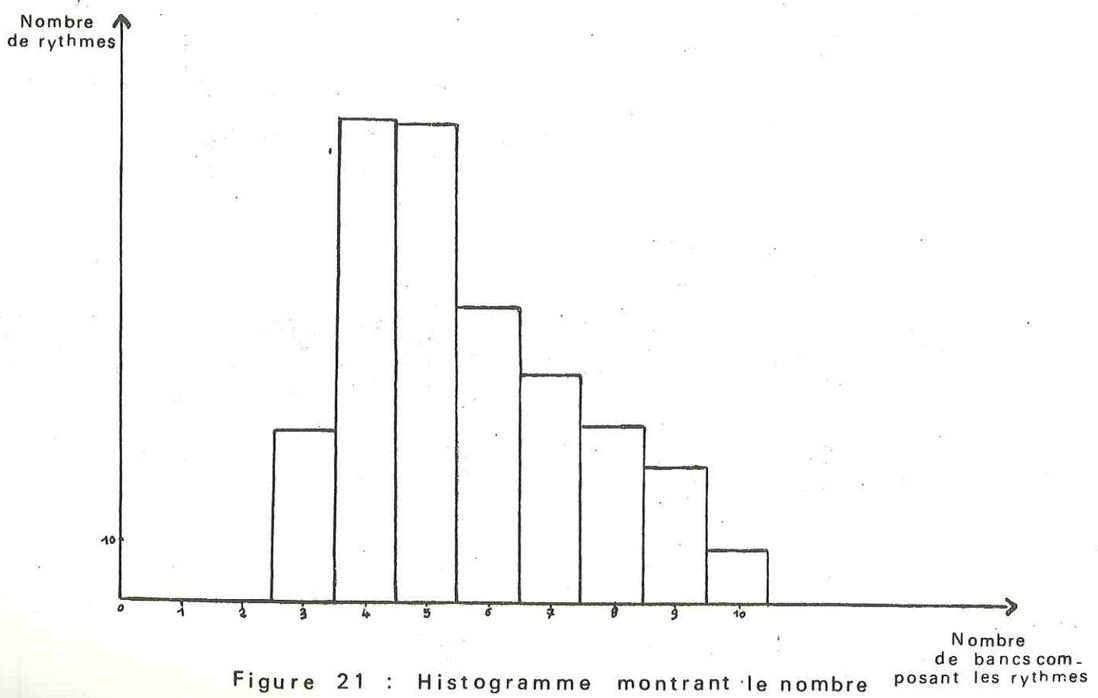


Figure 21 : Histogramme montrant le nombre de bancs caractérisant les rythmes

Les deux exemples montrent que la correspondance établie au paragraphe 2.1.1 entre les courbes C et M existe au niveau du rythme 4-5bancs .
En face d'un pic calcaire, se trouve généralement un pic marneux .
De plus, très souvent, à un pic marneux important correspond un pic calcaire plu élevé que la moyenne .
L'histogramme de la fig.20 souligne la faible dispersion des périodes mesurées dans toutes ces coupes . La présence de rythmes 7-10 bancs vient sans doute de deux périodes 4-5 bancs qui se seraient mal individualisées .

La répartition dans l'espace des rythmes 4-5 bancs est très vaste . Ils ont été mis en évidence dans une quinzaine de coupes, disséminées dans tout le terrain étudié .

Leur répartition dans le temps dépasse largement le Valanginien et l'Hauterivien . En effet cette période a été retrouvée au Bajocien, au Berriasien et au Sénonien (voir B. BEAUDOIN et al. 74) .
Elle existerait donc partout où l'alternance marnes calcaires se manifeste, elle lui serait donc liée .

3.1.3 Une autre période, de 14 à 18 bancs, s'individualise sur la courbe 2 de la fig.10 . Elle apparait mieux si l'on joint les milieux des deux segments principaux constituant un rythme 4-5 bancs (voir courbe 3 fig.11) .
Les périodes, sur cette courbe sont moins régulières que celles des rythmes 4-5 bancs . L'histogramme de la fig.21, qui réunit les mesures des 15 coupes étudiées le confirme, par son aspect plus trapu, sans maximum bien marqué .

Les précédents rythmes 1-2 ou 4-5 bancs étant donné leur haute fréquence, apparaissaient comme plus ou moins sinusoïdaux .
Ici, certains rythmes sont asymétriques, et cette asymétrie va dans le sens d'une lente diminution de l'épaisseur des bancs calcaires et des niveaux marneux, suivie de leur brusque augmentation vers le haut de la série (voir fig. 22 et 23) .
Cette observation souligne de nouveau, mais à une autre échelle que celle du banc, le caractère discontinu, saccadé de la sédimentation .

La courbe des pourcentages $\frac{\text{épaisseur calcaire}}{\text{épaisseur calcaire + épaisseur marne}}$

tracé pour chaque couple et placée en parallèle avec les courbes d'épaisseur des bancs, sur les fig. 21 et 22, a beaucoup d'analogies avec la courbe des marnes . Ce qui est compréhensible : en effet, la courbe des oscillations des calcaires reproduit celle des marnes, mais les maxima y sont moins importants . Ce résultat peut être généralisé à l'ensemble de la série.

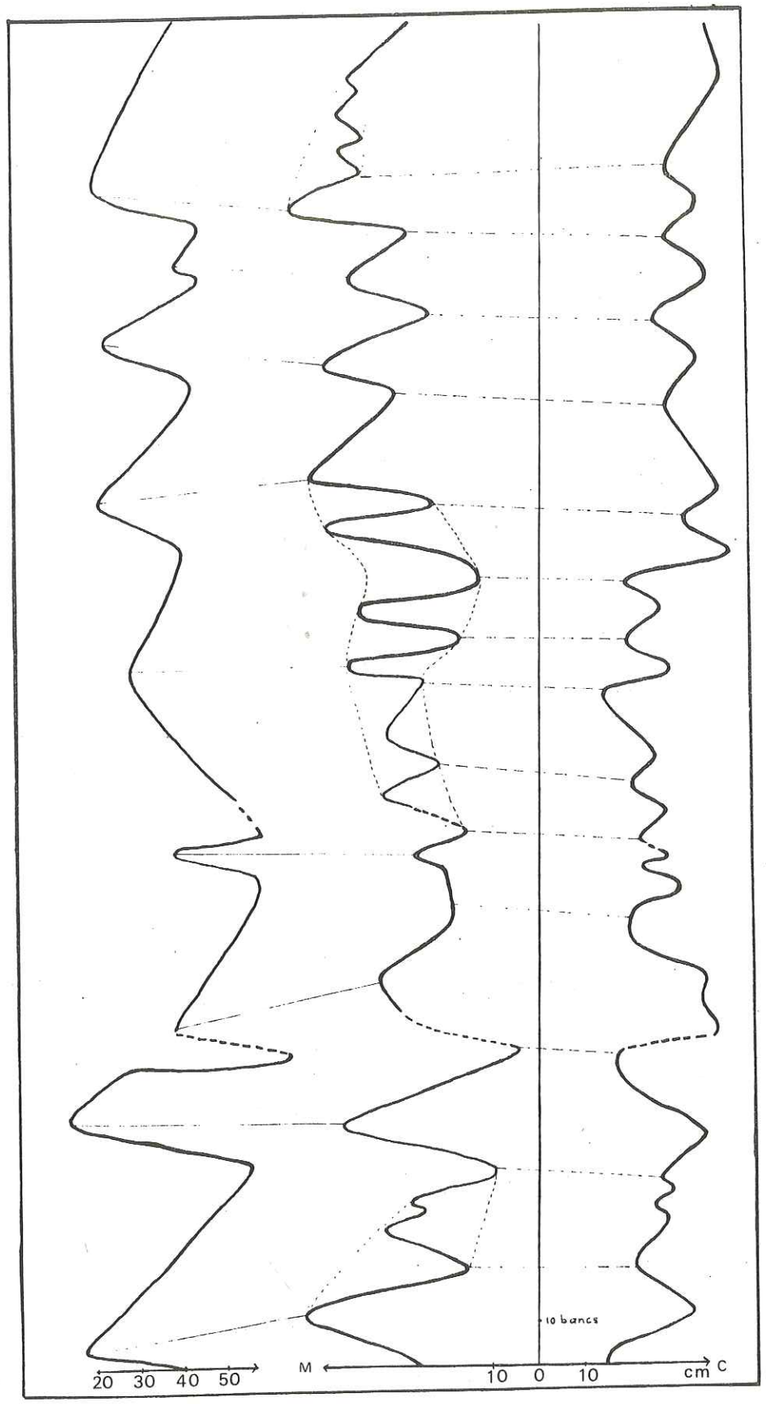


Figure 22 Mise en paralléle des courbes de pourcentage en calcaire de binômes calcaire marnes et des courbes d épaisseur des bancs calcaires et marneux - Hauterivien moyen et supérieur , La Melle .

Il y a donc une lente augmentation du pourcentage en calcaire, suivie d'une brusque diminution, du bas vers le haut de la série .

De tels résultats sont à mettre en parallèle avec les observations de P. COTILLON (74) dans le Valanginiennéritique de l'arc de Castellane . Il y décrit des séquences d'échelle comparable à celle des rythmes 14-18 bancs (10 à 45m d'épaisseur) où le passage des marnes aux calcaires qui les surmontent est toujours progressif . Le passage des calcaires aux marnes est brutal, parfois souligné par une surface de discontinuité : l'asymétrie persiste donc dans la province alpine à micro faune pélagique . Mais d'autres méthodes que l'observation directe, sur le terrain sont nécessaires à sa mise en évidence .

Un autre intérêt de la courbe des pourcentages est de faire apparaitre les rythmes beaucoup plus nettement que dans les courbes C et M, tout comme si elle en atténuait les variations aléatoires . La fig.23 en est un exemple particulièrement démonstratif .

Quelquefois, ces rythmes sont composés de 35 bancs en moyenne (voir fig.22) . Ils correspondent sans doute à deux périodes de 14-18 bancs mal individualisées.

Comment les interpréter ?

On constate leur extension au Valanginien et à l'Hauterivien au moins, et leur présence dans toute la zone géographique étudiée . Ils semblent donc liés à l'alternance .

Les variations d'épaisseur des bancs pourraient être interprétées comme le résultat de la subsidence . Mais si on suppose que l'épaisseur d'un banc est fonction de la subsidence (plus l'enfoncement est rapide, moins le sédiment a de temps pour s'accumuler avant d'être retransporté, donc plus le banc est mince), il faudrait faire intervenir une subsidence qui augmente progressivement pour diminuer ou s'interrompre brutalement .

Mais si l'on retenait cette hypothèse, comment expliquer les variations d'amplitude, plus importantes pour les marnes que pour les calcaires ? La question est donc loin d'être résolue .

Il est intéressant de constater que la polarité de ce rythme 14-18 bancs est l'inverse de celle de la séquence unité calcaire-marne : alors que le pourcentage en calcaires décroit progressivement pour augmenter brusquement à la base du banc calcaire suivant, ici, il augmente lentement et décroit très vite .

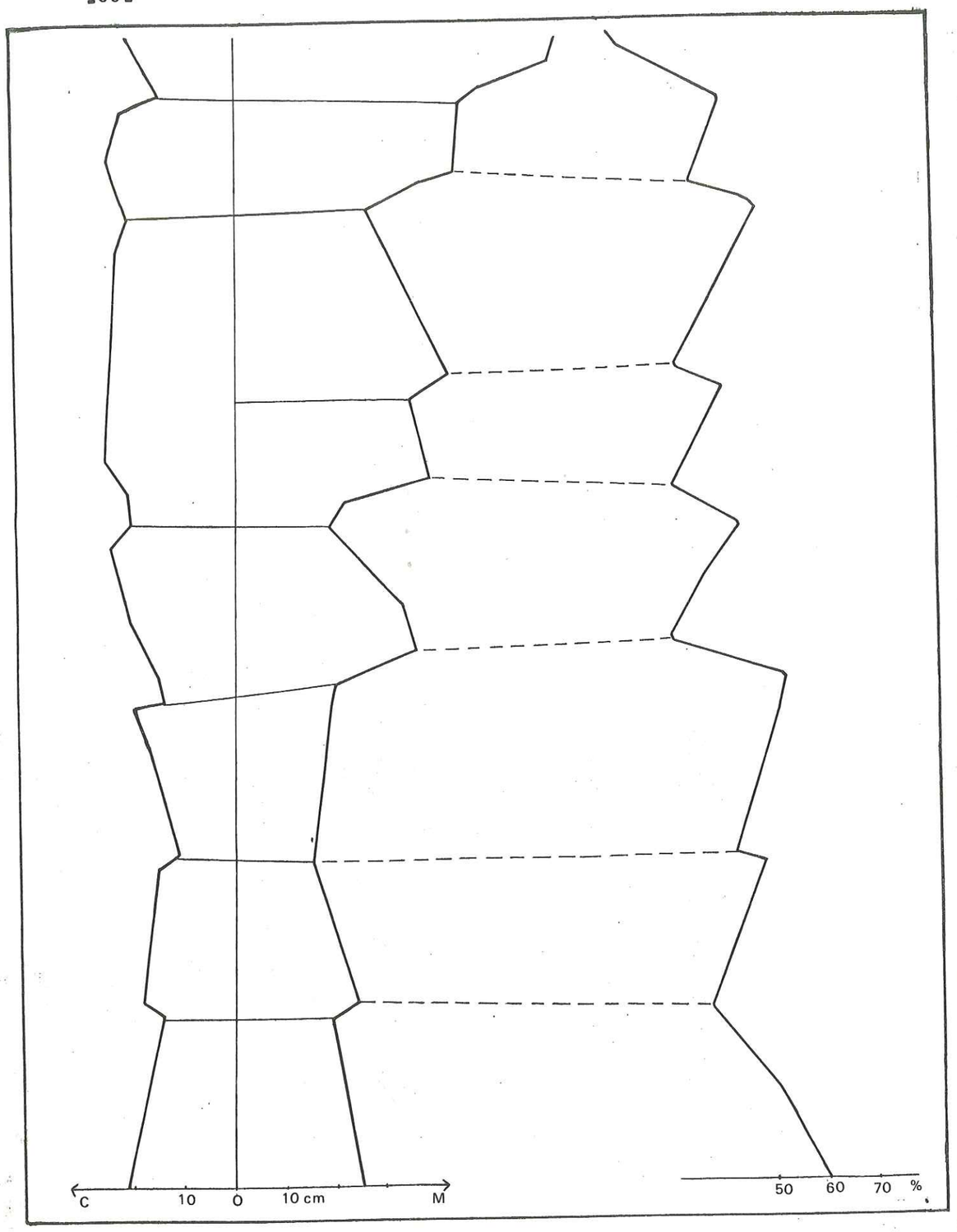


Figure 23 : Courbes lissées d'épaisseur des bancs et du pourcentage $\frac{\text{épaisseur du banc calcaire}}{\text{ép. du banc calcaire + ép du lit marneux susjacent}}$
Coupe du Caire Valanginien

Si l'on considère l'évolution du Valanginien à l'Hauterivien, qui est une progression vers le pôle calcaire, elle semble s'illustrer dans ce rythme 14-18 bancs . Mais il ne faut pas oublier la tendance générale de la série qui oscille périodiquement d'un pôle calcaire à un autre pôle calcaire en passant par le pôle marneux .

3.2 L'AUGMENTATION OU LA DIMINUTION D'EPAISSEUR D'UN GRAND NOMBRE DE BANCS

3.2.1 L'augmentation d'épaisseur des bancs calcaires à la limite Valanginien Hauterivien

La figure 24 montre un certain nombre de courbes lissées provenant de coupes disséminées dans tout le terrain étudié : il s'agit des coupes de Font Chaude (FC) le Caire (K) Daluis (DA) St Martin (MA) Blégiers (BL) Vergons (VE) et les Courtilles (CT) .

Elles indiquent toutes une brusque augmentation d'épaisseur à la limite Valanginien Hauterivien . Les ammonites prélevées à ce niveau ont confirmé cet âge . Cette augmentation d'épaisseur se produit en quelques mètres. Elle ne concerne que les calcaires . En effet à cette échelle, les variations des calcaires et des marnes sont indépendantes . Les marnes subissent ici une lente diminution d'épaisseur dont les modalités ne rappellent en rien la brusque augmentation des calcaires, comme nous le verrons au paragraphe suivant .

3.2.2 La diminution d'épaisseur des marnes du Valanginien supérieur à l'Hauterivien inférieur

La fig.25 nous propose l'exemple de cinq coupes (K,LM,MA,VE,DA) où cette diminution d'épaisseur s'est faite particulièrement sentir . Les courbes ont été tracées comme pour l'étude des rythmes 14-18 bancs par un lissage supplémentaire .

A partir d'un pic plus important que les autres, l'épaisseur des niveaux marneux diminue progressivement . On ne sait si ce pic correspond exactement à la même période dans les cinq coupes . Le nombre d'ammonites déterminées ne permet pas de l'affirmer . Mais il est d'âge valanginien supérieur, et la décroissance de la taille des bancs se continue sur la fig.25 jusqu'à l'Hauterivien inférieur compris . Ce laps de temps se caractérise pour les marnes, par des oscillations de période et d'amplitude plus considérables que la moyenne .

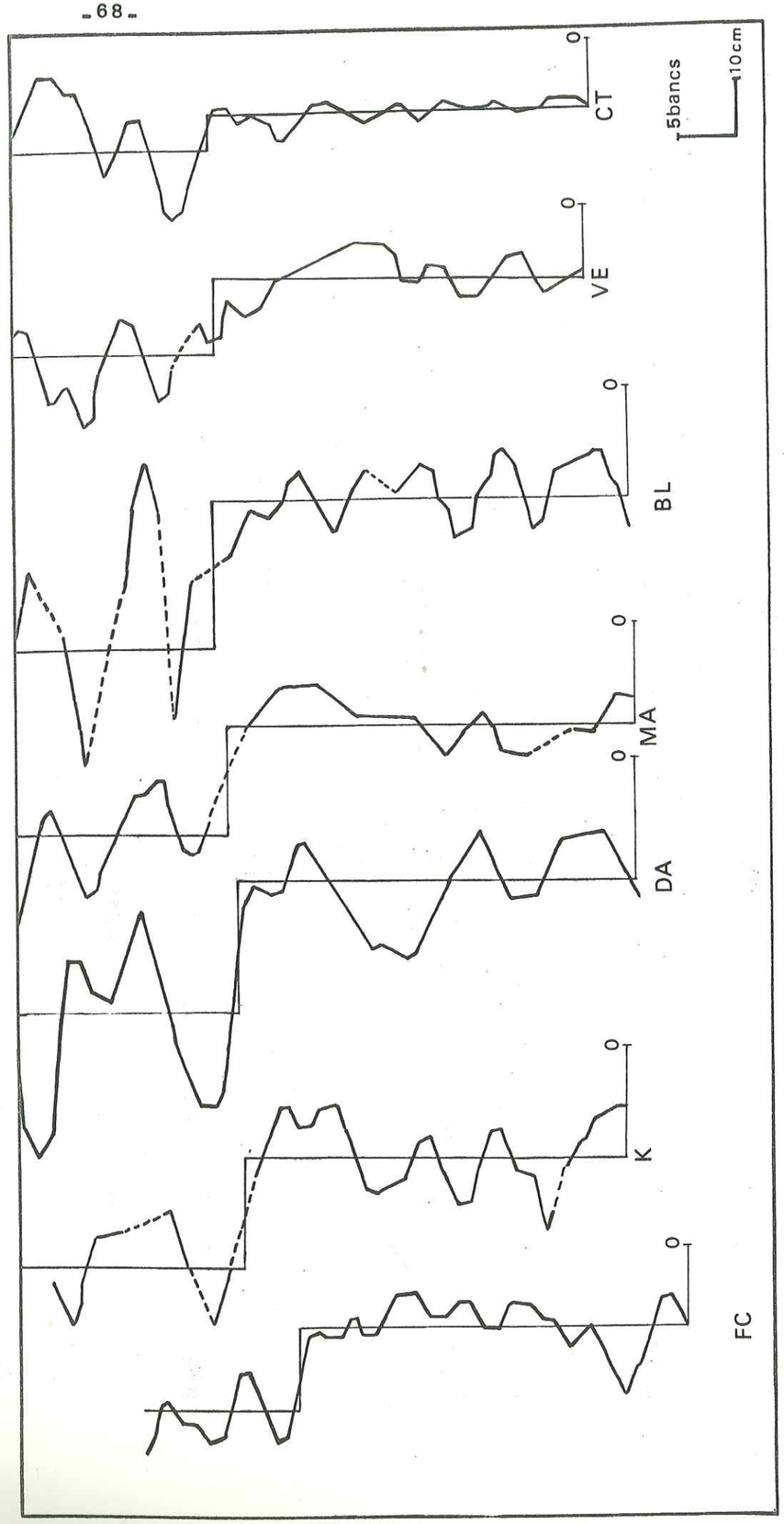


Figure 24 Brusque augmentation d'épaisseur des bancs à la limite Valanginien Hauterivien

Si l'on considère d'autres coupes toutes ces caractéristiques s'atténuent, elles tendent même à disparaitre à l'Ouest du terrain .
La variation d'épaisseur quoique perçue dans une vaste zone semble avoir une moins grande extension que la précédente, elle ne possède pas non plus son caractère instantané .

3.2.3 Comparaison entre ces deux phénomènes et les rythmes

Ces deux phénomènes, malgré le caractère instantané de l'un, progressif de l'autre, ont de nombreux points communs :

- leur unité à l'échelle considérée
- le nombre important de bancs affectés
- les vastes régions concernées
- l'indépendance des variations des calcaires et des marnes

Ils diffèrent des rythmes, phénomène répétitif affectant peu de bancs, difficilement corrélable à grande distance, où calcaire et marnes ne varient pas indépendamment .

Ils sont tributaires de la nature des sédiments parvenus dans le bassin : la brusque augmentation de l'épaisseur des bancs calcaires, à la limite Valanginien Hauterivien marque l'apparition de conditions favorables à la production de calcaire .

Mais l'évolution tectonique y joue aussi un rôle : si l'on considère le passage Valanginien **Hauterivien** au Sud du domaine étudié, il est marqué par un immense fond durci peuplé d'oursins et de crinoïdes (P. COTILLON 71) . Cet auteur précise d'ailleurs qu'un tel épilogue bioclastique se retrouve à cette époque en beaucoup de points de l'Est et du Sud Est de la France . Ce qu'il traduit par une pause importante de l'activité épeirogénique avant la reprise de subsidence hauterivienne .

4. DISTRIBUTION GLOBALE DES EPAISSEURS

Regarder comment se distribuent les épaisseurs d'un grand nombre de bancs a l'intérêt d'aborder le problème sous un autre éclairage :
Existe-t-il une ou plusieurs épaisseurs moyennes autour desquelles s'ordonnent l'ensemble des mesures ? Si oui, quelle est leur signification, et comment établir une correspondance avec le phénomène des rythmes ?

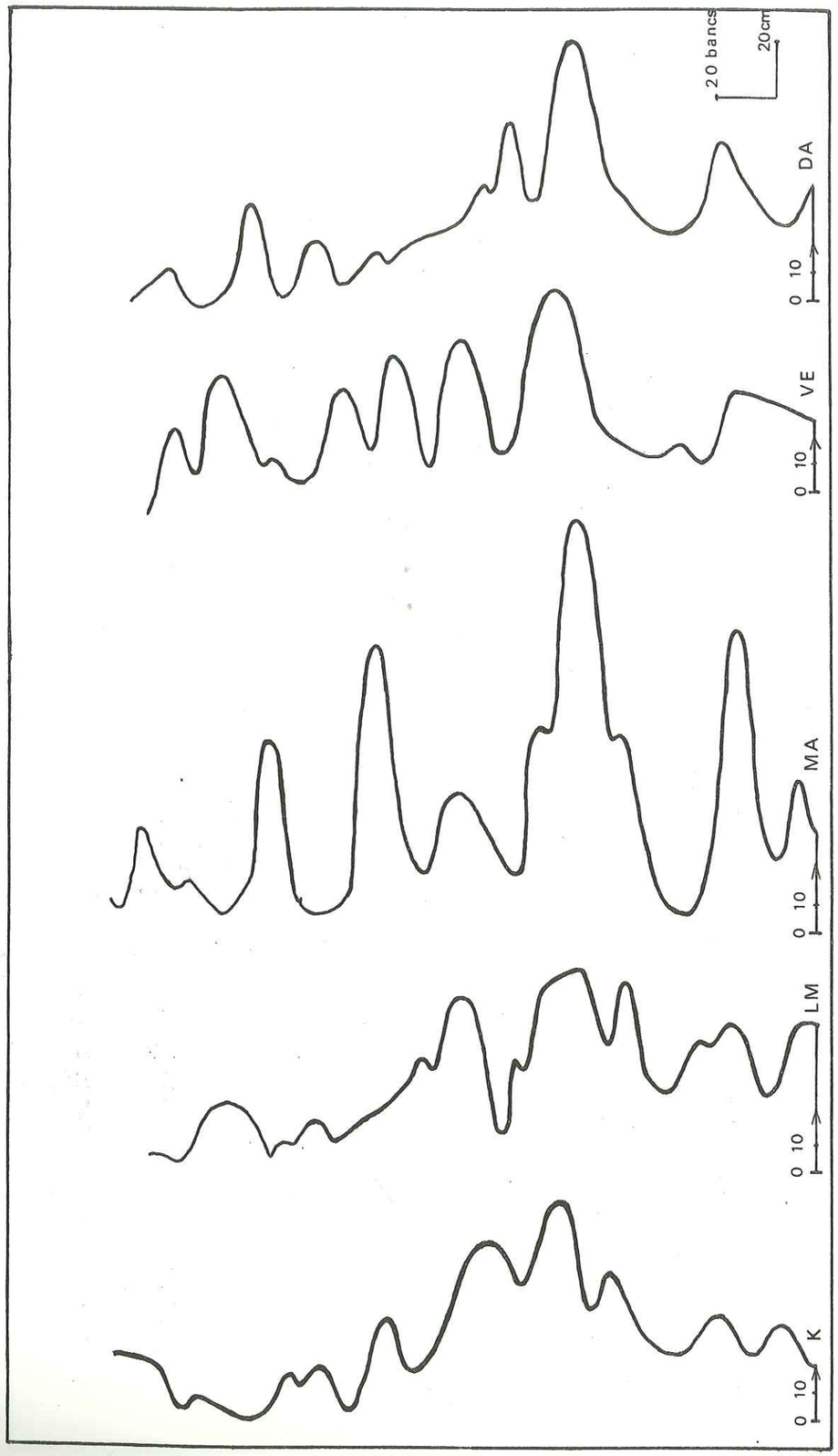


Figure 25 : Diminution d'épaisseur des niveaux marneux du Valanginien supérieur à l'Hauterivien inferieur

4.1 DISTRIBUTION DES EPAISSEURS

Sur les fig. 26 et 27 sont présentés les histogrammes établis en pourcentages pour les coupes de Rigaud,Fontchaude, St Martin, Angles et Vergons et pour l'ensemble des mesures de bancs au Valanginien . Deux populations s'individualisent . La césure est située vers 50-60cm pour les marnes on la devine aussi pour les calcaires, mais elle est plus difficile à mettre en évidence . Une même répartition entre populations existe aussi à l'Hauterivien . C'est ce qui est présenté sur la fig.28 relative à l'Hauterivien moyen à supérieur de la Melle .

Sont figurées, d'une part la distribution des marnes où il est aisé de distinguer deux populations disjointes, d'autre part, celles des calcaires, dont la forme trapue suggère une distribution composite .

Le tableau des intersections établit les correspondances entre l'épaisseur de chaque banc calcaire et de chaque interlit marneux qui le surmonte . On peut y mettre en évidence 4 pôles dont deux sont particulièrement visibles, l'un d'eux correspondant à 45cm pour les calcaires, 60 pour les marnes, l'autre à 30cm pour les calcaires, 10cm pour les marnes .

4.2 REPARTITION DANS LE TEMPS DES POPULATIONS : CORRESPONDANCES ENTRE LA NOTION DE POPULATION ET LA NOTION DE RYTHME

L'exemple de la fig.29 représente le Valanginien et l'Hauterivien du Caire, il concerne les niveaux marneux .

Nous observons d'abord la réalité des deux populations qui séparent la coupe en 3 parties .

Dans la partie inférieure, prédomine la première population, dont l'épaisseur moyenne des bancs est importante .

Puis vers la base du Valanginien supérieur, la distribution des épaisseurs devient beaucoup plus irrégulière, avec une prédominance de la deuxième population, à bancs épais .

Enfin, vers la limite Valanginien-Hauterivien la 1ère population reprend de l'importance .

Si l'on se reporte à la fig.25, on s'aperçoit que la deuxième population se juxtapose au grand pic marneux de la courbe K . Elle correspondrait certainement aux pics équivalents dans les courbes LM, MA, VE et DA . La répartition des deux populations ne se fait donc pas au hasard .

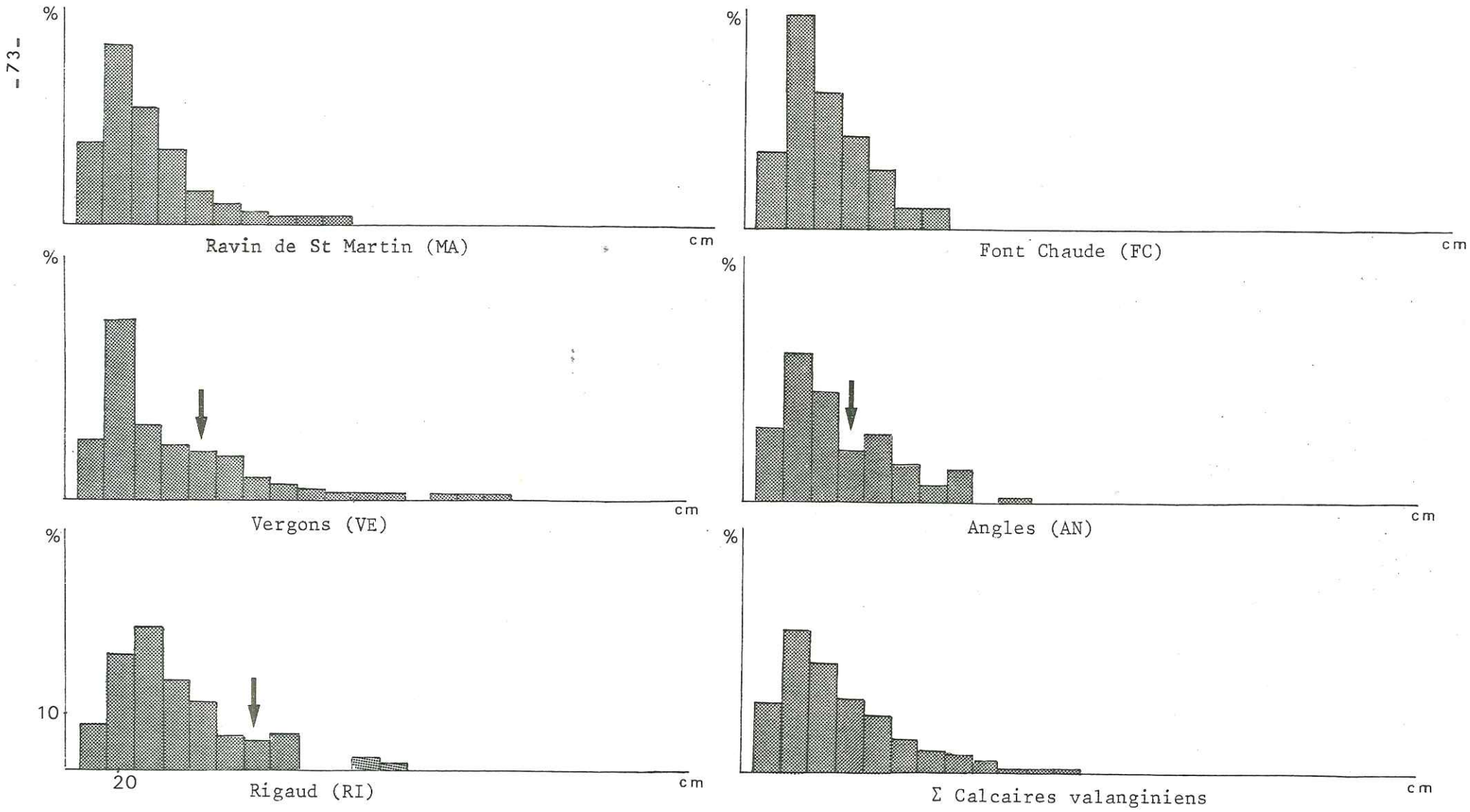


Figure 27 : Epaisseur des calcaires VALANGINIENS

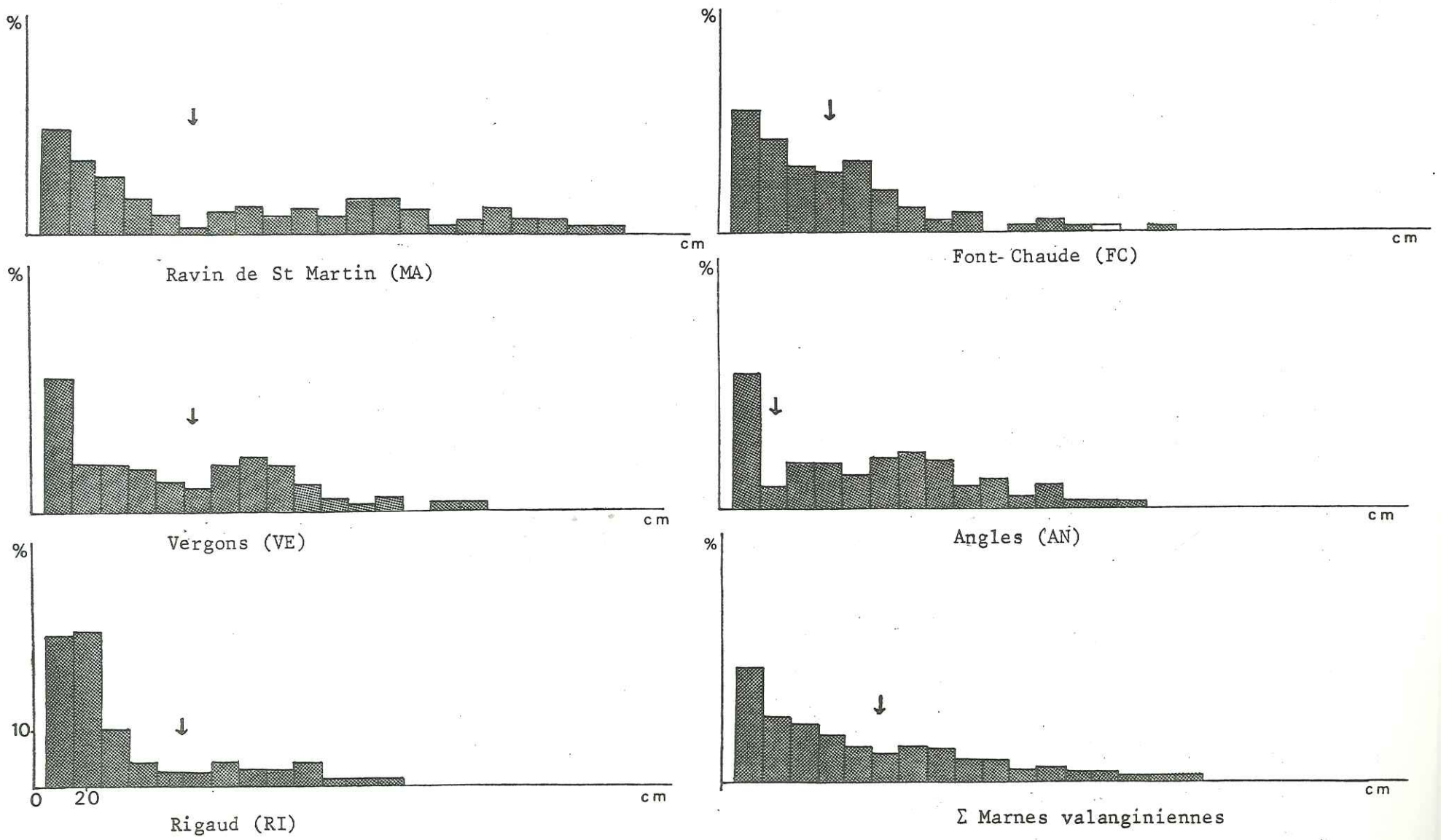


Figure 26 : Epaisseur des niveaux marneux VALANGINIENS

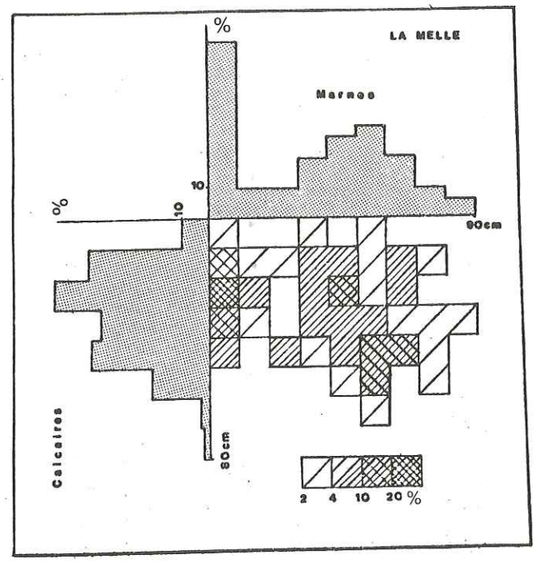


Figure 28 : Histogrammes des épaisseurs des niveaux calcaires et marneux montrant lesdeux populations

Elle n'est pas liée aux amplitudes des rythmes 4-5 bancs et 14-18 bancs, mais aux variations de plus grande ampleur décrites au paragraphe 3.2. Les bancs d'un même rythme appartiennent donc à la même population .

A quoi correspondent ces deux populations ? J'ai mesuré, dans la coupe du Caire, l'orientation de spicules dans tous les bancs calcaires hauteriviens(à ce propos voir paragraphe 5.3) . Les directions mesurées n'étaien pas différentes suivant l'appartenance des bancs à la première ou à la deuxième population . Elles ne semblent donc pas pouvoir s'expliquer par des apports venus de deux directions distinctes .
Peut être sont elles simplement liées, comme les grandes variations d'épaisseur auxquelles elles s'apparentent, à des facteurs externes au bassin .

5. LA DISPOSITION SPATIALE D'UNE COUCHE

Après avoir reconnu le couple calcaire marne comme *unité de dépôt* , étudié la mise en place d'une unité et les modes d'organisation du dépôt dans le *temps*, il est intéressant de cerner le phénomène dans *l'espace*, et de reconstituer la géométrie d'un banc dans ses 3 dimensions .

J'ai d'abord utilisé les corrélations pour donner une idée de *l'extension du phénomène* en différenciant les alignements parallèles à la pente, et ceux qui lui sont transverses . L'orientation par rapport à la pente des différents alignements sera démontrée au chapître 3 auquel on se reportera pour plus de détails .

Ensuite, les variations d'épaisseur des bancs, dans plusieurs coupes ont précisé la *géométrie du dépôt* dans le secteur limité par ces coupes .

Enfin, en étudiant l'orientation des spicules de spongiaires dans chaque coupe, nous avons une idée de *l'organisation planaire* du dépôt . Il est possible de l'extrapoler, et, en intégrant toutes les données, de reconstituer la *disposition spatiale* d'un banc .

5.1 L'EXTENSION DU PHENOMENE

Les corrélations ont été établies progressivement en comparant les logs au 1/100e de coupes proches puis plus éloignées, et à partir des courbes lissées pour les très grandes distances .

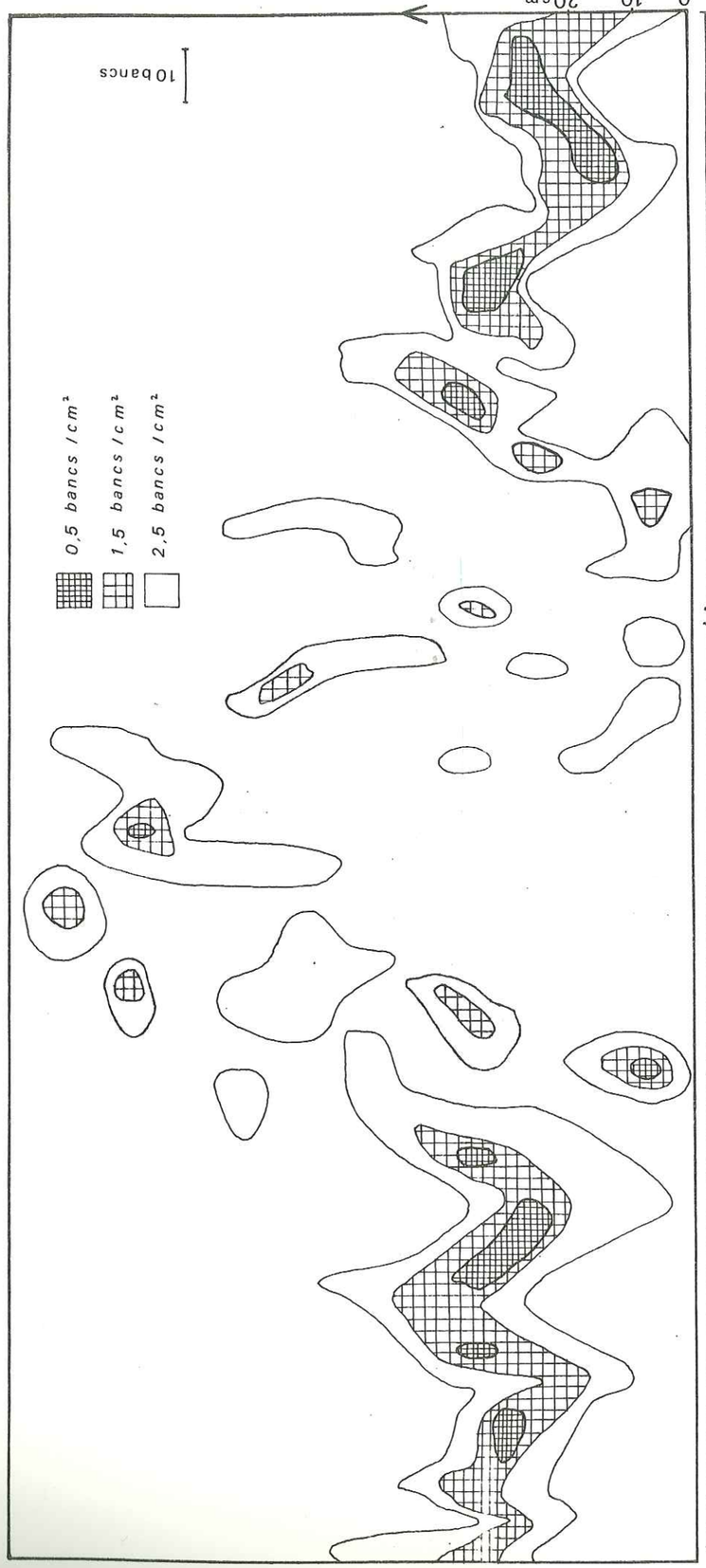


Figure 29 : Mise en évidence des deux populations par les courbes d'isodensité LE CAIRE

5.1.1 Les difficultés rencontrées

Tout d'abord, certains affleurements sont de nature telle que l'aspect des bancs varie énormément en quelques centaines de mètres .

Les deux coupes de la Croix (fig.30) en sont un exemple démonstratif: suivant que l'on considère la coupe du fond du ravin ou celle du bord de la route, les ensembles calcaires sont subdivisés en un plus ou moins grand nombre de bancs, des interlits marneux sont considérés, sur la première coupe comme des bancs calcaires .

Cette variation d'aspect est due aux nombreuses strates centimétriques qui subdivisent dans cette coupe les bancs calcaires, rendant leurs limites incertaines et à la nature du sédiment qui, suivant les conditions d'érosion apparaissent à l'affleurement comme calcaire ou marneux .

Des difficultés peuvent aussi venir des variations brusques d'épaisseur des bancs ou des FAC, comme le montrent les coupes de Fontchaude et de Sisteron distantes respectivement de 200 et 150m (voir fig.31 et 32) . Sur des distances kilométriques, la corrélation banc à banc de telles coupes devient hasardeuse .

5.1.2 Les corrélations par les coupes au 1/100e

- Conditions requises pour que deux bancs soient considérés comme corrélés .

Pour décider s'il y a ou non corrélation, il faut tenir compte des bancs voisins .

Des bancs doubles ou triples servent souvent de repère, ou la présence de bancs plus épais que la moyenne . L'augmentation ou la diminution régulière d'une série de bancs peut aussi fournir un indice intéressant . C'est seulement si de tels repères existent et concernent un nombre suffisant de bancs (une dizaine ou une vingtaine suivant les cas) que la corrélation est admise .

- Les distances corrélées

Pour les alignements transversaux, c'est à dire perpendiculaires à la pente, j'ai corrélé les coupes d'Angles et de Vergons sur 4km, Lioux et Vergons sur 10km, le Caire et Reynier sur 8km, la Charce - Bellegarde - Beaumont sur 18km .

Pour les alignements longitudinaux, la corrélation Les Courtilles - Montclus - Le Saix atteint 20km, celle de Le Buis-La Rochette - Montauban 20km, celle de Montclus - Bruis - La Charce - Bon Huile - Chalencon - Pradelles - Bézaudun une cinquantaine de kilomètres .

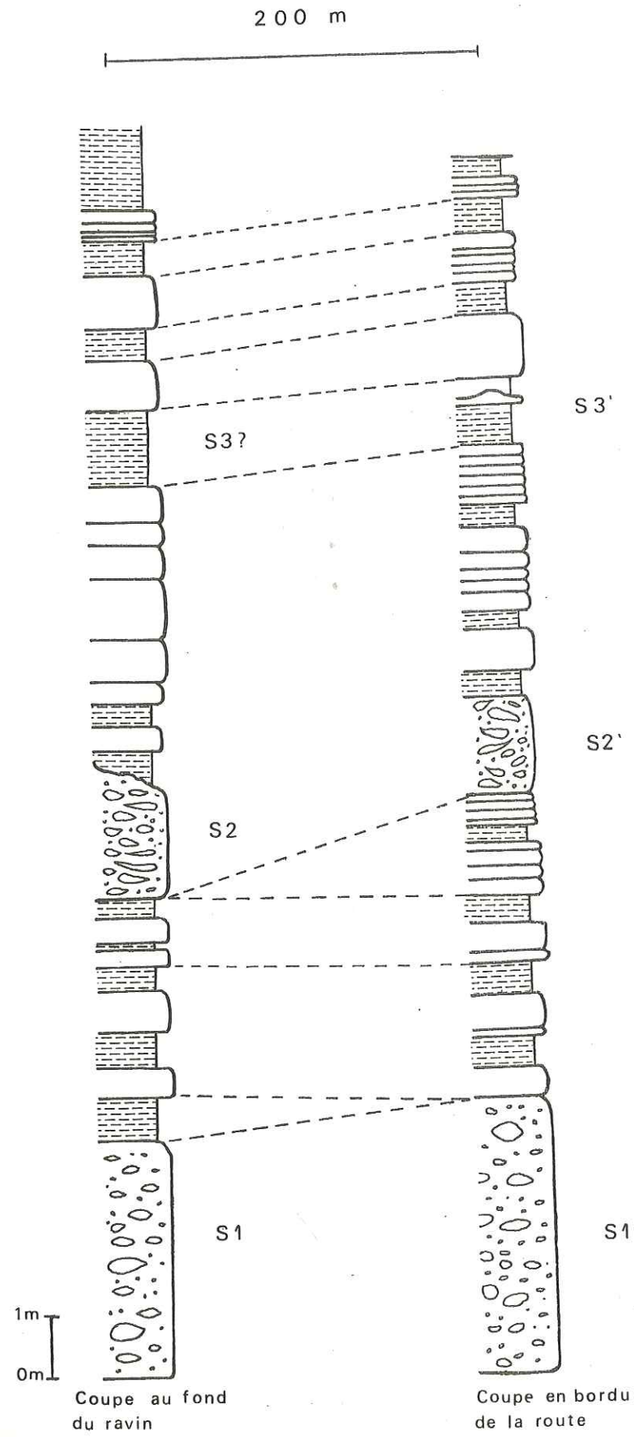


Figure 30 : Corrélation à courte distance . LA CROIX

Les distances sont estimées en tenant compte des plissements . J'ai utilisé pour cela les cartes géologiques au 1/50 000e et au 1/80 000e .

Ces corrélations étant établies au laboratoire, il m'a paru indispensable de revenir sur le terrain retrouver les bancs corrélés .
J'ai pu constater qu'ils étaient reconnaissables non seulement par leur épaisseur, mais par leur faciès plus ou moins marneux .
Dans le cadre de la corrélation Le Buis, La Rochette, Montauban, j'ai suivi 12 bancs de calcaire marneux épais de 5 à 10cm . La prolongation de bancs aussi minces sur des distances pareilles est particulièrement impressionnante .

Mais il faut aussi constater que, s'ils se prolongent parfois sur des kilomètres sans modifications, les bancs peuvent disparaitre ou augmenter considérablement d'épaisseur en 200m (voir fig.31) .

En outre, comparés aux résultats signalés par certains auteurs (RICCI LUCCHI 75) qui proposent des corrélations de plus de 100 kilomètres, les distances considérées ici restent relativement faibles .

5.1.3 Les corrélations par les courbes lissées

Les corrélations banc à banc deviennent inefficaces dès qu'un nombre suffisant de bancs ne se retrouve pas d'une coupe à l'autre .
J'ai donc utilisé les courbes lissées pour les plus grandes distances . Cette méthode ne nous permet pas d'affirmer que tel banc est l'équivalent de tel autre, mais la similitude des courbes laisse supposer qu'il en est ainsi pour un certain nombre d'entre eux .

Ainsi, au Valanginien terminal, de La Rochette à Veynes, c'est à dire sur une distance de 43km, la présence d'un pic, de grande amplitude, suivi de 3 pics d'importance moyenne a été constatée dans toutes les coupes (voir fig.33) .
D'autres tentatives ont été faites, à des époques différentes, pour ces mêmes coupes . Mais l'absence de pics caractéristiques, et le caractère sinusoïdal de certains rythmes n'a pas permis de conclure .

5.1.4 Les corrélations par les grandes variations d'épaisseur

Sur de très grandes distances (plus de 50km) seules les corrélations de ce genre ont été effectuées . Il ne s'agit plus alors de retrouver le même banc d'une coupe à l'autre, ni même de corréler les rythmes (voir fig.24 et 25) . Ces variations ne sont que l'enregistrement de phénomènes indépendants de la morphologie du bassin (voir paragraphe 3.2) .

