

Contribution à l'analyse structurale des calcaires waulsortiens de Bouère et de St-Pierre-La-Cour (Dinantien du Synclinorium de Laval, France)

Contribution to the structural analysis of Waulsortian limestones at Bouère and St-Pierre-La-Cour (Dinantian of the Laval Syncline, France)

par Frédéric BRODKOM (*)

Résumé. — Une même séquence de déformation a été établie pour deux complexes waulsortiens du Bassin de Laval (la carrière du Jars à Bouère et celle de Feux-Vilaine à St-Pierre-La-Cour). Lors du plissement, la lentille du Jars n'a pas été basculée mais son enveloppe calcschisteuse a été une zone privilégiée de glissement. A Feux-Vilaine, la compression N-S a provoqué le basculement et la fracturation ainsi que le boudinage d'un fin banc crinoïdique. Dans les deux cas