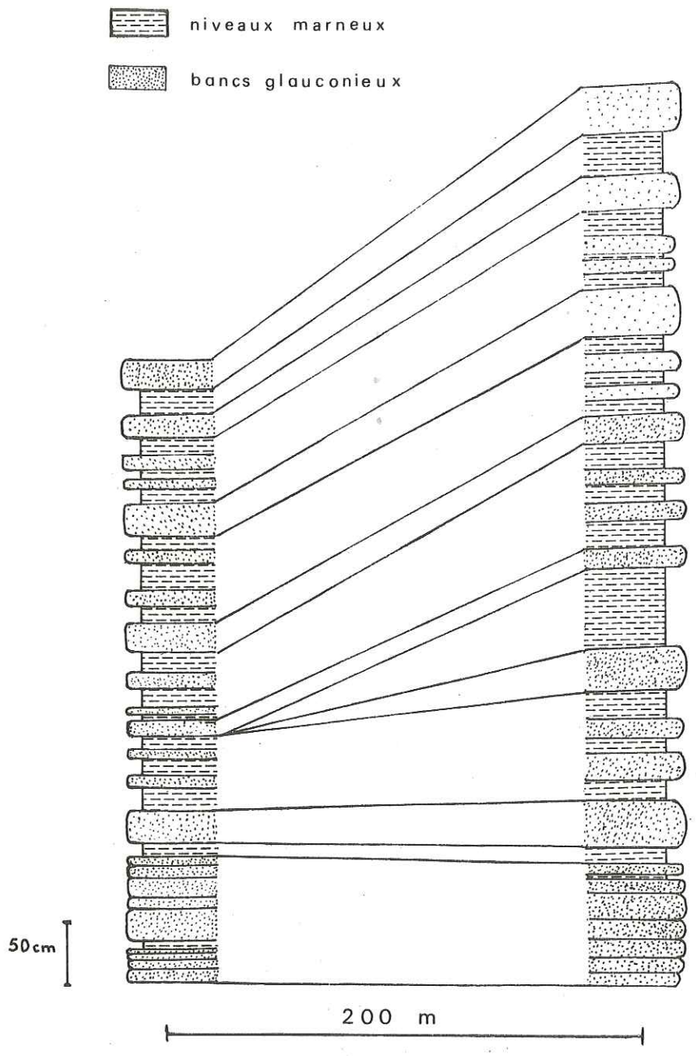


Figure 31 : Corrélation à courte distance (Limite VALANGINIEN HAUTERIVIEN) FONT CHAUDE

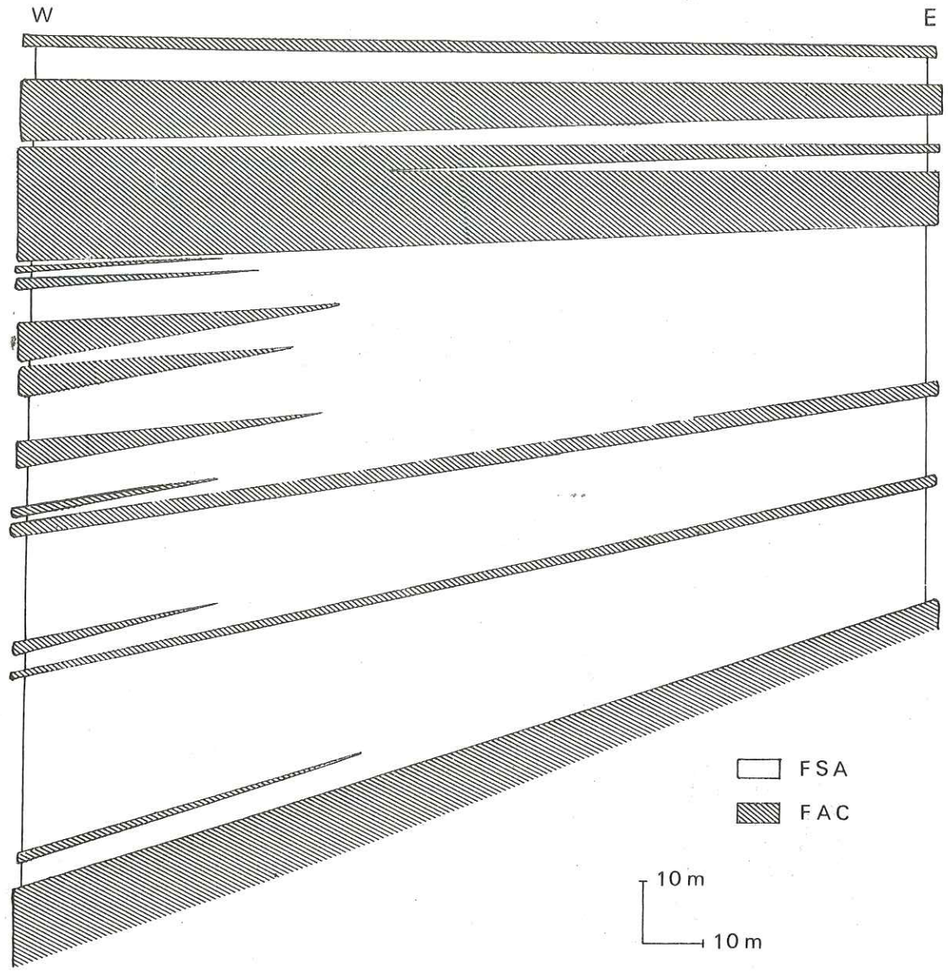


Figure 32 : Corrélation de Sisteron
Limite HAUTERIVIEN BARREMIEN

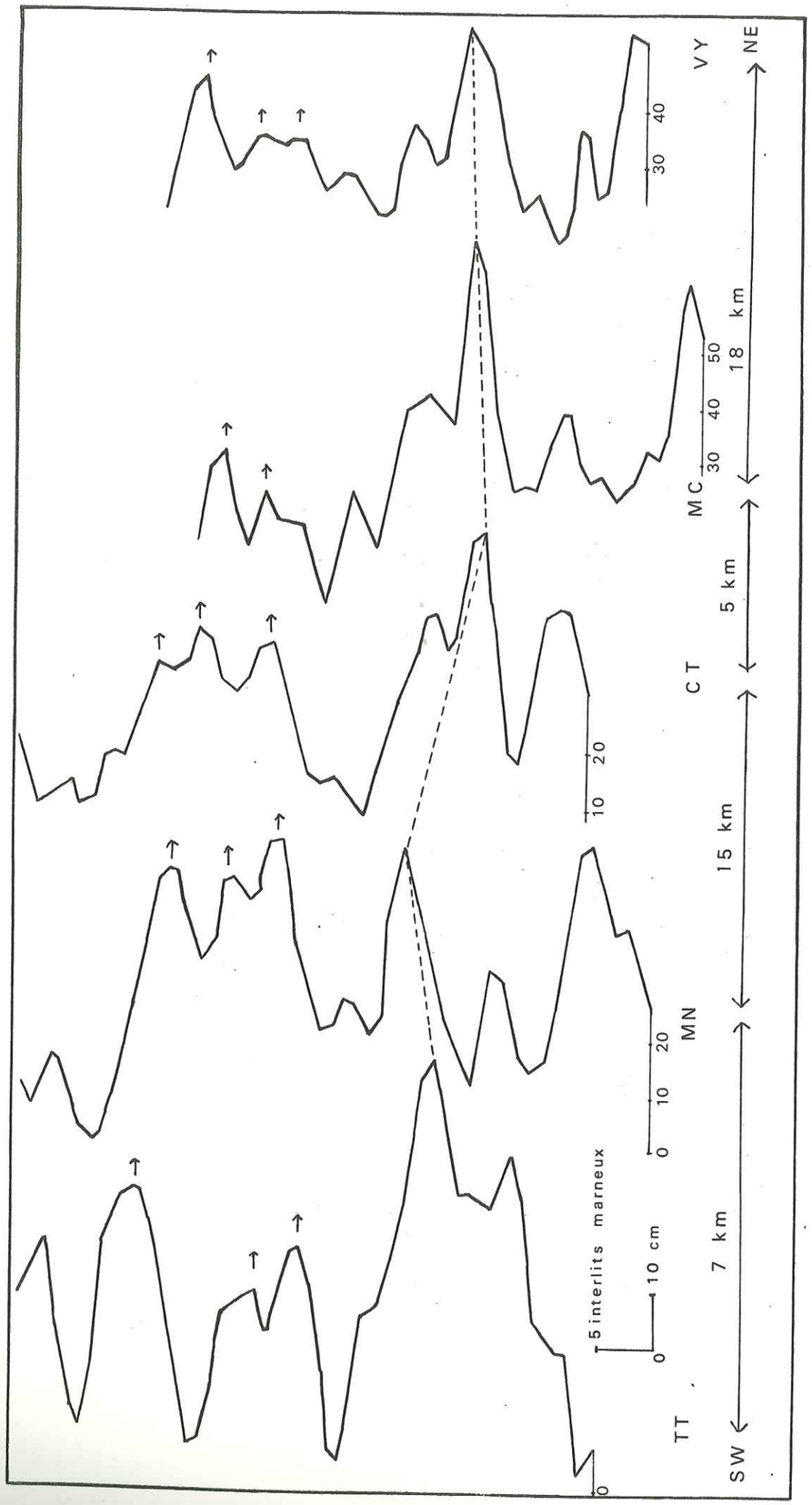


Figure 33 : Corrélations à grande distance par les courbes lissées
(VALANGINIEN terminal)

5.2 LE BANC, VU EN COUPE LONGITUDINALE ET TRANSVERSALE

5.2.1 Le banc, vu en coupe transversale

- La corrélation le Caire - Reynier

B. GUY (74) a corrélé quelques bancs, encadrés par deux faisceaux à contournement déjà corrélés, S28 et S30 pour la coupe du Caire, L et J pour Reynier . Aucun des critères de corrélation n'étant particulièrement nets, il a fallu vérifier par les courbes d'épaisseur des calcaires et des marnes le bien fondé de la corrélation . Les bancs ainsi corrélés ont une épaisseur de 14,60m à Reynier 14m au Caire, seuls 1 ou 2 bancs s'interrompent, voir fig.34 .

- La corrélation Vergons Lioux voir fig.35

Autre exemple de corrélation transversale, elle est d'une portée de 10km . Il faut remarquer la faible variation d'épaisseur d'une coupe à l'autre (de 18,70m à 20m) et le nombre important de bancs qui se continuent dans l'autre coupe .

- La corrélation Angles Vergons

Distantes de 4km, les coupes d'Angles et de Vergons sont aussi à peu près alignées perpendiculairement à la pente . L'orientation des spicules pour chaque banc corrélé a précisé la direction du courant et montré cette direction transverse (voir fig.36) .

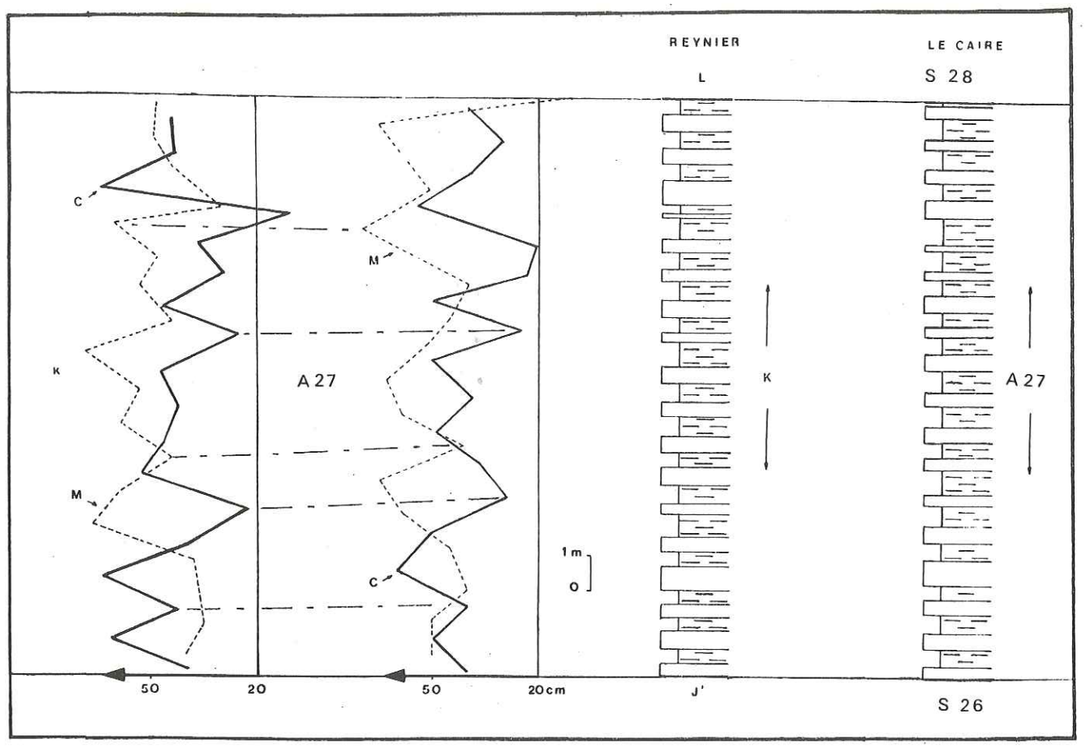
Les variations d'épaisseur des bancs corrélés pris dans leur ensemble est très faible (voir fig.37) . Mais si l'on considère des bancs dans le détail, on découvre d'importantes variations d'épaisseur .

Si nous subdivisons la coupe en groupes de bancs suivant le sens des variations d'épaisseur nous distinguons :

- le groupe a s'épaississant d'Angles à Vergons
- le groupe b diminuant d'Angles à Vergons
- le groupe c s'épaississant d'Angles à Vergons
- le groupe d diminuant d'Angles à Vergons .

Le cas du groupe b est un peu particulier parce qu'à 7 alternances marne cal caire à Angles ne correspond qu'un interlit marneux à Vergons . Celui-ci représente t-il l'épaississement d'un seul interlit marneux d'Angles ou la terminaison des 7 alternances marne-calcaire ?

Cette solution, plus vraisemblable, aurait le mérite de nous renseigner sur l'évolution d'un banc qui disposerait d'abord les éléments les plus lourds (les particules micritiques) pour ne garder à sa périphérie que les éléments les plus légers .



----- M épaisseur des marnes
—— C épaisseur des calcaires

Figure 34 : Corrélation LE CAIRE - REYNIER

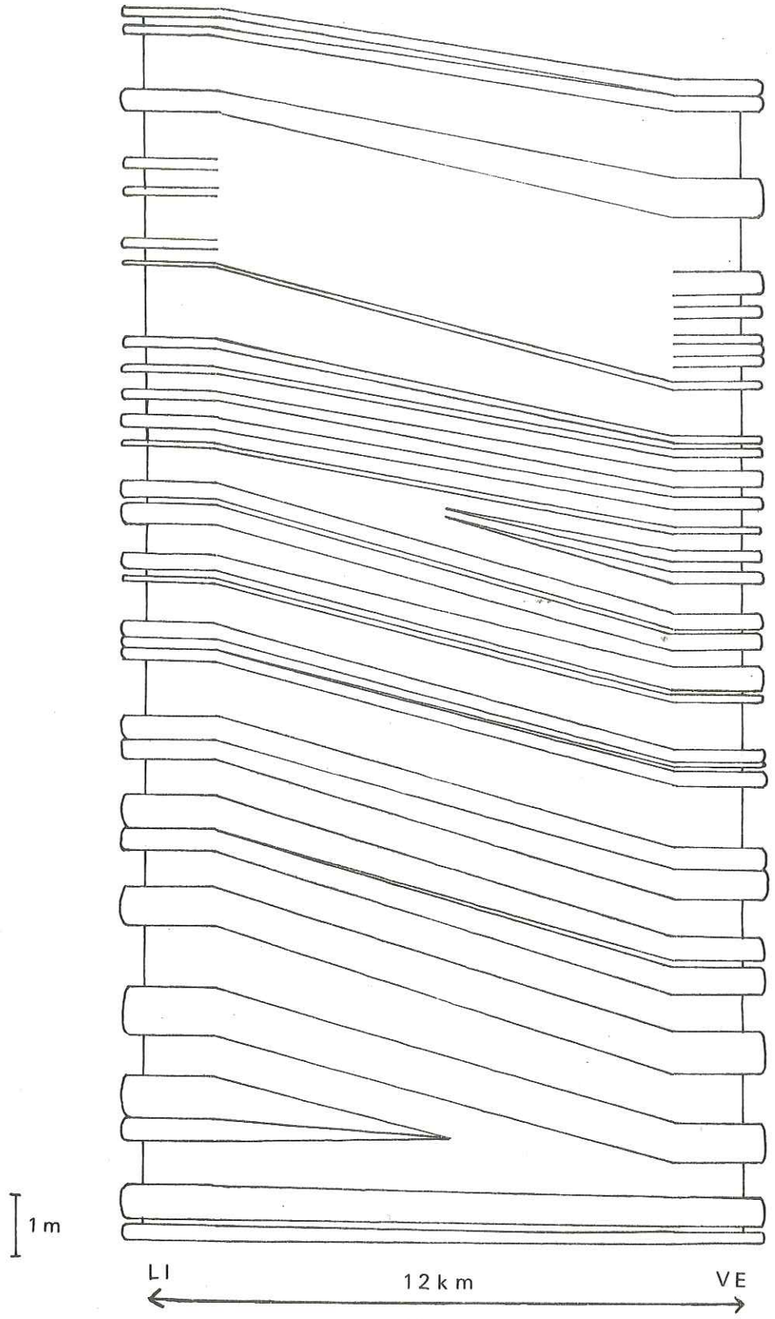


Figure 35 : Corrélation au sommet de l'HAUTERIVIEN - coupes de VERGONS et de LIOUX

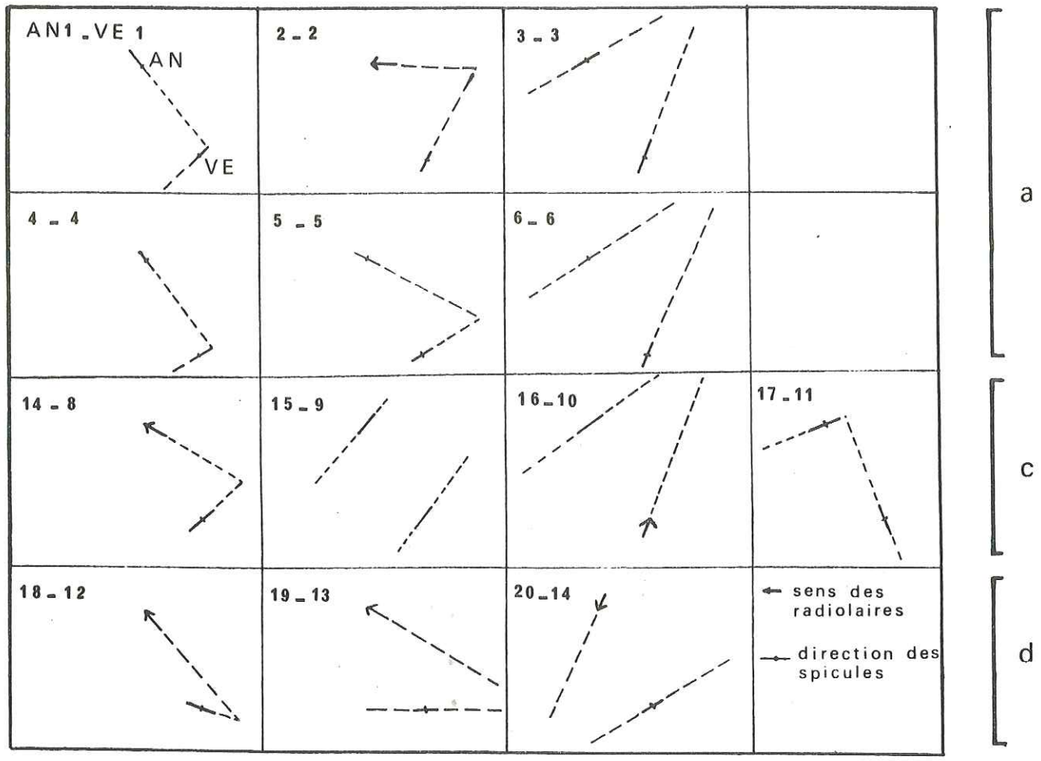


Schéma 1 : Direction des spicules et sens des radiolaires dans les faisceaux corrélés a, c, d (coupes d'ANGLES et de VERGONS)

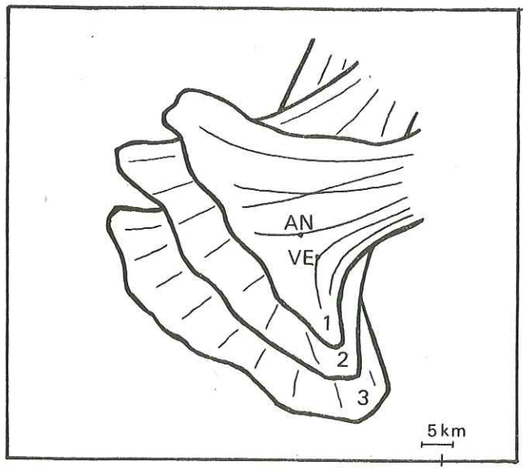


Schéma 2 : Disposition dans le plan des bancs 1_2_3 du faisceau a

Figure 36

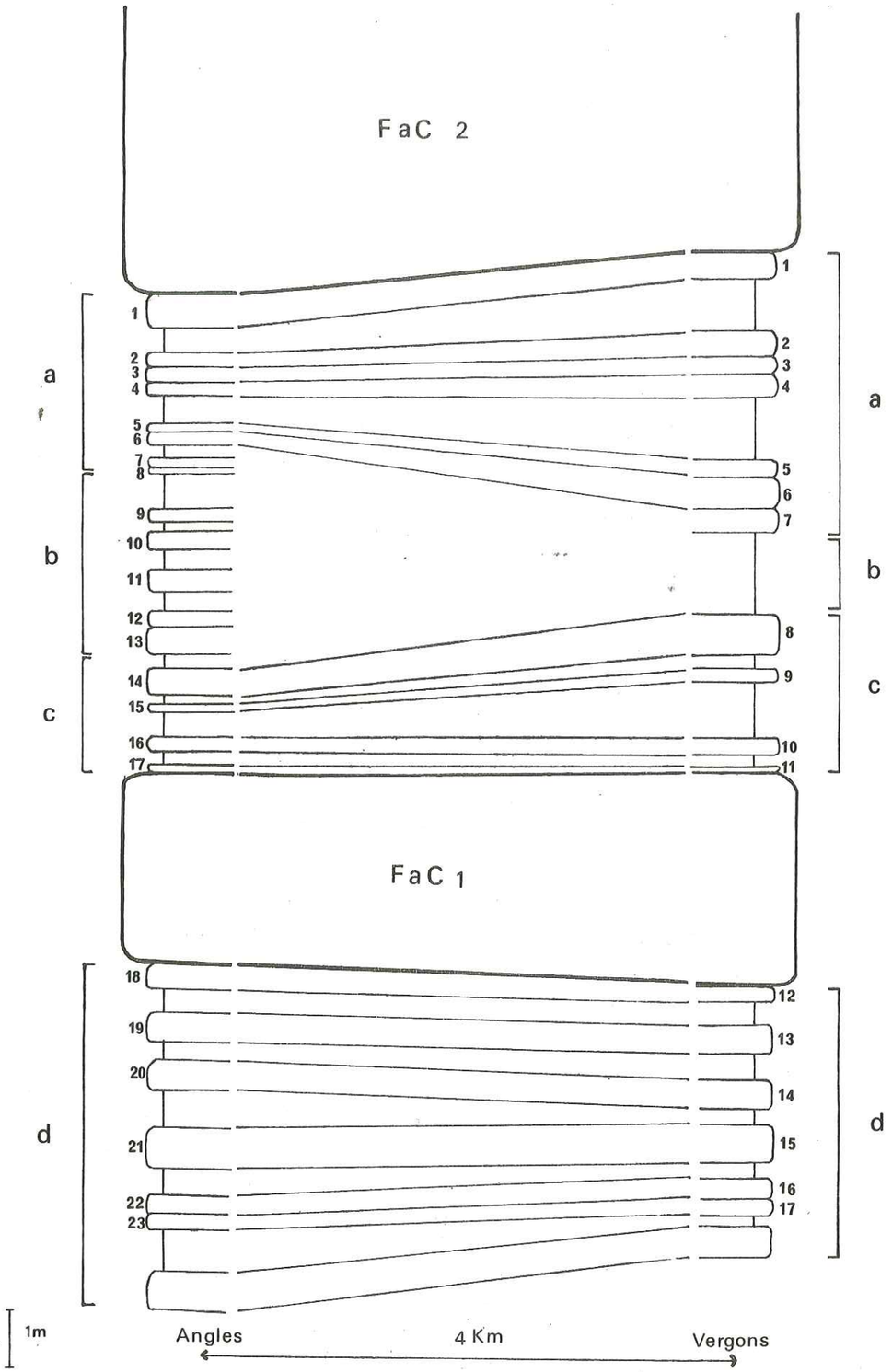


Figure 37 : Corrélation ANGLES _ VERGONS HAUTERIVIEN basal

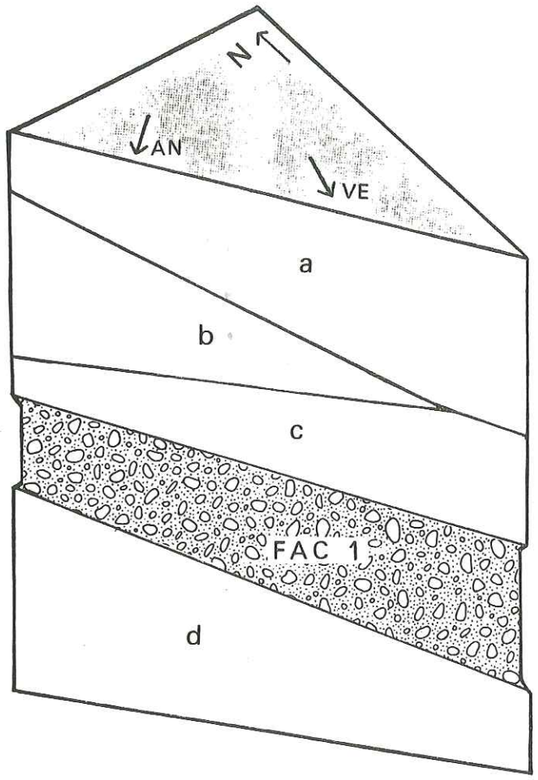


Figure 38 : Biseautage de groupes de bancs entre ANGLES et VERGONS

En tout cas, il faut souligner que nous sommes dans une zone très particulière, où se superposent des groupes de bancs biseautés en sens inverse, ce qui est très différent des deux exemples précédents où les variations d'épaisseur étaient minimes, malgré des distances plus importantes (voir fig.38). Nous nous trouvons sans doute en bordure tandis qu'auparavent nous étions plus vers le centre des bancs .

Ceci nous donne une idée de la distance sur laquelle disparait un banc . Au Caire certains disparaissent en 500m, à Fontchaude en 200m ce qui est encore plus rapide .

- La corrélation Pontaix - Laval d'Aix (15km) (1)

Cette corrélation montre, comme précédemment des faisceaux de bancs s'emboitant les uns dans les autres (voir fig.39) .

Il est intéressant de noter l'augmentation d'épaisseur vers le haut de la coupe des faisceaux 1, 2 et 3 . Ce qui semble indiquer que l'organisation de ces faisceaux, les uns par rapport aux autres n'est pas du au hasard .

5.2.2 Le banc vu en coupe longitudinale

- La corrélation Les Courtilles-Montclus - Le Saix

Remarquons ici l'extension du phénomène (20km) et l'augmentation d'épaisseur des Courtilles au Saix (de 3,6 à 4,6m) voir fig.40 . Mais cette augmentation d'épaisseur étant principalement due à celle de deux niveaux marneux, il est difficile d'en tirer des conclusions sur un éventuel épaississement des bancs vers l'aval .

- La corrélation Buis Les Baronnies - La Rochette-Montauban (20km)

Elle se subdivise en 3 parties : une partie inférieure où les bancs sont facilement reconnaissables et les variations d'épaisseur minimes, une partie supérieure où toute corrélation devient impossible entre BS et TT puis entre TT et MN la zone intermédiaire laisse entrevoir l'importance des variations d'épaisseur et fait supposer que nous arrivons, dès ce moment, dans une zone où plusieurs faisceaux s'interpénètrent . Ce qui se confirme dans la partie supérieure où il est impossible d'identifier les bancs d'une coupe à l'autre (voir fig.41).

- La corrélation Bézaudun - Pradelles - Chalancon - Bon Huile - La Charce - Bruis-Montclus (50km)(1)

(1) cette corrélation a été effectuée par P. JOSEPH dans le cadre de son travail d'option

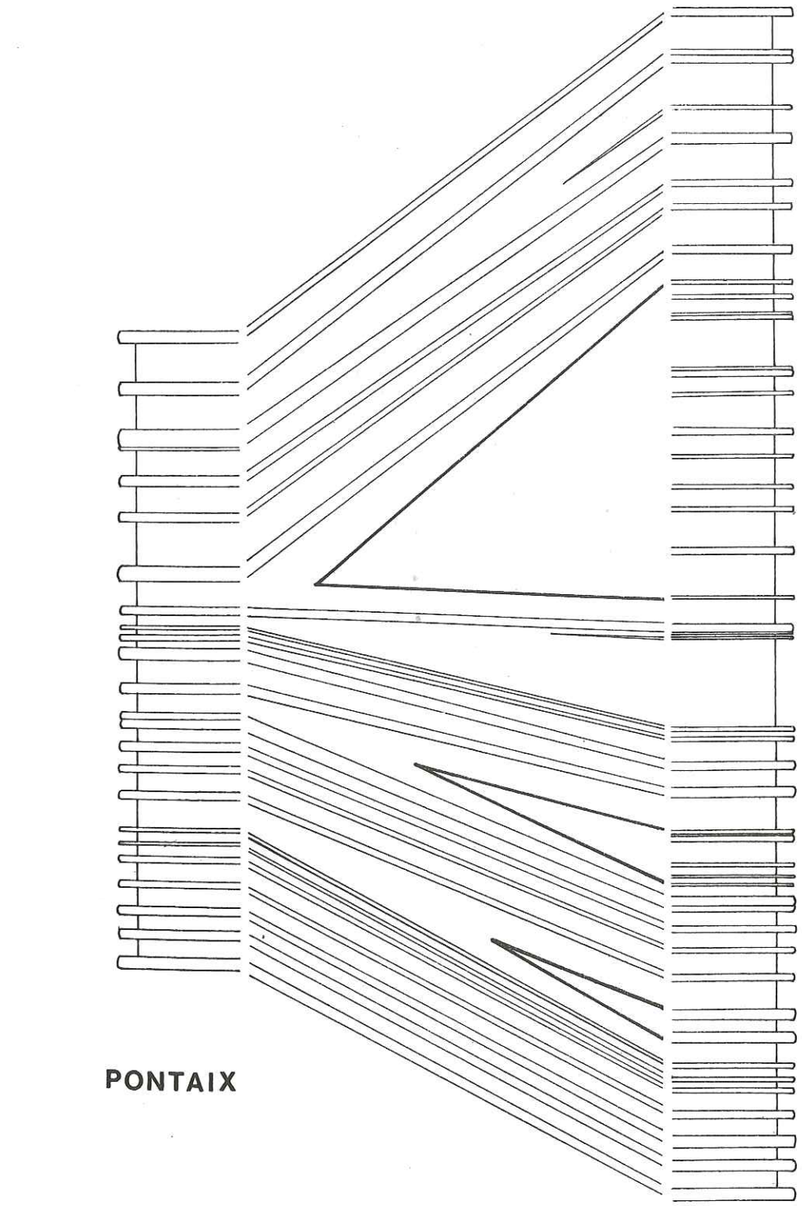


Figure 39 : Disparition de groupes de bancs entre deux coupes (VALANGINIEN)

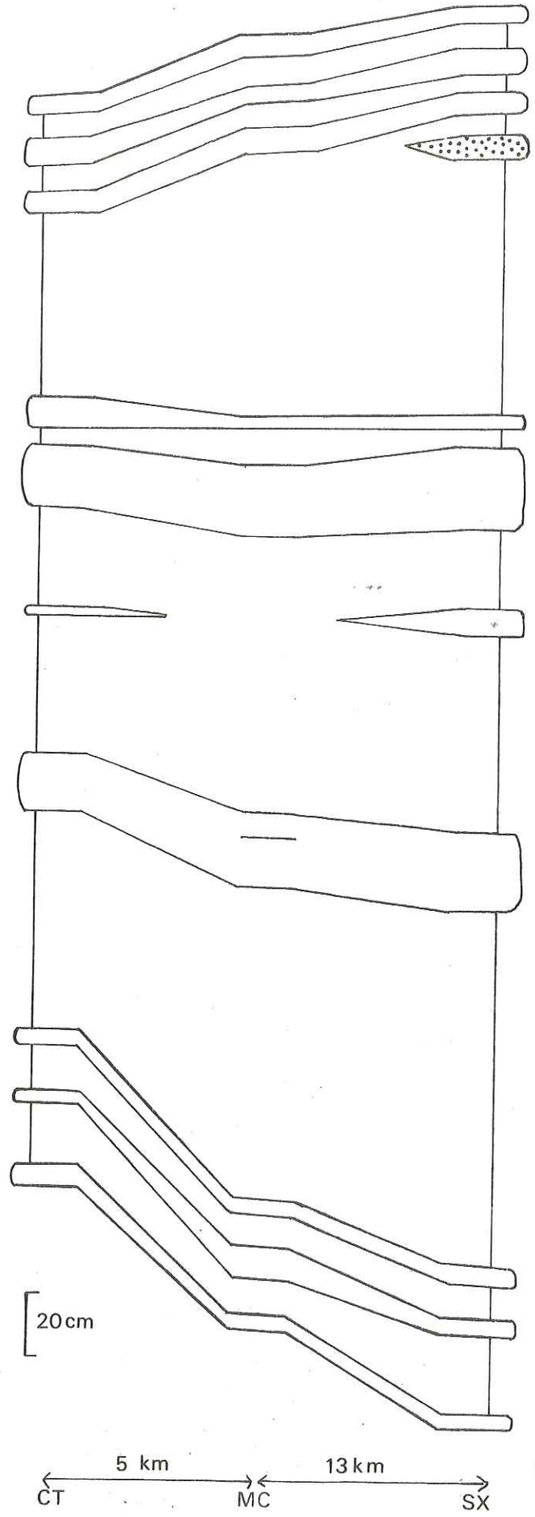


Figure 40 : Corrélation de bancs à grande distance au VALANGINIEN supérieur

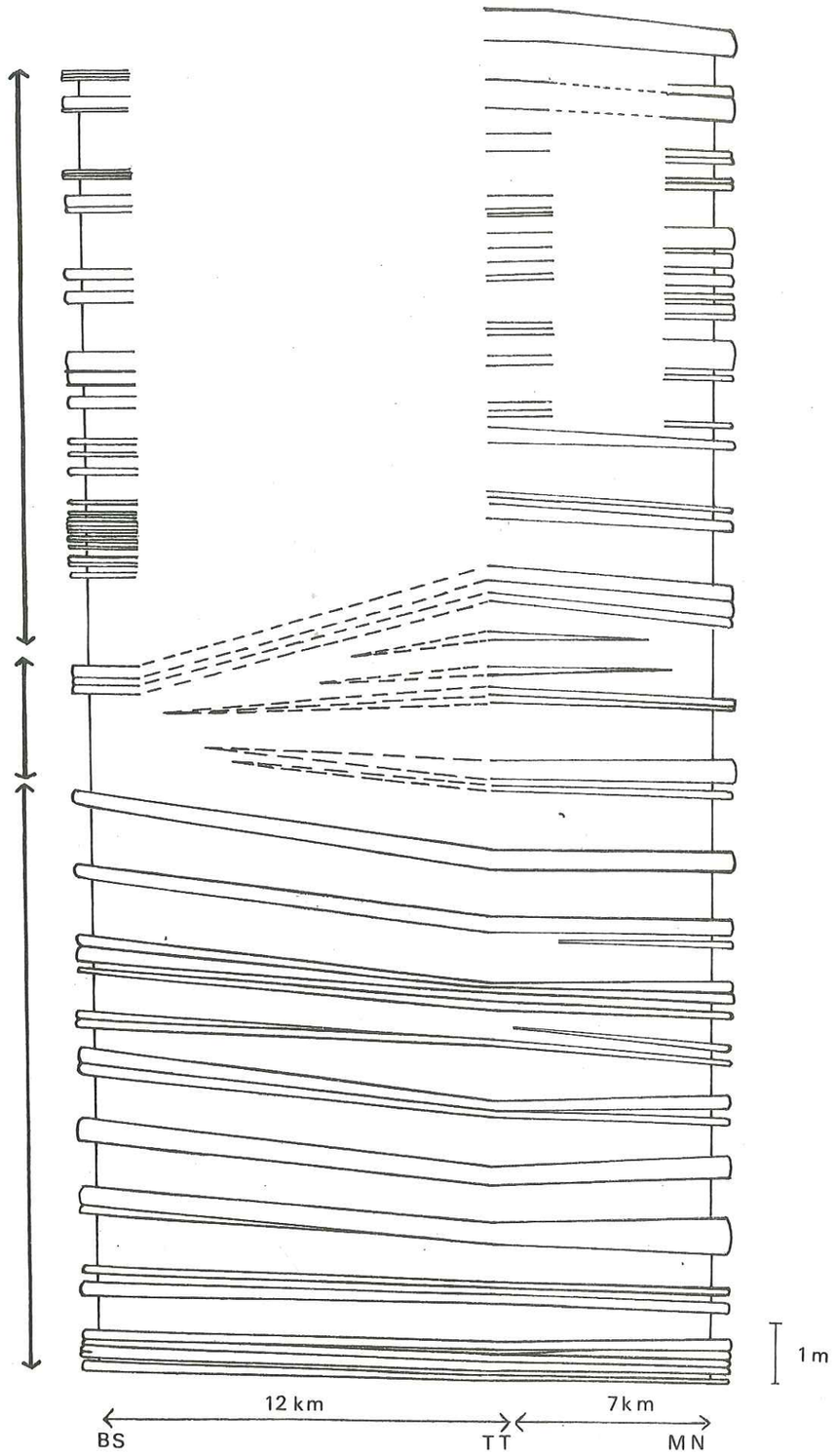


Figure 41 : Corrélations banc á banc _ Valangien _

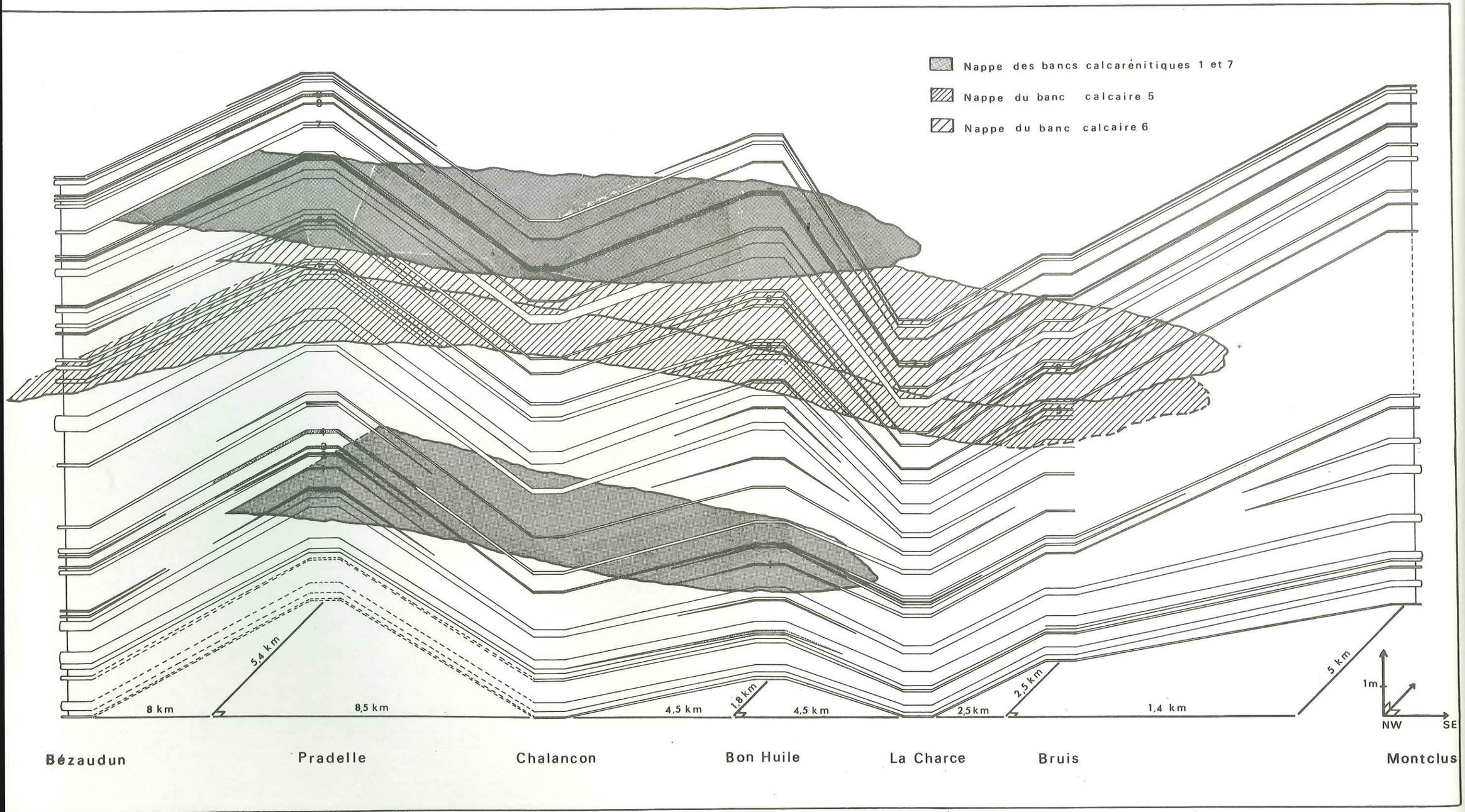


Figure 42 : Reconstitution des nappes de bancs

Cette corrélation est la plus longue qui a été effectuée ici , Mais son plus grand intérêt réside dans le fait qu'il a été possible de corréler des calcarénites entre elles de façon certaine sur 15km (calcarénites 1,2,3), mais également de corréler des bancs calcarénitiques avec des bancs calcaires (bancs 3,4,7,8,9) : le meilleur exemple en est donné par le banc calcarénitique double 7, que l'on trouve à Chalancon et Bon Huile, et qui passe à un banc double de calcaire fin à Pradelle et Montclus, et à deux bancs calcaires séparés par un mince interlit marneux à la Charce et Bruis (voir fig.42) .

De même, le banc calcarénitique 3 présent à Pradelles Chalancon et Bon Huile se corrèle avec un banc calcaire dans les autres coupes ,

Donc, ici, les bancs de calcarénite prennent la forme de langues allongées, qui évoluent latéralement et vers l'aval en un banc calcaire : Les directions de courant et de glissement indiquent en effet dans ce secteur une pente générale vers le Sud-Est .

Les bancs calcaires 5 et 6 fournissent d'autres informations : le premier disparait à Chalancon et La Charce, le second n'existe qu'à Pradelle, Bon Huile et Bruis, c'est à dire les coupes situées le plus au Nord de l'axe Bézaudun-Montclus . La limite Sud de ces deux bancs se matérialise donc très bien : elle passe entre Chalancon-La Charce et Pradelle-Bon Huile-Bruis . Comme les bancs de calcarénite , les bancs calcaires présentent une forme de grandes nappes allongées, évasées vers l'amont, comme le montre le banc 5 se corrélant de Bézaudun à Pradelle .

De plus, les bancs 5 et 6 sont tous deux encadrés par deux bancs calcaires que l'on corrèle dans toutes les coupes . Or ces deux bancs sont constamment séparés par le même intervalle, que les bancs 5 et 6 existent ou non . Le dépôt marneux qui surmonte chacun de ces deux bancs se retrouve donc dans toutes les coupes . De même, on remarque qu'à part deux exceptions, les disparitions de bancs entre Bruis et Montclus se font préférentiellement dans cette dernière coupe, c'est à dire vers l'aval . Cependant, les intervalles séparant les bancs corrélés restent inchangés, les interlits marneux ne semblent pas affectés par ces disparitions .

Le nuage marneux qui surmonte la nappe calcarénitique et calcaire peut donc s'épandre beaucoup plus largement que celle-ci .
L'étude détaillée de cette corrélation aboutit ainsi à une reconstitution spatiale (fig.43 et 43') .

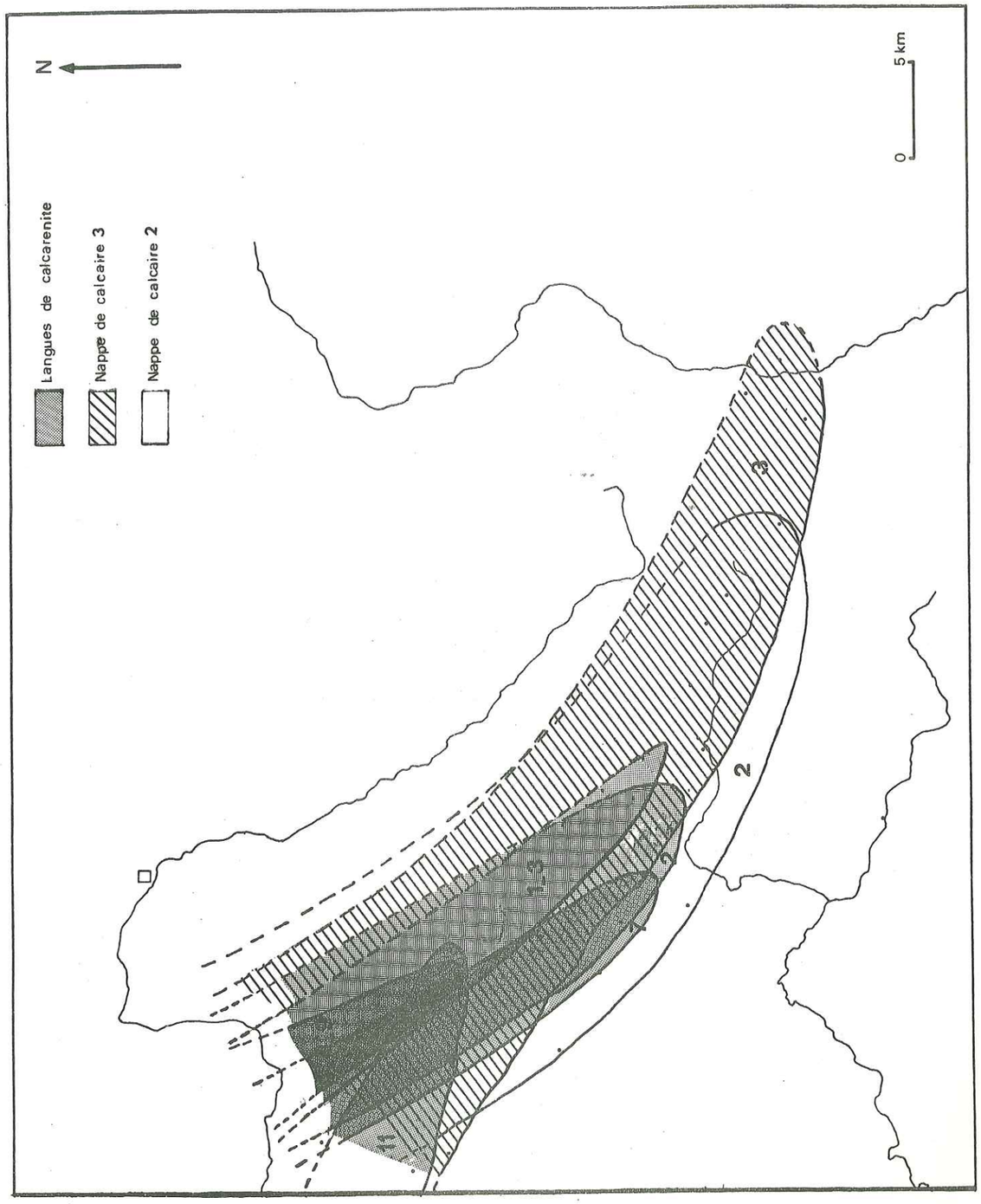
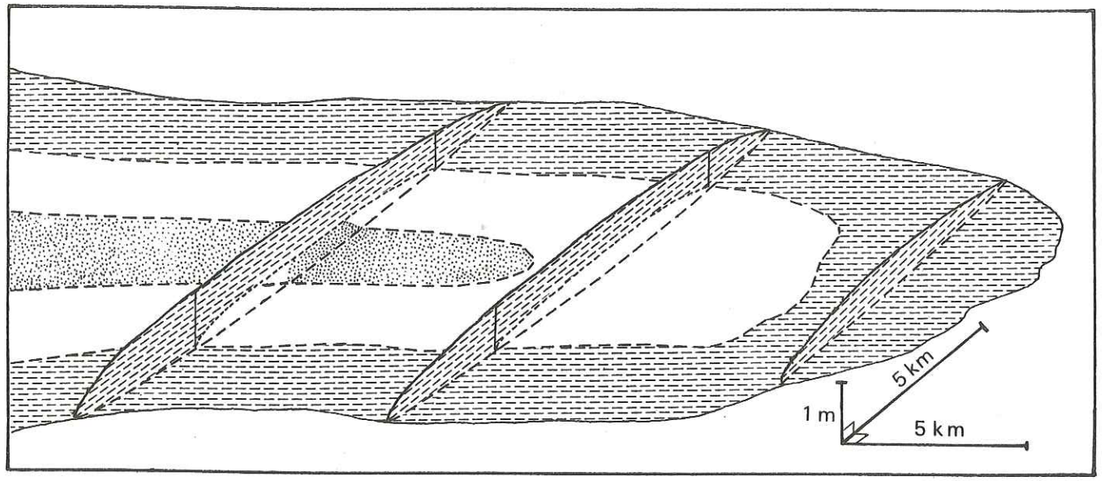


Figure 43 : Carte des "nappes"



Marnes
Calcaire
Calcarénite
---- Contact entre marne et calcaire à l'intérieur de l'unité de dépôt
– – Contact entre les différents termes à la base de l'unité de dépôt
—— Surface supérieure de l'unité de dépôt

Figure 43': Reconstitution spatiale d'une unité de dépôt

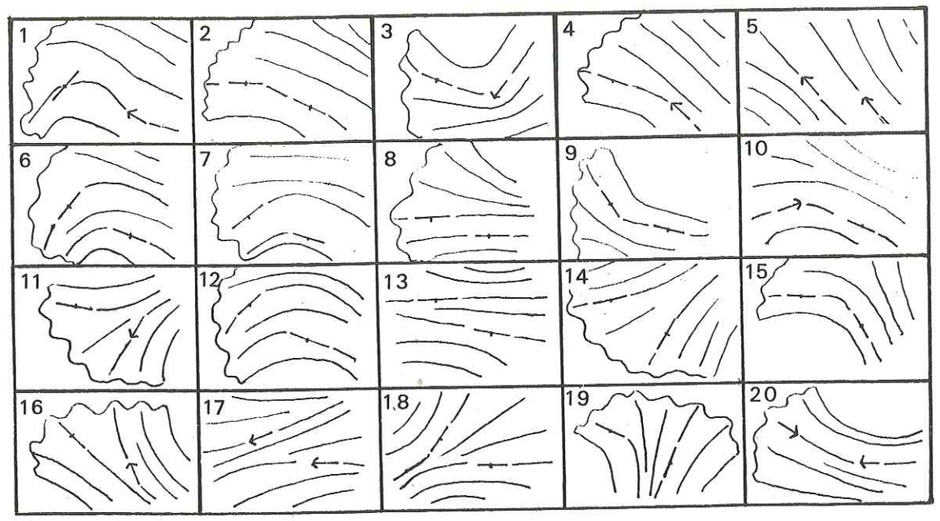
L'unité de dépôt calcarénite-calcaire-marne se présente ici comme une grande nappe allongée, constituée par une étroite bande calcarénitique passant latéralement et vers l'aval à du calcaire, et surmontée par un nuage marneux de grande extension .

Ces résultats confirment l'interprétation donnée précédemment quant à la nature de l'alternance et au caractère dynamique de son dépôt . De plus il est intéressant de souligner que la forme et l'orientation des nappes correspondent à une morphologie en sillon, qui sera étudié au chapître 3 .
Il y a donc eu guidage du dépôt par les pentes .

5.3 LE BANC VU EN PLAN

L'orientation de spicules de spongiaires donne, en un point précis, l'orientation du courant qui les a déposés . Nous avons vu que certains radiolaires, par leur forme conique, en donnaient aussi le sens .
Connaitre le courant en plusieurs points d'un même banc revenait à dresser une sorte de "carte" des courants qui l'ont apporté, et à reconstituer ainsi la géométrie planaire du banc .
- Dans le cas des coupes d'Angles et de Vergons, on s'aperçoit que les directions, si on les prolonge, forment pour chaque banc un angle, ouvert en direction de l'W ou du SW .
Les sens des courants obtenus grâce aux radiolaires (voir fig.36 schéma 1), à une exception près vont vers l'W SW ce qui confirme les observations précédentes .

Mais si l'on étudie ces directions plus en détail, on s'aperçoit que le dépôt ne s'est pas effectué au hasard : Dans le groupe de bancsa, du banc 6 au banc 4 et du banc 3 au banc 1, on constate une dérive vers l'W et un élargissement de l'angle, ce qui amène à représenter l'empilement de la façon suivante (voir fig.36 schéma 2) : les bancs se déposeraient de moins en moins loin, de plus en plus vers l'W, puis le mécanisme reviendrait au point de départ .
Il n'est d'ailleurs pas impossible que le rythme 4-5 bancs soit tributaire d'un tel mode de dépôt . En effet la position centrale ou marginale de la coupe par rapport au banc influe sur l'épaisseur mesurée .



← sens des radiolaires
—+ direction des spicules

Figure 44 : Direction des spicules de spongiaires appartenant aux bancs corrélés entre les deux rives du CAIRE

- Les deux coupes du Caire, Rive droite et Rive gauche, distantes de 500m montrent que les courants peuvent obliquer très vite car les angles entre les deux directions sont quelquefois voisines de 90° . Nous semblons être ici en présence de lobes situés vers l'aval du banc, où la concavité des "lignes de courant" est tournée vers le NE pour les exemples 1-2-4-6-7-10-12-15 de la fig.44, vers le SW pour les exemples 3-9 et 20 .
(Il faut cependant être prudents car l'importance de l'angle peut s'interpréter autrement . En effet, une population transverse minoritaire existe, à 90° de la population principale parallèle au courant .
Peut être pourrait elle dans certains cas se substituer à la population principale) .
- Il peut arriver que des lobes se croisent,
nous avons vu le cas à Angles et Vergons (banc 20-14) .
Les quatre bancs corrélés à Sisteron en sont l'illustration . Leur direction est identique à celle des mesures effectuées dans les FAC voisins tandis que l'ouverture de leur angle peu important d'ailleurs, est en sens inverse de celles ci .
- La corrélation de 12 bancs dans les coupes de Buis les Baronnies, la Rochette du Buis, Montauban et Aulan confirme les observations précédentes (voir fig.45). En effet pour les bancs 2,3,6,7,12, les directions sont disposées en éventail, ouvert vers le Nord ce qui indique une pente inclinée vers le Nord . A partir de ces directions, il est possible de représenter l'ensemble d'un banc vu en plan .

Les bancs 1 et 11, si l'on suppose que la population transverse est majoritaire dans une des coupes correspondent aussi au même schéma .

Etant donné la dispersion des directions pour la majorité des bancs, nous sommes certainement situés dans la partie aval de "l'éventail" .

Les bancs 4,9 et 10 sont orientés perpendiculairement aux précédents ce qui signifierait que nous sommes au fond d'une sorte de "gouttière" où les apports sont parallèles ou perpendiculaires aux pentes (voir chapître 3) .

5.4 LA DISPOSITION SPATIALE DU BANC

Les observations précedentes nous conduisent à reconstituer un banc qui se prolonge plus longitudinalement que latéralement .
Son épaisseur varie peu, et diminue relativement vite à la périphérie .

Sciences de la Terre BUPMC CADIST
BIUS JUSSIEU THÈSES PARIS

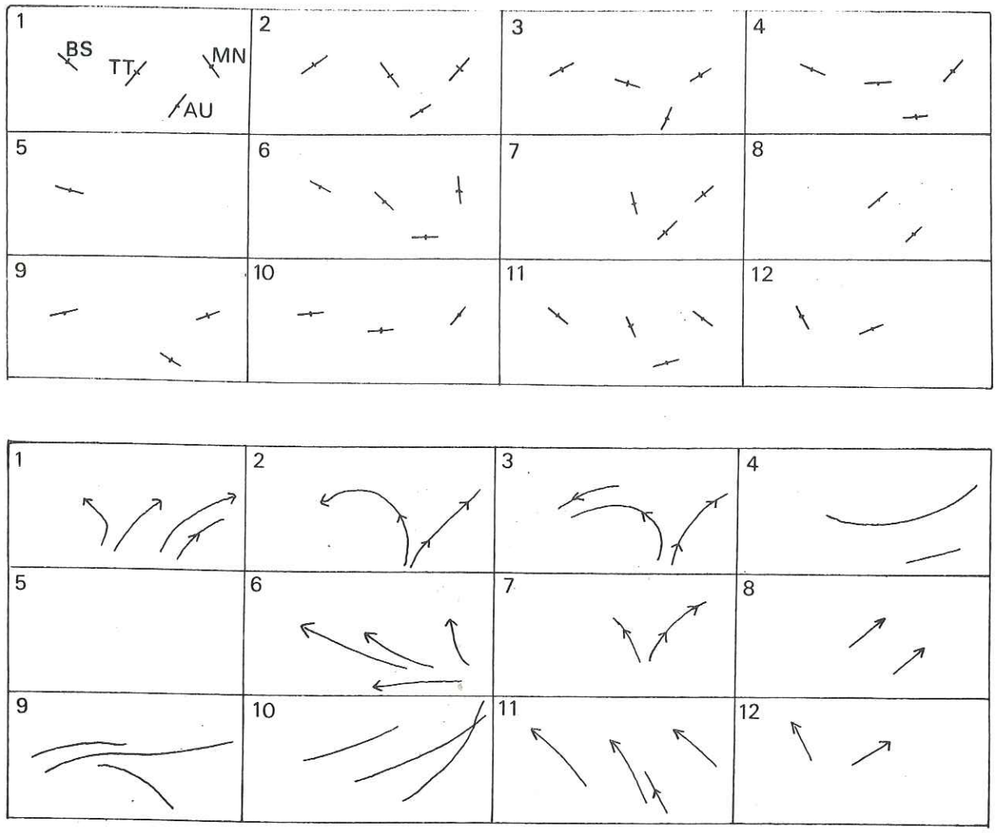


Schéma 1 : Direction des spicules pour 12 bancs corrélés coupes de BS_TT_MN_AU

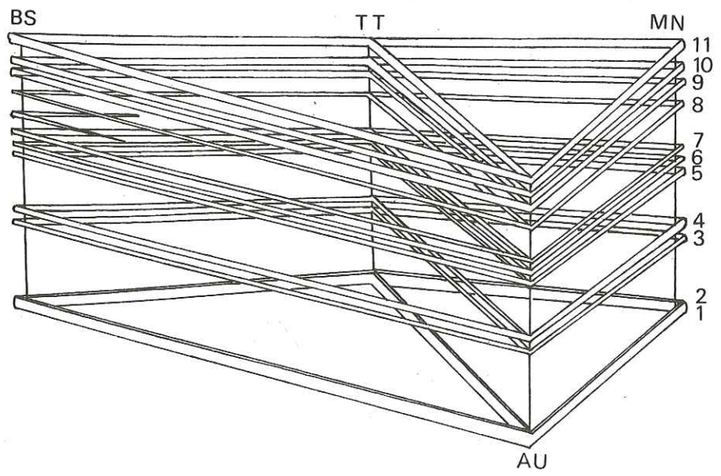


Schéma 2 : Corrélation de 11 bancs entre les coupes de BS_TT_MN et AU

Dans le plan horizontal, sa forme est fonction de la morphologie dans laquelle il s'est déplacé et déposé . Très allongée dans le cas de la corrélation BZ. PD.CC.BHU.DT.MC, elle semble plus disposée en éventail à Angles et Vergons, au Caire et dans les coupes TT.AU.MN.BS . La divergence des angles s'accentue alors vers l'aval .

5.5 L'ARRANGEMENT DES GROUPES DE BANCS DANS L'ESPACE

Nous avons souvent remarqué qu'à des zones où presque tous les bancs sont corrélés succèdent sur les logs, des zones sans correspondance possible d'une coupe à l'autre .

Pour comprendre ce phénomène, il était intéressant de construire des modèles en fixant arbitrairement l'extension des bancs, et en choisissant des coupes distantes de 10km . Seules les limites des bancs calcaires ont été tracées pour simplifier le schéma (voir fig.46) . Dans le schéma 1 l'arrangement des bancs est quelconque . Des corrélations ne peuvent être effectuées à 10km de distance .

Pour expliquer les corrélations qui ont effectivement été faites deux solutions restent alors :

On peut envisager que les dimensions d'un banc dépassent 25km . Cette éventualité a été considérée dans le schéma 2 et les corrélations sont effectivement plus faciles à réaliser .

D'autre part, les bancs ne sont peut être pas disposés au hasard . Si plusieurs bancs constituent des groupes, les corrélations seront aisées à 10km, et encore possibles à 20-25km . Sur des distances moindres, on pourra voir disparaitre et apparaitre les bancs, dans les zones marginales (voir fig.37).

Ceci ne suffit pas à expliquer la succession des zones corrélées et non corrélées .

Mais si l'on imagine un léger décalage de ces groupes (voir schéma 3) on obtient alors cette succession : la partie supérieure du log est facilement corrélable d'une coupe à l'autre tandis que la correspondance n'existe plus vers le bas .

6. CONCLUSION

Au terme de ce chapître, l'alternance marne-calcaire nous apparait donc comme une séquence élémentaire dont la polarité est dans le sens calcaire → marne

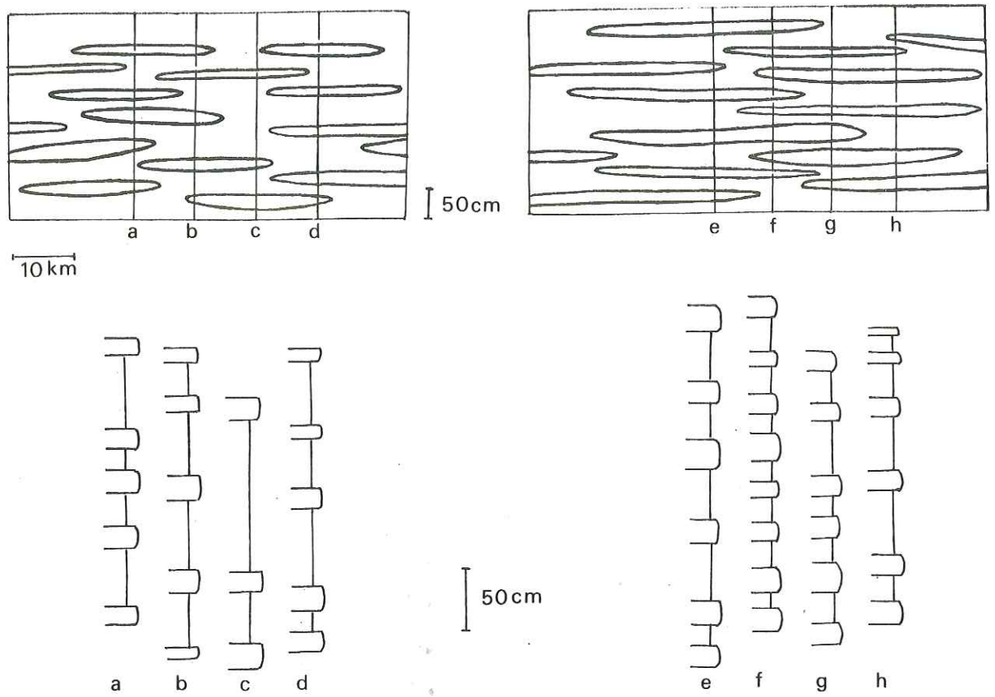


Figure 46 : Modèle reconstituant différentes dispositions possibles et différentes tailles des bancs

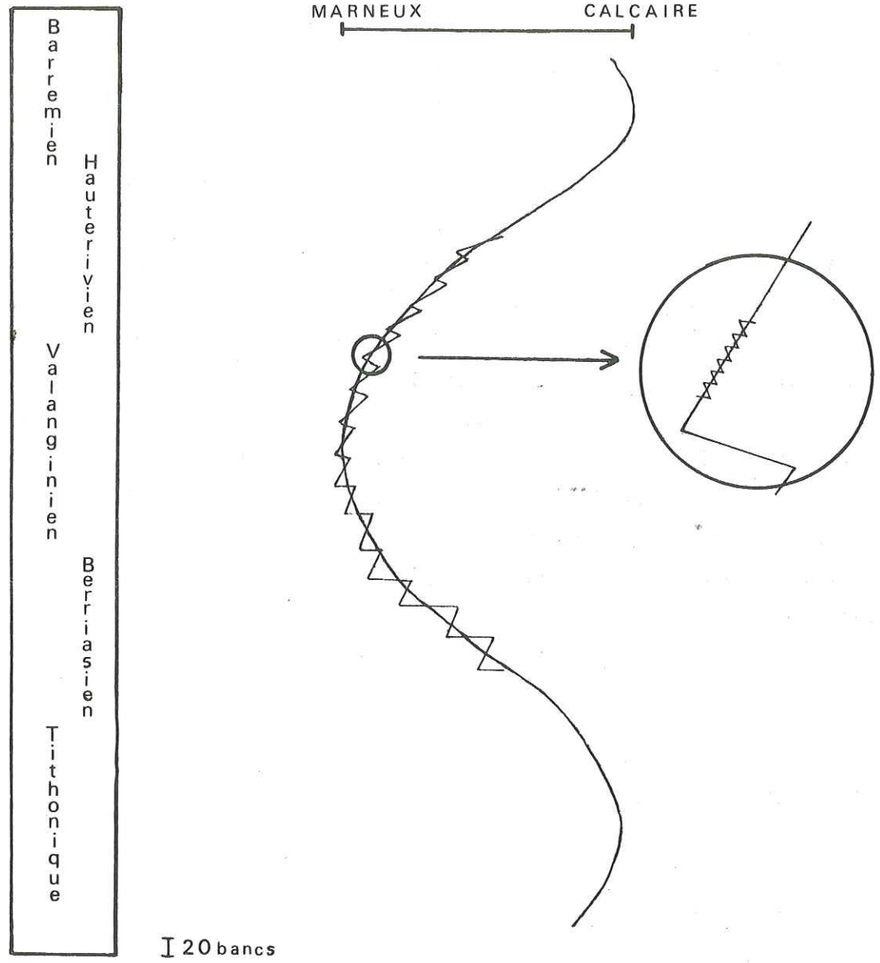


Figure 47 : Evolution du pourcentage en calcaire à différentes échelles

les modalités de dépôt relevant de processus dynamiques et la disposition dans l'espace étant bien déterminée .

D'autres séquences, d'ordre supérieur, se présentent sous forme de rythmes 15-20 bancs . Si nous resituons la période étudiée dans un contexte plus vaste, nous remarquons que le Valanginien et l'Hauterivien représentent l'évolution d'une mégaséquence, du pôle marneux valanginien au pôle calcaire barrémien .

La polarité de la séquence élémentaire du calcaire vers les marnes, celle de la séquence d'ordre supérieur, des marnes vers le calcaire sont elles indépendantes de l'évolution générale ? La figure 47 montre que dans les affleurements berriasiens qui constituent une autre mégaséquence entre le pôle calcaire tithonique et le pôle marneux valanginien, la polarité des séquences mineures reste inchangée (voir B. BEAUDOIN 77) .

Si l'on exclut les zones littorales et sublittorales, dans ce bassin des chaines subalpines méridionales, le processus de dépôt de l'alternance, uniforme du Berriasien au Barrémien semble donc guider la polarité des bancs et des rythmes tandis que les facteurs externes, climatiques ou autres, influenceraient les grandes oscillations d'un pôle à l'autre, que modulent la configuration propre du bassin .

LES STRUCTURES DE CONTOURNEMENT

Appelés dans le vocabulaire anglo saxon "slumps" ou "slides", les faisceaux contournés sont constitués de tranches de sédiments encadrées par des strates régulières et présentant en leur sein des structures témoignant d'une déformation elle même liée à un glissement sur le fond .

La démarche suivie pour les étudier sera la même que pour les alternances marne-calcaire .

L'observation des faisceaux à contournement à l'échelle de l'affleurement précisera leur structure interne, et leur génèse .

Des reconstitutions dans l'espace, à l'aide de plusieurs affleurements corrélés donneront une idée de la géométrie de ces corps glissés .

Enfin, le faisceau contourné "individu" sera replacé dans son contexte afin de percevoir les modes d'organisation du phénomène dans le temps .

1. DES DIFFICULTES D'ANALYSE

1.1 L'IDENTIFICATION DES FAISCEAUX A CONTOURNEMENT ET DE LEURS LIMITES

1.1.1 Les interactions tectoniques

S'ils se détachent avec netteté dans les falaises bien exposées, les FAC (1) sont plus difficiles à détecter dès que les conditions d'affleurement deviennent médiocres, et que la tectonique cassante s'y est exprimée . Certaines failles obliques empruntant préférenciellement les zones de moindre résistance créées par les faisceaux à contournement, la coexistence des deux phénomènes ne peut faciliter l'analyse .

Il est quelquefois difficile de savoir si une légère ondulation des couches est due à la tectonique souple ou à un glissement surtout si la surface de l'affleurement est limitée .

1.1.2 Les séries très marneuses

Une autre difficulté, évoquée par MOUTTE et SOLER est celle du repérage des faisceaux contournés dans une série à dominante marneuse .

Il est très difficile en effet de repérer des contournements dans les marnes s'ils ne sont pas soulignés par des bancs calcaires .

(1) FAC ou faisceaux à contournement .

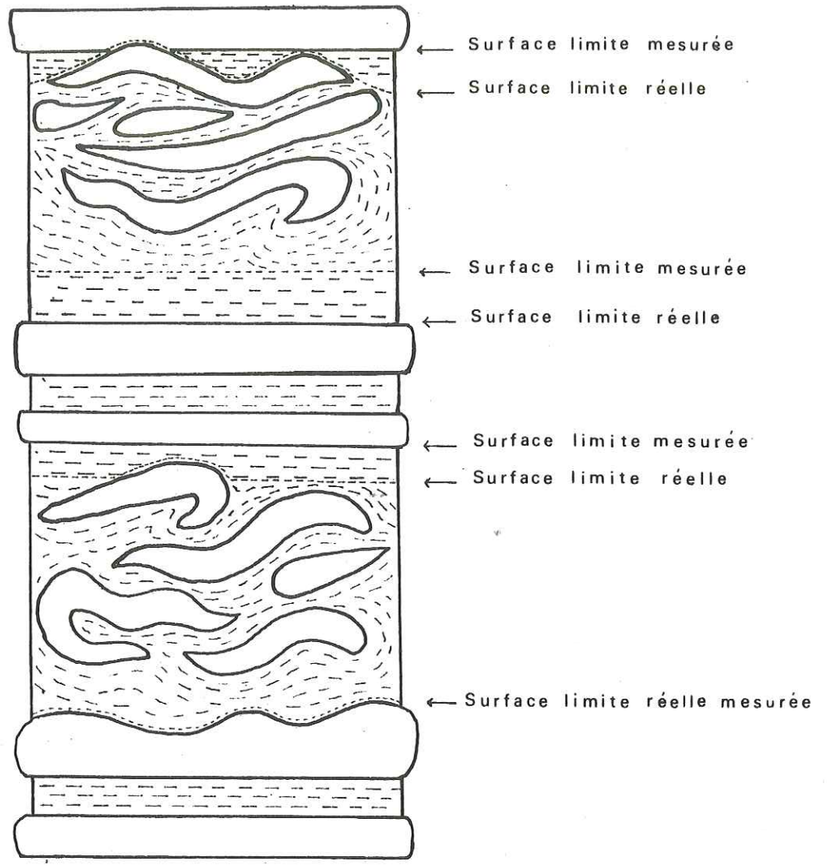


Figure 48 : Limites inférieures et supérieures dans les FAC. Voir J.BIE 73.

Souvent, la présence de quelques boules calcaires indique seule qu'un glissement s'est produit . D'autre part, la structure des FAC valanginiens où le biseautage de bancs calcaires isolés dans une matrice marneuse est très fréquent (voir fig.56) ne facilite pas toujours l'interprétation .

1.1.3 Les limites d'un FAC

Une incertitude pèse aussi sur la détermination des limites inférieures et supérieures d'un FAC . J. BIE (73) a envisagé les différents cas possibles . Etant donné les difficultés à analyser les structures à l'intérieur des marnes et des calcaires il a convenu de fixer la limite supérieure du FAC au premier banc calcaire dont la surface supérieure est parallèle à la stratification et la limite inférieure au dernier banc dont la surface inférieure est plane et parallèle au plan de référence (voir fig.48) .

La connaissance de l'agencement vertical d'un faisceau à contournement (voir paragraphe 2.1) aide à préciser la limite supérieure . Elle est marquée dans certains cas par une calcarénite, aisément repérable, même dans le cas de conditions d'affleurement médiocres .

1.2 LES TELESCOPAGES

Les faisceaux contournés, lors de leur mise en place ravinent fréquemment leur substratum . Si celui ci est constitué d'un autre faisceau contourné, la limite est plus ou moins visible suivant les caractèristiques de chacun d'entre eux .

1.2.1 La coupe du Caire

J. BIE (73) analysant deux faisceaux à contournement en rive gauche de la coupe du Caire n'en observait qu'un seul en rive droite, à 500m de distance, sans pouvoir mettre en évidence la surface de contact (voir fig.72 et 74) .

1.2.2 Les coupes de Verclause et de Montclus

Lorsque la nature et le comportement du matériel est différent pour les 2 FAC, la surface de télescopage est au contraire très précise .

Tel est le cas des deux FAC hauteriviens près du village de Verclause, où de gros bancs calcarénitiques à silex, tordus en rouleaux, surmontent des bancs calcaires micritiques, dont les structures internes, très fines, soulignent le contournement (voir photo 17) .

Dans la coupe de Montclus, il est possible d'individualiser 4 faisceaux à contournement empilés sans intercallations de bancs reconnaissables par les différences de leur structure interne (voir fig.5, FAC 31-32-33-34) .

1.2.3 Les discontinuités lithologiques

Une discontinuité dans un FAC n'est pas toujours une preuve de télescopage . En effet MOUTTE et SOLER (75) citent l'exemple d'un faisceau où la discontinuité est de nature lithologique (passage de l'Oxfordien supérieur calcaire au Kimméridgien marno-calcaire) .

Ces quelques exemples montrent donc qu'il n'est pas toujours facile de lever l'incertitude quant à l'unicité d'un faisceau à contournement . Il faudra tenir compte de ce fait lors de l'interprétation des coupes .

1.3 LES PROBLEMES D'ANALYSE DES STRUCTURES

L'affleurement étant souvent constitué d'un seul plan, il s'agit à partir de deux dimensions de reconstituer les volumes .

Par exemple, une forme arrondie en coupe peut être dans l'espace une véritable "boule" tout comme une section de "lentille" ou de "rouleau" tronqué ce qui ne correspond pas au même état de démantèlement du sédiment (voir fig.49 et paragraphe 2.2.2) .

L'interprétation peut aussi être différente si les structures internes des éléments sont visibles ou pas .

La portion de couche, repliée en rouleau de la fig.50 aurait pu être interprétée comme une structure en aile d'avion (voir fig.51) ce qui aurait modifié la signification donnée à la mesure de son axe .

2. LE FAISCEAU A CONTOURNEMENT

2.1 AGENCEMENT VERTICAL D'UN FAISCEAU A CONTOURNEMENT

Si l'on prend l'exemple de la coupe de Montclus (fig.5) une succession verticale apparait pour un certain nombre de FAC . On observe de bas en haut dans les FAC suivants :

S30 = bancs contournés , calcarénite
S36 = boules, bancs contournés et boules , calcarénite
S39 = boules, bancs contournés, boules
S43 = bancs contournés , calcarénite
S46 = boules, bancs contournés, boules, calcarénite
S48 = bancs contournés, boules, calcarénite
S52 = bancs contournés, boules, calcarénite
S54 = boules, bancs contournés, calcarénite
S55 = bancs contournés , calcarénite .

Sciences de la Terre
BUPMC
CADIST

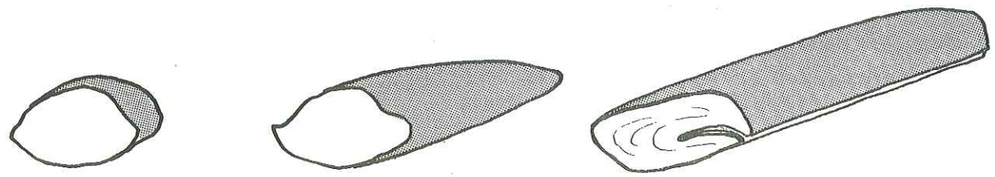


Figure 49 : "Boule" "lentille" et "rouleau tronqué".
Reconstitution spatiale

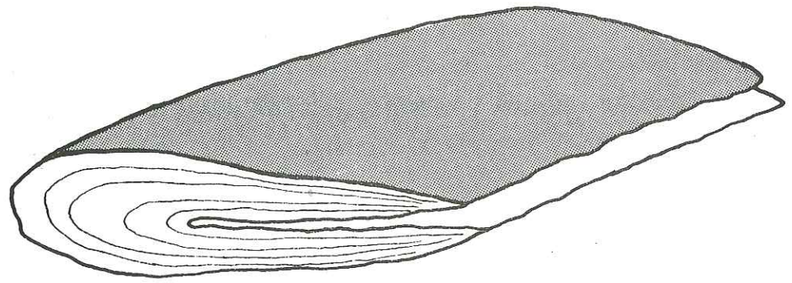


Figure 50 : Rouleau pouvant être confondu avec une "aile d'avion"

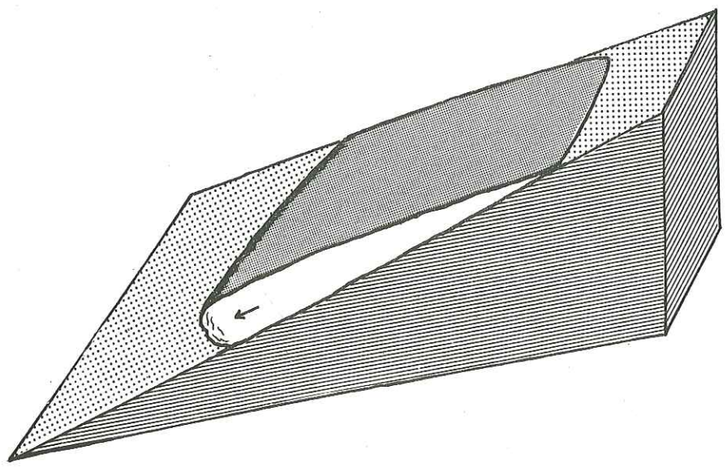


Figure 51 : "Aile d'avion" sur une pente

Donc, à partir de ces exemples, nous pouvons établir la succession complète ou séquence type :

- boules (= conglomérat de base)
- bancs contournés
- boules (= conglomérat sommital)
- calcarénite

Cette succession avait déjà été reconstituée en 75, par B. BEAUDOIN et I. POUSSIN dans le Tithonique et le Berriasien de la région de St Geniez . S. FERRY (76) avait aussi observé des conglomérats et leur calcarénite associée.
Comment expliquer cet agencement ?
La signification du conglomérat basal est différente de celle du conglomérat sommital . Le premier correspond à la zone des frottements au contact du substratum . Ce qui aboutit au démantèlement des éléments .
Pendant le trajet, une ségrégation se fait parfois entre les éléments plus volumineux du FAC et ses éléments plus légers .
C'est pourquoi un autre conglomérat apparait vers le sommet du FAC, surmonté d'une calcarénite .

Le schéma d'un affleurement berriasien sur la route de Pennes le Sec (voir fig.52) donne plus de détails sur l'évolution au sommet d'un FAC . Il montre une surface de séparation entre les gros éléments du conglomérat et les éléments plus fins . Elle correspond à une certaine désolidarisation due à des vitesses différentes : plus les éléments sont légers, plus ils vont vite et se déposent loin .

On peut expliquer ainsi les figures de courant observées à la base de certaines calcarénites par B. BEAUDOIN et I. POUSSIN, au sommet de FAC berriasiens (B. BEAUDOIN 77) .
Alors que le FAC s'est stabilisé, la calcarénite continue à progresser en érodant son substratum . Elle peut même dépasser le faisceau à contournement qui n'aura plus dans ce cas sa calcarénite sommitale .

Il est possible de préciser encore cette évolution verticale en ce qui concerne les bancs contournés .
En effet, à la base figurent généralement les bancs les moins démantelés (ils sont en général peu ondulés) tandis que les rouleaux et les boules les surmontent (voir S8, S29, coupe de Montclus) .
Sans doute, les bancs de la base correspondent ils à des lambeaux arrachés au cours du transport, donc ayant parcouru moins de distance .

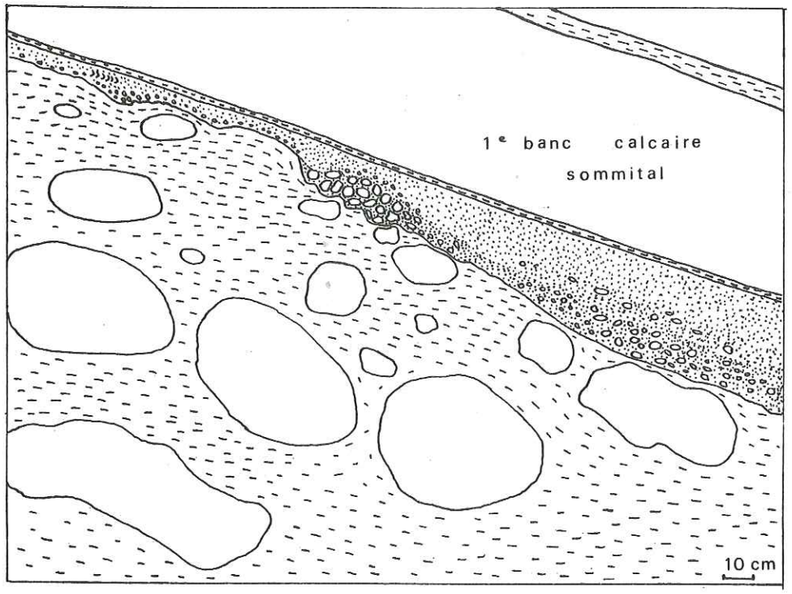


Figure 52 : Partie supérieure d'un FAC berriasien
route de PENNES LE SEC

On observe aussi parfois un enrichissement en marnes vers le sommet du faisceau ce qui correspondrait à une ségrégation par densité (voir faisceaux S2,S8 coupe de Montclus) .

En conclusion, précisons que la séquence type complète se retrouve rarement . Très souvent, surtout au Valanginien et à l'Hauterivien, nous n'observons que les bancs contournés (voir fig.9) .
Peut être le transport n'est il pas assez long pour permettre la ségrégation des éléments .

2.2 STRUCTURE INTERNE D'UN FAC

2.2.1 Matrice et éléments : viscosité respective

Au Valanginien et à l'Hauterivien, chaque faisceau est composé d'une matrice marneuse et d'éléments calcaires . Leur pourcentage respectif varie de 0 à 100%, mais il est rare de voir un FAC uniquement calcaire ou uniquement marneux . Cependant dans ce dernier cas, l'absence de structures aisément repérables gène l'observation .
L'abondance du calcaire par rapport aux marnes ou inversement est intéressante à étudier car elle peut donner une idée de la viscosité de ces deux composants .

Ce sont les alternances qui nous donnent une première idée de cette viscosité respective, à la base des FAC : *le premier banc non contourné est souvent un banc calcaire* . Cette constatation se base sur l'analyse statistique d'une centaine de faisceaux à contournement . Sans doute, les interlits marneux, plus fluides résistent ils mal à l'érosion et sont ils immédiatement dilacérés .

La surface supérieure d'un faisceau à contournement *n'est pas toujours plane*, ce qui traduit une certaine viscosité . Mais une analyse plus détaillée montre que les protubérances sont presque toujours dues aux éléments calcaires (voir photo 16) .
En outre dans la coupe du Caire, les surfaces supérieures des FAC Tithoniques calcaires sont très irrégulières (voir B. BEAUDOIN et al. 75) . Mais ici, la viscosité importante des masses calcaires est aussi due à un début de lithification, un décalage chronologique important existant entre le faisceau tithonique et son substratum berriasien .

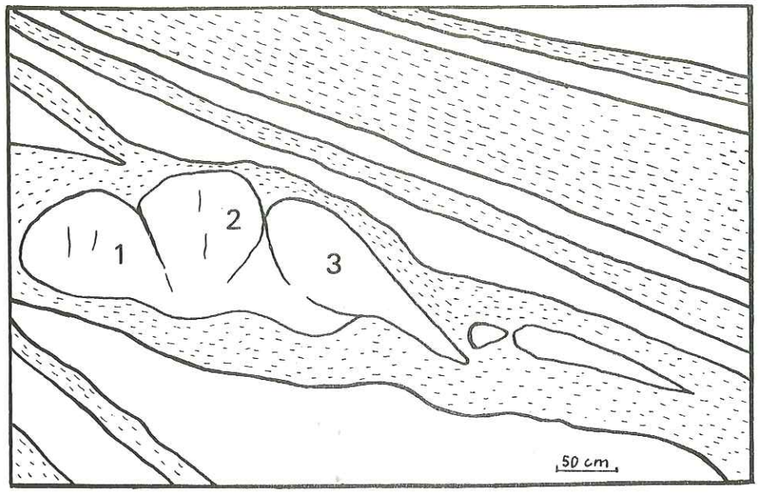


Figure 53 : Détail dans un FAC - VERGONS

HAUTERIVIEN

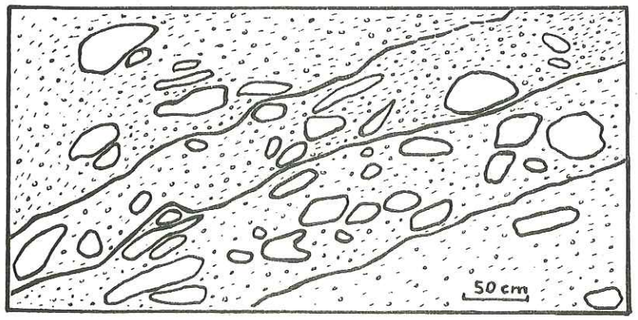


Figure 54 : FAC constitué de boules de taille variable

HAUTERIVIEN coupe SIV

Quelques observations effectuées sur des éléments calcaires ont fourni des renseignements supplémentaires : la fig.53 montre le bombement d'un amas calcaire aplati sur une autre masse calcaire . Le choc a donc provoqué une légère déformation de l'ensemble sans en modifier l'aspect général . Ceci confirme donc *la grande viscosité des éléments calcaires* .

Peu d'observations ont été effectuées sur la matrice marneuse . Cependant la fig.54 nous montre un faisceau à contournement constitué de boules noyées dans une matrice marneuse, qui semble avoir glissé en plusieurs épisodes . Entre chacun d'eux, la surface de séparation est visible ce qui prouve que *les marnes n'ont pas la consistance d'un liquide*, même très visqueux à moins qu'une diagénèse précoce aie consolidé les niveaux entre les deux épisodes .

2.2.2 Les structures

- Les couches biseautées

Pour qu'il y ait glissement, il faut qu'une rupture se soit produite . Les bancs biseautés sont fréquents, aussi bien dans les faisceaux à contournement calcaires que marneux .

Au Valanginien, ils constituent l'essentiel de FAC aux dimensions imposantes (voir fig.55 et 56) .

La fig.55 montre que les bancs ont tendance à être groupés en ensembles de forme parallélépipédique . Le biseau indiquerait la direction de la pente, ce qui a été vérifié par d'autres mesures .

Un affleurement berriasien, dans le ravin de Salles comprend une succession de ces parallélépipèdes . Ils se sont individualisés par l'apparition de fentes dans une série alternante sous l'effet de la pente (voir paragraphe 2.3.1) .

L'inclinaison de la surface biseautée correspond au sens de la pente (1)

Les couches biseautées, en glissant, peuvent se désolidariser les unes des autres (voir fig.56) et acquérir une géométrie particulière : c'est "l'aile d'avion" dont l'extrémité aval s'arrondit tandis que l'extrémité amont s'effile (voir fig.57 et photo 19) .

Il est donc possible, à l'aide d'une telle structure, de reconstituer le sens du glissement . Mais ce critère n'est plus valable si l'aile d'avion a rencontré à la fin de son parcours un obstacle important susceptible de dévier sa

(1) voir le travail d'option de P. JOSEPH et Th. SEMPERE 77 .

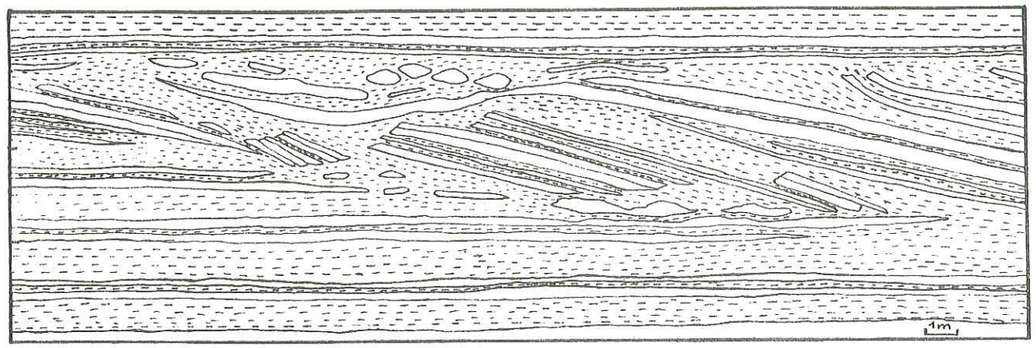


Figure 55 : Groupes de bancs biseautés dans un FAC
VAUBELLE - VALANGINIEN

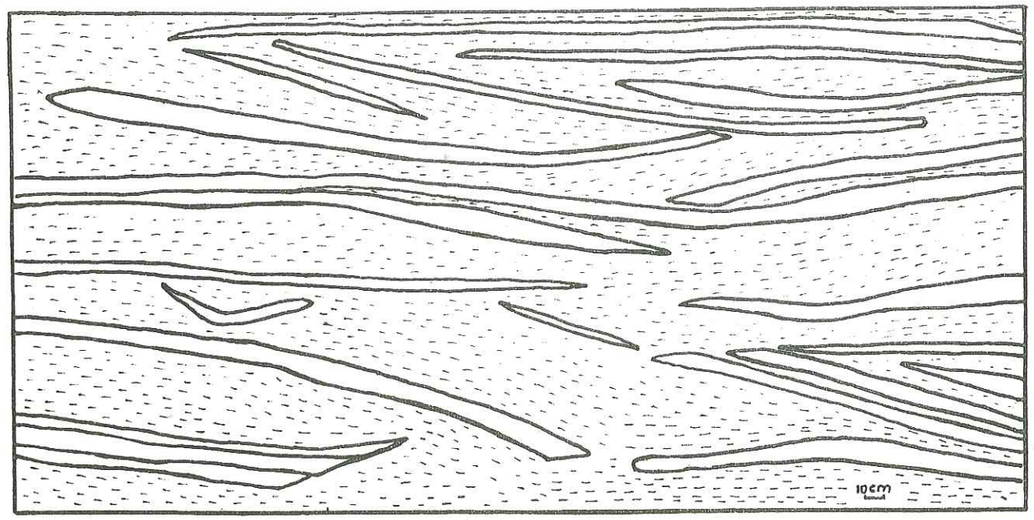


Figure 56 : Bancs biseautés . LES GRANGES - VALANGINIEN

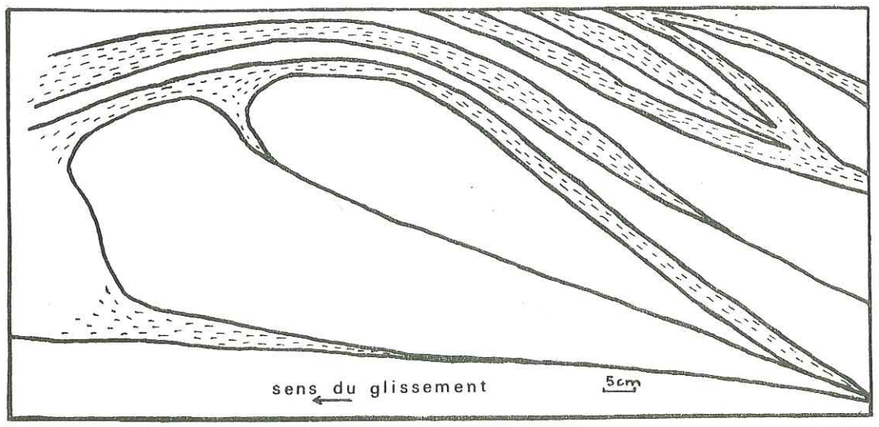


Figure 57 : Ailes d'avion LES TOURRES - HAUTERIVIEN

direction . Il faut aussi que sa longueur soit suffisante pour l'empêcher de tournoyer en glissant, et que ce soit une véritable aile d'avion, et non une portion de couche repliée sur elle même (voir fig.50) .
De nombreuses mesures doivent donc être effectuées avant de pouvoir tenir compte des résultats dans la reconstitution du sens de la pente .

Cependant toutes les couches fractionnées ne possèdent pas cette asymétrie . Peut être dans certains cas, leur grand axe aurait il pu donner une information directionnelle, mais les 3 dimensions de l'espace sont nécessaires pour déterminer l'allongement maximum .

- Les amas calcaires

Parfois, des bancs calcaires s'agglomérent et glissent en amas . Ces masses de vase calcaire, en dévalant les pentes, prennent souvent un aspect arrondi, et il est quelquefois possible de retrouver l'ordre d'arrivée des "paquets vaseux" ce qui indique le sens de la pente .
Sur l'affleurement de la fig.53 l'ensemble 3 a recouvert l'extrémité effilée de l'ensemble 2, la collision ayant provoqué un bombement de l'ensemble 3, il en a résulté une asymétrie .
Une aile d'avion confirme les déductions précédentes quant au sens du glissement .

- Les rouleaux

Ils sont appelés ainsi pour éviter la confusion avec les plis, d'origine tectonique . Au cours du glissement, les bancs sont tordus et constituent ces structures .

o Les axes

Lorsque l'ensemble du rouleau progresse à la même vitesse, l'axe, rectiligne, indique l'horizontale à la période du dépôt, ou paléohorizontale . Si le front du rouleau n'a pas progressé partout à la même vitesse, des torsions se produisent et il est difficile d'effectuer une mesure précise.

Dans le cas de structures très démantelées, une partie ou la totalité des rouleaux, en tournoyant, prennent l'aspect de boules et progressent alors parallèlement au grand axe de la structure . Les mesures reportées sur rosace montrent dans ce cas deux alignements perpendiculaires .

o Les mesures sont effectuées de la façon suivante . Si le pendage des couches est faible (moins de 30°) l'axe du rouleau est mesuré directement, la boussole parallèle à l'axe indique la paléohorizontale (voir fig.58) .

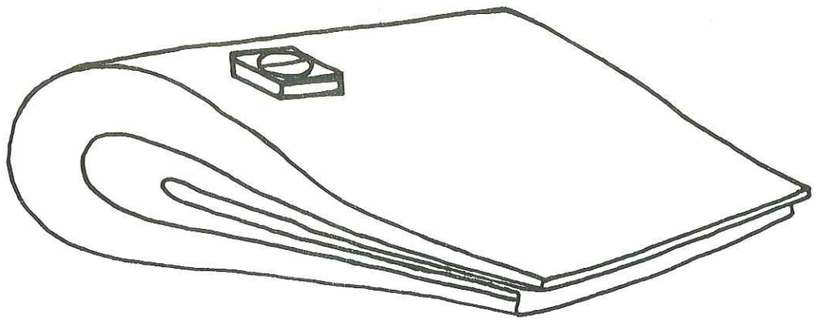


Figure 58 : Mesure directe de l'axe du rouleau

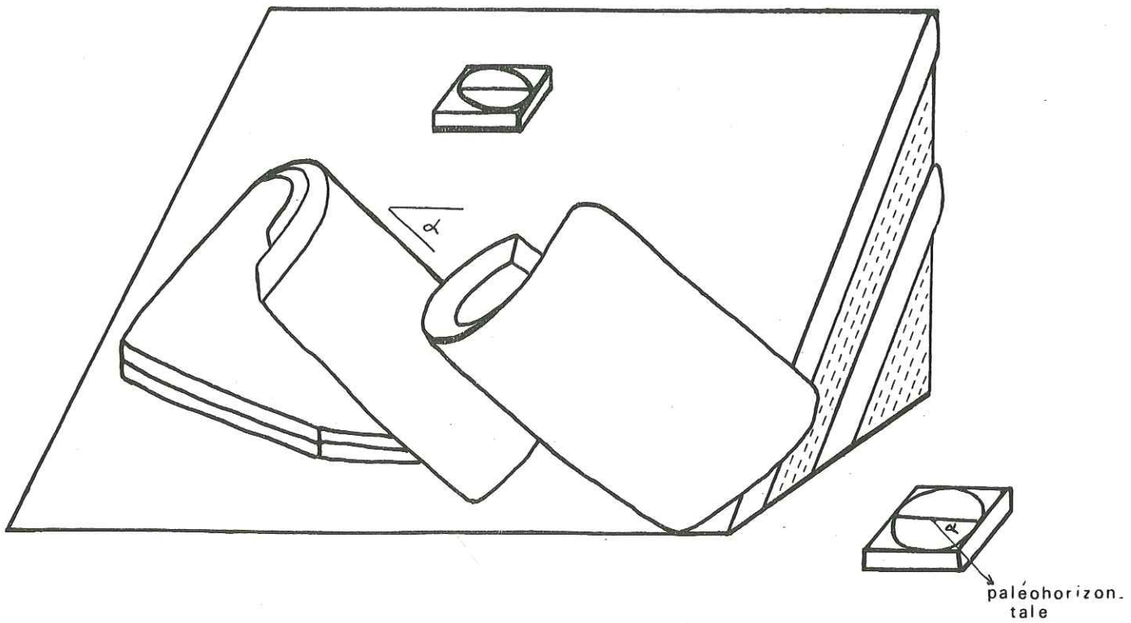


Figure 59 : Mesure de la paléohorizontale par rabattement

Si le pendage des couches est important, l'erreur n'est plus négligeable, il faut alors mesurer l'horizontale des couches et lui ajouter ou soustraire l'angle α de plongement de l'axe (voir fig.59) .

Comme peu de faisceaux à contournement se prètent à de nombreuses mesures, il était intéressant de connaitre la validité de quelques mesures isolées .

Dans plusieurs FAC de la coupe de Montclus et d'autres coupes, nous avons effectué une vingtaine de mesures . La dispersion n'est que de 60°, avec un maximum important vers la bissectrice de cet angle . Une mesure isolée n'est donc pas totalement dépourvue de signification .

o Le déversement des rouleaux

Les formes décrites précédemment, symétriques n'indiquaient que la direction du glissement . Les rouleaux déversés en précisent le sens (voir fig.60) .

o La morphologie des rouleaux

Quoique d'origine différente, rouleaux et plis peuvent avoir des morphologies semblables . Si aucun rouleau n'a de couches rigoureusement isopaques, certains sont cependant très proches de la structure concentrique (voir fig.61) . Des rouleaux de même dimension peuvent au contraire avoir des charnières renflées et des flancs très étirés (voir fig.62 et 63) . Il faut interpréter cela comme une différence de plasticité du matériel (voir paragraphe 2.2.3) . Une exagération de cette tendance produit des structures de formes variées appelées phacoïdes caractérisées par la finesse de leurs structures internes (voir fig.64).

o Les stries et cannelures à la surface des structures

A la surface des rouleaux, dans certains affleurements, on remarque de petites cannelures, ou crénulations (voir fig.65) . Elles sont organisées en deux ou trois "familles", l'une parallèle à l'axe du rouleau, les deux autres à 60 degrès, ce qui rend difficile leur utilisation pour la mesure d'une direction . Même si l'une des familles existe seule, il n'est pas possible de savoir si elle est parallèle à l'axe des rouleaux . Ces crénulations sont asymétriques (ce qui permet de reconstituer les mouvements relatifs d'un niveau par rapport à un autre) .

Perpendiculairement à l'axe des rouleaux les stries de glissement se développent, plus continues et plus régulières que les crénulations (voir fig.66) . Assez rares dans le Valanginien et l'Hauterivien, elles sont provoquées par le glissement des feuillets qui forment le rouleau .

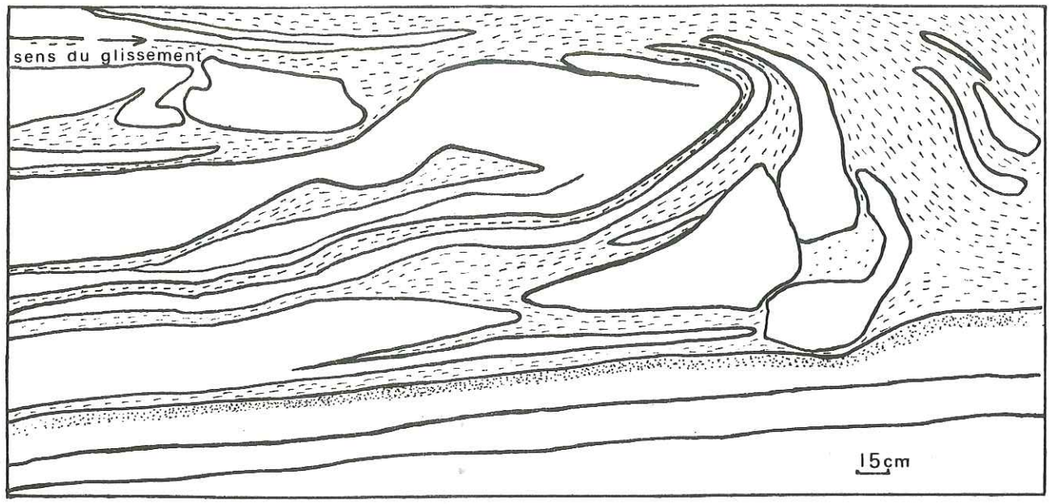


Figure 60 : Rouleaux . HAUTERIVIEN. Coupe de BALLONS

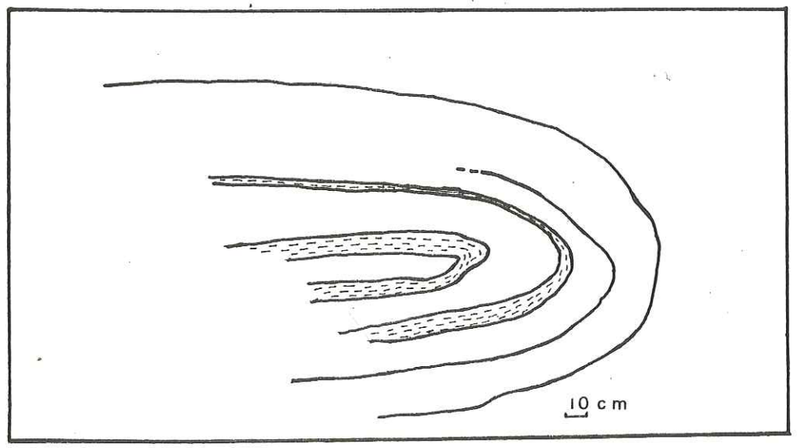


Figure 61 : Exemple d un rouleau concentrique
LES TOURRES , HAUTERIVIEN .

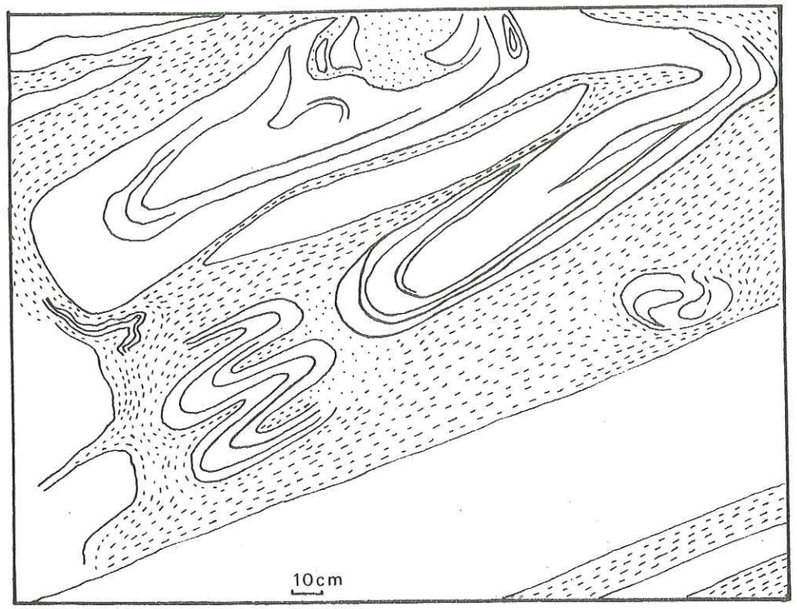


Figure 62 : Détails dans le FAC S 31. MONTCLUS
HAUTERIVIEN

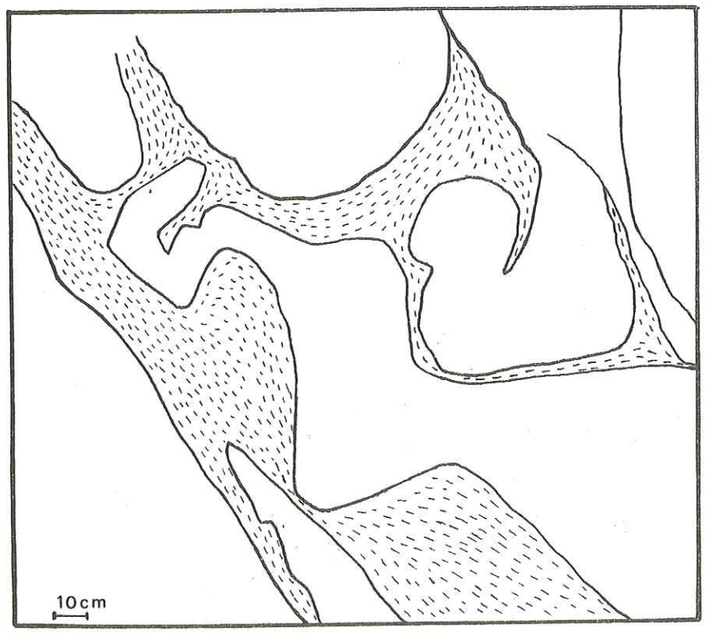
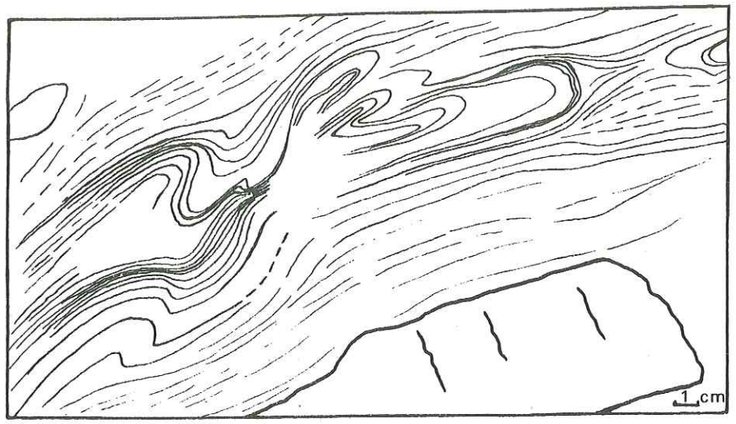
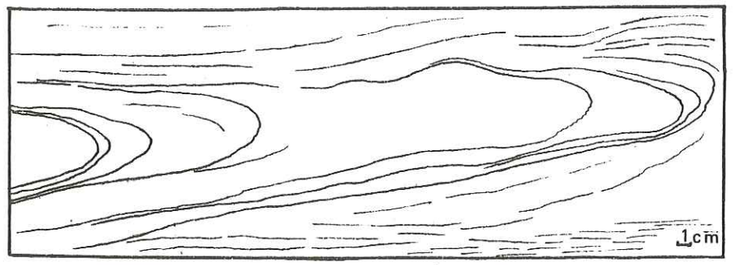


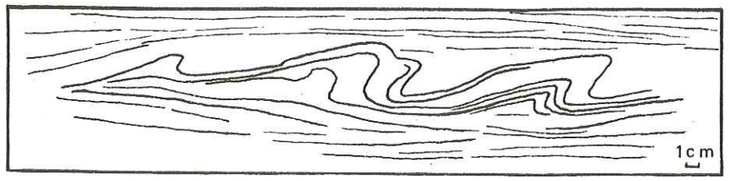
Figure 63 : Rouleaux . Coupe de SISTERON .
Limite HAUTERIVIEN BARREMIEN



ENAUX _ HAUTERIVIEN



LES TOURRES _ HAUTERIVIEN



LES TOURRES _ HAUTERIVIEN

Figure 64 : Micro structures dans les FAC

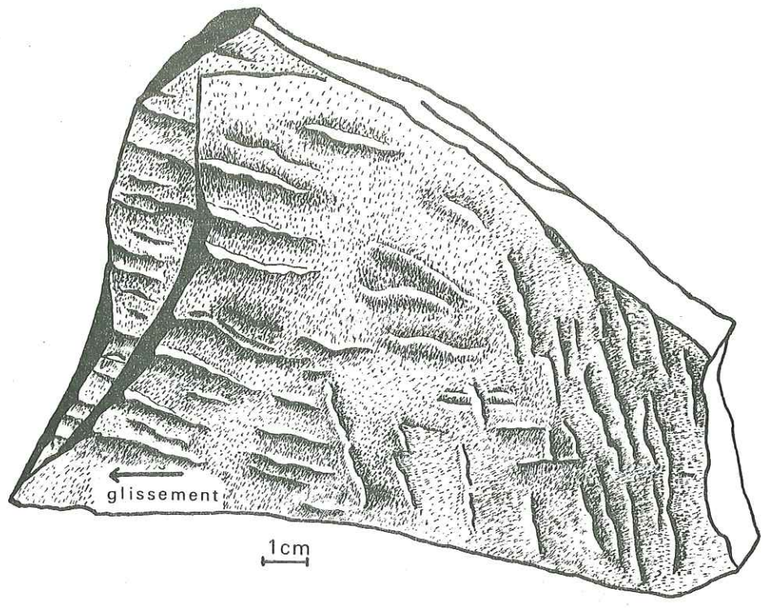


Figure 65 : Crénulations

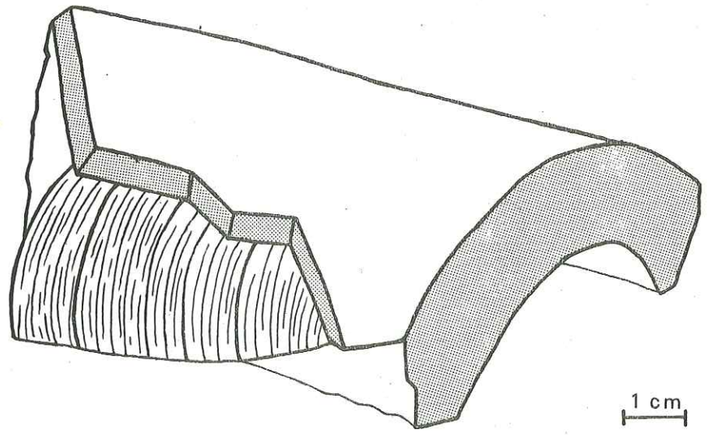


Figure 66 : Stries de glissement

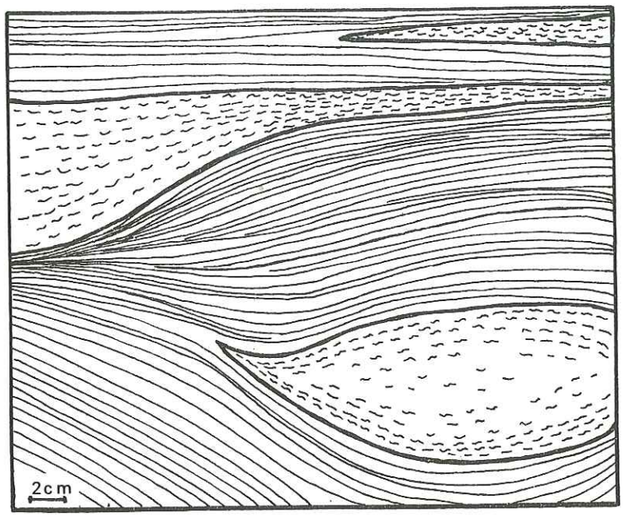


Figure 67 : Bioturbaturbations étirées dans une"boule"
VAUBELLE _ Valanginien

A la base des faisceaux à contournement d'autres structures sont aussi présentes .

MOUTTE et SOLER (75) décrivent les cannelures de pression imprimées sur le substratum parallèlement à l'axe du rouleau .

P. JOSEPH et Th. SEMPERE (77) ont observé dans le Berriasien de Rimorel une surface striée par des objets divers . La présence de l'objet à la fin du parcours nous donne le sens du glissement du FAC .

- Les boules

Il ne s'agit plus ici de portions de couches ayant en coupe une forme arrondie (rouleaux tronqués) mais de véritables boules dans les trois dimensions de l'espace . Leur taille varie du millimètre à quelques mètres . Leur forme est souvent assez irrégulière, des éléments plus grossiers se sont quelquefois aglutinés à la périphérie au cours du transport .

Mais les boules sont quelquefois fuselées, leur aspect est alors très voisin de celui des "bombes volcaniques", on y reconnait les extrémités effilées, et les bordures en crête (voir photo 26) .

A la surface des feuillets, se trouvent parfois les crênulations observées sur les rouleaux .

La plupart des boules n'ont pas de structure interne visible, à l'exception des bioturbations . Quand elles en possèdent, elles montrent des reploiements de lambeaux de couches (voir fig.62), ou des bioturbations étirées en alignements parallèles (structure en pelure d'oignon) (voir fig.67, photo 25). L'étirement s'accentue du centre vers la périphérie . En effet au centre, les bioturbations sont peu ou pas déformées .

Leur allongement n'est pas indépendant de la direction de la pente, mais dans l'Hauterivien de Beaumont en Diois, nous avons deux "familles" à considérer, à 90° l'une ayant progressé par glissement, l'autre par roulement . Il convient donc d'être prudent quant à l'interprétation de ce genre de mesures .

2.2.3 Plasticité du matériel

Les observations du paragraphe précédent nous ont déjà montré que la plasticité des éléments n'était pas toujours identique .

Il faut considérer d'une part, les FAC où les rouleaux sont formés de couches isopaques et où les bioturbations, à l'intérieur des boules n'ont pas subi de déformation importante

L'étirement est donc plus important, les boules doivent surtout leur forme à l'usure du transport .

Mais il existe aussi des FAC dont la structure témoigne de déformations beaucoup plus poussées . Les rouleaux, étirés à l'extrême sur les flancs ont des charnières renflées (voir photo 24) .
Les microstructures soulignées par les bioturbations étirées et par des litages apparaissent très nombreuses (voir fig.64 et photos 24-25) .
L'extrême plasticité de la matière est mise en évidence par les lambeaux de bancs, ployés en tous sens (voir fig.62) .
La forme fuselée des boules en est une autre preuve . En effet, la similitude de forme entre les boules et certaines bombes volcaniques souligne le fait qu'elles se sont formées à partir d'un matériel très malléable tourbillonnant dans un fluide .

Il est intéressant de se demander quels facteurs conditionnent ces états différents du sédiment . Le temps écoulé entre le 1er et le 2e dépôt peut avoir de l'importance . Mais P.C. de GRACIANSKY (72) signale la présence de boules calcaires fuselées, d'âge Barrémien et Bédoulien dans les marnes du Gargasien .
B. BEAUDOIN et al. (74) ont montré que du Tithonique s'était resédimenté dans du Berriasien de la coupe du Caire .
La coupe de Bellegarde (Hauterivien) montre un FAC daté de la zone à *Nodosoplicatus* à l'intérieur de la zone à *Ligatus* .

Donc plusieurs millions d'années après le 1er dépôt, les sédiments peuvent être assez plastiques pour qu'une déformation de style très souple se produise . Mais, même si l'induration du sédiment a lieu tardivement, le facteur temps n'est pas forcément négligeable dans tous les cas .

Le comportement des éléments pourrait aussi dépendre de leur composition chimique . Il faut remarquer que les FAC d'une même coupe ont en général les mêmes caractères : par exemple à l'E du terrain, les FAC de Daluis sont peu étirés par rapport aux Tourres, à Enaux et à St Dalmas .
Ce qui correspond pour l'ensemble du matériel à une teneur en matière organique plus forte aux Tourres, à Enaux et St Dalmas qu'à Daluis . Mais sans doute faut-il aussi tenir compte de la distance parcourue pendant le glissement qui doit faire varier certaines propriétés mécaniques du sédiment .

2.3 LES STADES DE FORMATION ET D'EVOLUTION D'UN FAISCEAU A CONTOURNEMENT

2.3.1 Formation d'un faisceau à contournement

Les seuls renseignements concrets recueillis sur ce sujet proviennent d'un affleurement berriasien, dans le Ravin de Salles, près de Luc en Diois, étudié par P. JOSEPH et Th. SEMPERE (1977) .

Ils ont observé que des fentes remplies de calcarénite ou de calcaire sectionnaient sur plusieurs mètres les alternances marnes calcaires . Ils ont repéré une vingtaine de ces fentes, sur un affleurement long d'une centaine de mètres (voir fig.68) .

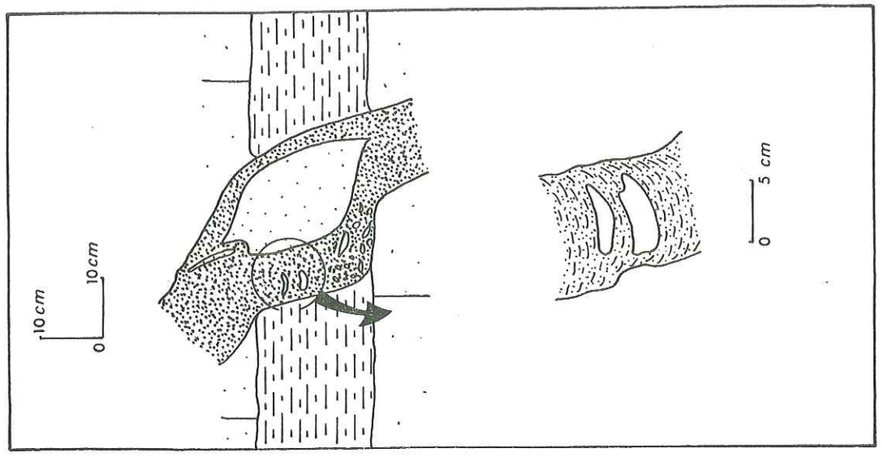
Il semble bien que nous soyons là en présence de la zone de départ d'un faisceau à contournement : sur une pente (5%) des fentes se sont formées et ont commencé à isoler des blocs . Une calcarénite se déposant ensuite a comblé ces fentes sa progression est matérialisée par l'allongement des particules parallèles aux bordures (voir fig.68 schéma 3) .
Ces fentes ne sont pas toujours perpendiculaires aux bancs . Leur obliquité nous renseigne sur le sens du glissement (voir fig.68) .

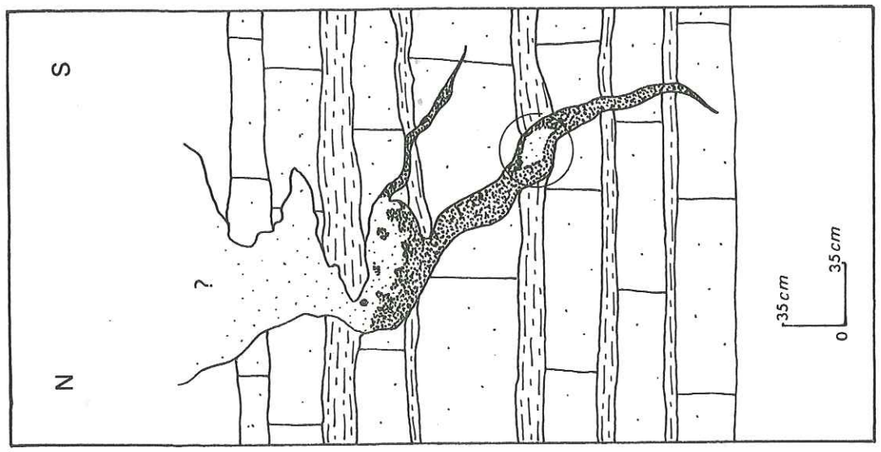
Le stade suivant a été observé dans un faisceau à contournement de ce même ravin de Salles . Les blocs, parallélépipèdiques sont ici bien individualisés et décalés les uns par rapport aux autres, les troncatures, obliques ont à peu près la même direction (voir fig.69), le sens du glissement se déduit de l'inclinaison des fentes . Plus vers l'aval, les blocs disparaissent et font place aux couches tordues et aux boules . Un parallélépipède isolé se retrouve 300m en aval .
La fig.55 qui représente un FAC Valanginien à Vaubelle, nous montre des blocs de bancs dont l'aspect se rapproche beaucoup des descriptions précédentes .
Sans doute leur dépôt est il du au même phénomène .

2.3.2 Evolution d'un faisceau à contournement

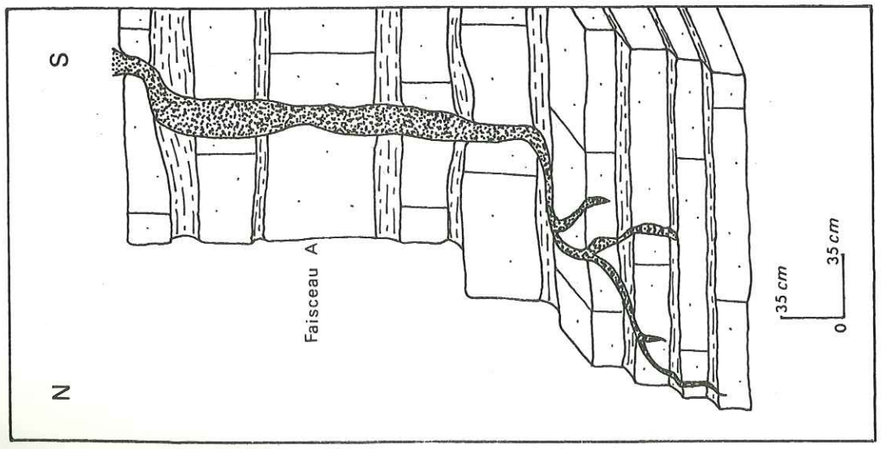
Le paragraphe précédent nous montre donc qu'un faisceau à contournement qui s'est peu déplacé se caractérise surtout par des bancs biseautés peu contournés. Les couches tordues et les boules peuvent se former très vite puisque nous en suivons dans le ravin de Salles l'évolution continue . Il ne faut donc pas automatiquement conclure qu'un faisceau à contournement très démantelé a parcouru des kilomètres . En revanche, il parait difficile qu'un faisceau où les couches sont peu tordues ait parcouru de grandes distances .

Si l'on considère désormais les FAC en fonction du démantèlement, sans en tirer de conclusions sur les distances parcourues, le stade suivant d'évolution est donc caractérisé par les couches tordues en rouleaux, et la présence de boules .





la fente II



la fente I

Figure 68 : D'après P.JOSEPH et T.SEMPERE (77)

le remplissage

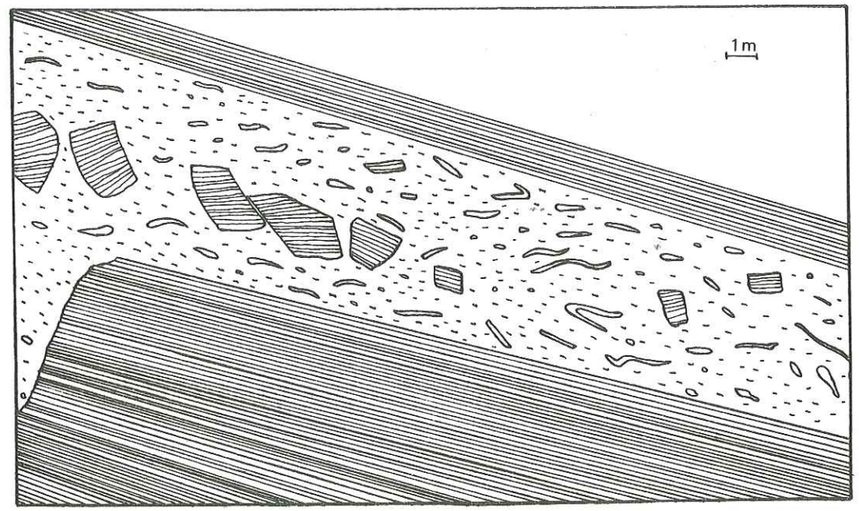


Figure 69 : Blocs parallélépipédiques dans un FAC. Ravin de SALLES.

BERRIASIEN

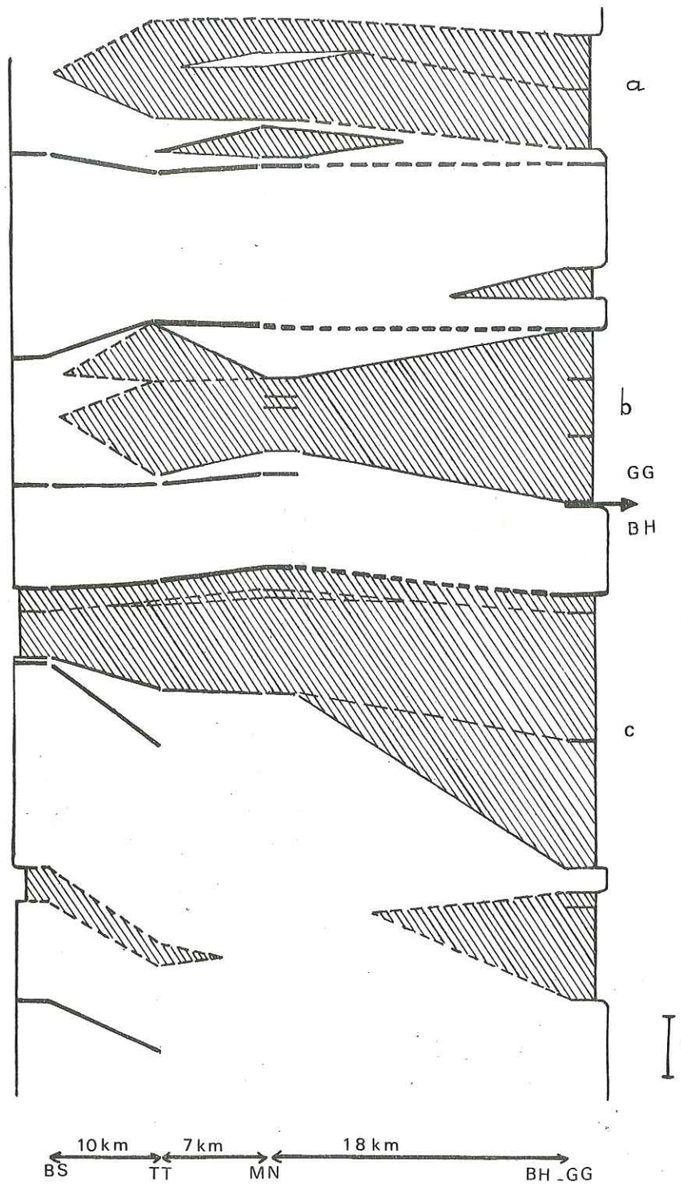


Figure 70 : Corrélation des coupes BS-TT-MN-BH-GG

Au paragraphe 2.1 nous avons vu que les frottements accrus, à la base des FAC provoquaient la formation de boules .

Lorsque les boules constituent l'essentiel du FAC, un autre stade d'évolution est atteint . La taille de ces boules, leur mode de formation varie. Mais la présence dans la matrice de petits fragments calcaires millimétriques appelés "grumeaux" souligne bien l'importance de la désagrégation : le mélange devient plus intime au fur et à mesure de cet enrichissement en calcaire de la matrice . Une question se pose alors : *y a t-il une différence entre de tels faisceaux et un conglomérat ?* Seule la taille des éléments plus irrégulière et en moyenne plus grande dans ces faisceaux à boules peut faire la différence .

Les conglomérats à éléments centimétriques existent mais sont assez rares dans le Valanginien et l'Hauterivien .
En général ils existent au sein d'une structure granoclassée se terminant par de la calcarénite et même du calcaire fin . Les granoclassements étaient interprétés comme le résultat de l'action d'un courant turbide . *Doit on encore parler de glissement ou déjà d'écoulement ?*

Il faut souligner qu'aucune discontinuité n'existe depuis les premiers stades de démantèlement des faisceaux jusqu'aux conglomérats granoclassés . Considérées sous cet angle, les limites entre les différents sédiments existant au Valanginien et à l'Hauterivien s'estompent . Sans doute ne peut on pas parler d'homogénéité dans les processus de dépôt, mais une certaine continuité semble les caractériser .

3. GEOMETRIE DES CORPS GLISSES

Des corrélations de coupes, orientées différemment par rapport aux pentes, permettent de tracer les profils transversaux et longitudinaux des FAC .
Les mesures directionnelles effectuées dans un même FAC corrélé dans plusieurs coupes donnent une idée de l'organisation planaire de la structure, et combinées aux mesures d'épaisseur en reconstituent la géométrie spatiale .

3.1 LES PROFILS LONGITUDINAUX

J'ai suivi plusieurs groupes de faisceaux à contournement dans les coupes de Buis les Baronnies, la Rochette du Buis, Montauban, Barret le Haut et les Granges (voir fig.70) .

Pour les coupes BS, TT, MN, la corrélation s'est effectuée sans problème, par les épaisseurs de bancs dans les faisceaux à sédimentation alternante . Pour les coupes GG et BH, les correspondances entre les bancs deviennent incertaines .

Mais en haut de la fig.70 les datations par ammonites indiquent le même âge (zone à *Callidiscus*) . Il est ensuite aisé de faire correspondre entre eux les 3 ensembles principaux de FAC, a,b,c . Cependant, on ne peut corréler de telles coupes avec une certitude absolue : il est toujours possible que deux glissements différents se soient produits à la même époque .

La fig.70 montre que des limites ont été tracées au sein de chaque ensemble . Elles sont basées sur les différences de structure dans les faisceaux à contournement, et celle ci peut varier avec la distance et les conditions d'affleurement . Ceci explique qu'il n'aie pas été possible de délimiter chaque FAC sur la distance corrélée .

On peut également observer sur cette figure l'épaississement progressif des FAC de l'amont (coupe de Buis les Baronnies) à l'aval (coupe de Barret le Haut - Les Granges) .

Le substratum des FAC semble avoir été érodé vers l'aval dans le cas du faisceau a, pour les autres il est difficile de tirer des conclusions .

3.2 LES PROFILS TRANSVERSAUX

3.2.1 Corrélations de la Croix sur Roudoule (LC)

La fig.30 montre des logs de deux coupes distantes de 200m . La nature du sédiment ne permet pas de distinguer facilement les bancs calcaires ou marneux, ce qui rend la correspondance banc à banc plus délicate .

Cependant, à la base du FAC S'2, une série de bancs calcaires est facilement repérable, elle n'a pas d'équivalent sous le FAC correspondant S2 . Il y a donc eu ravinement de 1,5m en 200m ce qui est impressionnant .

3.2.2 Corrélation des coupes d'Angles et Vergons

Distantes de 4-5km, les coupes d'Angles et de Vergons sont corrélées à la base de l'Hauterivien inférieur . Sur la fig.37 deux FAC dont le contour est marqué par un trait gras et un certain nombre de bancs se correspondent .

Les différences d'épaisseur du FAC S1 entre les deux coupes sont très réduites . Mais la corrélation banc à banc souligne surtout ce fait surprenant : il n'y a ici ni ravinement ni biseautage . A une distance de 4-5km le même banc demeure à la base du faisceau à contournement, un même banc lui sert de toit.

3.2.3 La corrélation Aulan (AU) Laux Montaux (LX) Montauban (MN)

Située obliquement par rapport à la pente (voir fig.71) elle montre, sur 12km l'accroissement d'épaisseur d'un faisceau à contournement de LX où il a 10m, à Aulan ou il en fait 26m . Le principal intérêt de cette corrélation est d'obtenir, en l'intégrant à la corrélation longitudinale déjà effectuée (voir paragraphe 3.1) un bloc diagramme reconstituant un FAC dans les 3 dimensions de l'espace .

Il faut remarquer que le même banc le surmonte dans les coupes BS, TT, MN, AU et peut être BH . En revanche, le 1er banc non contourné à Laux Montaux ne se corrèle qu'une dizaine de mètres plus haut, ce qui ferait supposer que la surface supérieure de ce faisceau est légèrement concave .

3.2.4 Corrélation des coupes du Caire rive droite et rive gauche et de Reynier

Elle a été effectuée par J. BIE (73) pour le Caire rive droite et rive gauche, voir fig.72, par B. GUY (74) pour le Caire rive gauche et Reynier (voir fig.73). Dans ces trois coupes, on suit, de façon continue pendant tout l'Hauterivien des FAC spectaculaires interrompant une sédimentation rythmée . L'alignement le Caire rive gauche - Reynier est perpendiculaire au glissement, celui du Caire rives droite et gauche , lui est oblique .

Sur la fig.72 quelques bancs calcaires corrélés sont soulignés par des traits gras . Les faisceaux contournés sont hachurés .

Cet exemple nous montre :

- des ravinements (ex faisceau S24-T)
- des dispositifs en lentille (ex R)
- des biseaux sur les surfaces supérieures (ex S20-P)
- des telescopages (ex faisceaux S18.20, voir paragraphe 1.2.1) .

L'importance des ravinements varie . Ils sont de 5m pour les faisceaux S18-P et S24-T, de 3,2m pour S18-P, la distance séparant les coupes étant évaluée à 5-600m .

En revanche, sur une distance de 10km, entre le Caire et Reynier, on n'observe aucun ravinement pour les faisceaux .

Une telle constatation résume d'ailleurs tous les cas étudiés . *Le ravinement peut être intense sur quelques centaines de mètres ou nul sur des kilomètres* .

Les coupes et les blocs diagrammes des fig.74 et 75 expliquent ce fait : le profil transversal d'un FAC est constitué d'un fond très plat et de bords raides. Suivant l'emplacement des deux coupes, en bordure ou au milieu des faisceaux, l'épaisseur des sédiments ravinés varie énormément .

Le FAC S22 est une exception à cette règle . Sans doute son volume était il trop faible pour éroder le substratum .

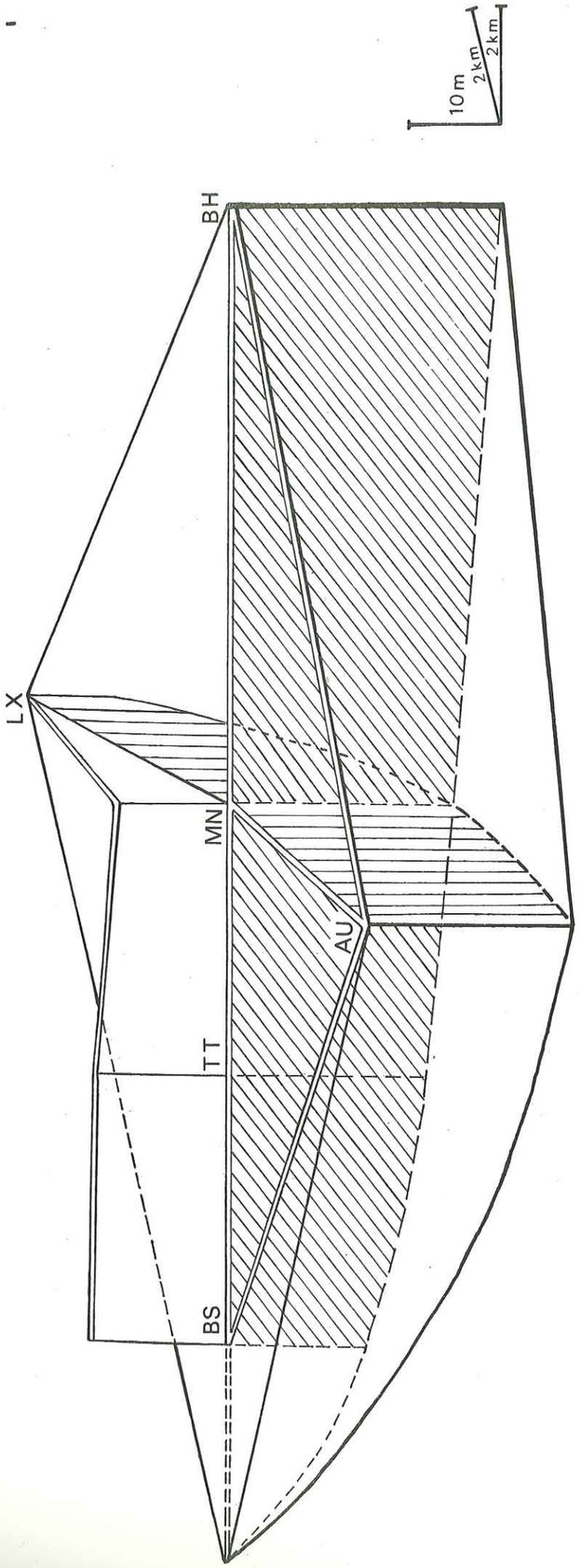


Figure 71 : Corrélation d'un FAC dans 6 coupes

L'Hauterivien du Caire – Corrélations

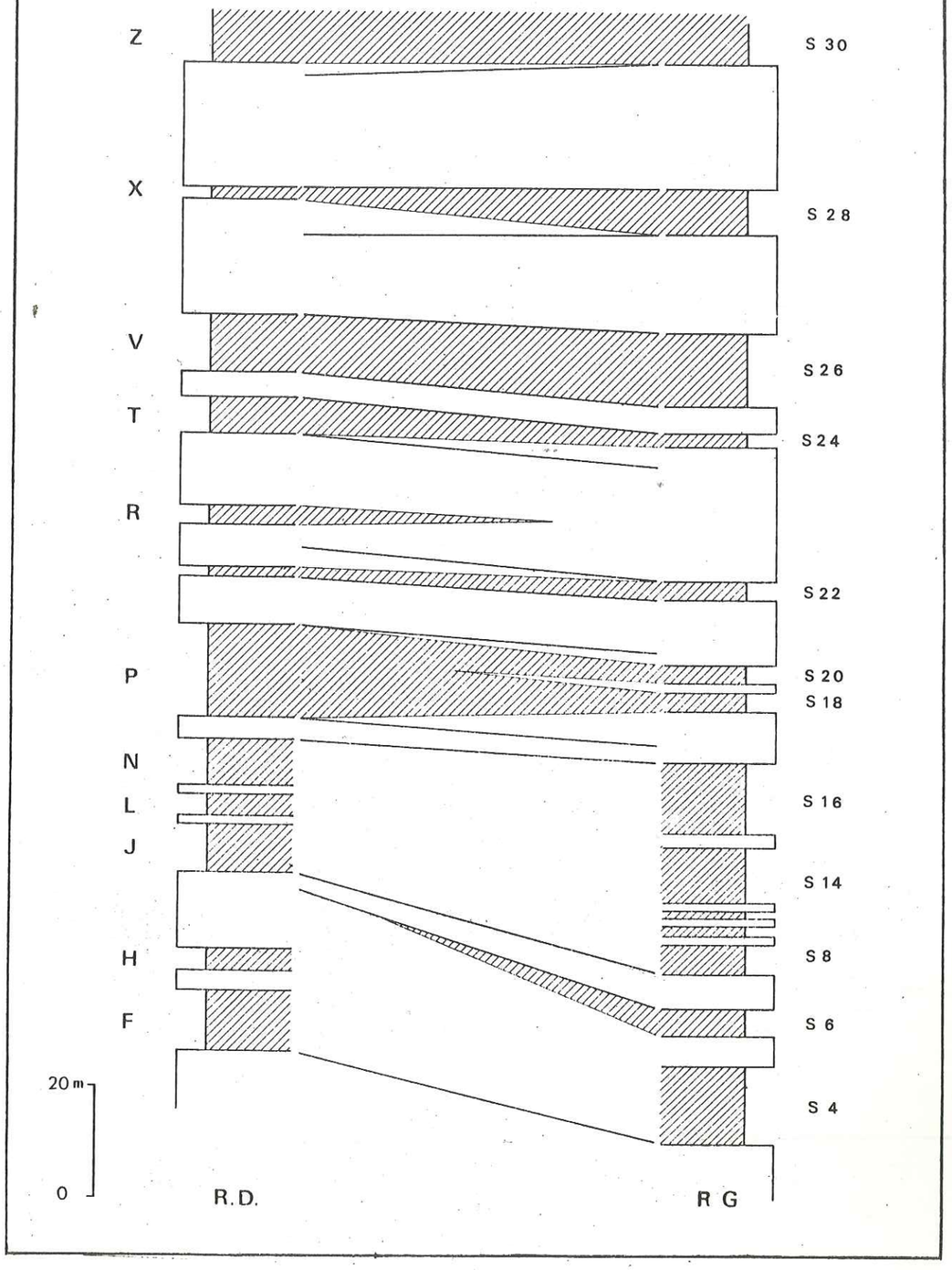


Figure 72

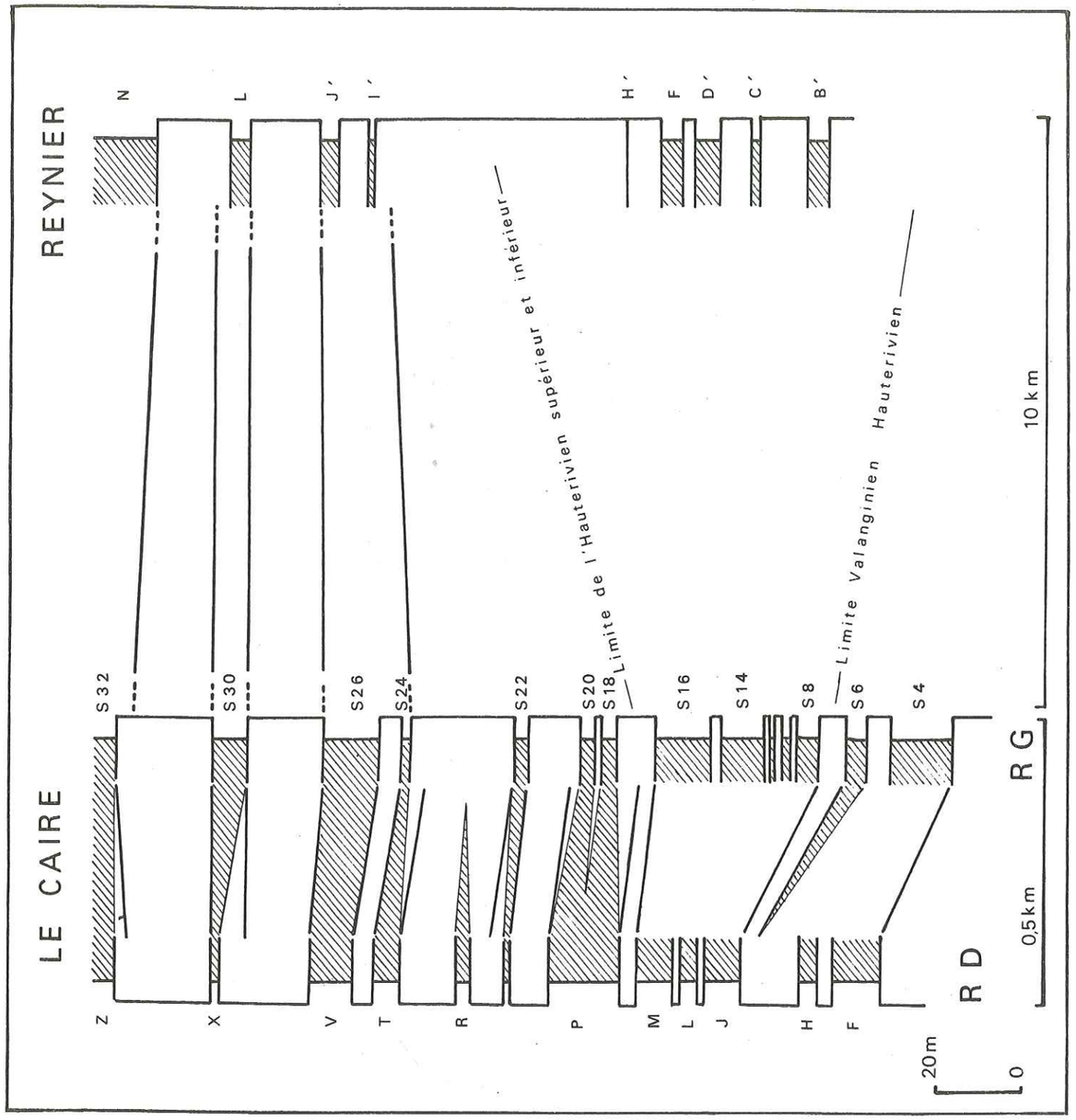


Figure 73

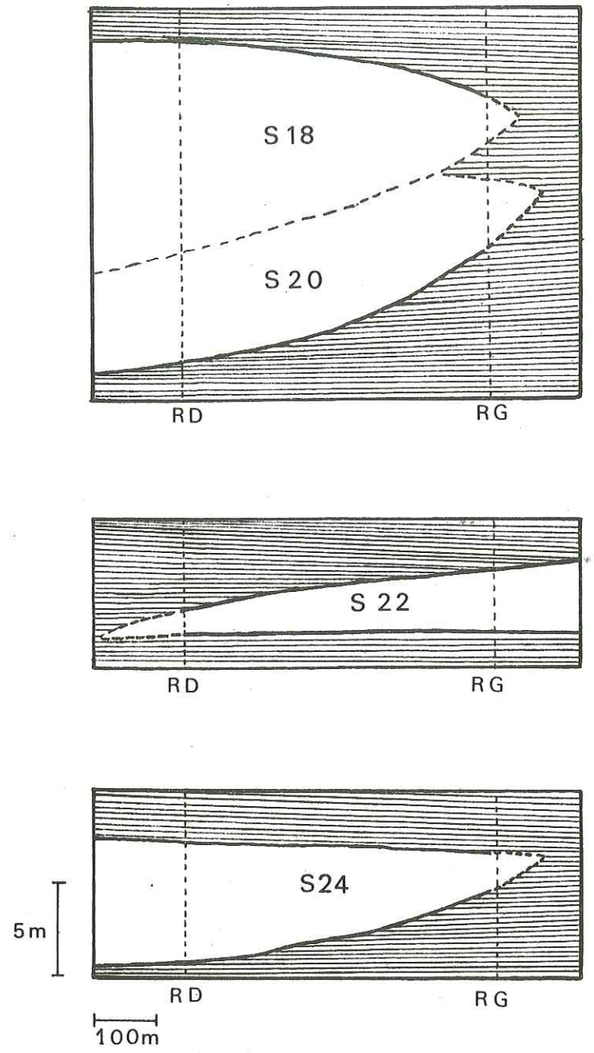


Figure 74 : Profil de quelques FAC coupe du CAIRE

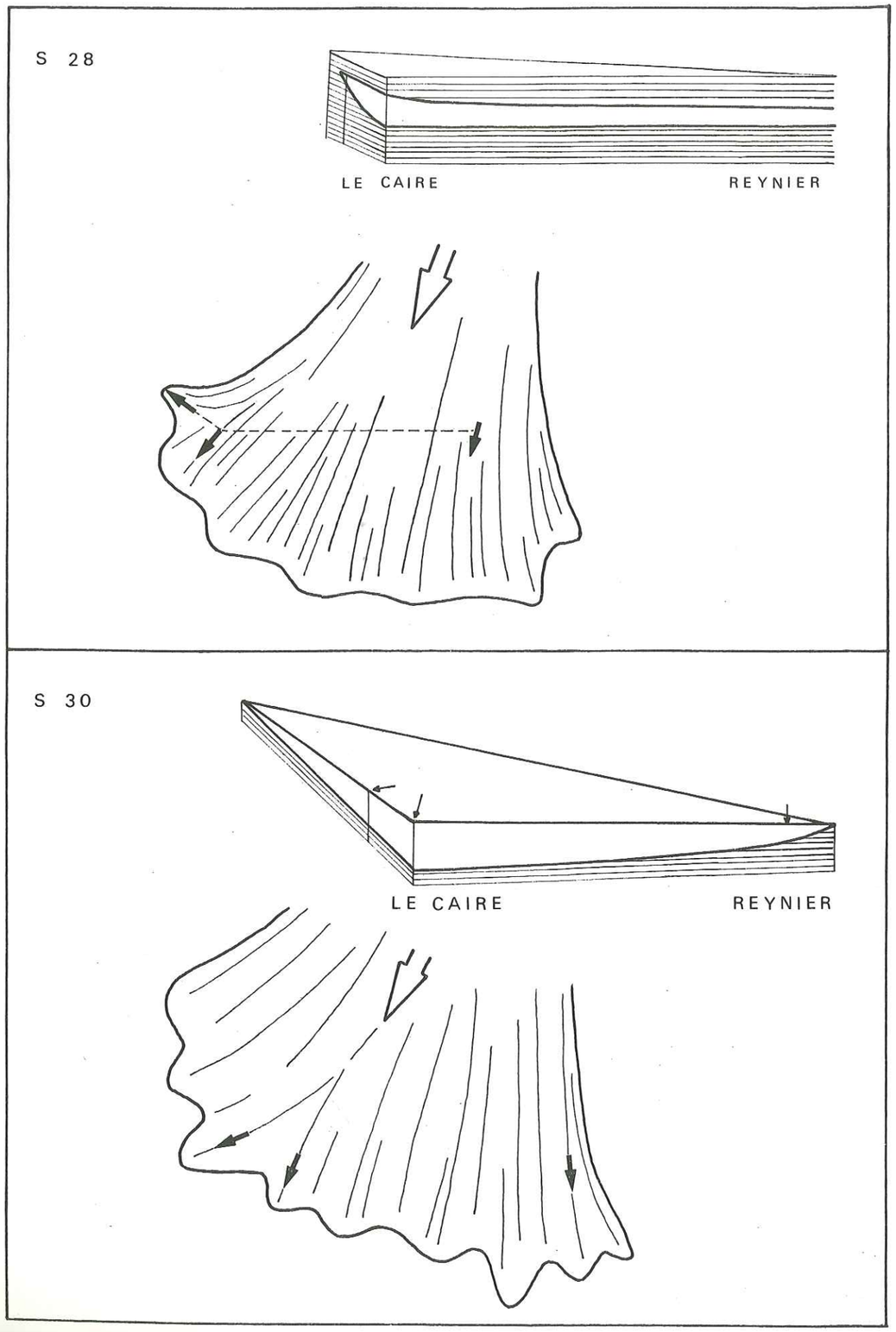


Figure 75 : Disposition spatiale des FAC S 30 et S 28

Les biseautages soulignent en général un léger bombement de la surface supérieure mais il n'est pas général, du moins si on considère que la surface d'un banc représente le plan horizontal . Il est possible en effet qu'un même banc recouvre une surface assez peu bombée .

3.3 L'ORGANISATION PLANAIRE ET SPATIALE D'UN FAISCEAU A CONTOURNEMENT

Nous allons considérer de nouveau les coupes du Caire et de Reynier . En effet, les FAC, bien dégagés par l'érosion, ont permis de nombreuses mesures d'axes de rouleaux .

Les directions des glissements vont préciser la forme des FAC dans le plan horizontal . En effet, suivant la localisation des trois coupes dans le faisceau les mesures peuvent être sub-parallèles ou divergentes (voir fig.75) . Quand l'une des coupes est située dans un lobe, les mesures s'écartent particulièrement de la direction moyenne . Si l'on replace la coupe sur un bloc diagramme, on constate alors que l'épaisseur est très réduite .

Un faisceau à contournement possède donc une partie amont où les glissements restent sub-parallèles et où l'épaisseur varie peu, et une partie aval qui s'évase et se termine par des lobes . L'épaisseur du faisceau diminue brusquement dans cette zone .

3.4 LES TERMINAISONS D'UN FAISCEAU A CONTOURNEMENT

Quelques observations ponctuelles, à l'échelle de l'affleurement nous apportent des précisions sur les extrémités des faisceaux à contournement .

- Le faisceau S'3 de la coupe de la Croix (fig.30)

ne comporte qu'un banc, légèrement tordu, et d'épaisseur irrégulière . Dans la coupe du fond du ravin, à 200m, on ne retrouve pas ce faisceau, un interlit marneux lui correspond .

- Dans le Valanginien du ravin de St Martin

un banc s'interrompt, il est prolongé par quelques boules . Plus loin, tout indice de glissement a disparu, les marnes subsistent seules (voir fig.76) .

- L'Hauterivien de la coupe de Chabrières

nous fournit un dernier exemple (voir photo 18) . Là aussi, un banc calcaire s'interrompt, prolongé par une seule boule .

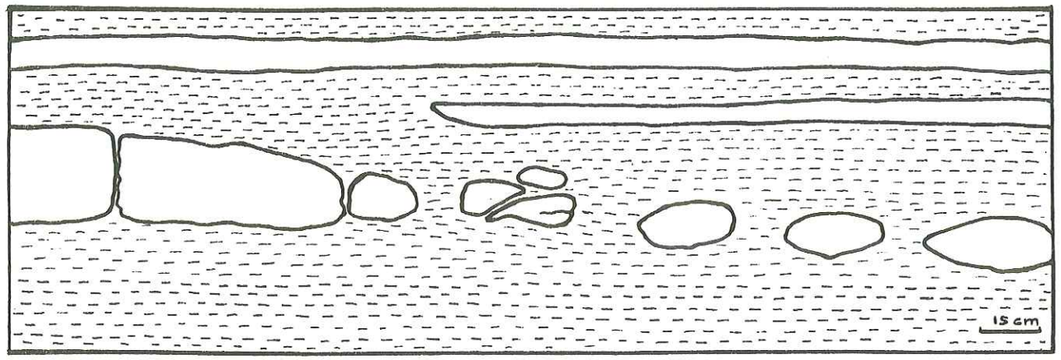


Figure 76 : Terminaison d'un FAC . St MARTIN VALANGINIEN

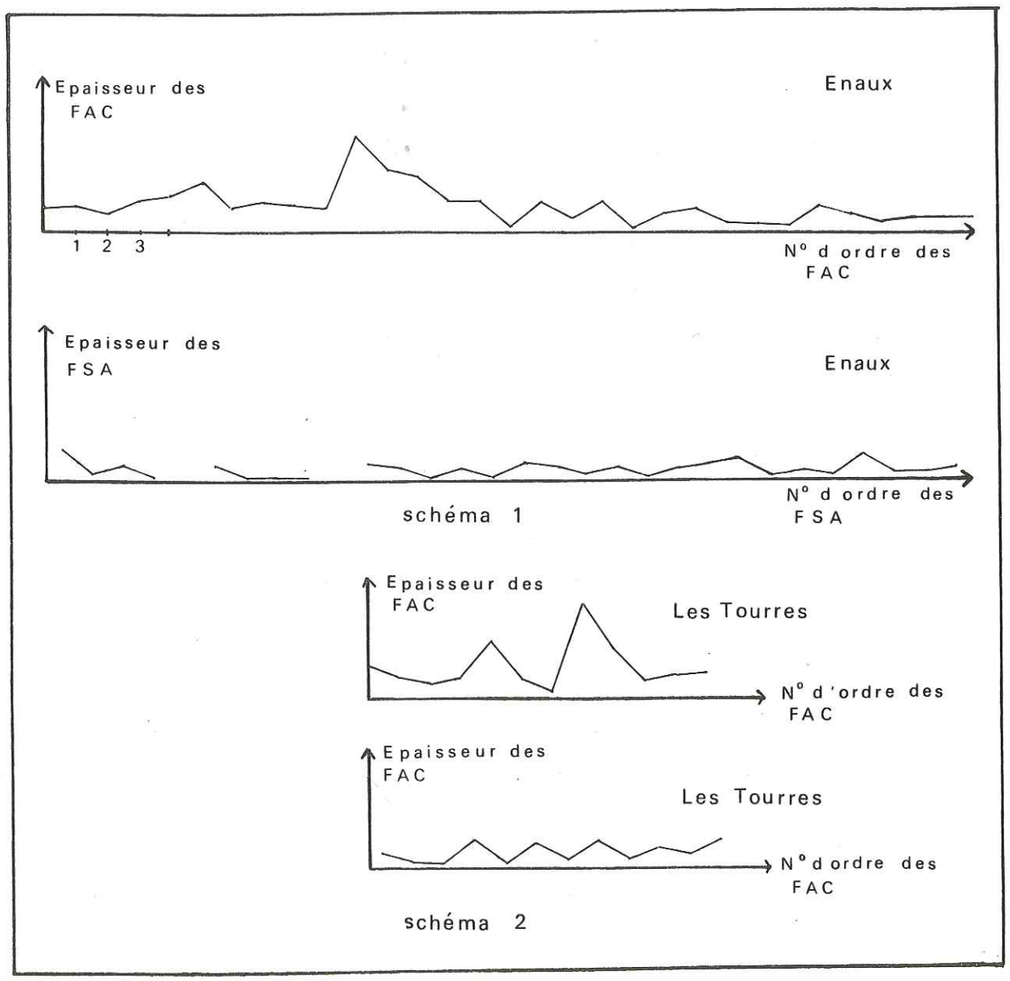


Figure 77 : Evolution des épaisseurs des FAC et des FSA à l'HAUTERIVIEN

- Ces observations rejoignent celles de J. MOUTTE et P. SOLER (75) dans le Tithonique : à proximité d'un faisceau à contournement, coincées entre deux bancs calcaires, quelques boules signalent la présence de cette structure .

La présence de boules au milieu d'une sédimentation alternante est donc un indice intéressant . Elle peut signaler la proximité d'un faisceau à contournement .

3.5 CONCLUSION

Schématiquement l'organisation spatiale des corps glissés semble être la suivante :

- *Transversalement*, ils ont un fond plat, des bords assez raides, une surface supérieure légèrement bombée .

- *Longitudinalement* leur épaisseur augmente lentement vers l'aval où elle est supposée décroitre rapidement .

- *En plan*, c'est un ensemble divergent aux bords sub-parallèles à l'amont, évasés à l'aval . Elle se termine par des lobes d'où s'échappent quelques boules .

- *Les distances maximales de corrélation* obtenues ici, 10km transversalement, 30km longitudinalement soulignent l'ampleur du phénomène .

Rappelons que ces faisceaux s'organisent en séquences comprenant du bas vers le haut 1) un conglomérat 2) les bancs contournés 3) un conglomérat 4) un banc calcarénitique .

Tous ces glissements correspondent à une mise en place très rapide, instantanée à l'échelle géologique, ce qui signifie que nous disposons là d'un *outil de corrélation chronologique extrêmement précis* .

Cependant il ne faut pas oublier que seules les surfaces supérieures et inférieures du FAC sont rigoureusement synchrones, les bancs pouvant être ravinés ou se biseauter d'une coupe à l'autre .

4. EVOLUTION DU PHENOMENE DE SLUMPING AU COURS DU TEMPS

Tout au long d'une même coupe, nous observons une alternance de FAC et de FSA . Quels enseignements pouvons nous déduire de cet empilement, si nous voulons comprendre le mode d'organisation du dépôt ?

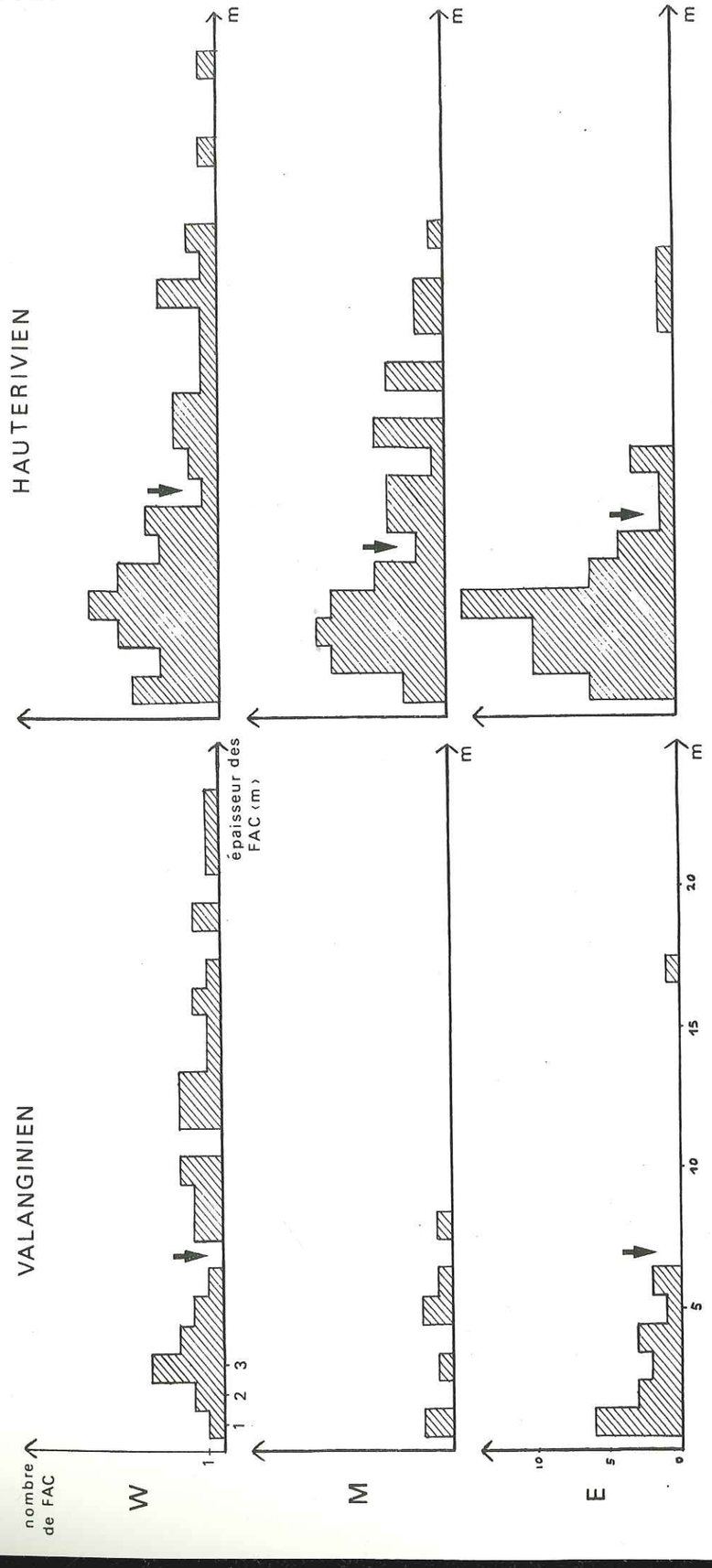


Figure 78 : Epaisseur des FAC dans l'OUEST la partie MEDIANE et l'EST du terrain

Je vais, dans un premier temps, utiliser tous les éléments quantifiables des FAC, c'est à dire leur épaisseur et les mesures de glissement pour déterminer s'il y a ou non groupement en ensembles ou "familles" . Ensuite, les épaisseurs des FSA permettront d'analyser la fréquence des glissements .

4.1 EVOLUTION DES FAISCEAUX A CONTOURNEMENT

Nous avons vu au chapître 1 que l'évolution des alternances calcaire-marne au cours du temps n'est pas due au hasard .
Leurs épaisseurs s'organisent en rythmes et la direction des écoulements, matérialisée par des spicules de spongiaires (voir paragraphe 2.3.1 ch.1) n'est pas due au hasard .
Les mêmes méthodes s'appliquent aux FAC avec la différence que leur nombre est toujours réduit .

4.1.1 Les coupes d'Enaux et des Tourres

- La coupe d'Enaux, caractérisée par l'abondance de ses faisceaux à contournement comprend 3 grands ensembles (voir schéma 1 fig.77) :

du 1er au 10e FAC l'épaisseur varie peu
du 11e au 16e FAC elle décroit
du 16e au 31e FAC elle redevient constante .

L'évolution des 3 "familles" n'est donc pas identique .

- La coupe des Tourres, est située quelques kilomètres au Nord de celle d'Enaux . Les FAC, moins abondants qu'à Enaux sont aussi plus épais (fig.77 sch.2) . Peut être la présence de faisceaux qui se télescopent explique-t-elle l'apparente anarchie de la distribution des épaisseurs par rapport au temps .

En effet, si l'on considère l'ensemble des faisceaux à contournement, en les répartissant par étage et par secteur géographique (voir fig.78) on s'aperçoit que l'épaisseur de la plupart d'entre eux est comprise entre 1 et 6m, le maximum se situant vers 4m .
Il faut donc se demander pour tout faisceau dont l'épaisseur se situe à l'extérieur de la courbe s'il ne s'agit pas d'un télescopage, non décelé sur l'affleurement .

4.1.2 Les coupes du Caire (rives droite et gauche)

Les coupes du Caire, avec un nombre assez restreint de FAC (12 et 14) et la probabilité de quelques télescopages (1'un d'eux apparait entre les deux rives) ne présentent pas, au point de vue des épaisseurs, d'évolutions nettes dans un sens ou un autre (voir schéma b-b' fig.79) . En revanche les directions de glissement semblent s'organiser : en rive gauche, des ensembles de 3 puis 4 faisceaux évoluent progressivement vers 1'Est (voir schéma d fig.79) .

LE CAIRE HAUTERIVIEN

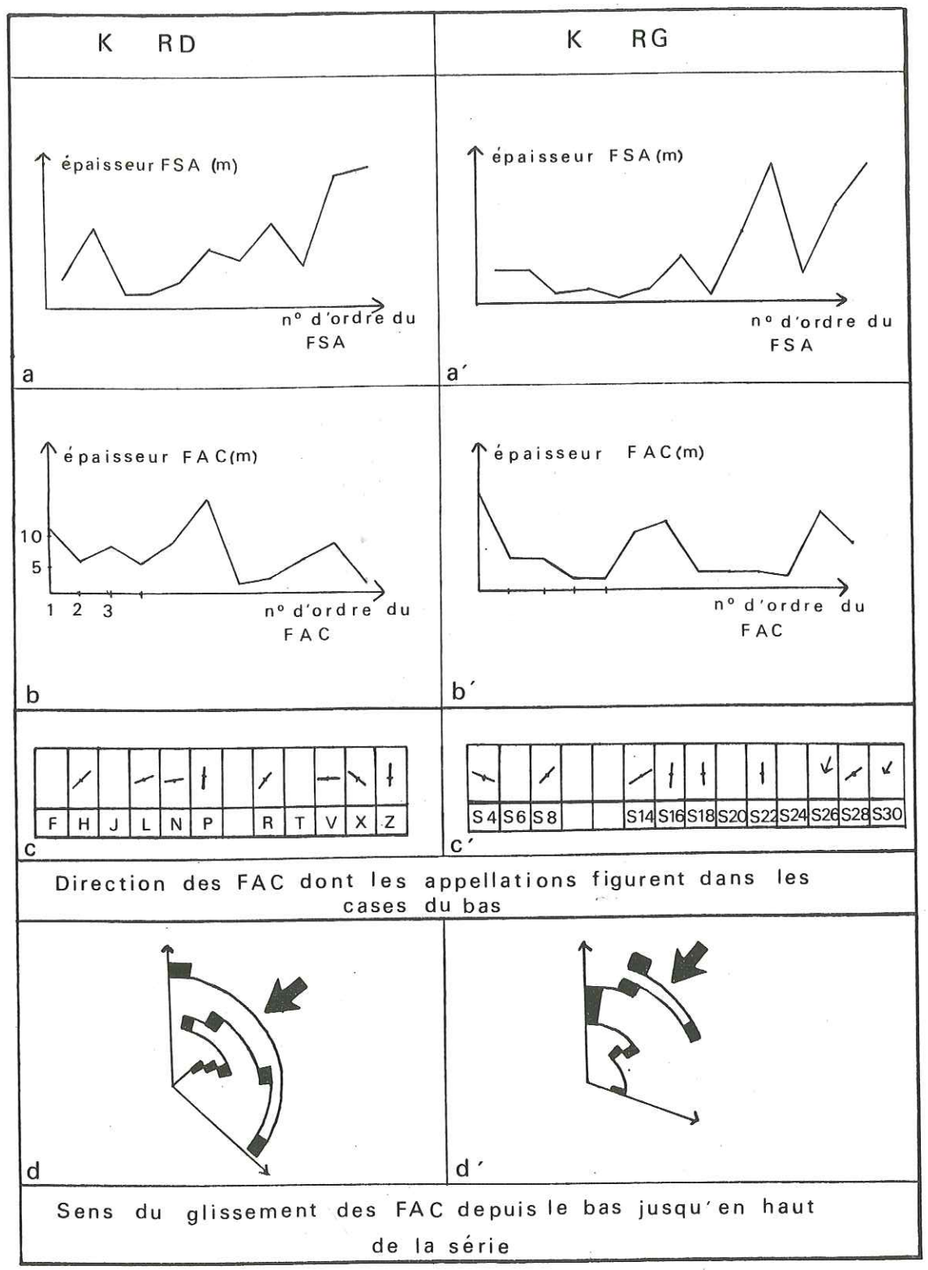


Figure 79

4.1.3 La coupe de Montclus

La coupe de Montclus où affleurent, du Valanginien au Barrémien, 36 faisceaux à contournement (voir fig.5) semble présenter les conditions adéquates pour percevoir une quelconque organisation .

En effet, la fig.80 montre que les FAC se regroupent en plusieurs "familles" où les épaisseurs sont croissantes .

Si l'on considère des faisceaux à contournement de même taille, schématisés par des lentilles disposées en piles décalées (voir schéma 1 fig.81) on obtient sur une verticale la même distribution, quel que soit, d'ailleurs le sens du décalage .

Les FAC pourraient donc se mettre en place comme sur le schéma 2 de la fig.81 : l'arrivée d'une série de FAC modifierait la pente . Sur le replat ainsi constitué, à l'amont, une nouvelle série de FAC se déposerait, etc...

Le schéma 3 montre aussi que la position de la coupe par rapport aux faisceaux est importante : sur la verticale de la coupe 3 l'épaisseur des faisceaux décroit, sur celle de la coupe 1, elle croit . La coupe 2 offrirait un exemple de stabilité relative des épaisseurs .

Peut être la coupe d'Enaux est elle alternativement en position 2 et 3 .

L'une de ces familles, caractérisée par son épaisseur moyenne faible et une nette prédominance des bancs calcaires sur la matrice marneuse s'individualise aussi par les mesures de glissement . Elles sont en général N-S : la différence d'épaisseur est ici due à une provenance autre .

La direction des autres glissements est en général NW-SE, donc les autres "familles" ne sont pas caractérisées par leur provenance .

4.2 FREQUENCE DES GLISSEMENTS

Les coupes d'Enaux et des Tourres nous montrent l'exemple de faisceaux à sédimentation alternante (ou FSA) d'épaisseur réduite (1 à 4m) pendant l'Hauterivien. De telles fluctuations sont minimes, surtout pendant une période aussi longue (voir schémas 1 et 2 fig.77) .

Un binôme calcaire marne se déposant en moyenne tous les 30 000 ans, un faisceau contourné se dépose ici en 80 000 à 100 000 ans .

Cette régularité ne se retrouve pas si l'on considère une plus grande période de temps = Dans la coupe de Montclus (voir fig.80) les FAC, espacés de 0 à 3m pendant l'Hauterivien supérieur, sont beaucoup plus irrégulier pendant l'Hauterivien inférieur et surtout le Valanginien . Les courbes montrent d'ailleurs que la régularité du phénomène est fonction de sa fréquence .

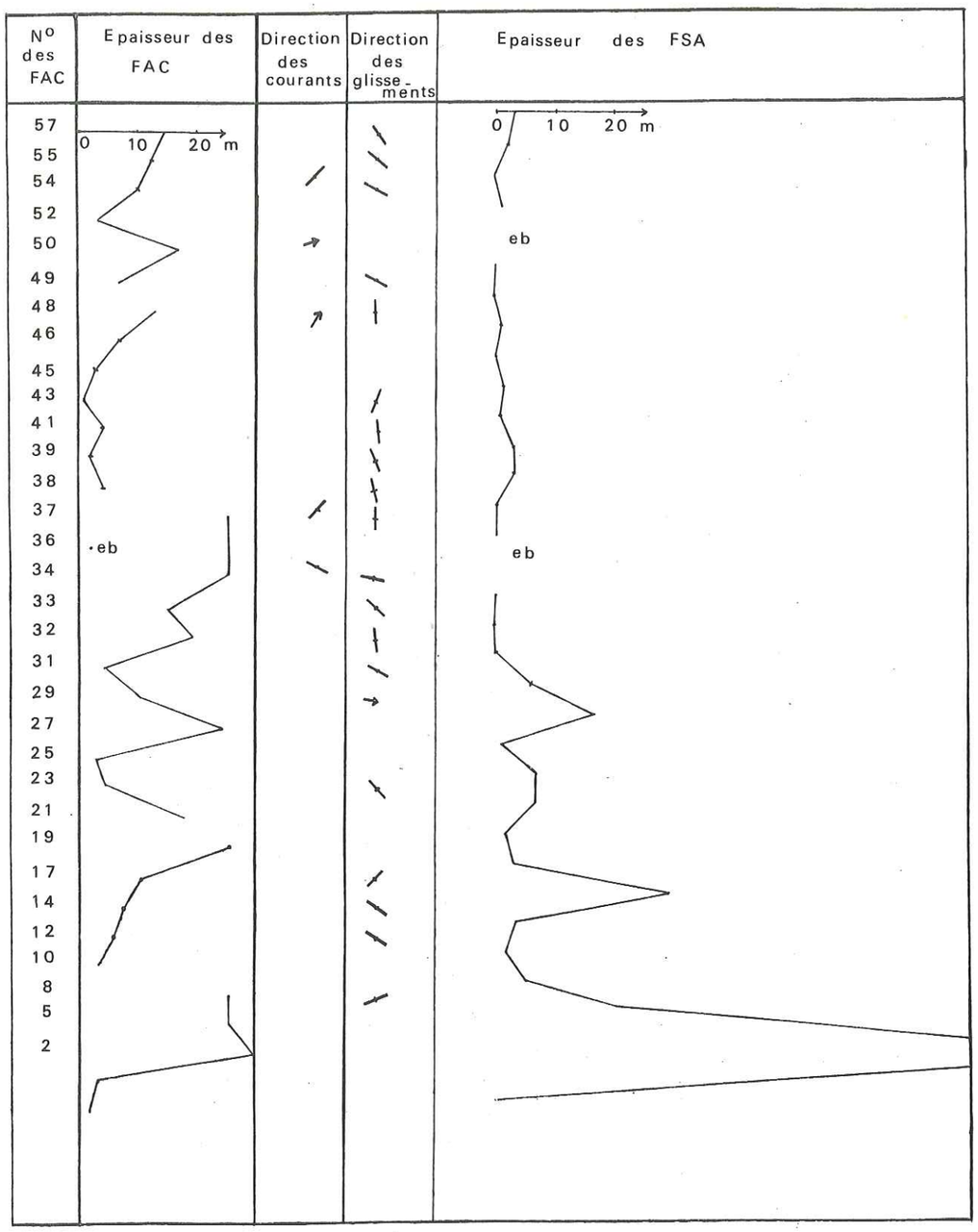
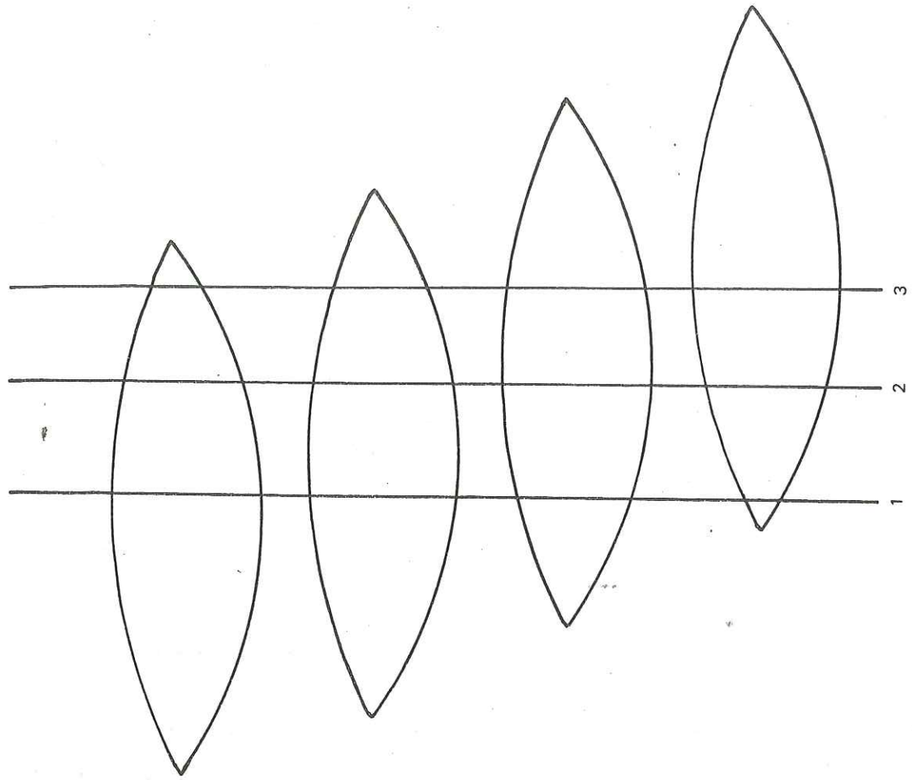


Figure 80 : Faisceaux contournés de Montclus (Hauterivien)



Schema 3 : Influence de la localisation des coupes sur l'évolution verticale des épaisseurs des FAC

Figure 81

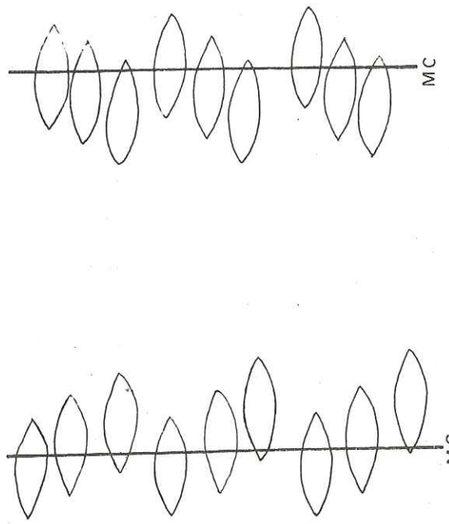


Schéma 1 : Les "familles" de FAC à MONTCLUS : deux explications possibles

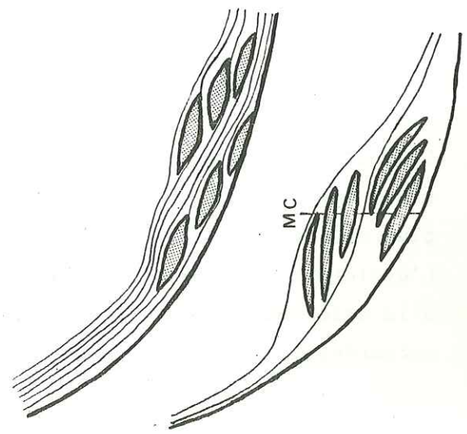


Schéma 2 : Coupe longitudinale dans la vallée sous marine

Contrairement à Montclus, les coupes du Caire rives droite et gauche montrent une croissance des épaisseurs des FSA au cours de l'Hauterivien . La fréquence des glissements ne dépend donc pas principalement de l'ensemble du bassin mais des pentes locales .
Le % en FAC de Montclus, et celui de la Charce, où l'Hauterivien comprend respectivement 80% et 10%, le Valanginien 20% et 15% confirment les conclusions précédentes = *l'abondance des glissements est fonction de la morphologie particulière du secteur considéré* .

Cependant si l'on considère le terrain dans son ensemble, le % de FAC est plus abondant à l'Hauterivien qu'au Valanginien . Il faudrait donc aussi faire intervenir *une subsidence plus ou moins active* suivant les époques, affectant tout le bassin . La proximité des pôles carbonatés semble correspondre à des périodes particulièrement favorables aux glissements .

4.3 INTERFERENCES ENTRE LES DEUX PHENOMENES

En conclusion, les deux phénomènes (évolution de l'épaisseur des FSA et des FAC au cours du temps) ne sont pas l'effet du hasard mais ne s'expriment pas par des oscillations parallèles .
Cependant, les zones où l'épaisseur des FSA est plus réduite (Enaux, Montclus à l'Hauterivien supérieur) sont souvent celles ou les FAC sont peu épais : *le matériel n'aurait pas le temps de s'accumuler en grande quantité entre chaque glissement* . Mais il faut aussi tenir compte des variations de l'épaisseur des alternances entre la zone de départ et la zone d'arrivée des FAC, et des possibilités d'ablation de sédiments par d'autres FAC qui se déposeraient plus loin . D'autre part nous avons vu qu'un même faisceau contourné est d'épaisseur variable suivant l'emplacement de la coupe . Il ne faut donc pas s'étonner des nombreuses exceptions rencontrées .

5. CONCLUSION

L'étude des deux principaux types de sédiments déposés dans le bassin, l'alternance marne calcaire et les faisceaux à contournement fait apparaitre beaucoup plus d'analogies qu'il le semblait au premier abord .
L'évolution continue du faisceau contourné le moins disloqué au conglomérat et à la calcarénite ne fait pas plus de doute que la réalité de la séquence calcarénite - calcaire-marne .

Toute limite nette a disparu .
En ce qui concerne leur configuration spatiale, les bancs, comme les FAC, ont une disposition planaire en éventail et ont été suivis sur des distances comparables .
Leur évolution au cours du temps n'obéit pas au hasard mais témoigne d'une organisation sous forme de rythmes ou de "familles" .

Comment expliquer de telles similitudes ? Elle traduit l'influence du bassin de sédimentation et des conditions propres à la période de dépôt .
En effet, tous les sédiments ont subi une mise en place cinématique sur des pentes dont les dépôts modifiaient progressivement la morphologie .
L'étude de leur influence sur l'architecture du bassin constitue d'ailleurs la majeure partie du 3e chapitre de ce travail .

PALEOGEOGRAPHIE DU BASSIN

L'étude de la mise en place des sédiments a souligné le caractère *cinématique* des dépôts, sous l'effet de la gravité ou des courants, et suppose ainsi l'existence de *pentes* .

Ce chapitre aura donc pour objectif de replacer les différents faciès dans leur contexte paléogéographique, afin de mettre en évidence les liens étroits qui existent entre *les morphologies et la nature du sédiment* .

L'inventaire des méthodes de reconstitution des pentes, les possibilités qu'elles offrent, leurs limites, fera l'objet du premier paragraphe . Ce qui permettra dans un deuxième temps de reconstituer l'architecture du bassin, en insistant tout particulièrement sur la région de Luc en Diois et les problèmes qui lui sont propres .

1. LES METHODES

1.1 LES INDICATEURS DE PENTE

Dans cette catégorie, figurent les directions des glissements synsédimentaires, et les indications reconstituant les courants, c'est à dire l'orientation d'objets (macro et micro faune) et les figures de courant .

1.1.1 Les directions de glissement

KSIAZKIEWIEZ, in POTTER et PETTIJOHN (63) a montré qu'il est possible de déterminer, à partir de rouleaux, la direction et le sens du glissement (voir chap.2 paragraphe 2.2.2) . STANLEY (71), d'autres auteurs in POTTER et PETTIJOHN (63), B. BEAUDOIN (77), ont constaté la cohérence de ces mesures entre elles et par rapport aux paléocourants .

J'ai pu vérifier également la faible dispersion des mesures dans un même FAC, et dans les FAC d'une même coupe (voir chap.2) .

Cependant dans certaines coupes comme MC, LS, T, les mesures se groupent en deux ou trois pôles, dont les angles sont de 60 à 90° l'un de l'autre (voir fig.4) .

En effet, dans le cas de coupes situées dans des sillons, les FAC peuvent avoir glissé sur les versants, ou longitudinalement au fond du sillon . Le parcours s'effectuant en suivant la ligne de plus grande pente, il est probable que les glissements provenant des versants se produisent obliquement si le fond du sillon est en pente . D'autre part la pente peut évoluer au cours du trajet, des glissements s'effectuant sur les versants peuvent, à la fin de leur parcours emprunter le fond du sillon .

Ce qui expliquerait que l'angle des glissements ne soit pas toujours à 90 degrés .

1.1.2 Reconstitution des paléocourants

- Les figures de courant

Résultat de l'érosion du fond par les courants, leur utilisation en tant qu'indicateur directionnel est bien connu et la cohérence des mesures démontrée. Replacées dans leur contexte paléogéographique, les figures de courant sont en général parallèles aux directions des FAC (voir coupe de CD) .

Mais dans cette même coupe des groove cast de direction NO et des flute cast de direction N85 coexistent : l'écoulement des courants peut donc se produire dans le cas d'un sillon parallèlement ou perpendiculairement à celui ci .

La carte de la fig.75 montre cependant que les figures de courant semblent toutes alignées longitudinalement à la pente, tandis que les FAC glisseraient plutôt sur les versants .

- Les orientations d'objets

. Orientations d'objets macroscopiques .

Il s'agit principalement de rostres de belemnites, repérables sur les surfaces supérieures et inférieures de certains bancs .

B. BEAUDOIN et A. COADOU (72), par des observations sur l'affleurement et des expériences de laboratoire ont montré qu'elles s'orientaient parallèlement au courant, pointe vers l'aval . J'ai pu le vérifier par mes propres observations . Ils ont quelquefois constaté l'existence d'une population transverse, qui aurait progressé par roulement . La fig.82 où 130 rostres ont été mesurés en est une illustration .

Comme les figures de courant, les rostres de belemnites s'orientent, dans un sillon, parallèlement ou perpendiculairement à l'axe .

. Orientation d'objets microscopiques .

J'ai rappelé au paragraphe 2.3.1 du ch.1 comment B. BEAUDOIN et M. CONARD avaient démontré l'orientation par le courant de batonnets microscopiques, abondants en lames minces, les spicules de spongiaires et avaient vérifié en les comparant à des figures de courant que leur alignement matérialisait bien la direction du courant .

Les mesures que j'ai pu effectuer sur des calcarénites valanginiennes sont regroupées sur la fig.83 . On y constate une faible divergence angulaire entre les deux mesures . Cependant, il est compréhensible que des écarts plus importants puissent exister, le courant qui érode n'étant pas celui qui dépose les sédiments .

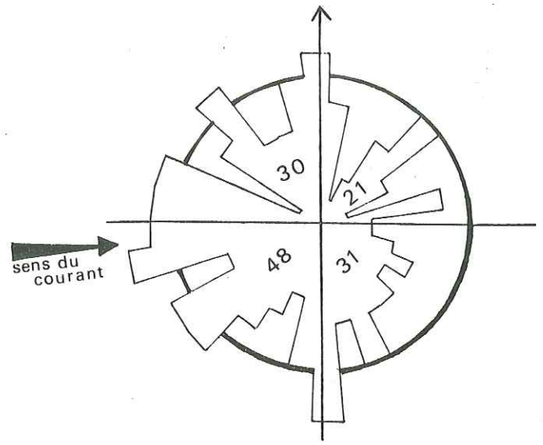


Figure 82 : Orientation de bélemnites. ESPREAUX HAUTERIVIEN

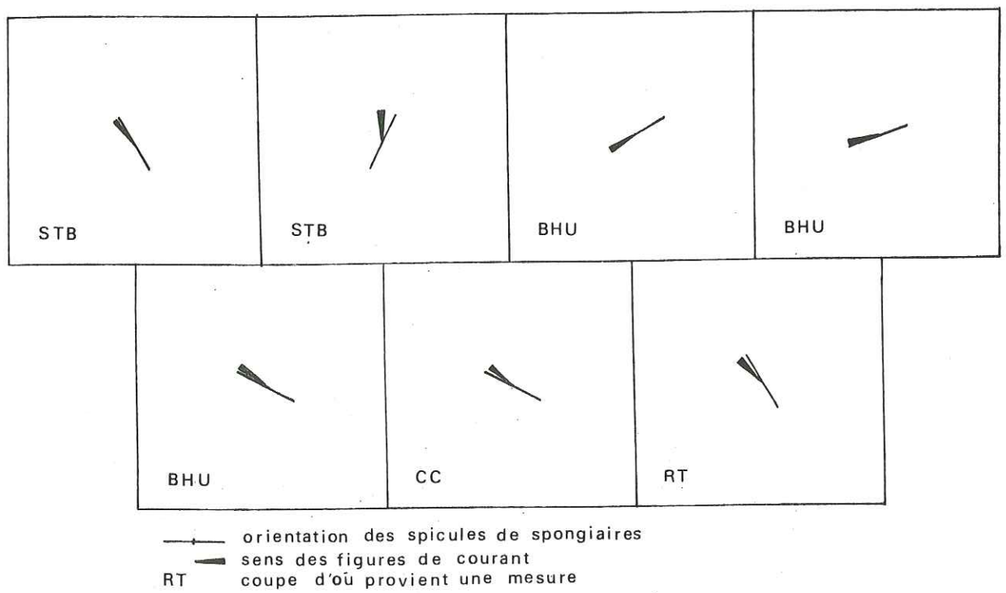


Figure 83 : Comparaison entre l'orientation des spicules de Spongiaires et des figures de courant dans un même banc

La dispersion des spicules, généralement peu importante permet d'obtenir la direction du courant à 10 ou 20° près .

Cependant, l'existence de diagrammes de spicules en forme de croix où les populations transverses et longitudinales s'expriment également (voir fig.84) pourrait faire penser que, dans certaines lames, seule la population transversale, progressant par roulement apparait . Ce qui expliquerait certaines directions isolées .

En observant les spicules de spongiaires, nous avons constaté que certains radiolaires, de forme conique, s'orientaient aussi parallèlement au courant, leur pointe dirigée vers l'aval . La coupe du Caire, où j'ai prélevé une centaine d'échantillons, dans les bancs hauteriviens a montré la validité de cette méthode . Cette coupe a été choisie, outre les excellentes qualités d'affleurement parce que les direction des FAC se déposaient suivant un éventail assez large . Il était donc intéressant de voir si dans ce contexte les directions des spicules donnaient un résultat cohérent . Le diagramme de la fig.85 montre qu'un fort pourcentage de spicules étai orienté suivant la direction N80 . D'autre part, les radiolaires ont confirmé, dans de nombreuses lames, le sens de la pente, déjà connu par les glissements synsédimentaires . Il est possible que les quelques lames où le sens est inverse appartiennent à des couches provenant du versant opposé .

En appliquant cette méthode à l'ensemble du bassin, nous avons remarqué une grande similitude entre les cartes des directions de spicules de spongiaires et de radiolaires et celle des directions de glissement, orientations de bélemnites et figures de courant .
Les renseignements ainsi obtenus ont été précieux pour la reconstitution des morphologies, particulièrement dans la région de Luc en Diois .

1.2 INFLUENCE DES VARIATIONS D'EPAISSEUR ET DE NATURE DU SEDIMENT

1.2.1 Signification de la corrélation ou de la non corrélation

Nous avons vu, au paragraphe 5 du ch.1, que de nombreuses corrélations ont été effectuées .
Etant donné le mode de dépôt du sédiment ces corrélations ne peuvent se faire indépendamment du relief : le même banc ne peut se retrouver sur les deux versants d'un relief .

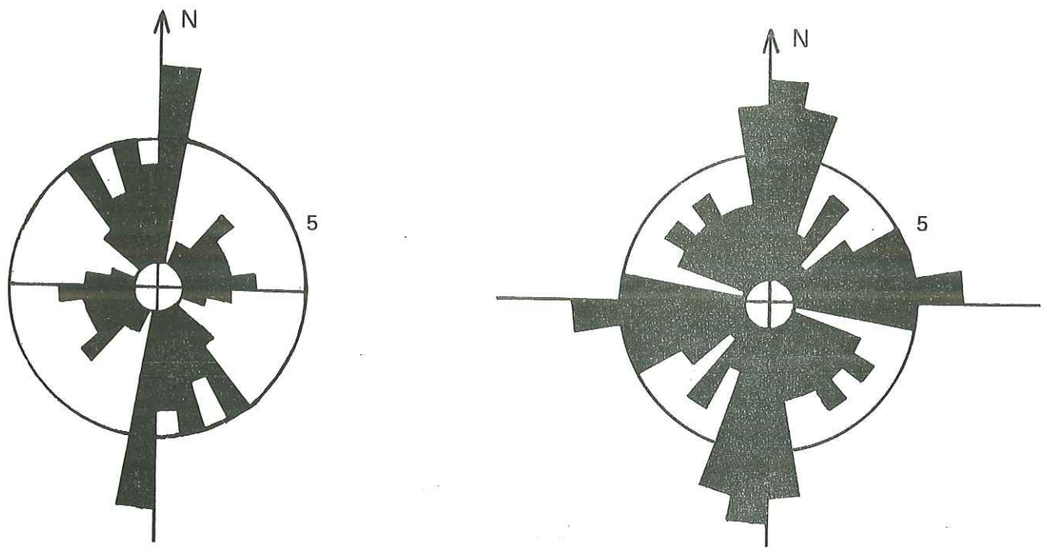


Figure 84 : Diagrammes de spicules en croix

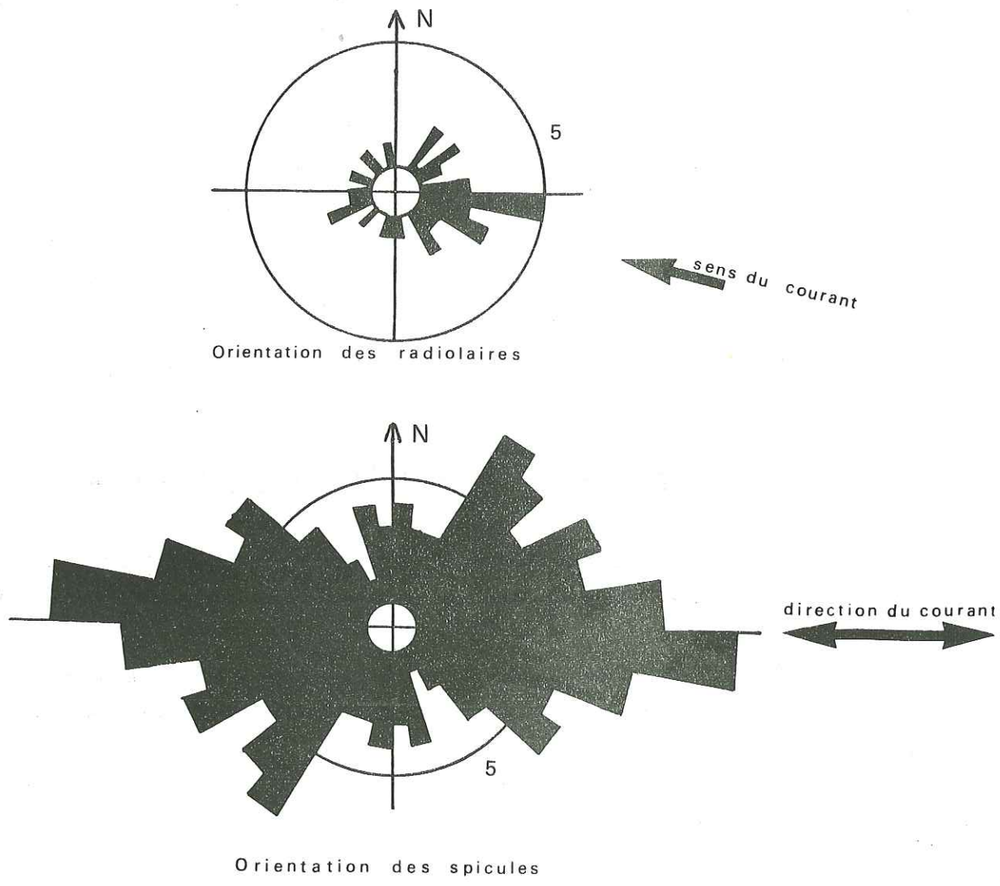


Figure 85 : Orientation d'objets microscopiques
LE CAIRE. Un secteur correspond á un banc

En revanche, deux coupes très proches non corrélables peuvent être séparées par un obstacle morphologique . Er effet, tandis que certaines coupes sont corrélées sur 50km, Chamaloc (CO) et les Planeaux (PL) distants de 3-4km n'ont pu l'être .

1.2.2 Position des coupes dans le bassin en fonction de leur pourcentage en bancs calcaires

A la fin du chap.2, le couple calcaire marne apparaissait comme une unité de sédimentation granoclassée, le pourcentage en argiles augmentant vers le haut .

Le granoclassement évolue généralement non seulement verticalement mais horizontalement . *Pour l'alternance, le granoclassement horizontal pourrait se traduire par la diminution progressive d'un des termes* . Ce qui signifierait que, pour une période donnée, le % de l'épaisseur des bancs calcaires sur l'épaisseur totale évoluerait suivant la position des coupes . Les fig.90 et 91 illustrent effectivement cette évolution des pourcentages . Connaissant l'existence d'une zone littorale plus vers le Sud, on peut remarquer que le pourcentage de l'épaisseur des calcaires diminue vers les zones plus profondes . A l'W du terrain (voir fig.85') les pourcentages en calcaire évoluent aussi de façon cohérente mais c'est au fond des deux vallées sous marines et vers l'aval qu'ils sont les plus importants . Nous verrons au paragraphe 2 que cette opposition est due à des processus de mise en place différents dans des domaines paléogéographiques dissemblables .

1.2.3 La nature du sédiment

Elle fournit des renseignements sur la nature des zones d'apport, et les modalités du transport .

Ainsi, la présence ou non calcarénite rousse, établit à elle seule la ligne de démarcation entre les deux grands domaines à l'E et à l'W de la Durance . Al'E de la Durance les apports grossiers, provenant des régions littorales sont pratiquement inexistants . Al'W de la Durance, les modalités du transport ont été telles que les sédiments grossiers sont parvenus jusque dans les zones les plus profondes .

L'abondance des glissements précise aussi la morphologie d'une région: en effet, en aval des pentes très faibles les contournements sont peu nombreux . Lorsque les pentes sont raides les FAC constituent parfois l'essentiel du dépôt (voir fig.92 et 93) .

Suivant les caractéristiques de leur milieu de formation, plus ou moins réducteur, la coloration des calcaires varie du beige clair au gris foncé . A l'E du terrain, les différences de coloration fourniront des indications sur les zones source d'où proviennent les sédiments .

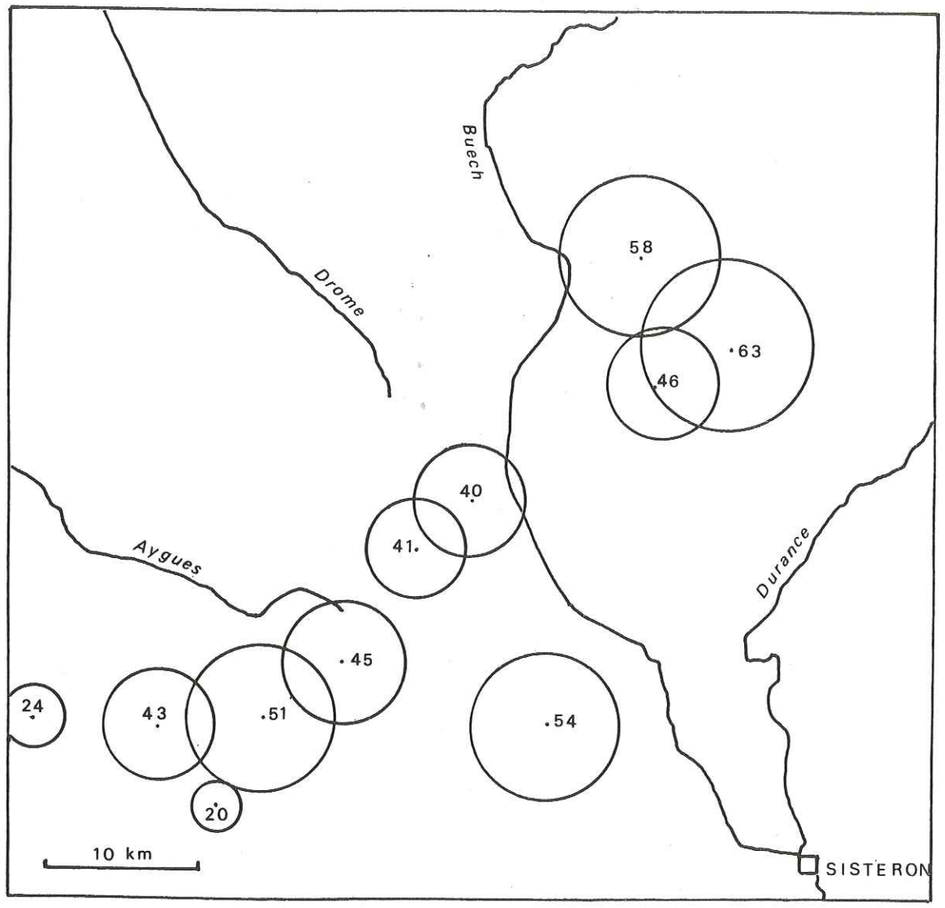


Figure 85 : Pourcentages en bancs calcaires au VALANGINIEN terminal

1.3 PRECISIONS APPORTEES PAR L'ETUDE DU PHENOMENE DE GLISSEMENT

A l'échelle du bassin, les variations des pourcentages en sédiments contournés différencient les grandes régions (voir paragraphe 1.2.3) et posent la question de l'évolution de la topographie au cours du temps : en effet, les % de FAC varient suivant les régions, du Valanginien à l'Hauterivien .

Localement, on s'aperçoit que les % des FAC ne varient pas indépendamment de la pente, mais qu'ils augmentent vers l'aval . Mais lorsque la pente devient trop faible, les glissements s'arrêtent : à l'extrême E du terrain, les coupes de Rigaud, la Croix Daluis, en aval d'Enaux et des Tourres, ont très peu de sédiments contournés (voir fig.93) . Le dépôt de FAC ne s'effectue donc pas forcément au point le plus bas, mais dans une zone suffisamment peu pentue pour que les frottements prennent de l'importance .

2. L'ARCHITECTURE DU BASSIN

J'ai insisté à maintes reprises sur l'individualisation dans le bassin de 2 grandes régions, à l'E et à l'W de la Durance qui se distinguent dès l'abord par la nature et le mode de transport des sédiments (voir paragraphe 1.2.3). Ce paragraphe sera donc consacré à l'approfondissement de ces notions, par la reconstitution de la morphologie au moyen de toutes les méthodes décrites précédemment .

2.1 LA REGION EST DU BASSIN

Bordée au Sud et à l'Est par des affleurements où l'influence néritique et littorale se fait sentir, cette partie du bassin est essentiellement constituée de matériel à organismes pélagiques . Les calcaires renferment des spicules de spongiaires, des radiolaires, des globigérines, et les calcarénites en sont pratiquement absentes .

Seuls deux affleurements, l'un à Font Chaude (FC), l'autre à Chabrières (CH) trahissent localement des influences plus littorales : à Chabrières, quelques bancs riches en glauconie où les ammonites et les rostres de belemnites abondent sont datés de la limite Valanginien Hauterivien . Sans doute ces bancs proviennent ils de zones plus méridionales décrites par P. COTILLON (72) .
A Font Chaude, les bancs glauconieux, plus nombreux, sont aussi datés de la même époque . Il nous faut imaginer une zone d'apport septentrionale dont les nappes masqueraient la présence .

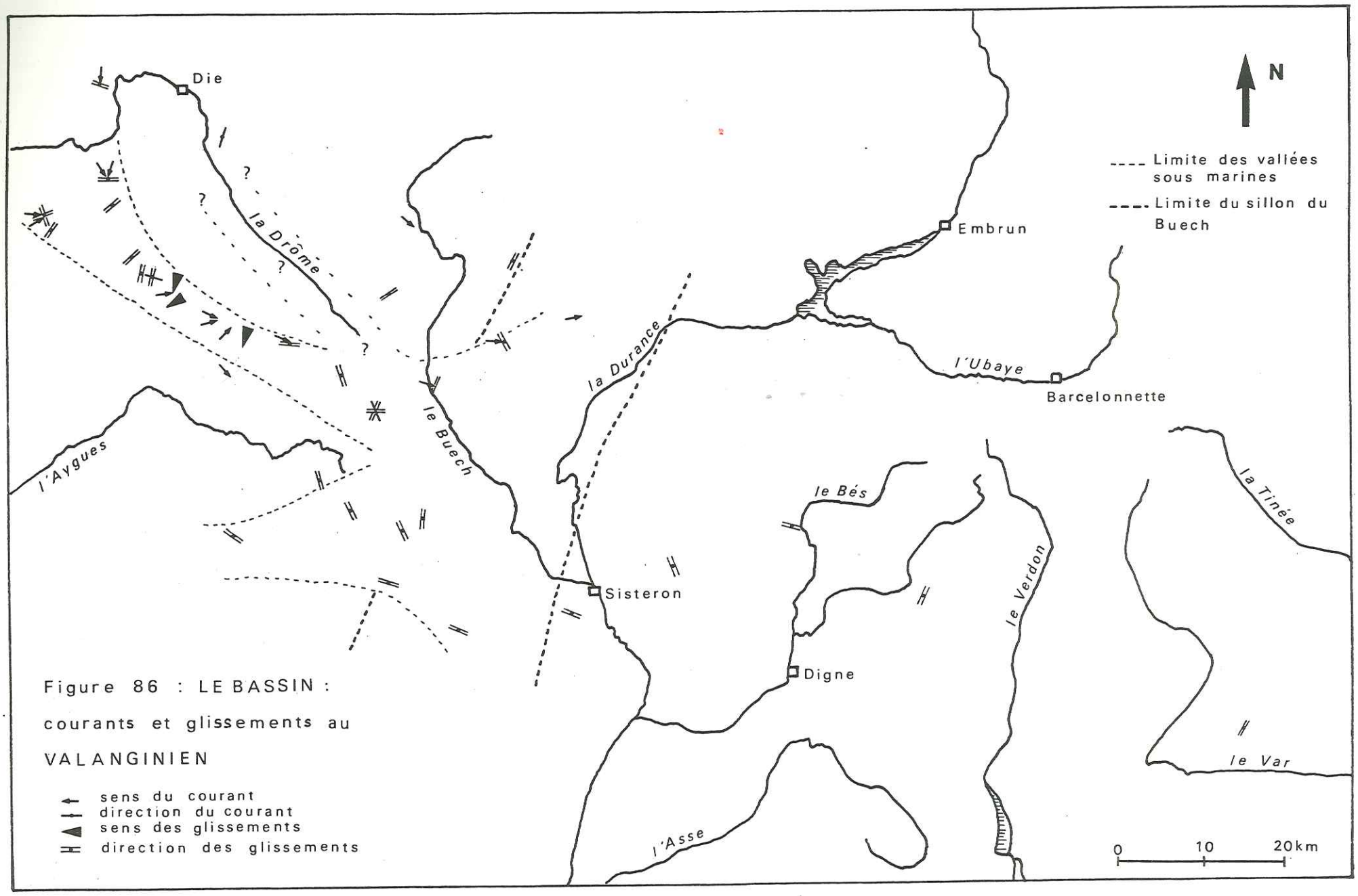


Figure 86 : LE BASSIN :
courants et glissements au VALANGINIEN

- sens du courant
- direction du courant
- sens des glissements
- direction des glissements

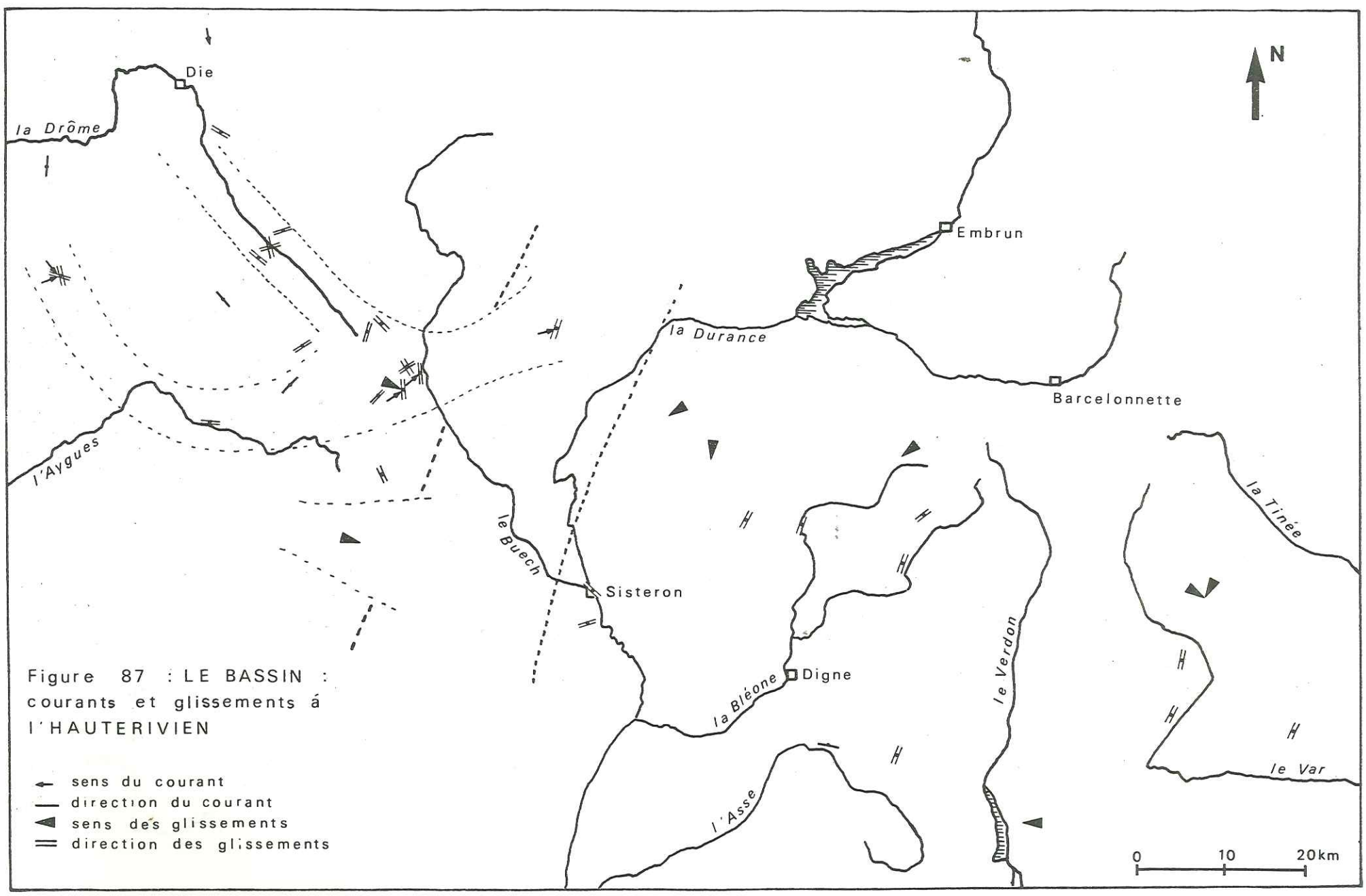


Figure 87 : LE BASSIN :
courants et glissements á l'HAUTERIVIEN

- sens du courant
- direction du courant
- sens des glissements
- direction des glissements

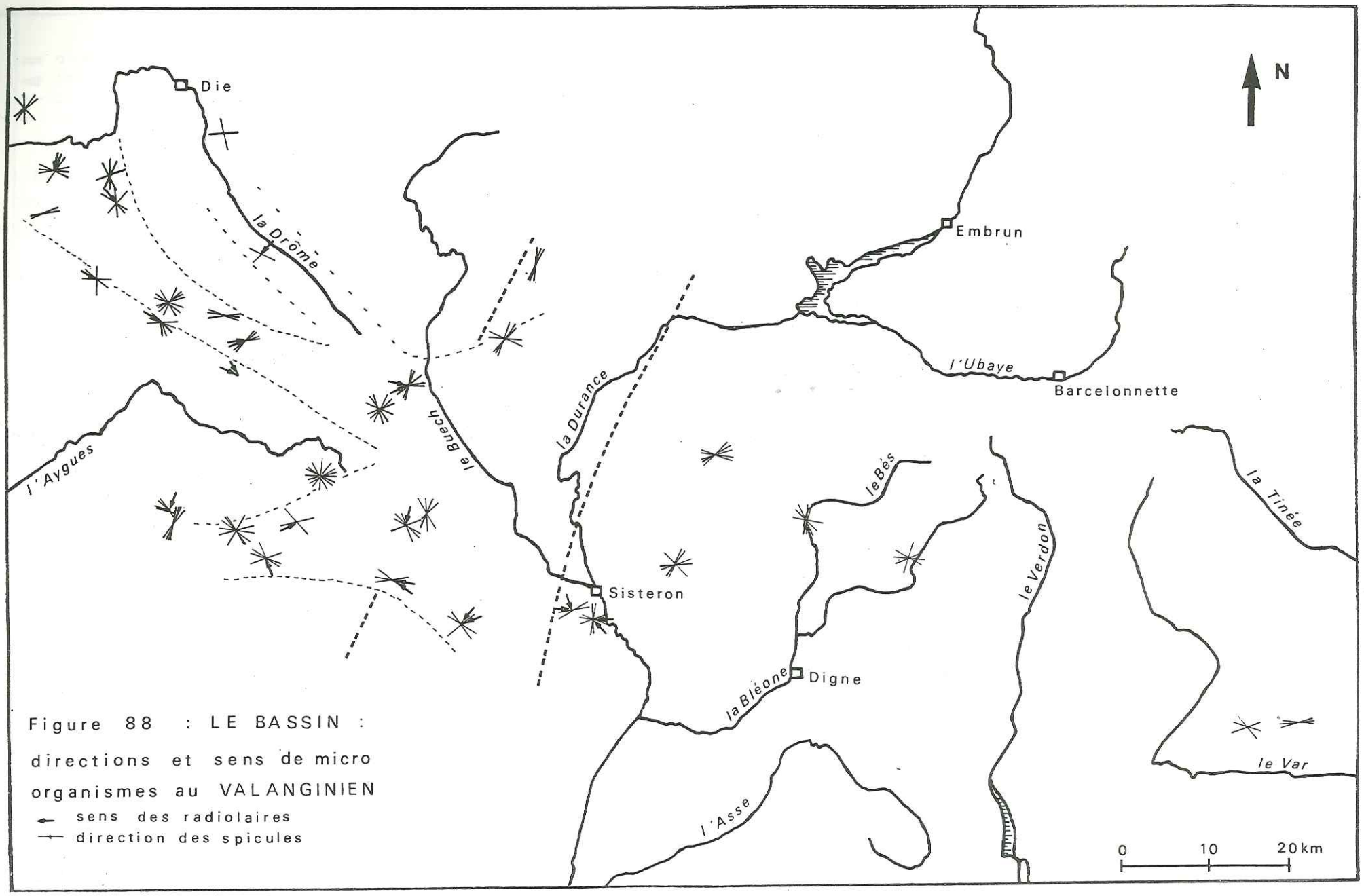


Figure 88 : LE BASSIN :
directions et sens de micro organismes au VALANGINIEN

← sens des radiolaires
— direction des spicules

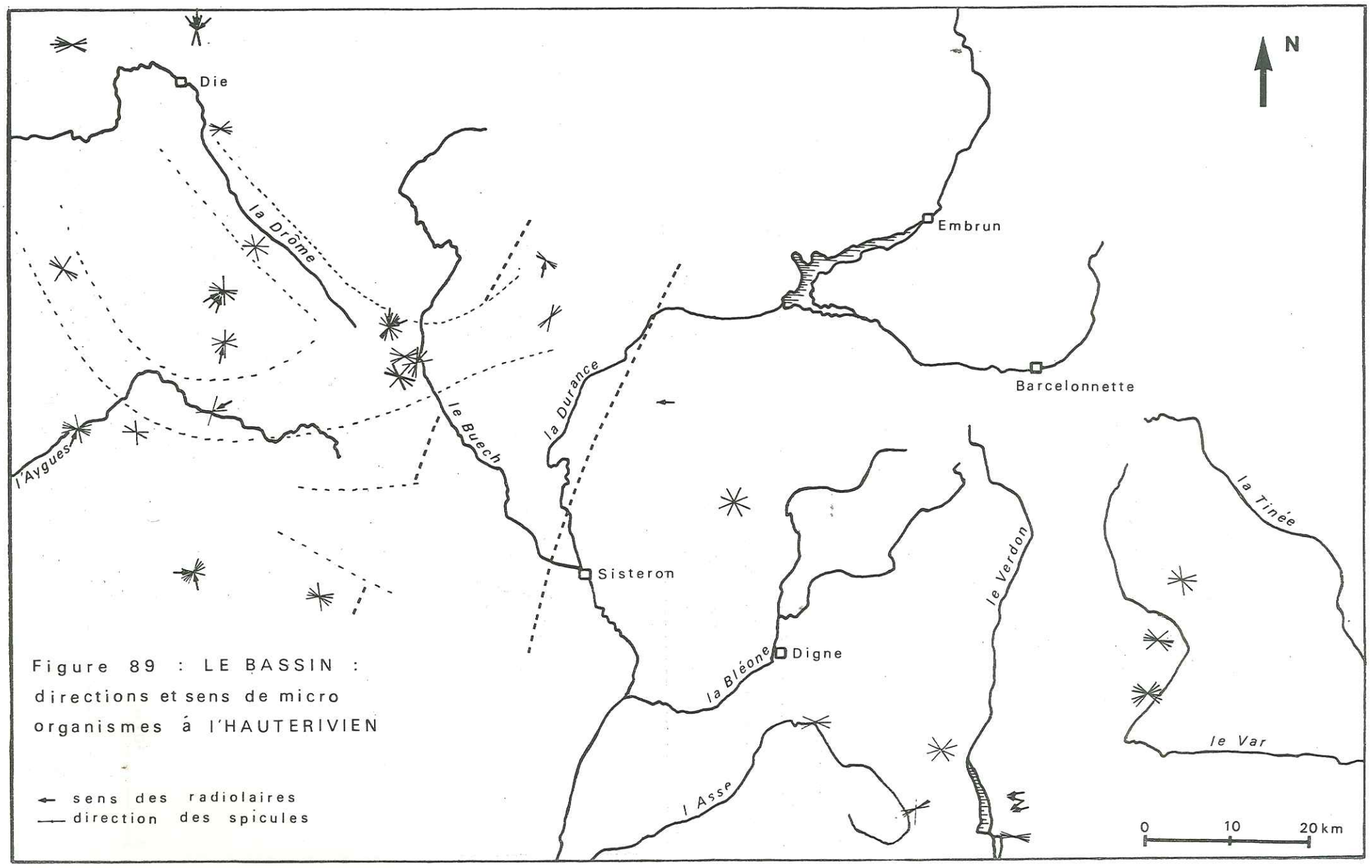


Figure 89 : LE BASSIN :
directions et sens de micro organismes á l'HAUTERIVIEN

← sens des radiolaires
— direction des spicules

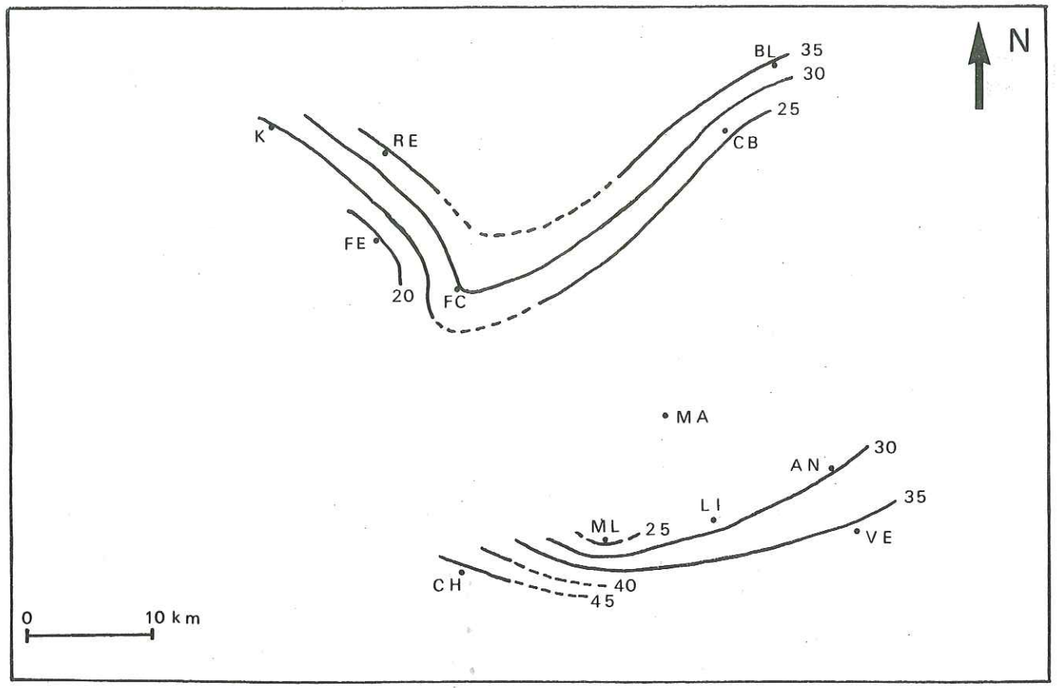


Figure 90 : Courbes d'isopourcentage en épaisseur de bancs calcaires au VALANGINIEN

La position des coupes tient compte des déformations tectoniques

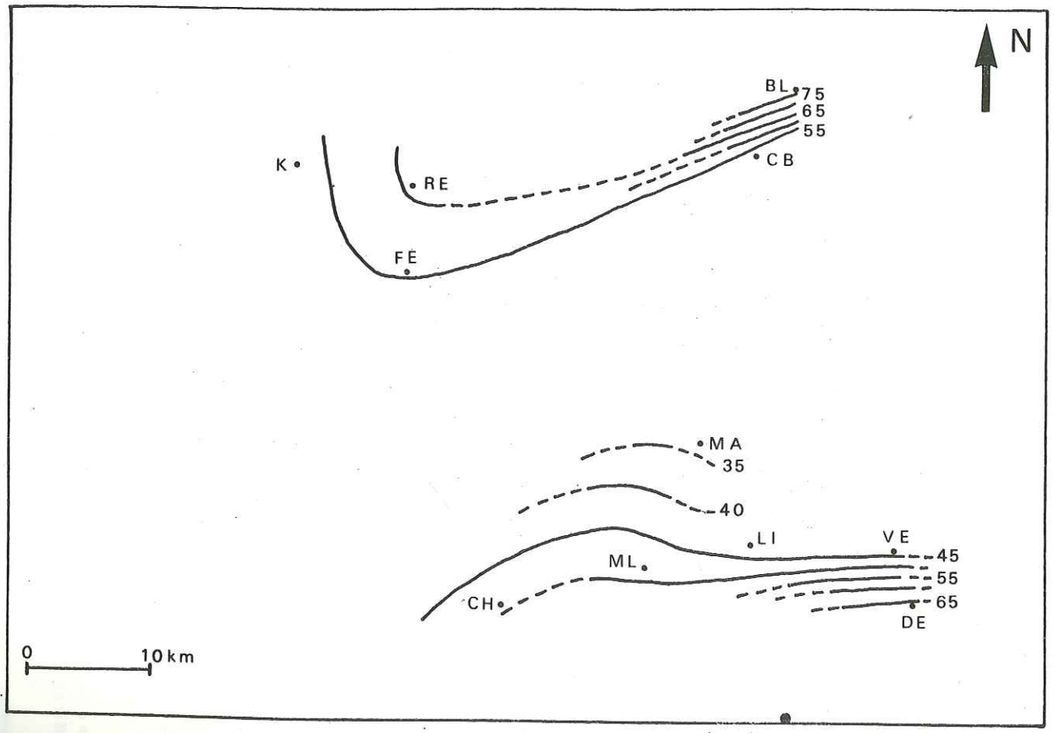


Figure 91 : Les mêmes courbes à l'HAUTERIVIEN inférieur

2.1.1 Les indications directionnelles

- Si l'on considère les cartes des fig.86 et 87

l'uniformité des directions de glissement semble être l'élément majeur de la morphologie . Elles matérialisent en effet une pente monotone inclinée vers le SSW comme le montrent les sens de glissement des coupes de Reynier, du Caire des Tourtourels, des Tourres .

La direction régionale persiste vers le Sud à Lioux sans que l'on puisse savoir si le sens s'est ou non inversé, mais, dans ce même secteur, les alignements de bélemnites et les directions de glissement orientés E.W (coupes VE, CH, RX) indiquent l'existence d'un sillon balayé par les courants .

Le sens du déplacement est connu, à Vergons, les sédiments progressent depuis les calcaires blancs littoraux situés à l'Est, en direction des zones plus profondes .

La grande pente NNE-SSW, au Nord du sillon EW est elle réellement uniforme ? Nous n'avons pas la preuve que des morphologies d'échelle régionale l'aient morcelée, mais la coupe des Tourres, par ses deux sens de glissement laisse supposer l'existence d'une morphologie en gouttière .

La coupe de la Clue de Barles, où les directions de glissement sont perpendiculaires à la pente générale ne peut s'expliquer que par la présence d'une morphologie du même type, ou d'un sillon entaillant la pente perpendiculairement à celle ci .

Enfin à St Geniez, l'inclinaison NW-SE ne s'explique qu'en faisant intervenir une morphologie secondaire, peut être dans le prolongement de l'éventuel sillon de Barles .

La direction N.S des glissements dans la coupe de Reynier signale la présence d'une arête d'importance limitée, puisqu'au Caire, nous retrouvons une pente inclinée vers le SW .

- Les directions des spicules de spongiaires (voir fig.88 et 89) mettent plus en évidence la direction du grand sillon E.W que celle de la pente, ce qui montre l'importance des courants empruntant cette direction et sans doute la faiblesse de la pente, mais la fig.36, qui reconstitue les directions dans plusieurs bancs calcaires corrélés montre que l'écoulement se produit aussi bien en suivant la pente que le long du sillon .

Il faut remarquer une plus ou moins grande dispersion des alignements de spicules reflet d'une morphologie plus ou moins canalisante .

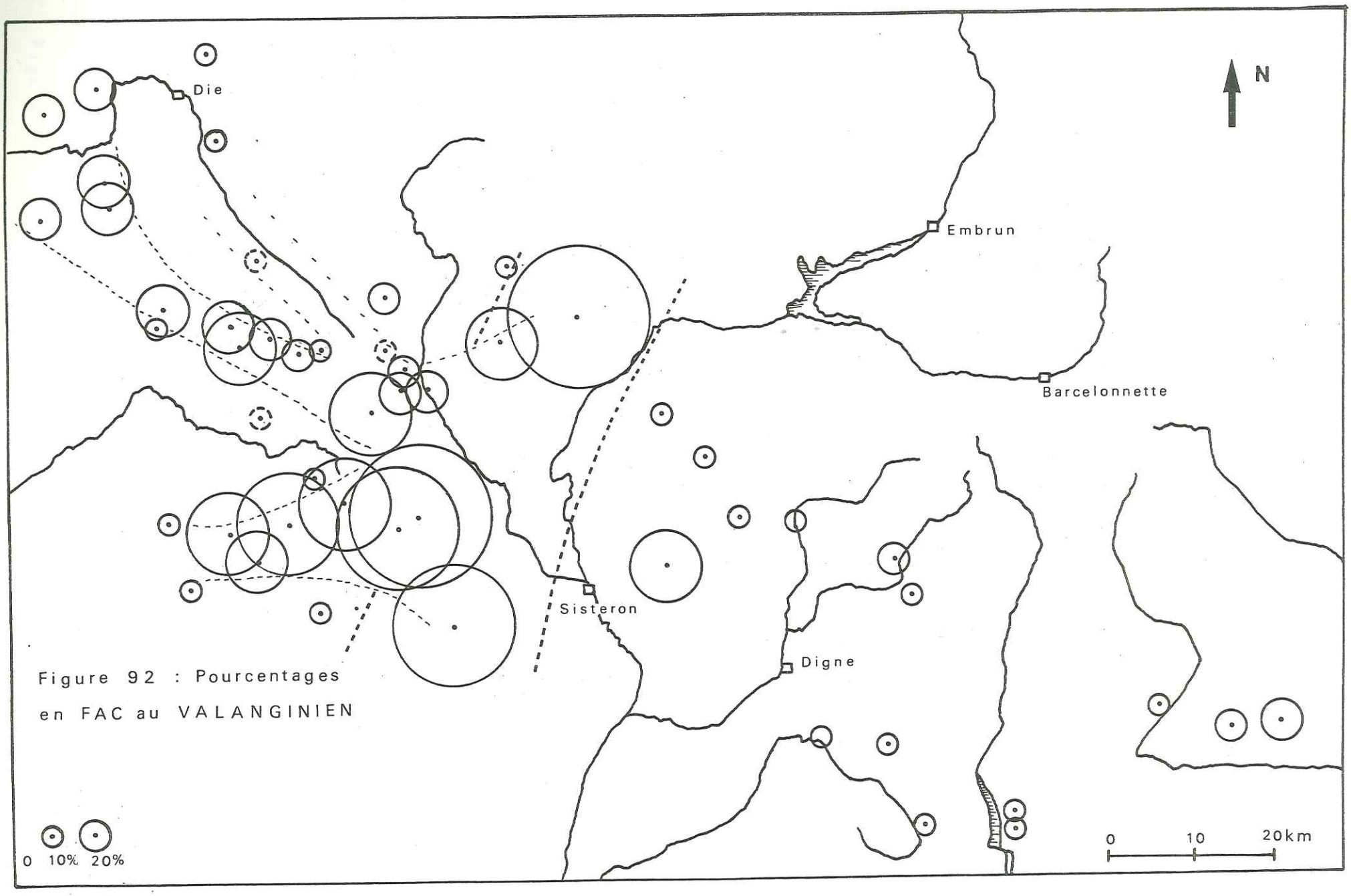


Figure 92 : Pourcentages en FAC au VALANGINIEN

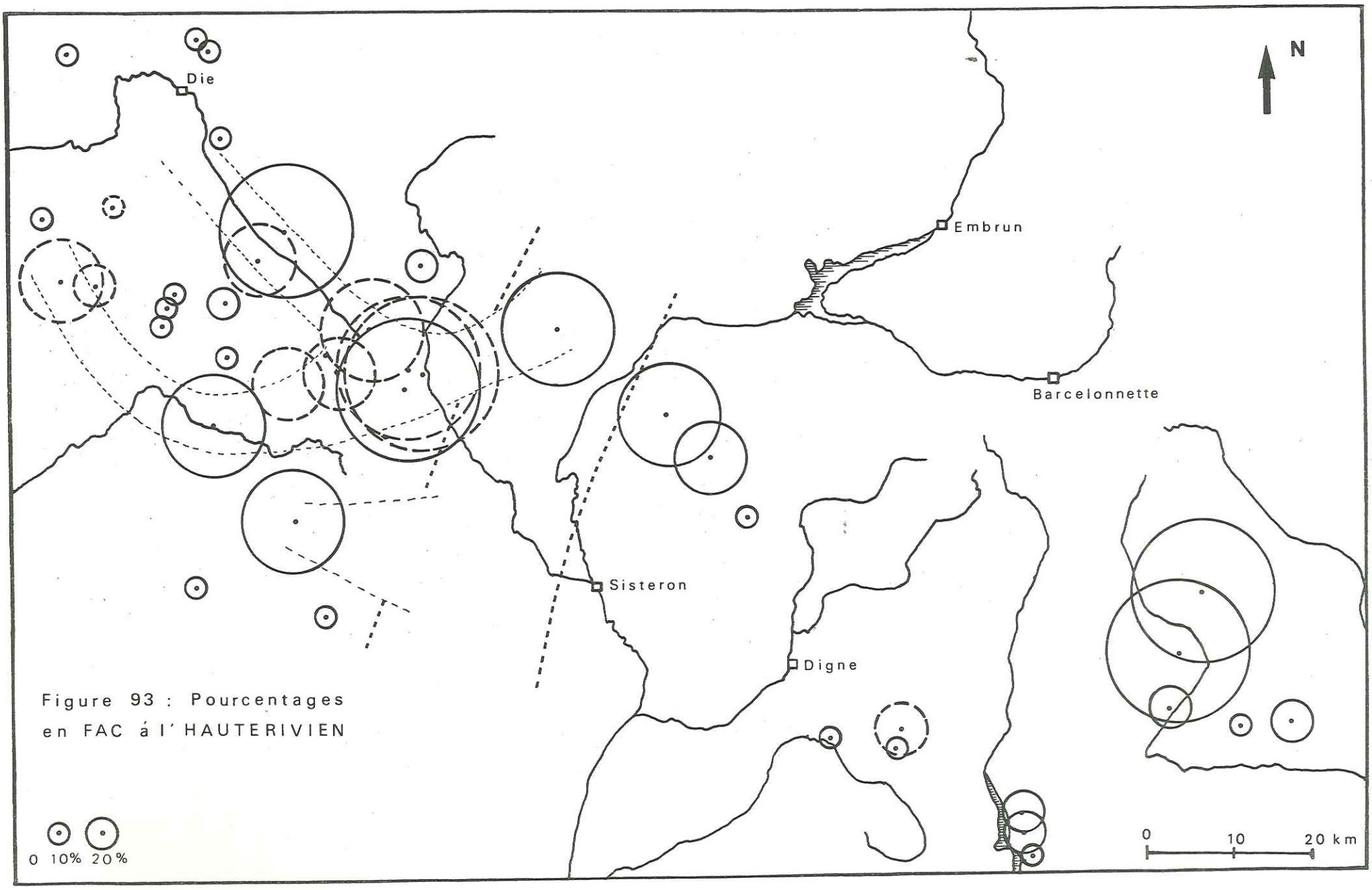


Figure 93 : Pourcentages en FAC á l'HAUTERIVIEN

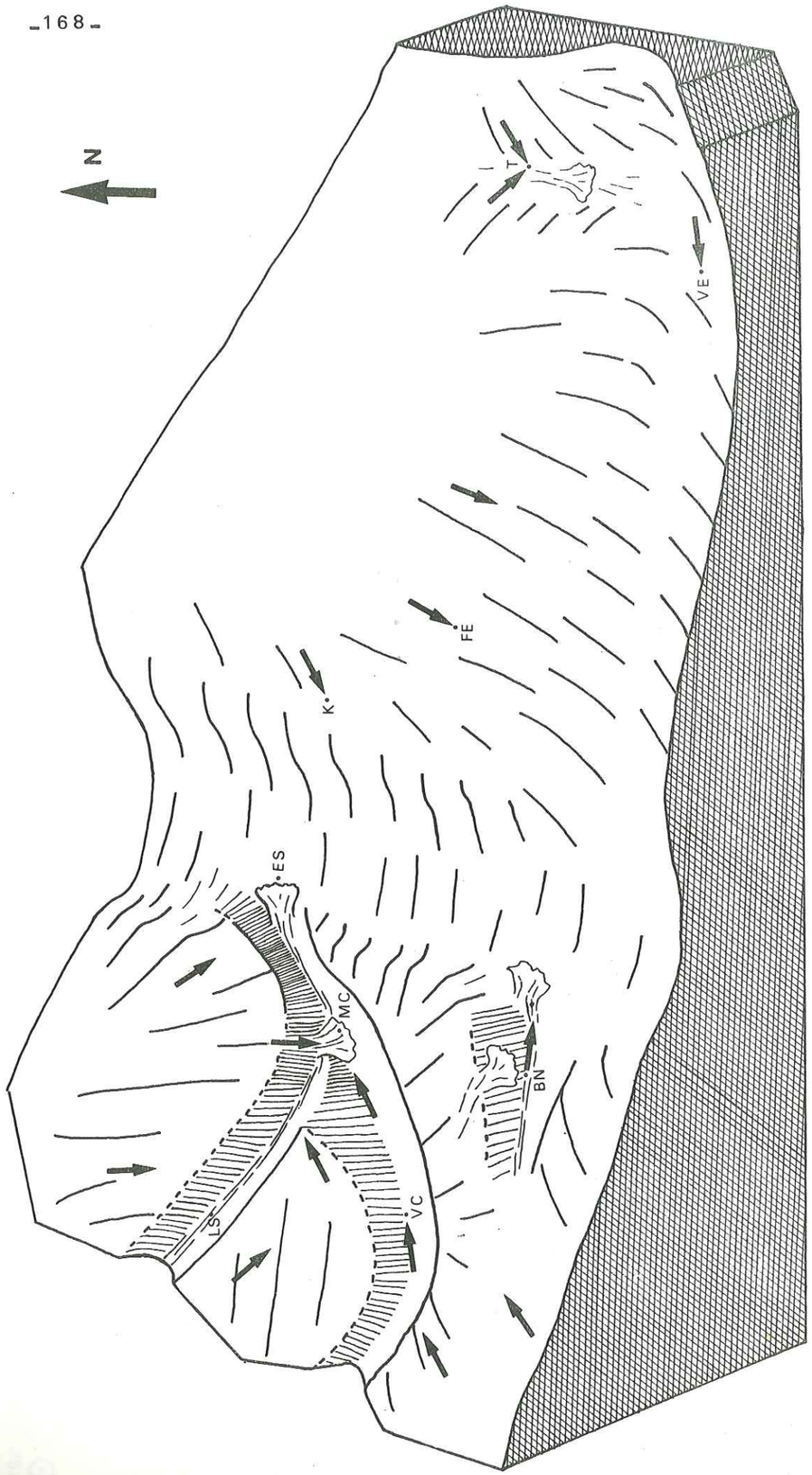


Figure 93 : Bloc diagramme du bassin à l'HAUTERIVIEN

2.1.2 Les courbes d'isopourcentage

- Les courbes d'isopourcentage en épaisseur de calcaire (fig.90 et 91) soulignent, au Valanginien comme à l'Hauterivien l'abondance des marnes dans la zone la plus profonde, et l'importance du sillon E-W .

Vers le NW, les pourcentages, faibles, indiquent la présence d'une zone basse qui se trouve être le sillon du Buech, qui départage les secteurs Est et Ouest du terrain .

L'augmentation des pourcentages vers le Sud indiquerait que nous sommes sur le versant Sud de la pente, de l'autre côté du sillon E.W . Cette augmentation est d'ailleurs surtout sensible à Chabrières, où l'influence d'apports cotiers se fait sentir (glauconie à la limite V-H, lamellibranches abondants au Valanginien) .

- Enfin, les cartes d'isopourcentage en faisceaux contournés, au Valanginien et à l'Hauterivien (voir fig.92 et 93) soulignent la faible inclinaison des pentes et le peu d'importance de la subsidence dans cette région .

Dans les coupes d'Enaux et des Tourres, des pourcentages plus élevés confirment l'existence de reliefs plus accusés = l'existence d'un sillon avait d'ailleurs été supposée en raisons des directions de glissement dans la coupe des Tourres (voir paragraphe 1.1.1) .

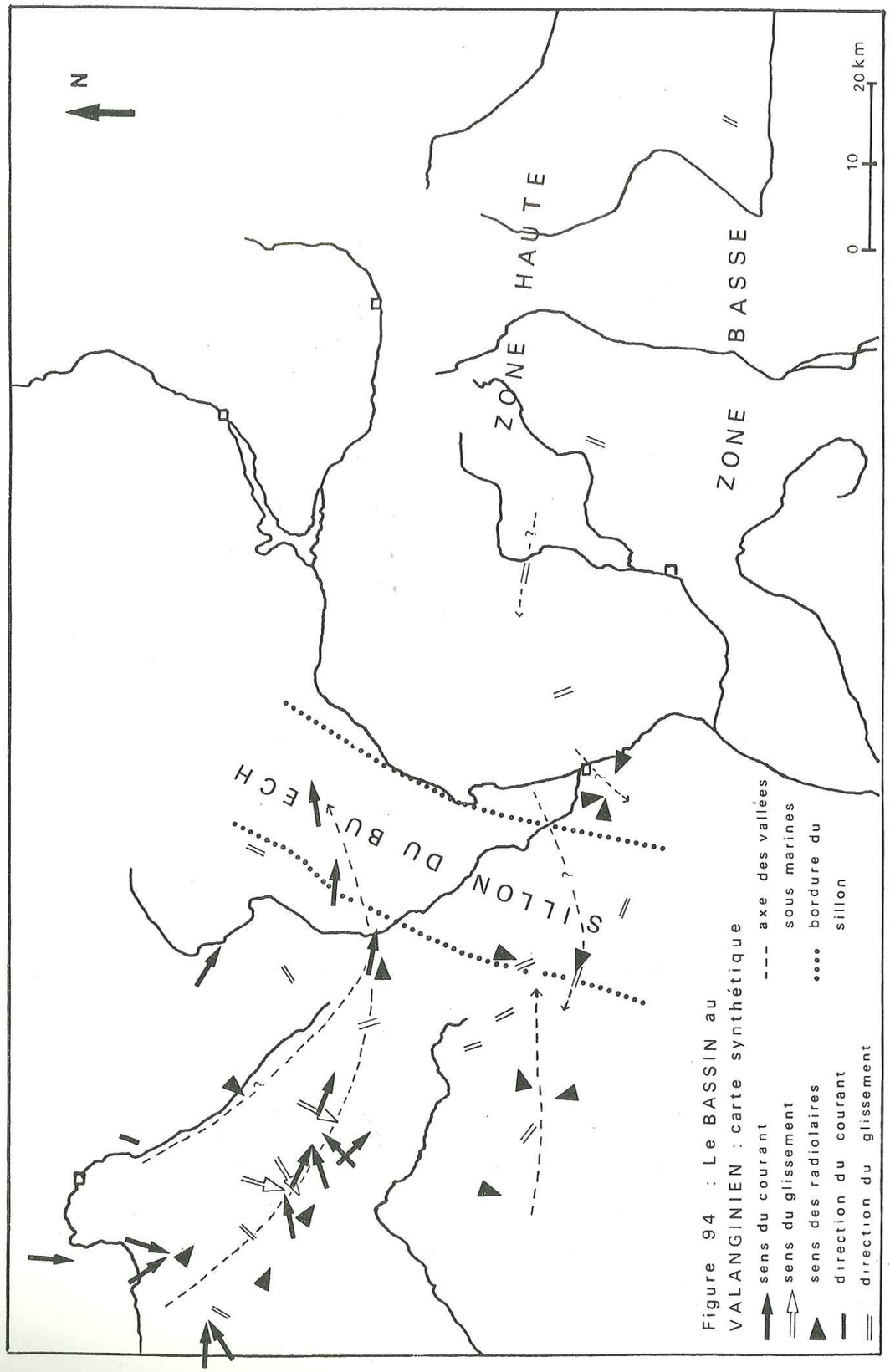
D'un étage à l'autre, quelques changements se sont produits, en particulier au Caire et à Reynier, où l'abondance des faisceaux contournés à l'Hauterivien évoque une migration vers le bas de la pente, ou une migration importante de la morphologie ou de la subsidence . Cependant l'orientation des pentes restant inchangée au Valanginien et à l'Hauterivien, les modifications n'ont pas été importantes d'un étage à l'autre .

2.1.3 Conclusion,

Le bloc diagramme de la fig.93 nous donne une vue d'ensemble de cette partie orientale du terrain : *une pente peu accusée inclinée vers le SSW, limitée à l'W et au S par des sillons, interrompue elle même par quelques morphologies mineures* .

2.2 LA REGION OUEST DU TERRAIN

La limite entre les deux grandes régions se définit par le changement d'orientation des pentes : à une pente inclinée vers le SSW succèdent à l'W des directions plus variées (voir fig.86 - 87) mais orientées en moyenne vers l'E .



Outre la diversité des pentes, l'abondance des faisceaux contournés au Valanginien comme à l'Hauterivien est caractéristique (voir fig.92 et 93) . La répartition des maxima suggère des morphologies complexes, leur variation au cours du temps évoque une migration de ces morphologies .

Comme à l'Est du terrain, le matériel a les caractéristiques du milieu à organismes pelagiques : les calcaires fins à spicules de spongiaires sont toujours bien représentés . Mais des calcarénites, de couleur rousse s'intercalent fréquemment dans les alternances . Elles contiennent une faune plus variée renfermant des organismes néritiques (foraminifères) mais les éléments pélagiques (spicules de spongiaires) n'en ont pas totalement disparu . Ces calcarénites peuvent se présenter isolément ou s'accumuler pendant des périodes privilégiées, presque sans intercalation calcaire (voir coupes de Montclus et la Charce fig.5 et 8) . L'étude des ces formations sera importante pour comprendre la morphologie et le fonctionnement de cette partie du bassin .

2.2.1 Au Sud de l'Aygues

J'ai surtout étudié ici le Valanginien moyen et supérieur : en effet l'Hauterivien affleure peu et le Valanginien supérieur et surtout terminal attire l'attention par le nombre et l'épaisseur des faisceaux à contournement et la présence de bancs de calcarénite rousse . C'est la région où les pourcentages en FAC sont les plus élevés à cette époque .

La fig.86 montre une orientation générale des directions NNW-SSE, la pente étant inclinée vers le S . Vers le S, les directions s'orientent plus vers le SW .

Les fig.88 et 89 retraçant les orientations des spicules de spongiaires et des radiolaires fait apparaitre un versant orienté vers le SE .
La corrélation des coupes BS - TT - MN - AU et les mesures d'orientation de spicules de spongiaires dans les bancs corrélés ont également mis en évidence une progression vers le N des éléments (voir paragraphe 5.3 ch.1) . Il s'agit donc d'une morphologie en creux d'axe W.N.W - E.S.E déversant son matériel vers l'E (voir carte synthétique de la fig.94) .

La carte des % en FAC nous fournit d'ailleurs des indications supplémentaires = une bande allongée, très riche en faisceaux à contournements est bordée par des coupes où les glissements sont rares ou absents (voir fig.92) .

Quelles sont les limites amont et aval de cette morphologie ?

A l'amont, les affleurements, mal exposés n'ont pas permis d'observations continues .

A l'aval, les pourcentages en FAC sont encore beaucoup plus importants (coupes BH, GG, VAU) . De plus, à Sisteron (Hauterivien terminal) et au Pomet (limite Berriasien - Valanginien) la pente s'inverse .

Des études effectuées au Berriasien ont montré l'existence d'un canyon sous marin progressant d'E en W (voir B. BEAUDOIN 77, I. POUSSIN) . Le peu d'affleurements valanginiens dans cette région n'a pas permis d'en montrer l'existence, mais il est certain qu'au moins au Valanginien basal deux morphologies s'écoulent en sens inverse vers le sillon du Buech .

La carte de la fig.88 confirme ces renseignements . A St Vincent, les courants se dirigent aussi vers l'W . Nous sommes donc au fond d'un large sillon où se déversent les sédiments canalisés par la morphologie E.W étudiée auparavant .

Quelles sont la durée de fonctionnement et la nature de cette morphologie ?

A l'Hauterivien, les quelques éléments d'information que nous possédons semblent montrer qu'elle se perpétue . Nous n'avons pas de renseignements précis concernant le Barrémien et le Berriasien . D'autre part, je n'ai pu mettre en évidence de ravinement important dans la zone basse ni de lacune sur ses bordures . Cependant, une corrélation entre Buis les Baronnies et la Rochette du Buis montre, à la Rochette, la disparition d'alternances ravinées par les FAC, l'épaisseur des bancs ravinés étant compensée par celle des sédiments glissés qui s'y étaient déposés .

Etant donné cette observation et l'épaisseur des FAC, *nous sommes sans doute en présence d'une vallée sous marine dont les flancs, assez raides, entaillent les pentes où ils s'installent* . De telles morphologies ont déjà été décrites au Tithonique Berriasien dans la région de Veynes et de St Geniez (voir J. MOUTTE et P. SOLER 75, I. POUSSIN 76, B. BEAUDOIN 77) . Elles semblent cependant avoir plus profondément entaillé le substratum que dans le cas étudié ici .

2.2.2 Au N de l'Aygues

Il s'agit ici de la région encadrée sur la carte de situation . J'ai choisi cette région pour l'étudier plus particulièrement, en collaboration avec Th. SEMPERE et P. JOSEPH chargés respectivement d'étudier le Berriasien et le Valanginien Hauterivien .

La comparaison entre les deux coupes de Montclus et de la Charce (voir fig.5, 8 et 9), toutes deux situées à l'intérieur de ce périmètre illustrent les variations importantes qui existent dans le temps et l'espace .

Alors qu'au Valanginien la coupe de Montclus contient peu de faisceaux contournés, à l'Hauterivien, leur accumulation atteint 70% de l'ensemble des sédiments !

A la Charce, les contrastes sont moins brutaux, le Valanginien comprenant quelques FAC à des périodes privilégiées, l'Hauterivien en contenant encore moins .

Les différences ne sont pas moins grandes si l'on considère les deux coupes à la même période = au début du Valanginien supérieur une zone constituée presque exclusivement de calcarénites et de marnes, de 30m d'épaisseur à la Charce n'a pas été retrouvée à Montclus .

A l'Hauterivien, la coupe de la Charce, série peu contournée, épaisse de 135m s'oppose à celle de Montclus, riche en FAC, où l'épaisseur de la série atteint 400m !

Dans le développement qui suit, j'étudierai période par période la signification de ces contrastes, afin de pouvoir reconstituer l'évolution dans le temps des morphologies .

2.2.2.1 Le Valanginien

- La morphologie d'ensemble

Si l'on considère, sur la carte de la fig.86 la région étudiée, une orientation générale n'apparait pas au premier abord, ce qui est du principalement aux directions nombreuses et variées obtenues pour chaque point étudié . Une telle disposition évoque une morphologie en forme de sillon où les sédiments progresseraient parallèlement au fond ou sur les versants .

En effet, des figures de courant dans les coupes BZ, ROU, BHU, ESB, indiquent un écoulement vers le NE .

Des déversements de rouleaux dans les FAC, à CC, ROU, DT, une figure de courant à STB montrent l'existence d'une pente inclinée vers le SSW .

L'axe du sillon situé entre BZ et STB au N est bien défini suivant l'alignement ROU - BHU - DT, plus au S, c'est à dire NW . SE .

Les plus forts pourcentages en FAC correspondent d'ailleurs à cet axe . Mais il faut remarquer qu'ils sont beaucoup moins élevés et plus localisés dans le temps que les pourcentages relevés au S de l'Aygues .

La coupe RT matérialise la bordure S du sillon . En effet, les courants s'y écoulent vers le SE, ce qui représente le sens général de la pente dans la partie W du terrain . Elle est donc à l'extérieur de la morphologie étudiée .

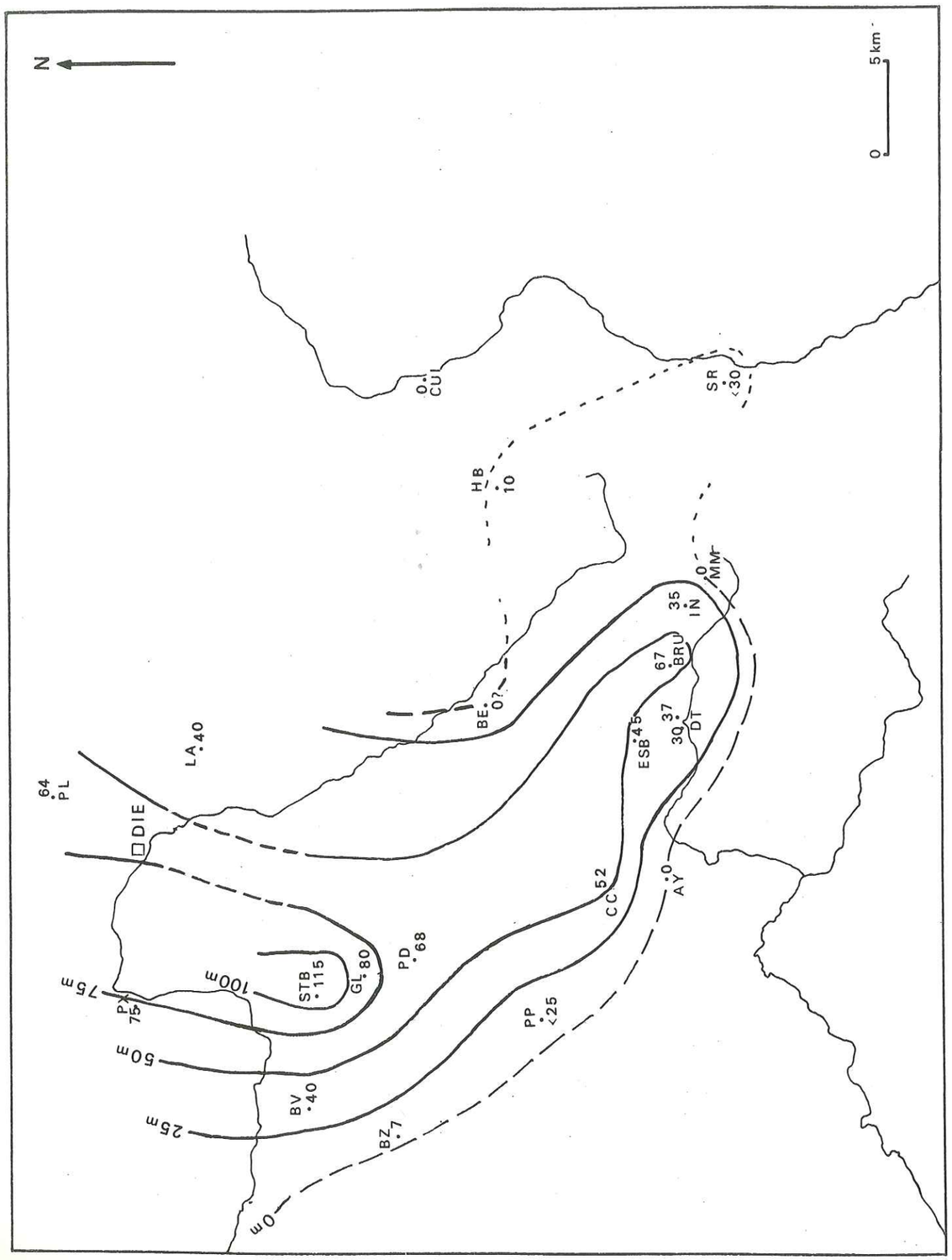


Figure 95 Isopaques de la Zone Jaune

La coupe CT posait un problème en raison de la dispersion de ses directions, associée à un fort pourcentage en FAC au Valanginien terminal . Mais les sens du courant recueillis dans les coupes SX et CD, donc en aval des Courtilles indiquant un écoulement vers l'Est, il est apparu que le sillon formait un coude situé vraisemblablement à l'emplacement de la coupe CT .

Le fort pourcentage en FAC de la coupe CD n'est pas surprenant si on le replace dans son contexte : il s'agit en effet de la coupe la plus aval et J. MOUTTE et P. SOLER (75) ont montré qu'elle était au Tithonique Berriasien située au fond d'une gouttière . Sa position est donc restée inchangée au Valanginien .

De plus, entre cette coupe et la coupe K, les sens s'inversent . Il est donc possible qu'elle soit déjà dans le large sillon NNE - SSW appelé sillon du Buech qui sépare l'E et l'W du terrain .

Un dernier problème concerne la limite entre la vallée défini au paragraphe 2.2.1 et cette nouvelle morphologie . Des observations assez régulières, des Courtilles à Barret le Haut n'ont pas mis en évidence de zones ou les pourcentages en FAC seraient moins abondants . Il semble donc que dans leur partie aval, ces morphologies soient très proches l'une de l'autre . D'autre part le rôle du sillon du Buech, acheminant les sédiments vers le Sud n'est sans doute pas négligeable .

La carte de la fig.88 qui retrace les orientations des spicules de spongiaires et des radiolaires confirme l'orientation du sillon et l'inclinaison des pentes .

- La zone calcarénitique à la base du Valanginien supérieur, ou "zone jaune" .

Appelée ainsi à cause de son aspect, elle apparait souvent dans le paysage sous forme d'une bande facilement colonisée par la végétation, dont la couleur jaune tranche sur les marnes grises qui l'encadrent .

o *Sa localisation* géographique semble liée à la partie amont du sillon défini précédemment (voir fig.95), les plus grandes épaisseurs étant relevées vers l'amont et dans le fond du sillon .

Il n'est pas facile de connaitre exactement ses terminaisons, en effet, quelques bancs de calcarénite sont facilement masqués par des éboulis . Cependant elle a disparu dans la région de Montclus où un FAC assez épais semble la remplacer stratigraphiquement . En revanche à Sigottier, des éboulis présentant la couleur caractéristique, et constitués de nombreuses plaquettes calcarénitiques ont permis de détecter sa présence . A la Haute Beaume, elle se présente sous forme d'une barre contournée, contenant des silex et des galets mous .

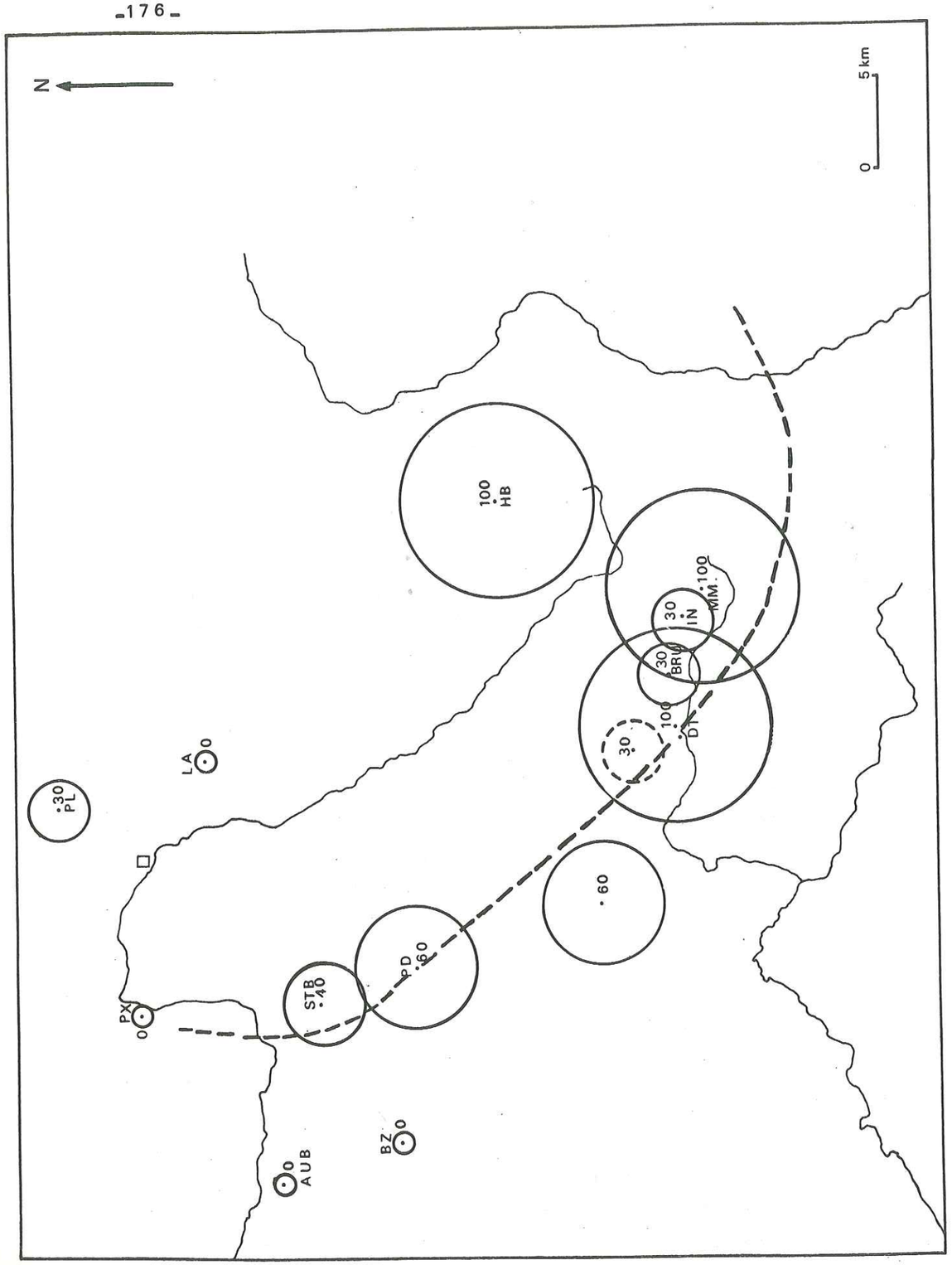


Figure 96 : Pourcentages en sédiments contournés dans la Zone Jaune

o *Les faciès*

Dans cette formation particulière nous avons différencié plusieurs faciès, plus ou moins bien représentés suivant les coupes .

- Des calcarénites rousses, sans structure visible ou bien laminées sont bien représentées à Bruis ou à la Charce .
- A Aubenasson j'ai pratiqué une analyse séquentielle détaillée de quelques bancs dont la structure paraissait plus complexe .

J'y ai retrouvé la succession des termes classiques dans la séquence de Bouma (voir fig.14), ce qui ne laisse pas de doutes sur l'origine flyschoïde des dépôts .

- Le calcaire, présent surtout au sommet des séquences à Aubenasson est plus abondant encore dans certaines coupes .

Il ne se présente pas sous l'aspect d'une micrite . En effet, le grain est visible à l'oeil nu, et la cassure plus rugueuse, ce qui justifie l'appellation de calcaire graveleux ou sableux . La perméabilité moins grande que pour les calcarénites rousses explique sa couleur grise, le fer contenu dans la roche n'a pu être oxydé .

Les faisceaux contournés valanginiens sont presques tous localisés dans cette formation .

Il se présentent sous forme de rouleaux, bancs biseautés et de blocs décamétriques à hectométriques .

L'ensemble, peu évolué, ne semble pas avoir subi de transport très long .

Leur répartition, vers le fond du sillon et l'aval (voir fig.96) est classique dans ce type de morphologie .

Que signifie l'abondance des glissements à cette époque particulière ? La rapidité de mise en place du sédiment (les calcarénites ont été recouvertes sans avoir subi de bioturbations) a peut être provoqué des remobilisations, d'où résultent les contournements .

o *Les directions*

D'après le sens des figures de courant, la progression semble s'être effectuée principalement depuis le N, le NE, et le NW et avoir suivi le sillon (STB, BHU, BRU) (voir fig.97) .

Le matériel redéposé, en revanche, a glissé sur les versants et s'est retrouvé plus au fond du sillon comme en témoignent les génératrice des rouleaux. Mais une telle disposition n'est pas exclusive = à Bruis (BRU), figures de courant et sens de glissement sont tous deux parallèles au sillon, à Bon Huile (BHU) une figure de courant suit la pente d'un versant .

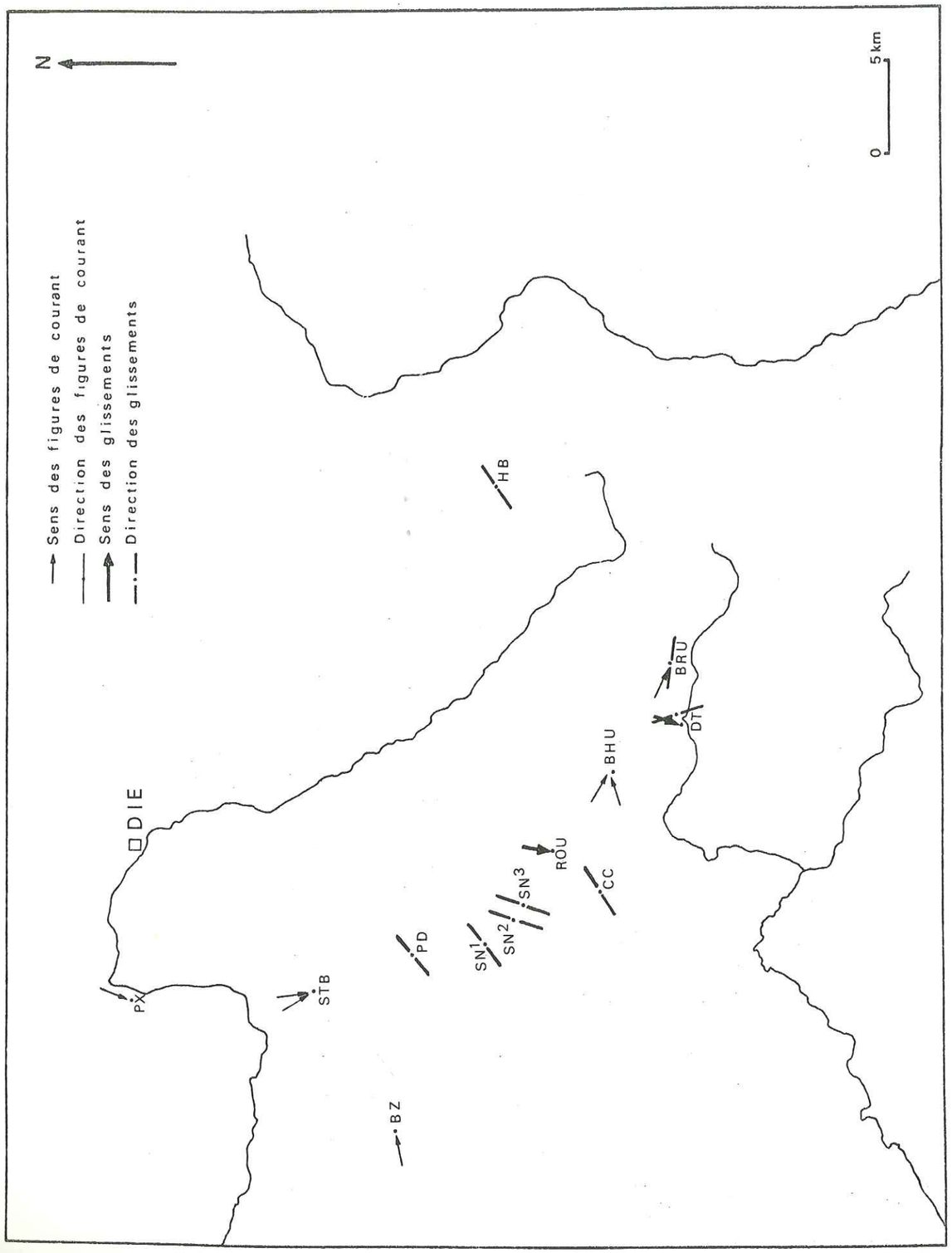


Figure 97 : Directions des figures de courant et des glissements dans la Zone Jaune

o *Les modalités de mise en place*

- L'Hétérochronie

Les datations par ammonites montrent que si la "zone jaune", dans son ensemble, est d'âge Valanginien supérieur, le synchronisme n'est pas effectif à une échelle plus détaillée . Les derniers bancs calcaires, sous les calcarénites sont datés du Valanginien inférieur presque sommital dans la partie moyenne de la vallée, du Valanginien supérieur peu élevé ou moyen à l'amont . Sur la fig.98 l'extrémité inférieure des segments correspond à cette limite .

Mais ces différences d'âge, n'étant pas considérables, peuvent s'expliquer autrement que par diachronisme de la "Zone Jaune"

En effet, il peut y avoir une lacune de sédimentation ou une érosion du substratum avant le dépôt de ce corps sédimentaire . Cependant, à St Benoit, les alternances datées du Valanginien supérieur et situées sous la Zone Jaune sont épaisses au minimum de 20 à 30m . Dans le cas où la base de la Zone Jaune est synchrone, il doit donc exister une lacune notable dans les différentes coupes corrélées avec la Charce . Or, on observe bien, dans les derniers bancs du substrat une abondance d'ammonites, mais celles ci ne sont jamais d'âge Valanginien supérieur .

D'autre part, à la Charce et au col des Roustans, il y a en effet un ravinement de plusieurs bancs calcaires du substrat par le matériel calcarénitique . Cependant, les corrélations effectuées entre les coupes de Chalancon, Establet, la Charce et Bruis indiquent que la "zone jaune" y apparait au même moment à un ou deux bancs près, ce qui semble minorer l'importance des phénomènes d'érosion .

Une dernière remarque s'impose : lorsque le substrat est daté du Valanginien inférieur, l'installation de la Zone Jaune semble très brutale : à sa base, des calcarénites laminées alternent avec les marnes . Par contre, lorsque des alternances du Valanginien supérieur existent sous la Zone Jaune il y apparait de plus en plus fréquemment des calcarénites isolées .

Il semble donc que l'hypothèse du diachronisme de la base de la zone jaune est la plus probable .

En ce qui concerne son sommet, les datations dans les bancs calcaires situés immédiatement au dessus sont très variées (voir fig.98) . Il y a donc bien diachronisme .

- La nature du matériel a-t-elle subi une évolution dans le temps ?

La coupe de la Charce nous livre à ce propos d'intéressants renseignements : entièrement constituée de faisceaux contournés, la zone jaune comprend, de bas en haut :

- des bancs calcarénitiques souvent laminés de couleur rousse .
- des bancs calcarénitiques roux où s'intercallent des laminites grises de

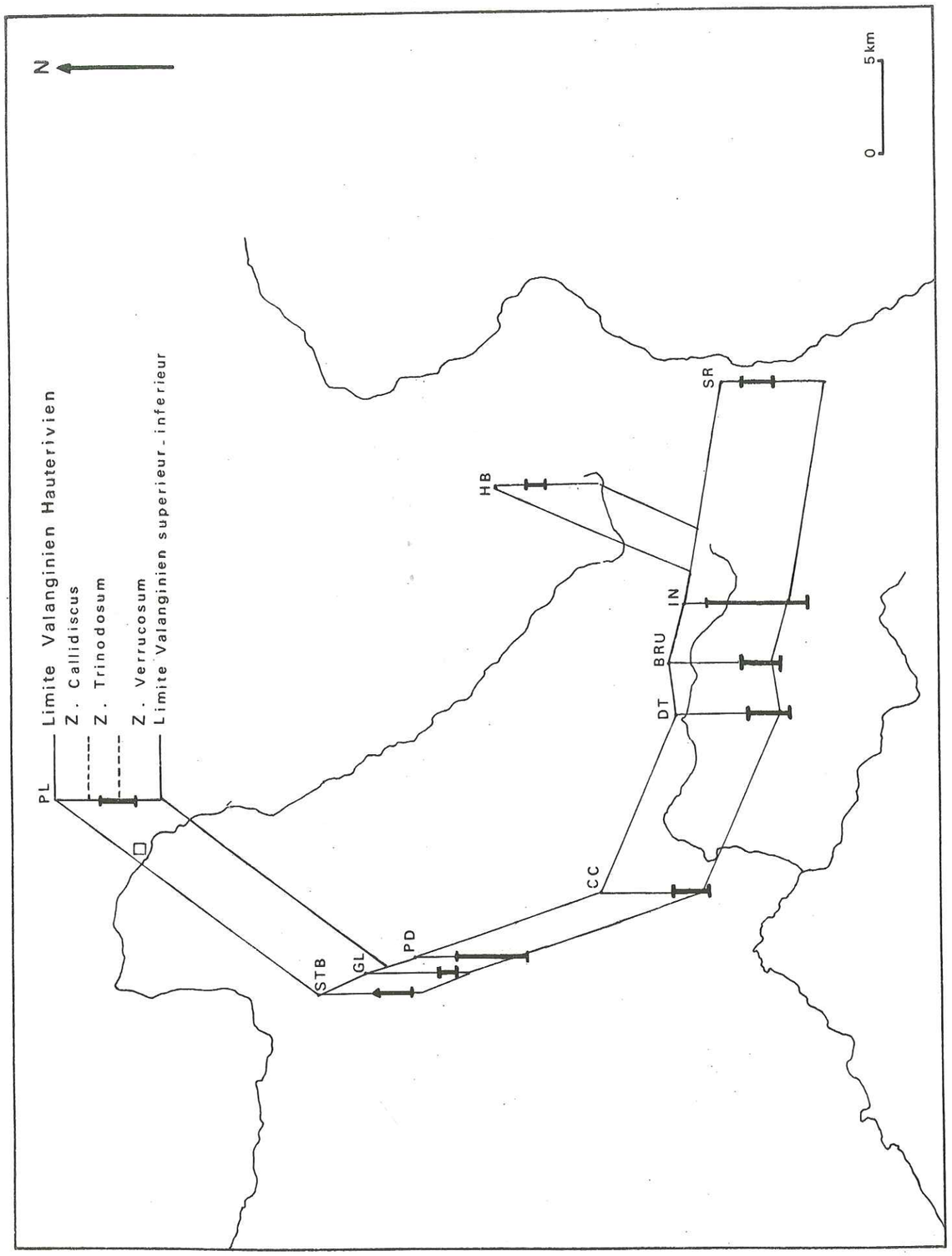


Figure 98 : Datations de la Zone Jaune

calcaire graveleux . Ils comportent souvent des rides parfois convolutées .
- des bancs uniquement constitués de calcaire graveleux gris .

Il y a donc évolution vers des faciès plus fins ce qui correspond à un passage des termes relativement proximaux à des termes plus distaux dans la séquence de Bouma .

A Pontaix, le pourcentage des calcaires graveleux par rapport aux calcarénites rousses augmente également vers le haut de la série, cependant l'ensemble est moins calcarénitique .

Cependant, l'absence de figures de courant montre que la turbulence nécessaire à leur formation n'était pas atteinte même à la base . Elles sont le plus souvent associées à la phase granoclassée, c'est à dire au terme le plus proximal de la séquence de Bouma .

- *Si l'on tente de reconstituer la mise en place de la Zone Jaune* il faut envisager une installation brutale de ce corps sédimentaire à la fin du Valanginien inférieur . Il se localise alors dans le fond du sillon et surtout vers l'aval . Des glissements remobilisent le matériel qui se trouve à l'état de faisceau contourné à la Charce et dans le ravin de l'Infernet . Quelques incursions de la zone jaune se produisent sur les bords (voir coupe de St Benoit) Ensuite, tandis que la turbulence des courants diminue, les dépôts s'effectuent plus vers l'amont et atteignent les bordures .

Il est possible que les calcarénites de la Ht Beaume et de Sigottier proviennent d'une zone source légèrement différente située plus vers l'E . Leur continuité avec les coupes occidentales n'est pas démontrée . Il en est de même pour les affleurements des Planeaux et de Laval d'Aix . En effet une morphologie de type canyon a fonctionné le long de la Drôme au Berriasien et à l'Hauterivien . On ignore, faute d'affleurement, si elle s'est conservée au Valanginien .

Mais le fait que les datations obtenues pour la base de la Zone Jaune de ce secteur oriental soient d'âge plus récent que dans les autres coupes, à la Haute Beaume et à Sigottier ne peut que renforcer l'hypothèse de la non continuité .

o *Signification de la zone jaune*

Bien des points restent encore obscurs en ce qui concerne les causes de cette arrivée massive de calcarénites .

Nous avons montré que l'origine de ce dépôt n'est pas étranger à celle des alternances marne calcaire même si le mode de transport est de nature plus "catastrophique" et que la cadence des dépôts est plus rapide .
On n'observe en effet aucune discontinuité dans la courbe de pourcentage en calcaire ou en calcarénite lorsque l'on traverse la zone jaune . De plus la courbe des épaisseurs des bancs calcarénitiques en fonction de leur rang évolue parallèlement à celle des marnes, tout comme on peut l'observer pour celle des calcaires (voir fig.12) .

Il semble donc qu'il y ait eu dans les zones sources un matériel calcarénitique plus abondant, ce qui aurait provoqué une redistribution vers les zones profondes . Elle se serait effectuée sous l'influence des pentes ce qui explique leur parenté avec les alternances marne calcaire, soumises aux mêmes modalités de transport .

Deux hypothèses doivent être envisagées pour expliquer cette arrivée brusque de matériel grossier . On peut d'abord supposer qu'un cône d'épandage progradant jusqu'à la bordure du talus de plateforme septentrional a emprunté ensuite une morphologie entaillant ce talus et se développant vers l'aval en une grande vallée sous marine .

D'autre part, une relation avec des manifestations tectoniques plus au Nord est également envisageable . Notons en effet que la zone jaune semble apparaitre juste à la limite Valanginien inférieur - Valanginien supérieur . Or cette limite correspond justement dans les régions septentrionales à une grande régression Sud-Est - Nord-Ouest, mise en évidence dans le Jura par des lacunes stratigraphiques importantes englobant le Berriasien terminal et le Valanginien inférieur .

La zone jaune serait alors l'équivalent du calcaire biodétritique roux déposé au Valanginien supérieur dans le Vercors et le Jura .

La coincidence est frappante, mais en l'état actuel des connaissances, nous ne pouvons trancher entre les deux hypothèses .

- La limite valanginien Hauterivien

Nous avons vu que la limite Valanginien Hauterivien était marquée dans tout le terrain étudié par des phénomènes particuliers, principalement l'augmentation en épaisseur des bancs calcaires .

Mais des phénomènes plus particuliers à l'Ouest du terrain ont aussi été observés . Il s'agit de l'apparition de bancs glauconieux à Charsac, Vachères et aux Planeaux .
Cette glauconie, qui se présente sous forme de grains plus ou moins arrondis est surtout développée au Nord . P. COTILLON (71) souligne que les surfaces

durcies riches en fer qui sont apparues à certaines périodes dans les zones néritiques sont particulièrement favorables à la formation de glauconie .

Cette glauconie aurait ensuite été transportée vers les zones profondes où elle y serait le témoin de l'interruption de sédimentation qui se produit sur les marges du bassin .

Les coupes où la présence de glauconie a été détectée sont d'ailleurs situées vers l'amont des morphologies ce qui confirme l'origine de ces apports . Précisons d'ailleurs qu'un faciès "calcaire sableux" constitué de calcarénite très fine et contenant des grains de quartz est souvent associé à la glauconie .

L'apparition de barres calcarénitiques marque également la limite Valanginien Hauterivien .
Ces barres, pouvant atteindre une dizaine de mètres (Serres), sont constituées de bancs pluridécimétriques de calcarénite fine rousse, parfois convolutée, et contenant des silex noirs ou, plus rarement, de gros galets mous blancs .
Les bancs sont séparés par de minces interlits marneux . (voir photos 7 et 8) .

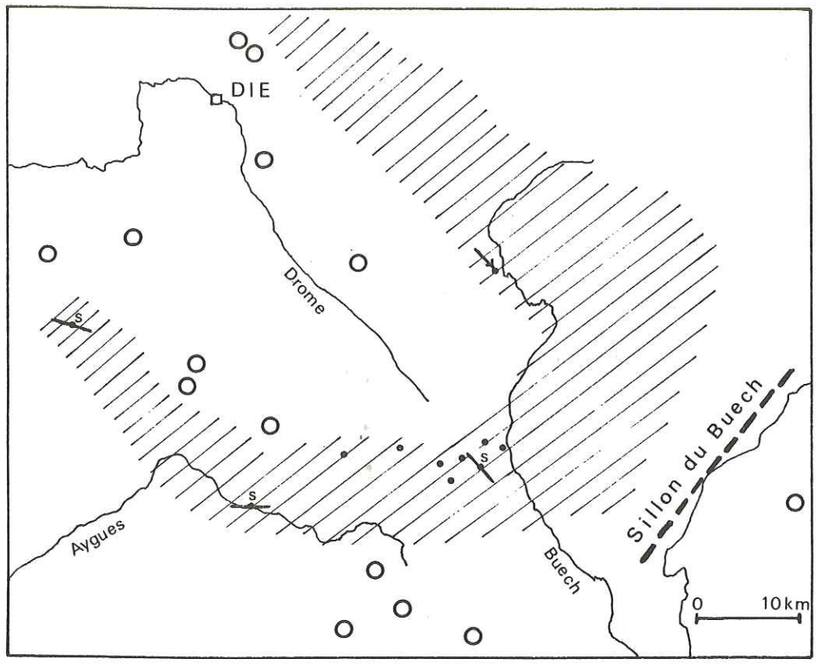
Les datations indiquent un âge Valanginien terminal ou Hauterivien inférieur selon les coupes . Nous n'avons pu démontrer si ces différences sont dues à un ravinement du substrat ou à un diachronisme de cette formation .

Nous avons, à plusieurs reprises retrouvé ces barres à l'état contourné . Leur substrat est alors daté Hauterivien moyen ou supérieur . Ce qui démontre une fois de plus la lenteur de la lithification des sédiments puisqu'ils sont encore assez plastiques pour se déformer de façon souple, 3 millions d'années après leur premier dépôt .

La fig.99 donne la carte de localisation des barres de calcarénite : nous avons précisé les affleurements où elles apparaissaient contournées, avec les directions de glissement obtenues .
Deux grandes zones s'individualisent .

Au NE les barres de calcarénites présentent une grande extension ; en particulier, elles couvrent la majeure partie de la feuille de Gap mais ne dépassent pas le sillon du Buech .

Au SE, les barres se localisent suivant une bande E.W puis NW-SE . Nous verrons au paragraphe suivant que cet alignement est celui d'un sillon mis en évidence à l'Hauterivien .
P. JOSEPH et T. SEMPERE (77) et S. FERRY (76) l'ont respectivement retrouvé au Berriasien et au Barrémien . Il semble donc que la mise en place de cette formation a été guidée par une morphologie en creux dans le secteur SE, tandis qu'au NE, elle s'est épandue depuis le Nord sur une pente assez uniforme .



zone de présence de la barre de calcarénite

barre existante

barre contournée

direction de glissement

absence de la barre

Figure 99

- Conclusion

Au Valanginien, se dégage donc l'image d'une morphologie en forme de gouttière orientée NW-SE puis NE-SW, débouchant dans un vaste sillon (voir fig.94) .

La facilité des corrélations banc à banc, effectuées sur 50km (voir ch.1) ne plaide pas en faveur de morphologies ravinantes aux versants très raides . Le pourcentage de glissements est d'ailleurs modeste par rapport au Berriasien (1) .

Cependant, la courbe d'isopaques de la fig.100, au Valanginien supérieur montre qu'il y a encaissement au niveau de Chatillon le Désert, ce qui se traduit d'ailleurs par des pourcentages de glissements plus importants .

L'apport calcarénitique, au début du Valanginien supérieur, accompagné de nombreux glissements correspondrait à un renouveau d'activité du à des conditions extérieures (afflux brutal de matériel) .

Le passage du Valanginien à l'Hauterivien, marqué par une tendance à l'émersion dans les régions littorales, s'est manifesté encore par une ou plusieurs barres calcarénitiques dont la présence semble limitée à un sillon secondaire et au versant N.E. Un faciès de calcaire "sableux" à grains de glauconie est localisé vers l'amont du sillon principal .

2.2.2.2 L'Hauterivien

Tandis qu'au Valanginien les différentes cartes montraient l'existence d'un seul sillon, à l'Hauterivien les morphologies semblent plus complexes . Cependant, les plus forts pourcentages en sédiments contournés suivent l'alignement de la Drôme, selon un axe parallèle au tracé Valanginien mais décalé vers le NE (voir fig.93) . Les sens de glissement, perpendiculaires à cet axe pour les coupes LG, BM, VL, lui sont parallèles pour celles de LA, LS, CM, ES (voir fig.87) . La carte de la fig.89 confirme ces résultats .

Une région un peu particulière est celle de Sigottier, le Buech, Montclus, où les directions de glissement sont plus complexes et les pourcentages en FAC plus élevés . Une étude de la coupe de Montclus, au chapitre 2, a montré que les glissements étaient répartis en deux grandes familles, l'une s'orientant N.S, l'autre NW-SE les glissements provenant alors du SE . Cette famille est donc bien dans l'alignement du sillon . Quant à la famille N.S et à la troisième direction, déduite des figures de courant, elles montrent que nous sommes à l'emplacement d'un coude, localisé aux Courtilles au Valanginien .

(1) voir J. MOUTTE et P. SOLER 75, P. JOSEPH et Th. SEMPERE 77 .

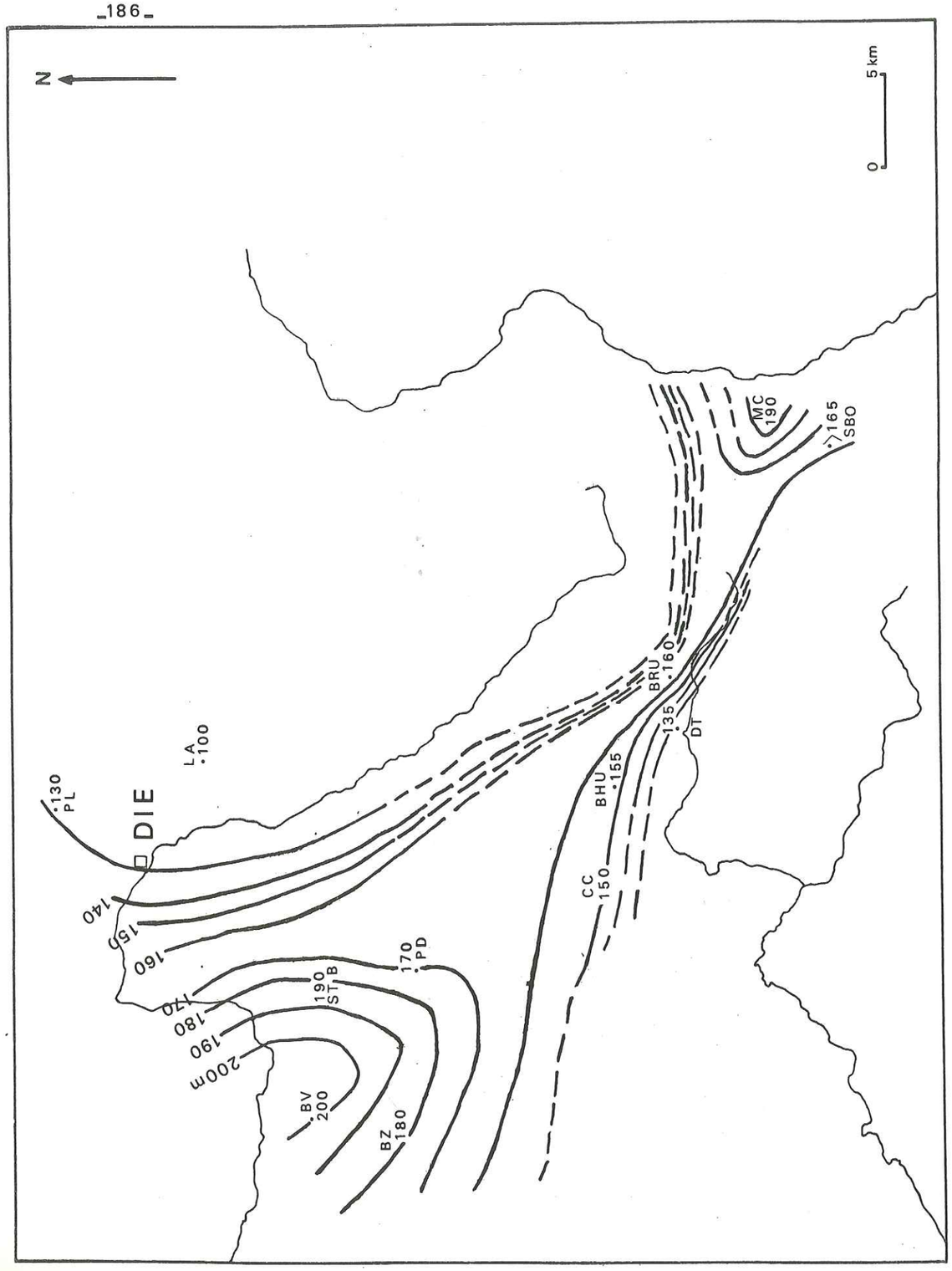


Figure 100 : Isopaques du Valanginien Supérieur

A l'écart de cet alignement, les coupes de Verclause et Crupies, très riches en faisceaux contournés, sont insolites dans leur environnement . De plus, ces deux coupes, malgré leur éloignement relatif ne semblent pas étrangères l'une de l'autre : elles contiennent, à l'état de faisceau contourné, la barre de calcarénite à silex décrite précédemment .

Si l'on prolonge leurs directions de glissement, il est possible de tracer une morphologie qui déboucherait dans la région de Montclus . L'hypothèse d'un affluent qui se déverserait dans le premier sillon à l'emplacement du coude n'est donc pas sans fondements . Elle expliquerait aussi l'invraisemblable accumulation de faisceaux contournés dans la région de Montclus pendant l'Hauterivien et le Barrémien . De plus, la barre à silex a été mise en évidence le long de cet axe (voir fig.99) ce qui laisse supposer qu'elle a été guidée par cet affluent .

Comment fonctionnent les morphologies à l'Hauterivien ? La corrélation de la fig.101 la Charce - Bellegarde - Beaumont montre une conservation des épaisseurs des coupes extérieures au sillon principal aux coupes qui lui sont internes . En effet dépôt par contournement et ravinement ont tendance à se compenser, ce qui assure le maintient de la morphologie .

A l'Hauterivien, la vallée sous marine valanginienne, d'axe Pontaix - Bruis est donc presque totalement comblée .

En revanche l'affluent qui a fonctionné le long de la Drôme au Berriasien, et peut être au Valanginien est toujours en activité .

Un deuxième affluent dont l'axe est Verclause Crupiés rejoint le premier aux environs de Montclus . Il semble avoir existé également au Berriasien et au Barrémien . Au Valanginien, le peu d'affleurements étudiés dans cette région n'avait pas permis de conclure, mais il y a de fortes chances pour qu'il ait fonctionné du Berriasien au Barrémien .

Dans cette hypothèse, le confluent, au Valanginien serait sans doute aux Courtilles, ce qui laisse supposer une progradation du confluent des Courtilles à Montclus (voir fig.102) .

Les blocs diagrammes des fig.103 et 104 résument toute cette évolution, du Valanginien à l'Hauterivien .

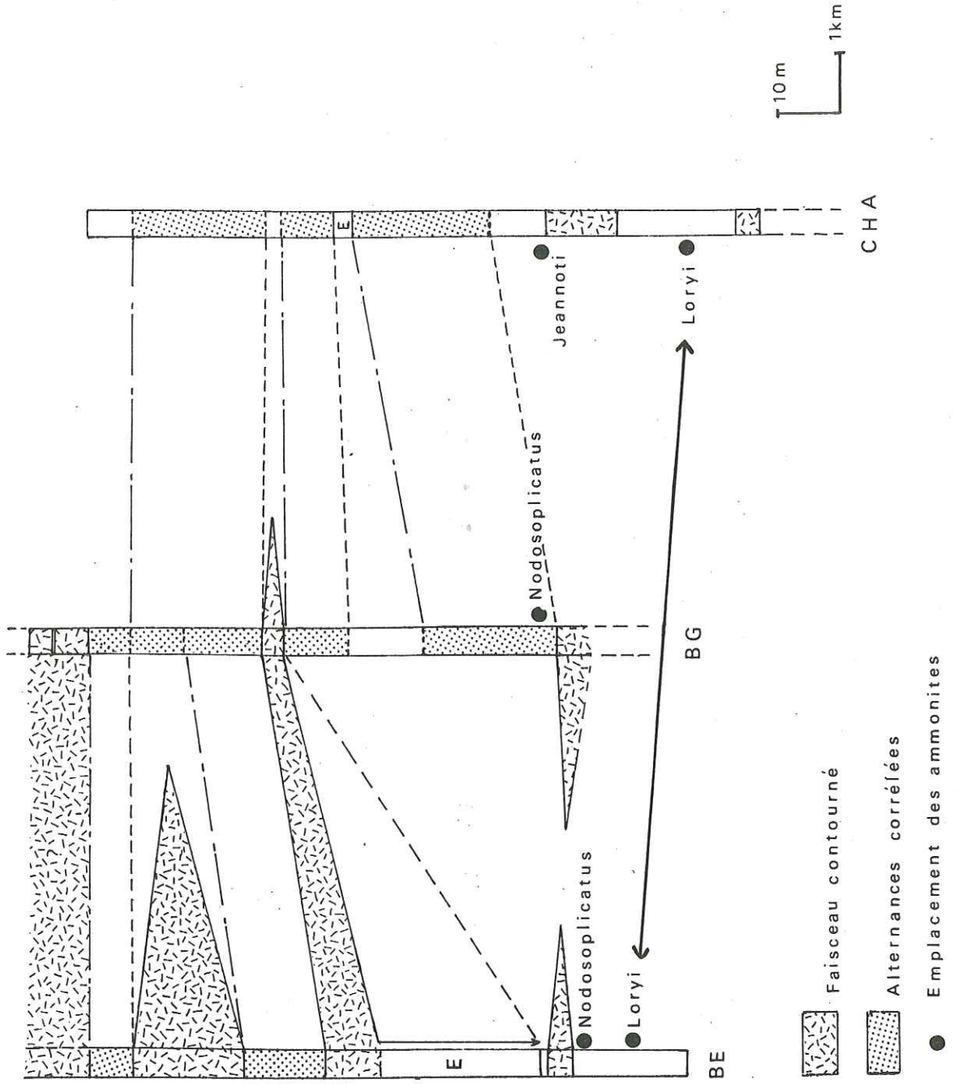
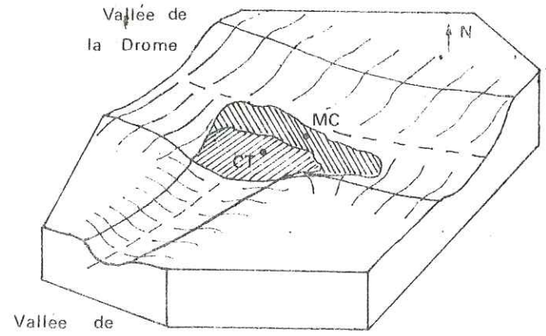
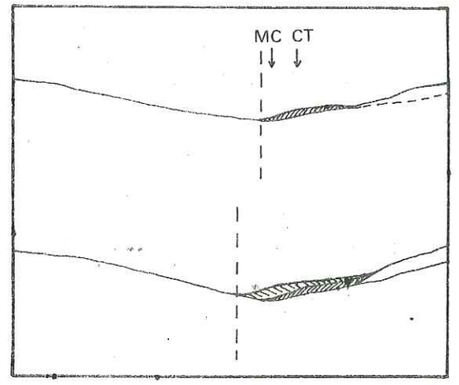


Figure 101 : Corrélation LA CHARCE - BELLEGARDE - BEAUMONT . HAUTERIVIEN



Cône d'épandage dans la vallée de la Drôme



Migration de l'axe de la vallée de la Drôme

Figure 102 : Confluent de vallées sous-marines

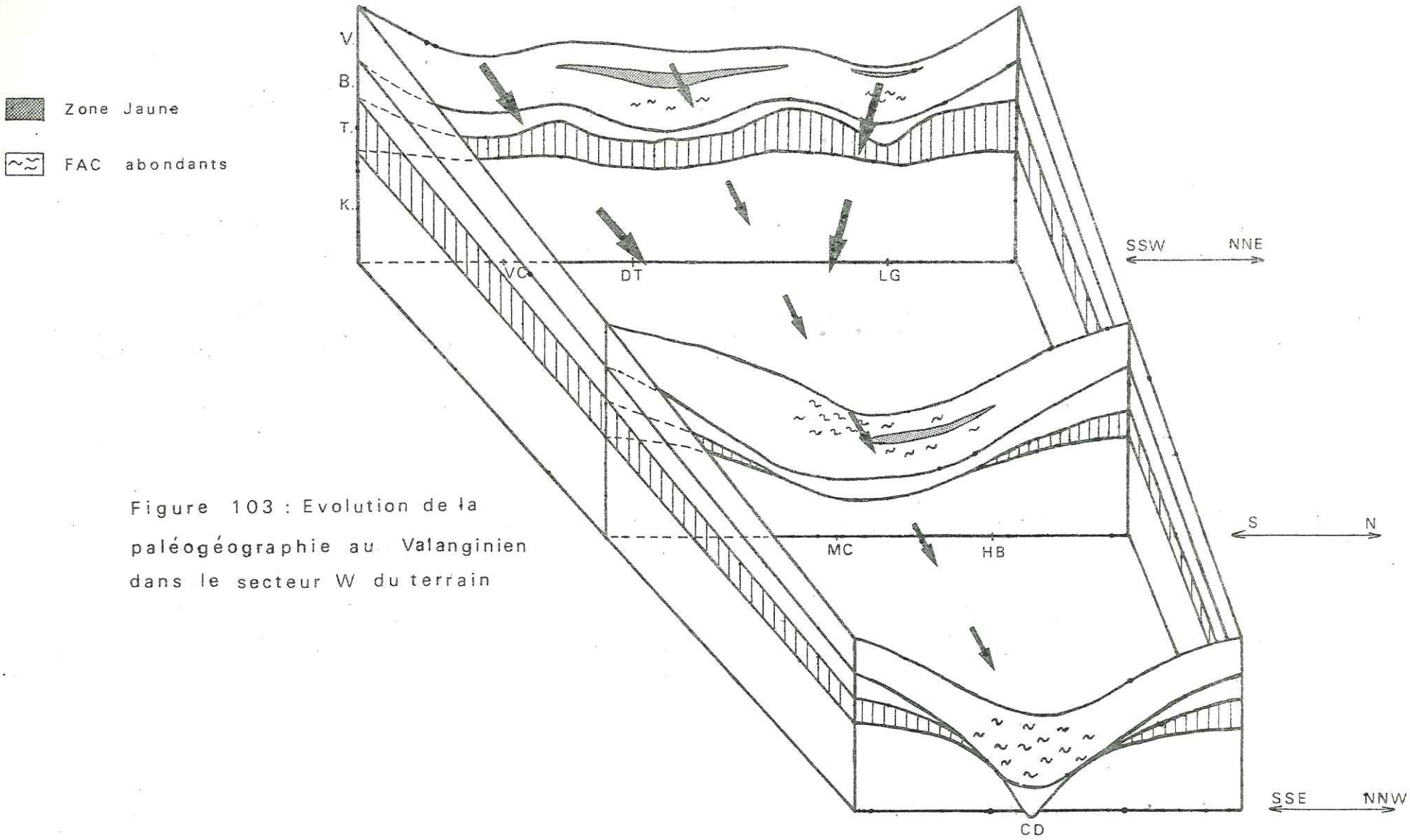


Figure 103 : Evolution de la paléogéographie au Valanginien dans le secteur W du terrain

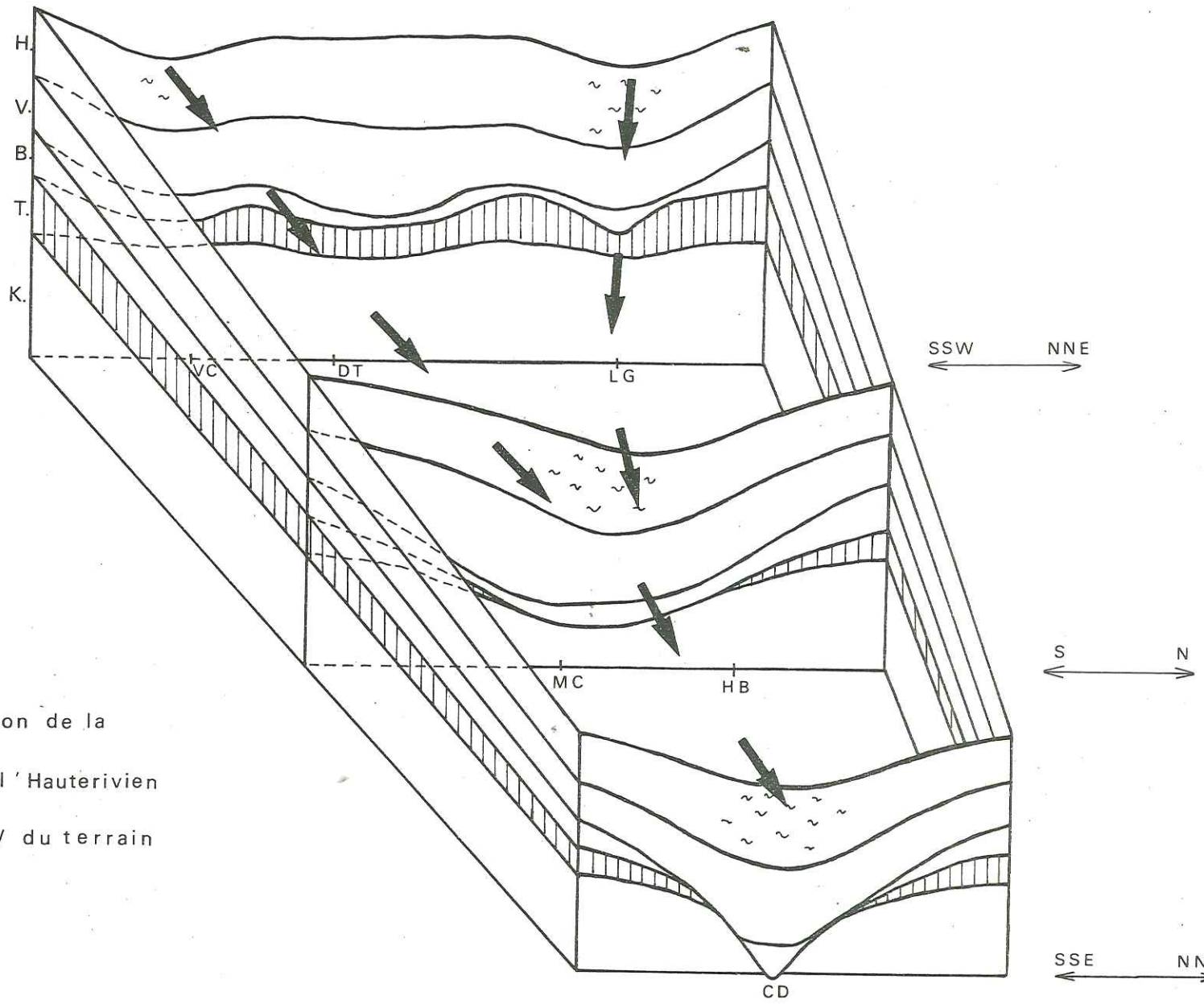


Figure 104 : Evolution de la paléogéographie à l'Hauterivien dans le secteur W du terrain

3. CONCLUSION

Les méthodes de reconstitution des pentes ont donc permis de retrouver l'architecture d'un bassin constitué principalement de deux grandes pentes séparées par un sillon important, orienté NNE - SSW (voir fig.93) .

A l'E, les morphologies, peu accentuées ont été le domaine de la sédimentation marne-calcaire .

A l'W, un réseau de sillons aux pentes plus ou moins raides véhiculent du matériel plus grossier, depuis les zones néritiques jusqu'aux zones profondes.

Un comblement progressif de certaines morphologies, la conservation des autres s'observe depuis le Tithonique jusqu'à l'Hauterivien, avec cependant une tendance générale au comblement (voir B. BEAUDOIN 77) .

PLANCHE I

PRESENTATION DE LA SERIE

Elle est constituée d'alternances marne-calcaire parfois interrompues par des faisceaux à contournement (FAC) .

1) *Reynier - Hauterivien*

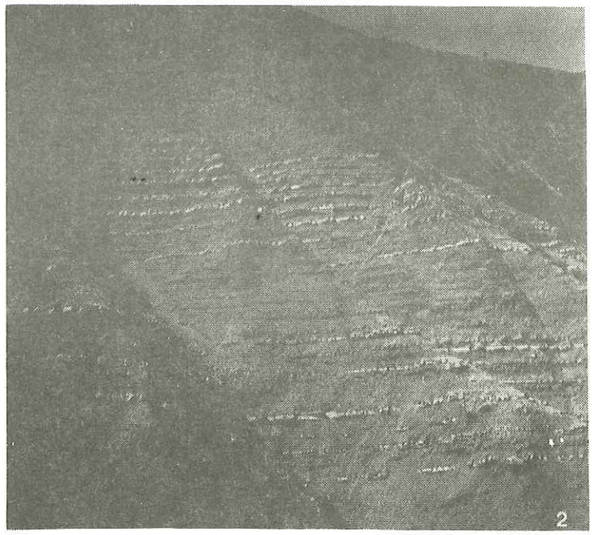
Les alternances, très régulières, constituent une falaise abrupte . Entre les pointillés, un FAC est repérable par ses bancs biseautés .

2) *Aulan - Valanginien*

Les interlits marneux sont ici plus épais que sur la photo précédente, tandis que les bancs calcaires sont généralement assez minces .

3) *Chalancon*

L'ensemble de la série affleure ici depuis le Valanginien inférieur (Vi) marqué par des alternances assez serrées de calcaire et de marnes . Ensuite, une formation très marneuse, la "Zone Jaune" est limitée sur la photo par les pointillés (ZJ) . Elle sera décrite plus en décrite plus en détails dans la planche III . Le Valanginien supérieur (Vs) est plus calcaire et le passage à l'Hauterivien (H) correspond à une brusque augmentation de l'épaisseur des bancs calcaires . La limite Valanginien - Hauterivien est marquée par la flèche .



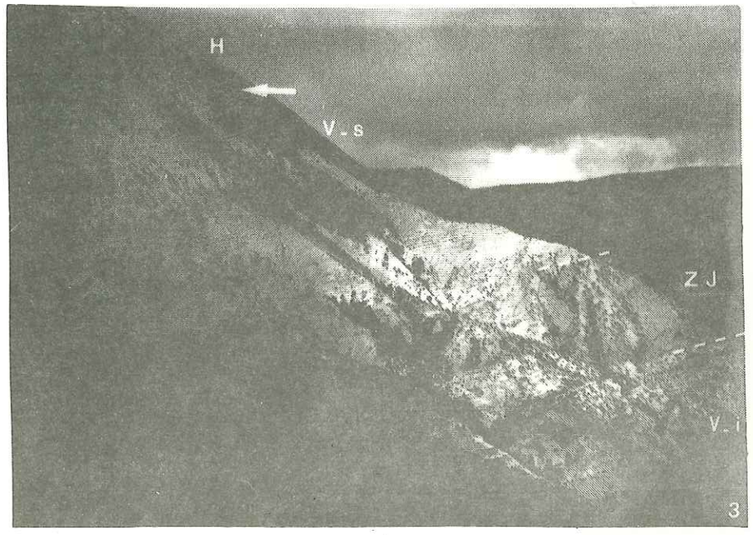
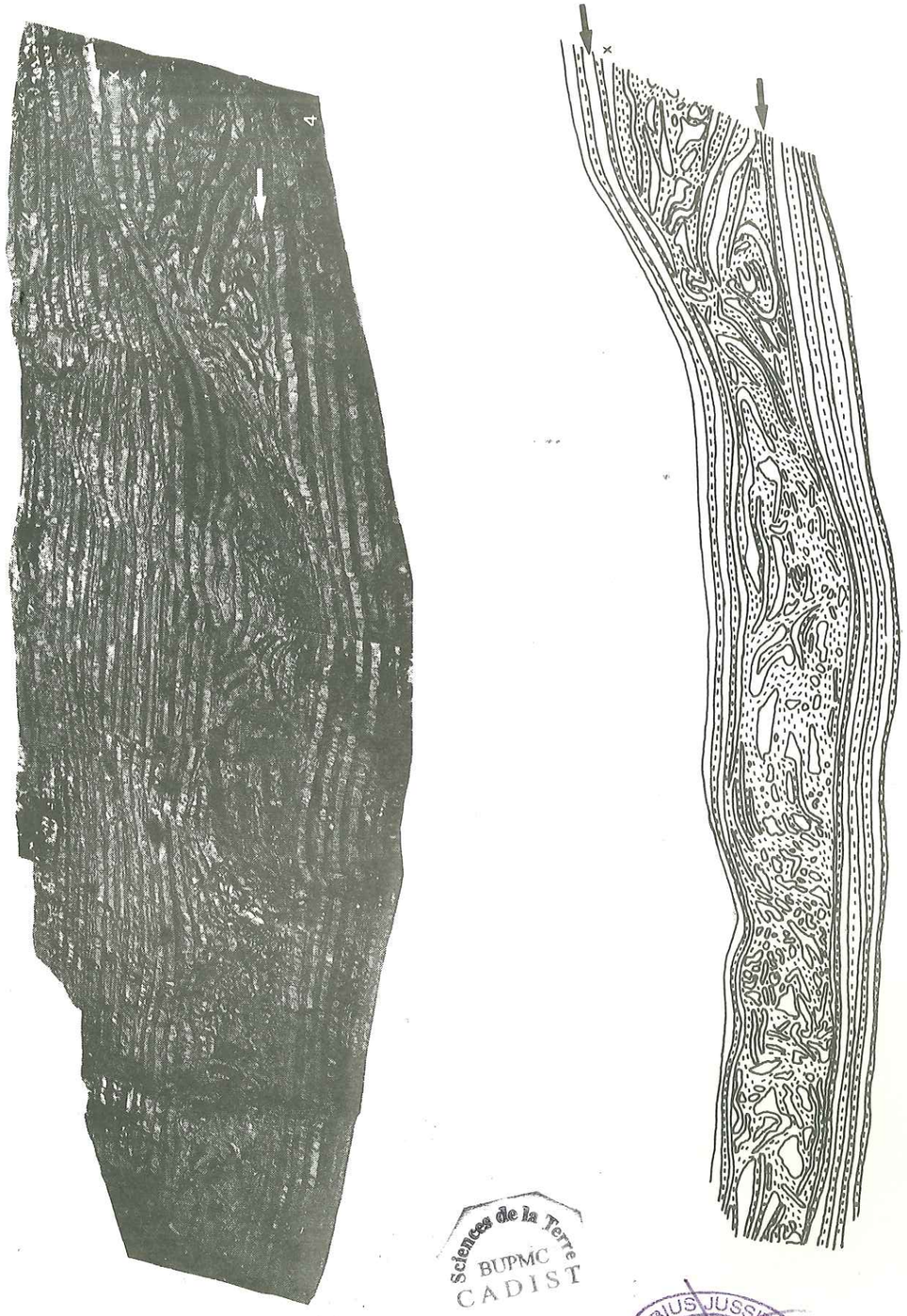


PLANCHE II

PRESENTATION DE LA SERIE (SUITE)

4) *Reynier - Hauterivien*

Alternances interrompues par un FAC dont les éléments sont des couches biseautées, certaines ployées en "rouleau" et des boules . Sa limite inférieure n'est pas ravinante, elle correspond au sommet du petit banc calcaire matérialisé par une flèche . Au sommet du FAC, un banc régulier noté x, s'interrompant vers la gauche montre que la sédimentation alternante a repris en nivelant la surface supérieure du FAC .



Sciences de la Terre
BUPMC
CADIST
BIUS JUSSIEU
THESES
PARIS

PLANCHE III

LES NIVEAUX DETRITIQUES

Surtout localisés à l'W du terrain, ils se présentent en bancs de calcarénite isolés, ou au sein des deux formations décrites ici : La "Zone Jaune", au Valanginien, et les barres de calcarénite à silex à la limite Valanginien Hauterivien.

5) *Chalancon : La Zone Jaune*

Nous distinguons dans la partie inférieure un FAC mis en évidence par les bancs calcarénitiques ployés en "rouleau" . Dans la partie supérieure, quelques alternances régulières calcarénite - marne le surmontent .

6) *Aubenasson : La Zone Jaune, détail (c.f. figure 14)*

Plaquettes calcarénitiques à nombreuses laminations parallèles ou entrecroisées . La photo 12 montre une de ces plaquettes .

7) *Serres : Les barres calcarénitiques à silex,*

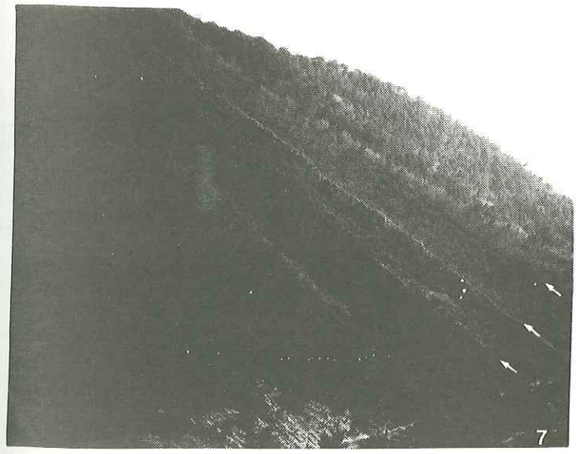
au nombre de trois, sont bien visibles dans le paysage . Les flèches matérialisent leurs surfaces supérieures . L'ensemble mesure quelques dizaines de m .

8) *Bouvières : La barre calcarénitique à silex*

Ici, elle est unique, et ne mesure plus que 120cm . De gros galets de calcaire fin, arrachés au cours du transport constituent les éléments de cette brèche.

5

6


7

8

PLANCHE IV

LES SURFACES INFERIEURES DES NIVEAUX DETRITIQUES

9) *Montclus, Hauterivien*

Il s'agit de la surface inférieure d'une séquence, débutant par un conglomérat, et se terminant par une calcarénite .
On observe les éléments arrondis du conglomérat et des rostres de Belemnites fragmentés, grossièrement alignées, l'ensemble étant enrobé dans une matrice calcarénitique .
Sens du courant : vers N30 .

10) *Bellegarde, Hauterivien*

Surface inférieure chenalisante d'une calcarénite . De petites Ammonites pyritisées et des rostres de Belemnites, orientés parallèlement au chenal, sont visibles . La présence du moule interne des Ammonites peut laisser à penser que, dans ce cas, le sédiment était déjà partiellement consolidé au moment de sa remise en mouvement par le courant turbide .
Direction du courant : N130.310 .

PLANCHES V

LES SEQUENCES

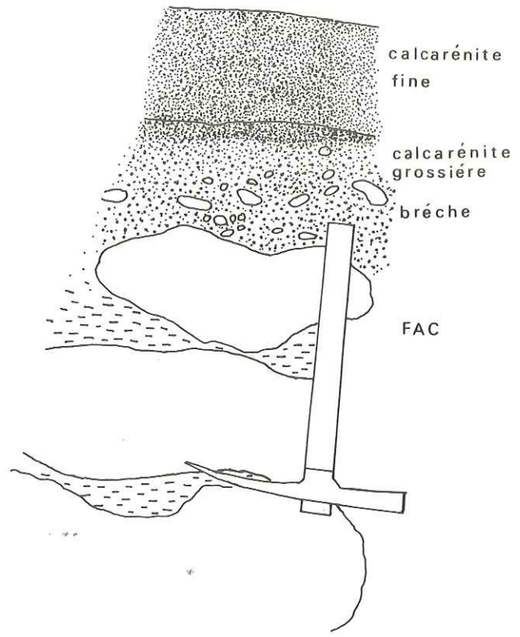
Deux types de séquence, d'échelle différente, ont été choisis .

11) *Montclus (Hauterivien)*

Il s'agit ici de l'évolution verticale du FAC à la calcarénite fine qui, en dépit de discontinuités secondaires, fait bien partie de la même unité de dépôt, donc d'une même séquence .

12) *Aubenasson, "Zone Jaune" (Valanginien)*

Section verticale d'un banc dans la Zone Jaune . Des niveaux de calcarénite plus ou moins fins alternent en laminations parallèles, obliques ou convolutées . Les galets mous de micrite abondent dans la partie supérieure de la photo . Il n'est pas toujours facile de les distinguer des bioturbations qui existent aussi dans le sédiment .



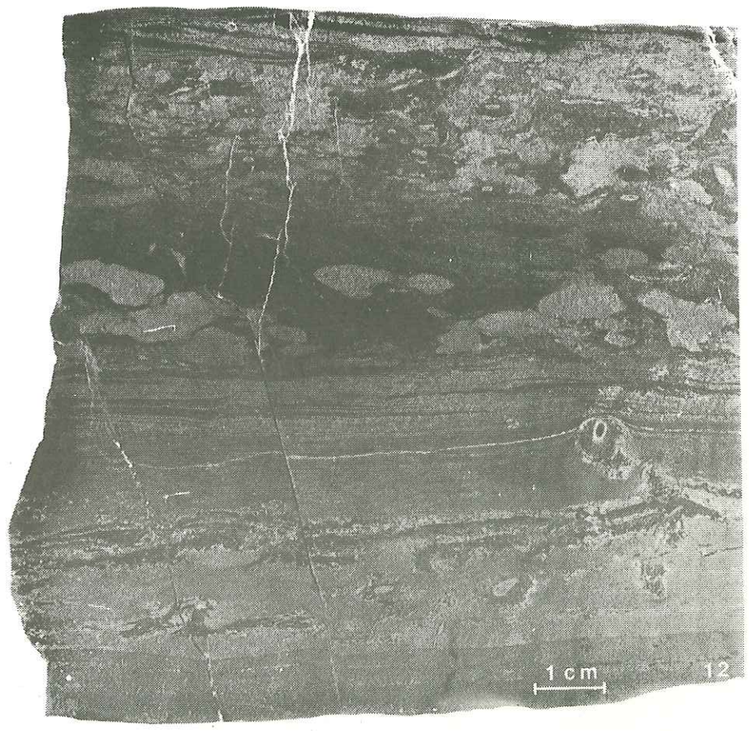


PLANCHE VI

ORIENTATION DE MICRO ORGANISMES

13) *Le Caire - Hauterivien (Lame K89)*

Cette lame mince a été taillée horizontalement dans un banc calcaire . Dans le ciment, très fin, nous distinguons trois catégories d'organismes

- les Radiolaires sphériques et quelques Globigérinidés
- les spicules de Spongiaires en forme de bâtonnets
- les Radiolaires coniques qui apparaissent ici statistiquement orientés

X36 .

13bis) *Le Caire - Hauterivien (lame K83)*

Cette photo montre de façon plus détaillée quelques spicules de très petite taille et un radiolaire conique dont l'orientation se mesure parallèlement à la bissectrice de l'angle aigu .

X100 .

14) *Chalancon - Valanginien (lame CC4)*

Dans cette calcarénite, les organismes, de plus grande taille, sont essentiellement des spicules de spongiaires . Le diagramme ci-joint montre qu'ils s'orientent suivant une direction N80 .

X60 .

13

13 bis

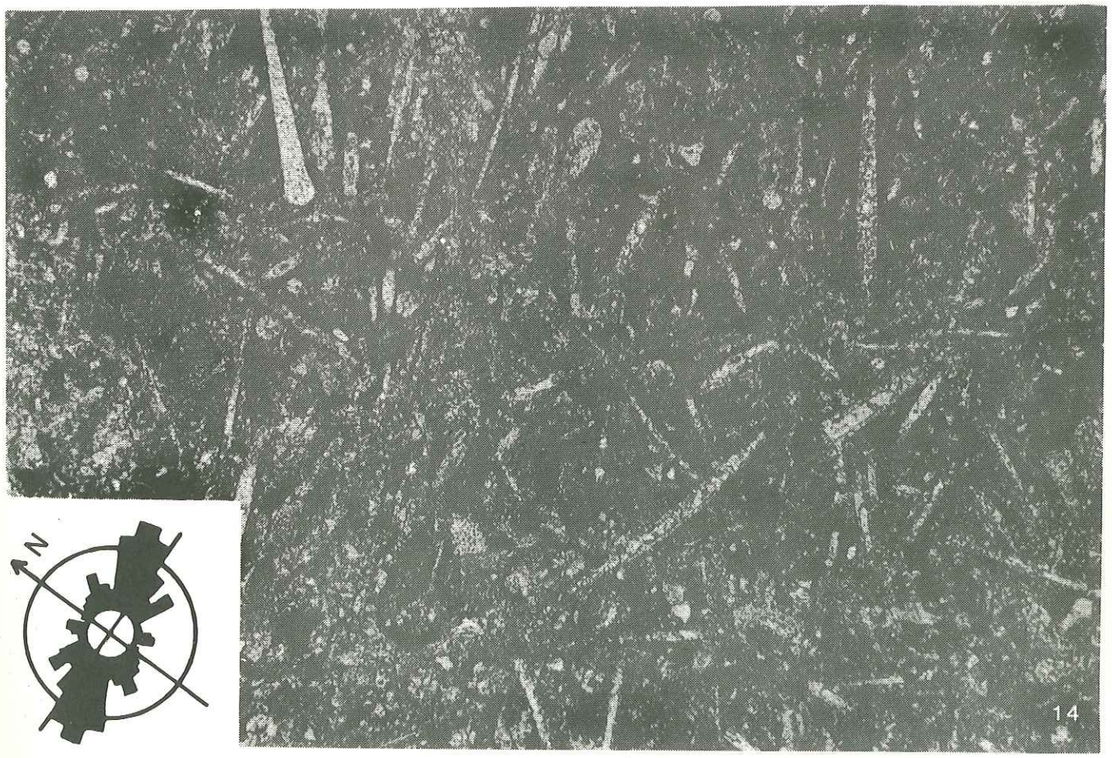


PLANCHE VII

LES SURFACES LIMITES DES FAC

15) *Route de Sisteron à St Vincent - Valanginien*

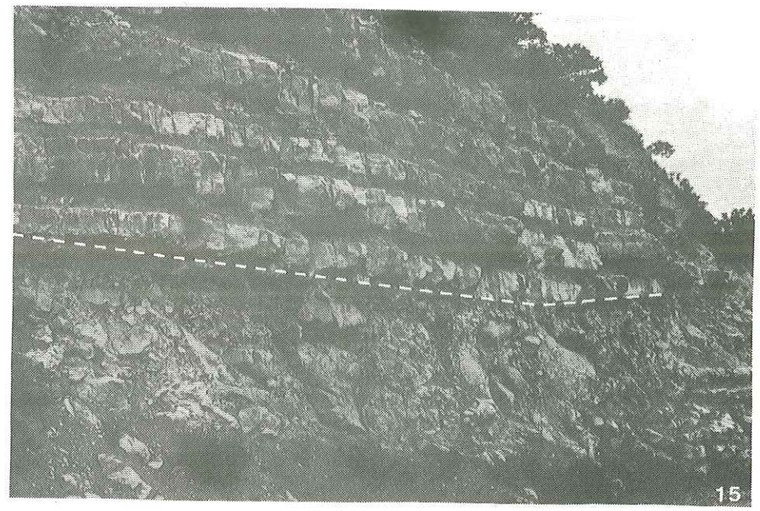
La surface supérieure de ce FAC correspond à la base du banc calcaire qui le surmonte . Elle est ici parfaitement plane .

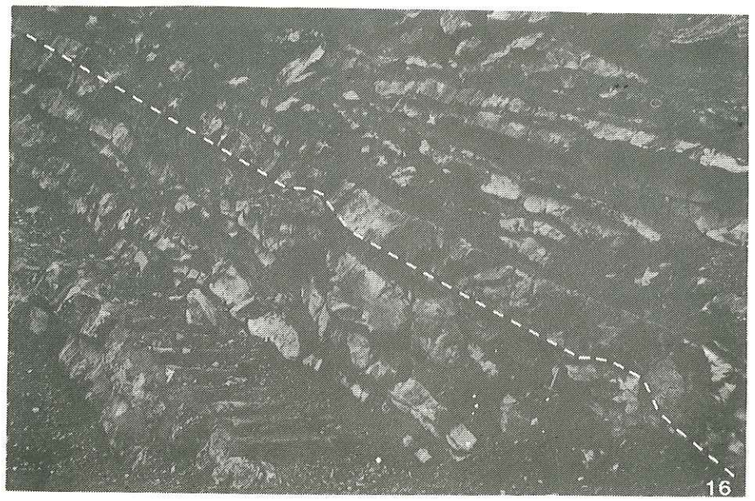
16) *Coupe de Vergons - Hauterivien*

La surface inférieure du banc qui limite le FAC (pointillés blancs) comprend deux irrégularités . Ce banc s'est donc déposé sur une surface qui n'était pas plane . Les protubérances sont dues à des amas calcaires .

17) *Coupe de Verclause - Valanginien*

Cette surface légèrement courbe limite deux FAC dont le matériel n'est pas identique : le FAC inférieur est constitué de bancs calcaires assez minces et de marnes . Le FAC supérieur comprend essentiellement de gros bancs de calcarénite fine dont les silex soulignent le contournement .





Sciences de la Terre
BUPMC
CADIST

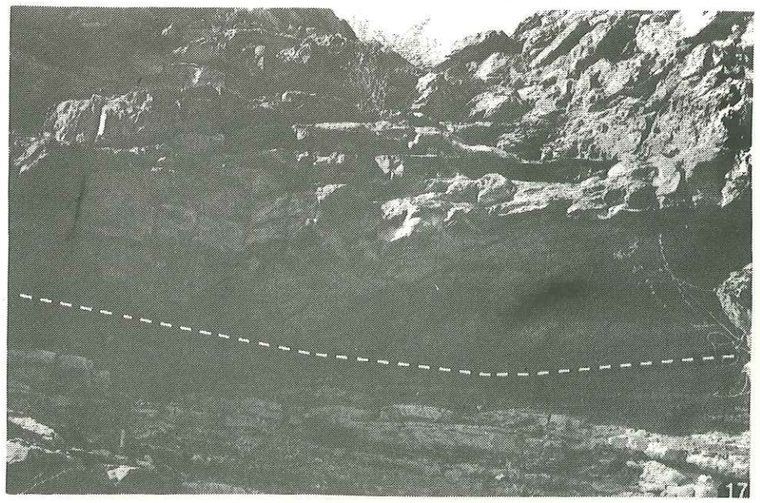


PLANCHE VIII

LES ELEMENTS DES FAC

18) *Clue de Chabrières - Hauterivien*

Ceci représente la terminaison d'un FAC : Vers la gauche, un banc s'interrompt . Plus vers la droite, une boule est visible, puis les marnes occupent tout l'espace compris entre les deux flèches .

19) *Les Tourres - Hauterivien*

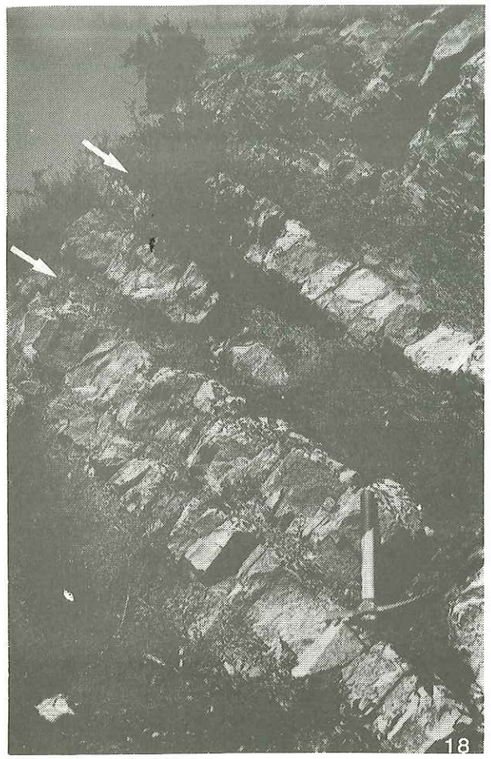
"Aile d'avion" comprenant une extrémité arrondie et une extrémité effilée . La flèche indique le sens du glissement .

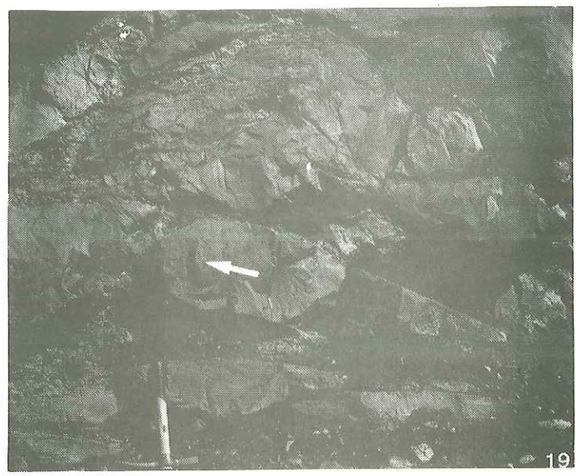
20) *Vaubelle - Valanginien*

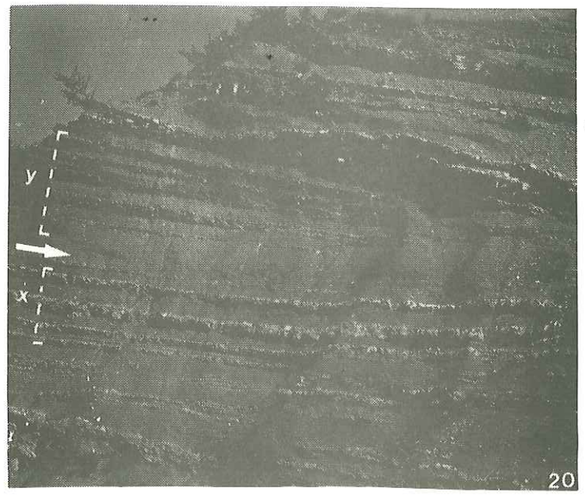
FAC constitué de groupes de bancs biseautés . La flèche en marque la limite inférieure . En effet seul le groupe de bancs noté "x" peut être suivi sur de grandes distances . Le groupe de bancs "y" est en réalité un bloc non basculé qui appartient au FAC .

21) *Les Tourres - Hauterivien*

Rouleau de type concentrique : les couches ont gardé à peu près une épaisseur constante dans les flancs et les charnières .


18


19



20

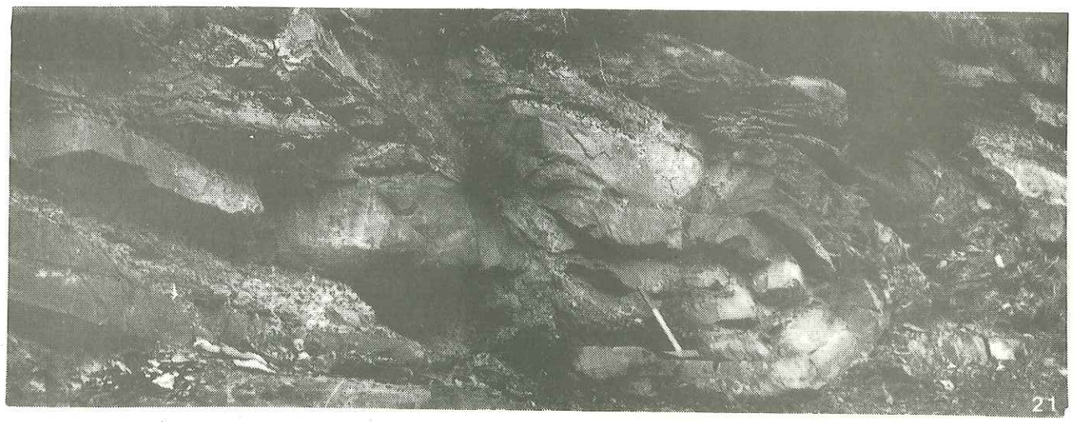

21

PLANCHE IX

LES ELEMENTS DES FAC

22) *Sisteron - Barrémien inférieur*

FAC comprenant des rouleaux à génératrice bien visible, et des boules dont l'extrémité est parfois effilée .

23) *La Croix - Valanginien*

Enorme boule de 2.3m de largeur et 5.6m de longueur .

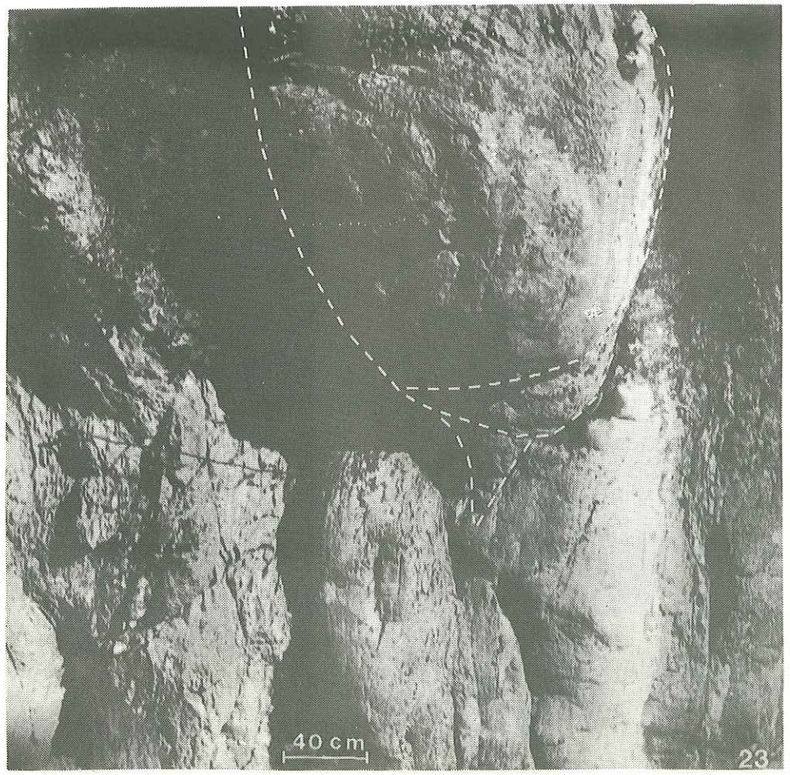


PLANCHE X

VISCOSITE DES ELEMENTS DANS LES FAC

24) *Laval d'Aix - Berriasien*

Rouleau aux flancs étirés et aux charnières renflées . Les lignes plus sombres correspondent à des bioturbations qui s'étaient développées dans les bancs avant la remise en mouvement de ceux-ci . Elles ont été ensuite étirées et ployées avec l'ensemble du matériel .

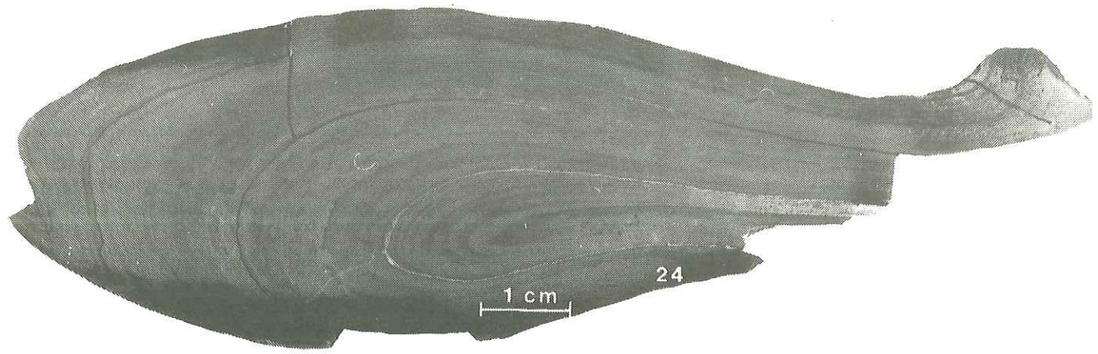
25) *Vaubelle - Valanginien*

Coupe dans une boule . On distingue en sombre, les bioturbations étirées et contournées comme dans le cas précédent .

26) *Bézaudun - Valanginien*

Boule fuselée mettant en évidence la torsion du matériel lors du remaniement .

X_VISCOSITE DES ELEMENTS DANS LES FAC



ANNEXE 1

DETERMINATION DES AMMONITES

Coupe de MONTCLUS

numéro de l'échantillon	nom des Ammonites	âge
MC1		
MC2	Lytoceras	
MC3	Olcostéphanus cf Perinflatus	Zone à Campylotoxus
MC4	Neolyssoceras Thurmaniceras Campylotoxus	Valanginien - Zone à Campylotoxus
MC5	Bocianites Neocomiensis Néocomites Neocomiensis Néocomites Teschenensis	Zone à Verrucosum
MC6	Olcostéphanus Astiérianus	Zone à Verrucosum
MC7	Ptychophylloceras diphyllum Néolissoceras grasi Bocianites Néocomiensiformis Néocomites Néocomiensis Saynoceras Verrucosum Olcostéphanus sp. Inoceramus Néocomiensis Killianella Lupovella Superba Aulacobellus subfusiformis	Zone à Verrucosum
MC8	Même faune qu'en MC7 avec en plus Protétragonites Quadrisulcatus Lytoceras Juilletti Néohoploceras sp.	Zone à Verrucosum

(1) Pour des raisons dactylographiques, le nom des Ammonites est écrit, dans les tableaux, en caractères normaux et non en italiques comme il est conventionnel de le faire .

Coupe de MONTCLUS (suite)

MC9	Même faune qu'en MC7 et MC8	Zone à Verrucosum
MC10	Néolissoceras Grasi	
MC11	Lytoceras Sutile	
MC12	Phyllopachyceras Winckleri Imentoceras sp.	Zone à Trinodosum
MC13	Néocomitide "évolué" Lytocératidé Hypophylloceras sp.	Limite entre la zone à Trinodosum et la zone à Callidiscus
MC14	Néocomites Teschenites Phyllopachyceras Winckleri	Zone à Callidiscus
MC15	Olcostéphanus Astirianus	
MC16	Crioceratites Nolani Crioceratites Loryi	Hauterivien inférieur
MC17	Crioceratites Loryi	Hauterivien inférieur
MC18	Crioceratites Loryi Phyllopachyceras Winckleri	Hauterivien supérieur
MC19	Olcostéphanus Jeannoti	Zone à Jeannoti
MC20	Olcostéphanus sp. (à gros tubercules) Phyllopachyceras Infundibulum	Zone à Nodosoplicatus
MC21	Criocere	
MC22	Criocere (affinité Duvali)	
MC23	Crioceratites Duvali	Zone à Sayni
MC24	Phyllopachyceras Infundibulum Lytoceras Subfumbriatum	
MC25	Lytoceras Subfumbriatum	
MC26	Criocere	
MC27	Criocere ?	Limite Hauterivien ?
MC28	Costidiscus Recticostatus	Barrémien supérieur
MC29	Costidiscus Recticostatus	Barrémien supérieur
MC30	Costidiscus Recticostatus	Barrémien supérieur
MC31	Costidiscus Recticostatus	Barrémien supérieur

Coupe de la CHARCE

numéro de l'échantillon	Nom des Ammonites	Age
CHA1		Berriasien
CHA2	Protetragonites Quadrisulcatum	?
CHA3	idem	?
CHA4	Killianella Lucensis	Valanginien Inférieur
CHA5	Ptychophylloceras ptycoicum Lytoceras Neocomites Thurmaniceras Campylotoxus Sarasinella Eucyrta Olcostéphanus Bochianites Neocampylotoxus	Zone à Campylotoxus Valanginien inférieur pas tout à fait terminal
CHA6	Killianella gr. Lucensis	Valanginien inférieur
CHA7	Olcostéphanus cf Psilotomus	?
CHA8	Phyllopachyceras Winckleri	?
CHA9	Néocomitidé	?
CHA10	Néolissoceras Grasi Néocomitidé	?
CHA11	Néocomitidés évolués	Valanginien supérieur non basal
CHA12	Olcostéphanus Psilotomus	?
CHA13	Ptychophylloceras Néolissoceras Grasianum Phyllopachyceras Winckleri	
CHA14	Bocianites	Zone à Verrucosum
CHA15	Teschenites Phyllopachyceras Winckleri	Zone à Callidiscus

Coupe de la CHARCE (suite)

CHA16	Pachydicranus Criosarrasinella Mandovi Flucticulus	Zone à Callidiscus
CHA17	idem	Zone à Callidiscus
CHA18	Olcostéphanus Sayni	Hauterivien basal
CHA19	Crioceratites Nolani	Zone à Loryi
CHA20	Olcostéphanus Jeannoti	Zone à Jeannoti
CHA21	Lyticoceras Nodosoplicatus	Zone à Nodosoplicatus
CHA22	Phyllopachyceras Protétragonites	
CHA23	Crioceratites Duvali	Hauterivien supérieur
CHA24	Plésiospitidisus Ligatus	Zone à Ligatus

Coupe du CAIRE

numéro des échantillons	nom des Ammonites	Age
F1	Saynoceras verrucosum Ptychophylloceras sp. Lytoceras Juilletti Neolissoceras Neocomites Neocomiensis Olcostéphanus cf Perinflatus Neocraspedites	Zone à Verrucosum
F2	Même faune qu'en F1 avec en plus Néocomites subténuis Néohoploceras	Zone à Verrucosum
F3	Même faune qu'en F1 et F2 mais les Néocomitides sont rares les Phylloceratides et Lytoceratides abondants Forme nouvelle : Bocianites Néocomiensis	Zone à Verrucosum
F5	Neolissoceras Grasi Olcostéphanus Neocomites sp. Teschenites gr. Neocomiensiformis	Zone à Callidiscus
F6	Teschenites Paraplésius	Limite Valanginien-Hauterivien
F7	Crioceratites Loryi	Hauterivien inférieur
F8	Olcostéphanus Phyllopachyceras Infundibulum Phyllopachyceras Winkleri	Hauterivien inférieur
F9	Crioceratites Phyllopachyceras Infundibulum	Hauterivien inférieur
F10	Subsaynella Sayni Crioceratites Duvali Ptychophylloceras	Base de l'Hauterivien supérieur
F11	Criocère	
F12	Phyllopachyceras Infundibulum	
F13	Acrioceras Meriani	Zone à Sayni ?

ANNEXE 2

LISTE DES COUPES ET POINTS D'OBSERVATION

COUPE	LIEU	CARTE 1/50 000e	X-Y
AN	Angles	Entrevaux	938-190,6
AR	Arpavon	Nyons	834-235,3
AU	Auban	Sederon	847-219,5
AUB	Aubenasson	Die	822,3-258,4
AY	Arnayon	Dieulefit	247,2-838,6
BE	Beaumont	Luc en Diois	848-257,2
BG	Bellegarde	Luc en Diois	845,4-250
BH	Barret le Haut	Serres	871,7-226
BHU	Bon Huile	Luc en Diois	846,6-250
BL	Blégiers	La Javie	925,7-218,7
BN	Ballons	Sederon	865,9-222
BO	Borne	Luc en Diois	859,8-263,4
BOU	Bouvières	Dieulefit	829,4-250,5
BR	Clue de Barles	La Javie	912,5-221,4
BRU	Bruis	Luc en Diois	842-246,6
BS	Buis les Baronnies	Nyons	834,7-226,8
BU	Le Buech	Serres	868,4-243,6
BV	Bonnavaux	Die	826,3-266,4
BZ	Bezaudun	Dieulefit	824-261,6
CA	Col de Carabès	Luc en Diois	863,9-250
RO	Ravin du Rosé	La Javie	926,8-227,4
CC	Chalencon	Dieulefit	837,4-250,9
CD	Chatillon le Désert	Gap	883,6-250,4
CH	Clue de Chabrières	Digne	915,2-198
CHS	Charsac	Die	821,6-273
CHA	La Charce	Luc en Diois	847-245,2
CM	Chamel	Luc en Diois	861,3-252,8
CO	Chamaloc	Die	841,3-283
CRU	Crupies	Dieulefit	826,4-252,2
CUI	La Cuillera	Luc en Diois	867,3-261,2
CT	Les Courtilles	Serres	864,7-236,9
DA	Daluis	Entrevaux	956,8-200

DE	Demandolx	Castellane	939,5-183
DT	Détroit d'Establet	Luc en Diois	848,3-246,2
E	Enaux	Allos	955,2-211
ES	Espréaux	Gap	882,7-248,4
ESB	Establet	Luc en Diois	847,4-249,1
EY	Col d'Ey	Nyons	834,5-227,9
FC	Fontchaude	La Javie	914-220,8
FE	Feissal	La Javie	906-222
FT	Fontaube	Vaison	837,5-217,5
FN	Fonteuse	Die	879,6-227,2
FY	Furmeyier	Gap	880,7-254,6
GG	Les Granges	Séderon	830-224,2
GL	Les Gleizolles	Dieulefit	833,2-264
GZ	St Geniez	Sisteron	893-224,4
HB	La Haute Beaume	Luc en Diois	862-258,3
HO	Les Hoches	Luc en Diois	866-264,9
IN	Ravin de l'Infernet	Luc en Diois	855-245,5
K	Le Caire	Laragne	896,3-236,2
LA	Laval d'Aix	Mens	874,3-244,7
LAB	Laborel	Serres	861-227,5
LC	La Croix	Pujet Théniers	962,9-197
LEC	Le Château	Luc en Diois	864,3-248,2
LG	Les Granges	Luc en Diois	852-261,2
LI	Lioux	Moustier St Marie	930-186,6
LS	Lesches	Luc en Diois	849,7-258
LST	Le Lastic	Serres	851-238,2
LX	Laux Montaux	Serres	853,2-231,5
MA	St Martin (Ravin de)	Digne	923,2-194,5
MB	Montbrand	Luc en Diois	866,2-260
MC	Montclus	Serres	voir coupe de référence
ML	La Melle	Moustier St Marie	922,5-188,6
MM	Montmorin	Serres	854,9-245,6
MN	Montauban	Serres	854,2-225,1
NI	La Nible	Vaison	834,5-222,3
MO	Moriez	Digne	931,5-193,1
OM	Les Omergues	Sederon	861,4-212
PC	La Petite Cloche	La Javie	909,8-221,8

PD	Pradelle	Dieulefit	834,4-261,8
PL	Les Planeaux	Mens	843,3-282
PLL	Les Pilles	Nyons	826,7-236,5
PP	Petit Paris	Dieulefit	830,7-254,6
PX	Pontaix	Die	830,2-277,4
RBZ	Route de Bézaudun	Dieulefit	825-259,4
RE	Reynier	Seyne	902,5-232
REY	Col du Reychasset	Serres	857,9-229,6
RI	Rigaud	Pujet Théniers	972,9-198,2
RO	Ravin du Rosé	La Javie	926,8-227,4
ROU	Col des Roustans	Dieulefit	840,6-253,4
RT	Ferme de Raton	Serres	847-239,6
RX	Rioux	Digne	922,8-200,4
SBO	Sommet des Bouines	Serres	866,2-239
SG	Sigottier	Serres	867,1-244,6
SI	Sisteron	Sisteron	888,2-217,8
siv	Route Sisteron-St Vincent	Sisteron	886,2-213,7
SIV	Route Sisteron-St Vincent	Sisteron	887,3-213,6
SN 1-2-3	Route de St Nazaire	Dieulefit	entre St Nazaire et Volvent
STB	St Benoit	Die	833,6-267,4
SR	Serres	Serres	869,8-242,9
SX	Le Saix	Gap	878,3-247,5
SY	Les Savoyons	Gap	880-253,9
T	Les Tourres	St Etienne de Tinée	959,5-217
TO	Les Tourtourels	Seynes 7-8	926,4-231,7
TOU	Le Tourisson	Serres	953,4-239,2
TT	La Rochette du Buis	Serres	845-225
VA	Vachères	Die	830-280,3
VAU	Vaubelle	Sisteron	874,2-213,8
VAL	Valdrome	Luc en Diois	857,2-252
VC	Verclause	Serres	236-845
VE	Vergons	Castellane	940-187,7
VL	La Villette	Serres	860,5-242
VN	St Vincent sur Jabron	Séderon	871,1-213,7
VY	Veynes	Gap	876,8-255

Les logs au 1/100e de la plupart des coupes sont disponibles à l'Ecole des Mines . Les coupes situées à l'intérieur du rectangle de la fig.1 figurent dans le rapport de P. JOSEPH et T. SEMPERE (77) .

LISTE DES FIGURES

	pages.
1- Le domaine étudié - Localisation des coupes	2
2- Zones d'Ammonites au Valanginien et à l'Hauterivien	4
3- Schéma structural des chaines subalpines méridionales	6-7
4- Le bassin vocontien d'après W. Kilian et J. Goguel	10
5- Coupe de Montclus	22-23-24-25
6- Localisation des coupes effectuées à Montclus	26
7- Coupe de Montclus : direction et sens de la pente	26
8- Coupe de la Charce	30-31
9- Comparaison entre la Charce et Montclus	32
10- Coupe du Caire	36-37
11- Evolution de l'épaisseur des bancs en fonction du temps - Coupe de la Melle	44
12- Courbes d'épaisseur des bancs au Valanginien - Les Planeaux	46
13- Courbes $\frac{m}{c+m}$ - Les Planeaux	47
14- Coupe détaillée dans la Zone Jaune (Aubenasson)	50-51
15- Coupe SIV	52
16- Analyses calcimétriques - Vergons	54
17- Analyses calcimétriques - Vergons et Daluis	55
18- Les différents types de courbes en granulométrie des fractions fines	58
19- Temps de dépôt moyen d'une alternance au Valanginien et à l'Hauterivien	60
20- Histogramme montrant le nombre de bancs caractérisant les rythmes	62
21- Histogramme montrant le nombre de bancs caractérisant les rythmes	62
22- Mise en parallèle des courbes de pourcentage en calcaire et d'épaisseur des couches . La Melle	64
23- Courbes lissées d'épaisseur des bancs et du pourcentage $\frac{c}{c+m}$	66
24- Brusque augmentation d'épaisseur des bancs à la limite Valanginien - Hauterivien	68
25- Diminution d'épaisseur des niveaux marneux du Valanginien supérieur à l'Hauterivien inférieur	70
26- Epaisseur des niveaux marneux Valanginiens	72
27- Epaisseur des calcaires Valanginiens	73
28- Histogramme des épaisseurs des niveaux calcaires et marneux montrant les deux populations	74
29- Mise en évidence des deux populations par les courbes d'isodensité	76
30- Corrélation à courte distance - La Croix	78
31- Corrélation à courte distance - Fontchaude	80
32- Corrélation de Sisteron	81

33- Corrélations à grande distance par les courbes lissées	82
34- Corrélation Le Caire - Reynier	84
35- Corrélation au sommet de l'Hauterivien - Vergons - Lioux	85
36- Le banc vu en plan	86
37- Corrélation Angles - Vergons	87
38- Biseautage de groupes de bancs entre Angles et Vergons	88
39- Disparition de groupes de bancs entre Pontaix et Laval d'Aix	90
40- Corrélation de bancs à grande distance au Valanginien	91
41- Corrélation Buis les Baronnies, La Rochette du Buis Montauban	92
42- Reconstitution des nappes de bancs ..	94
43- Carte des nappes	95
43'- Reconstitution spatiale d'une unité de dépôt	96
44- Corrélation Buis les Baronnies - La Rochette - Montauban - Aulan = reconstitution spatiale des bancs	98
45- Direction des spicules de spongiaires appartenant aux bancs corrélés entre les deux rives du Caire	100
46- Modèle reconstituant différentes dispositions possibles et différentes tailles des bancs	102
47- Evolution du pourcentage en calcaire à différentes échelles	103
48- Limites inférieures et supérieures dans les FAC	107
49- "Boule", "lentille" et "rouleau tronqué" . Reconstitution spatiale	110
50- Rouleau pouvant être confondu avec une "aile d'avion"	110
51- Aile d'avion sur une pente	110
52- Partie supérieure d'un FAC berriasien	112
53- Détail dans un FAC - Vergons - Hauterivien	114
54- FAC constitué de boules de taille variable . Coupe SIV Hauterivien	114
55- Groupes de bancs biseautés dans un FAC - Vaubelle - Valanginien	116
56- Bancs biseautés - Les Granges - Valanginien	116
57- Ailes d'avion - Les Tourres - Hauterivien	116
58- Mesure directe de l'axe du rouleau	118
59- Mesure de la paléohorizontale par rabattement	118
60- Rouleaux - Coupe de Ballons - Hauterivien	120
61- Exemple d'un rouleau concentrique . Les Tourres - Hauterivien	120
62- Détail dans le FAC S31 - Montclus - Hauterivien	121
63- Rouleaux . Coupe de Sisteron . Limite Hauterivien-Barrémien	121
64- Microstructures dans les FAC	122
65- Crénulations	123
66- Stries de glissement	123
67- Bioturbations étirées dans une "boule"	124
68- Les fentes de calcarénite . Ravin de Salles . Berriasien	128
69- Blocs parallélépipédiques dans un FAC . Ravin de Salles Berriasien	129
70- Corrélation Buis les Baronnies - La Rochette - Montauban - Barret le Haut - Les Granges	130

71- Corrélation d'un FAC dans 6 coupes 134
72- L'Hauterivien du Caire . Corrélations 135
73- Corrélation Le Caire . Reynier 136
74- Profil de quelques FAC - Le Caire 137
75- Disposition spatiale des FAC S30 et S28 138
76- Terminaison d'un FAC - St Martin - Valanginien 140
77- Evolution des épaisseurs des FAC et des FSA à l'Hauterivien 140
78- Epaisseur des FAC dans l'Ouest, la partie médiane et l'Est du terrain 142
79- Epaisseur des FAC, des FSA, et directions de glissement des FAC . Le Caire . Hauterivien 144
80- Epaisseur des FAC, des FSA, et directions de la pente par les FAC et figures de courant . Montclus . Hauterivien 146
81- Les familles de FAC à Montclus . Tentatives d'explication 147
82- Orientation de bélemnites . Espréaux . Hauterivien 154
83- Comparaison entre l'orientation des spicules de spongiaires et des figures de courant dans un même banc 154
84- Diagrammes de spicules en croix 156
85- Pourcentages en bancs calcaires au Valanginien terminal 158
86- Le bassin : courants et glissements au Valanginien 160
87- Le bassin : courants et glissements à l'Hauterivien 161
88- Le bassin : direction et sens de micro organismes au Valanginien 162
89- Le bassin : direction et sens de micro organisme à l'Hauterivien 163
90- Courbes d'isopourcentage en épaisseur de bancs calcaires au Valanginien 164
91- Les mêmes courbes à l'Hauterivien inférieur 164
92- Pourcentages en FAC au Valanginien 166
93- Pourcentages en FAC à l'Hauterivien 167
93'- Bloc diagramme du bassin à l'Hauterivien 168
94- Le bassin au Valanginien . Carte synthétique 170
95- Isopaques de la Zone Jaune 174
96- Pourcentages en sédiments contournés dans la Zone Jaune 176
97- Direction des figures de courant et des glissements dans la Zone Jaune 178
98- Datations dans la Zone Jaune 180
99- Zones de présence de la barre à calcarénite - Limite Valanginien Hauterivien 184
100- Isopaques du Valanginien supérieur 186
101- Corrélation La Charce - Bellegarde-Beaumont . Hauterivien 188
102- Confluent de vallées sous marines 189
103- Evolution de la paléogéographie au Valanginien . W du terrain 190
104- Evolution de la paléogéographie à l'Hauterivien . W du terrain 191

BIBLIOGRAPHIE

Δ Auteurs cités dans le texte

Δ ALLEGRE C., 1964
Vers une logique mathématique des séries sédimentaires
Bull.Soc.Géol.Fr., (7), VI, p.214-218

BAILEY E.B., COLLET L.W., FIELD R.M., 1928
Paleozoïc submarine landslips near Québec City
Jour. Geology, v.38, p.577-614

BARRELL J., 1917
Rhytms and the measurement of geologic time
Geol.Soc.Am.Bull.,
v. 28, p.745-904

Δ BEAUDOIN B., 1972
Contribution à l'application des méthodes de l'analyse sédimentaire, à la reconstitution d'un bassin de sédimentation . Exemple du Jurassique terminal-Berriasien des chaînes subalpines .
Thèse Doc.Ing., CAEN, 144p.

Δ BEAUDOIN B., BIE J., CONARD M., GUY B., LE DOEUFF D., 1974
Essai d'analyse des rythmes dans des formations marno-calcaires alternantes
Bull.Soc.Géol.Fr., (7), t.XVI, n°6, p.634-642

Δ BEAUDOIN B., CAMPREDON R., COTILLON P., GIGOT P., 1975
Alpes méridionales françaises . Restitution du bassin de sédimentation
Excursion 7, IXe Congr.Int. Sédimentologie, Sedim.Nice, 235p., 80fig.

Δ BEAUDOIN B., LE DOEUFF D., PINAULT M., 1975
Les glissements synsédimentaires (slumping) : un mécanisme essentiel au Jurassique terminal-Néocomien dans le SE de la France
IXe Congrès de Sédimentologie, Nice-75

Δ BEAUDOIN B., CAMPREDON R., FRANCO M., GIANNERINI G., GIGOT P., GRANDJACQUET C., HACCARD D., LANTEAUME M., SPINI H., TAPOUL J.F., 1977
Age et modalités de plissement des chaînes subalpines méridionales

Δ BEAUDOIN B., 1977
Méthodes d'analyse sédimentaire et reconstitution du bassin : le Jurassique terminal-Berriasien des chaînes subalpines méridionales
Thèse Doc. ès Sciences CAEN, 339p.

BEETS C., 1946
Miocène submarine disturbances of strata in northern Italy
J.Geol., 54, p.229-245

Δ BIE J., HERNANDEZ D., MORIZOT H., YERLE J.J., 1973
Analyse sédimentaire et structurale de la région de la Motte du Caire (04)
Rapport interne, Ecole des Mines

BLANC J., 1972
Slumpings dans le Crétacé supérieur du bassin du Beausset
Sedimentary Geology, 7-1, p.47-64

BOUMA A.H., 1962
Sedimentology of some flysch deposits .
Elsevier, Amsterdam, 168p.

BOURCART J., GENNESSEAUX M., 1962
Sur le remplissage sédimentaire de la partie centrale de la méditerranée occidentale
Cr.Acad.Sc., t. 254, p.2897

CARLSON P., NELSON C.H., 1969
Sediments and Sedimentary structures of the Astoria submarine canyon form system, Northern Pacific .
Jour.Sedimentary Petrology, v.39, n°4, p.1269-1282

CAROZZI A., 1950
Contribution à l'étude des rythmes de sédimentation
Arch.Sc. Genève, 3, fasc. 1et2, p.1-74

CAROZZI A., 1951
Tectonique et rythme de sédimentation
Arch.Sc. Genève, 4, fasc.1, p.24-50 et fasc.2, p.87-107

CAROZZI A., 1952
Méthode d'analyse de la sédimentation rythmique
C.R. Congr.Geol.Internat. Alger, section 13, fasc.14, p.71-80

CAROZZI A., 1957
Tracing turbidity current deposits down the slope of an Alpine basin
Jour.Sedimentary Petrology, v.27, p.271-281

Δ CONARD M., BEAUDOIN B., 1974
Orientation de spicules de spongiaires dans le Crétacé supérieur du bassin de l'Esteron (06) ; application à la reconstitution de la dynamique du dépôt et de la configuration du bassin
C.R.Ac.Sc., Paris, 278, D, p.3047-3050

CONOLLY J.R., EWING M., 1967
Sedimentation in the Puerto Rico Trench
J.Sedimentary Petrology, 37, p.44-59

Δ COTILLON P., 1971
Le Crétacé inférieur de l'Arc subalpin de Castellane, entre l'Asse et le Var .
Stratigraphie et Sédimentologie
Mem. B.R.G.M., 68, 313p., 105 fig.

Δ COTILLON P., 1974
Sédimentation rythmique et milieux de dépôt : données fournies par l'étude du Crétacé inférieur de l'arc subalpin de Castellane (France, SE)
Bull.Soc.Géol.Fr., (7), XVI, n°6, p.583-592

DALEY B., 1972
Slumping and microjointing in an oligocène lagoonal limestone
Sedimentary Geology, vol.7, n°1

DAVIES K.D., 1968
Carbonate turbidites, Gulf of Mexico
Jour.Sedimentary Petrology, 38, p.1100-1109

Δ DEBELMAS J., 1953
Exemple de glissements sous marins dans le Dogger et le Malm briançonnais
Trav.Lab.Géol.Grenoble, 30, p.107-111

DELFAUD J., 1970
Application de l'analyse séquentielle à l'exploration d'un bassin sédimentaire . L'exemple du Jurassique et du Crétacé inférieur d'Aquitaine
Coll.Orsay, Mém. B.R.G.M., n°77, t-II, p.593-611

DOTT R.H., 1963
Dynamics of subaqueous gravity depositional processes
Am.Assoc.Petrol.Geol.Bull., t. 47, n°1, p.104

DREYFUS M., 1951
Pour une représentation graphique des formations sédimentaires marines
B.S.G.F., 6e s., 1, 511

DUFF P. McL.D., HALLAM A., WALTON E.K.
Cyclic sedimentation, Developments in Sedimentology
Vol.10, Elsevier éd., 280p.

EMERY K.O., TERRY R.D., 1956
A submarine slope of southern California
Jour.Geology, v.64, p.271-280

Δ FAIRBRIDGE R.W., 1946
Submarine slumping and the localisation of oil bodies
Bull.Am.Assoc.Petrol.Geologists, 30 (1), p.104-128

FAIRBRIDGE R.W., 1947
Coarse sediments on the edge of the continental shelf
Am.Jour.Sc., v.245, p.146-153

Δ FERRY S., 1976
Cones d'épandage bioclastiques en eau profonde et glissements sous marins dans le Barrémien et l'Aptien inférieur vocontiens de la Drôme .
Implications paléostructurales
Thèse 3e cycle, Lyon

Δ GOGUEL J., 1938
Glissements sous marins dans le Crétacé inférieur
Bull.Soc.Géol.Fr., 5e série, t. VIII, p.251-256

GOGUEL J., 1944
Contribution à l'étude paléogéographique du Crétacé inférieur dans le SE de la France
Bull.Serv.Carte.Géol.France, t. XLIV, n°215, p.39-50

Δ DE GRACIANSKY P.C., 1972
Sur l'existence de lentilles calcaires d'âge barrémien et bédoulien interstratifiées dans les marnes gargasiennes du synclinal de Barrème (Alpes de Haute Provence)
C.R.A.S., t.274, p.3368-3371

Δ GUY B., 1974
Contribution à l'étude stratigraphique et structurale de la région située entre Bayons Esparronet l'Oratoire, Alpes de Haute Provence
Rapport interne à l'Ecole des Mines

Δ HAUG E., 1891
Les chaînes subalpines entre Gap et Digne
Bull.Serv.Carte Géol.Fr., 3, n°21, p.1-197

HENKEL D.J., 1970
The role of waves in causing submarine land slides
Geotecknique G.B., vol.20, n°1, p.75-80

Δ HOLLAND C.H., 1959
On convolute bedding in the Lower Ludlow rocks of North East Radnorshire
Géol.Mag., v.96, p.230-236

HUBERT J.F, 1968
Currents and slopes in flysch basins = a discussion
J. Sedimentary Petrology, vol.38, n°4, p.1390-1393

Δ JONES O.T., 1937
On the sliding and slumping of submarine sediments in Denbighshire, North Wales during the Ludlow period
Quart.Jour.Geol.Soc.London, vol.93, p.241-282

Δ JOSEPH P., SEMPERE T., 1977
Reconstitution paléomorphologique et dynamique du dépôt au Néocomien dans le Diois
Rapport interne . Ecole des Mines

KENNEDY W., JUIGNET P., 1974
Carbonate banks and slump beds in the Upper Cretaceous of Haute Normandie
Sedimentology, 21, p.1-42

Δ KILIAN W., 1888
Description géologique de la Montagne de Lure
Thèse, Paris, 458p.

Δ KILIAN W., 1912
Sur une carte de la répartition du "faciès urgonien" dans le Sud-Est de la France
C.R.Assoc.Fr.Av.Sc., Paris, p.361-365

KUENEN Ph.H., 1948
Slumping in the carboniferous of Pembrokeshire
Geol.Soc.London.Quart.Jour., v.104, p.365-385

KUENEN Ph.H., 1956
The difference between sliding and the turbidity flow
Deep Sea Research, v.3, p.134-139

Δ LAIRD M.G., 1968
Rotational slump scars in Silurian rocks, western Ireland
Sedimentology, vol.10, p.111-120

Δ LEWIS K.B., 1971
Slumping on a continental slope inclinated at 1-4°
Sedimentology, vol.16, n°1, p.97-110

LINDSAY J.F., 1966
Carboniferous subaqueous mass movement in the Manning Macleay Basin, Kempsey, New South Wales
J. Sedimentary Petrology, 36, p.719-732

Δ LOMBARD A., 1956
Géologie sédimentaire . Les séries marines
Paris, Masson et Cie

Δ LOMBARD A., 1972
Séries sédimentaires . Genèse, évolution
Paris, Masson et Cie

Δ LOWRY W.D., COOPER B.N., 1970
Penecontemporaneous downdip slump structures in middle ordovician limestone, Harrisonburg, Virginia
Bull.Am.Ass.Petr.Geologists, vol.54, n°10, p.1938-1945

LUMSDEN D.N., 1971
Markov chain analysis of carbonate rocks . Applications, limitations, and implications as exemplified by the Pennsylvanian system in Southern Nevada
Geol.Soc.Am.Bull., vol.82, n°2, p.447-461

MANGIN J.Ph., 1963
Turbidites, laminites, varves et séquences-unité
C.R.Somm.S.G.F., p.112-113

Δ MARSHALL N.F., 1973
Currents along floors of submarine canyons
Bull.Ass.Amer.Petr.Geologists
vol.57, 1973, n°2, p.244-264

Δ MOORE D.G., 1961
Submarine slumps
J. Sedimentary Petrology, v.31, p.341-357

MOORE D.G., 1970
Large submarine slide off northeastern continental margin of Brazil
Bull.Ass.Amer.Petrol.Geologists, vol.54, n°1, p.125-128

Δ MORRIS R.C., 1971
Stratigraphy and sedimentology of Jackford Group, Arkansas
Bull.Am.Ass.Petr.Geologists, vol.55, n°3, p.387-402

Δ MORRIS R.C., 1971
Classification and interpretation of disturbed beddings types in Jackfork flysch rocks . Upper Mississipian Ouachita Mountains, Arkansas
J. Sedimentary Petrology USA, vol.41, n°2

Δ MOULLADE M., 1966
Etude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé inférieur de la "fosse vocontienne"
Thèse Lyon Sciences

Δ MOUTTE J., SOLER P., 1975
Les relations entre le Jurassique terminal et le Berriasien au S de Veynes . Restitution paléomorphologique
Rapport interne . Ecole des Mines

Δ MUTTI E., RICCI LUCCHI F., 1974
La signification de certaines unités séquentielles dans les séries à turbidites
B.S.G.F., t.XVI, n°6

NESTEROFF W., 1962
Essai d'interprétation du mécanisme des courants de turbidité
Bull.Soc.Géol.Fr., (7), IV, p.849-856

NOEL D., 1968
Nature et genèse des alternances de marnes et de calcaire du Barrémien supérieur d'Angles (fosse vocontienne, Basses Alpes)
C.R.Acad.Sc.d.Fr., T.266, part.D, n°12, p.1223-1225

Δ POTTER P.E., PETTIJOHN F.J., 1963
Paleocurrents and basin analysis
SPRINGER, Berlin, 296p.

Δ POUSSIN I., 1976
Reconstitution paléomorphologique au passage Jurassique Crétacé au N.E de Sisteron
Rapport interne, Ecole des Mines

Δ RECY J., 1975
Les glissements sous marins synsédimentaires dans les sédiments secondaires de la "fosse vocontienne"
Thèse 3e cycle, Lyon, 97p., 13fig.

Δ RENZ O., LAKEMAN R., MEULEN E., VANDER , 1955
Submarine sliding in western Venezuela
Bull.Am.Ass.Petr.Geologists, vol.39, p.2053-2067

RETTGER R.E., 1935
Experiments on soft rocks deformations
Am.Ass.Petr.Geologists Bull., v.19, n°2, p.271-292

RICCI-LUCCHI F., 1975
Sediment dispersal in turbidite basins : examples from the miocene of Northern Apenines
IXe Congr.Int. Sédimentologie, Sedim. Nice

Δ RIVIERE A., 1952
Expression analytique générale de la granulométrie des sédiments meubles
Bull.Soc.Géol.Fr., 6e série, t.II, fasc.1-3, p.155-167

ROBERSTON T., 1948
Rhytm in sedimentation and its interpretation with particular reference to the carboniferous sequences
Trans.Edin.Geol.Soc., t.14, p.141-175

SCHEIDEGGER A.E., POTTER P.E., 1972
Down current decline of grain size and thickness of single turbidite beds : a semi quantitative analysis
Sedimentology, Netherl., 17, n°1-2, p.41-49

Δ SERRA O., 1970
Exposé synthétique sur les méthodes diagraphiques
Mém.B.R.G.M., Fr., 1972, n°77

Δ STANLEY D.J., 1967
Comparing patterns of sedimentation in some modern and ancien submarine canyons
Earth and Planetary Science, Letter 3, p.371-380

Δ STANLEY D.J., SILVERBERG , 1969
Impact des chevauchements non tectoniques comme agents de disturbance dans les sédiments de la base des marges continentales

STANLEY D.J., UNRUG R., 1972
Recognition of ancient sedimentary environments
Soc of Economic Paleontologists and Mineralogists, spec.pub., n°16

Δ STANLEY D.J., 1975
Submarine canyon and slope sedimentation (grès d'Annot) in the french Maritime Alps
IXe Congrès International de Sédimentation, Nice

Δ THIEULOY J.P., 1977
Inédit au moment de la parution de ce travail

THOMEL G., 1963
Le Crétacé des environs de Chabrières (Basses Alpes)
Bull.Soc.Géol.France, 7, t.V, p.333-344

VISTELIUS A.B., 1961
Sedimentation time trend functions and their application for correlation of sediments deposits
J. Geol., vol.69, p.703-728

VON RAD U., 1968
Comparison of sedimentation in the Bavarian flysch (Cretaceous) and recent San Diego Trough (California)
J. Sedimentary Petrology, 38, p.1123-1125

WALKER R.G., 1966
Turbidite sedimentary structures and their relationship to proximal and distal depositional environments
J. Sedimentary Petrology, 34, p.25-43

WALKER R.G., 1970
Slump features on the Mississipi fan northeastern gulf of Mexico
Geol.Soc.Am.Bull., vol.81, n°10, p.3101-3108 .

Sciences de la Terre BUPMC CADIST

BIUS JUSSIEU THÈSES PARIS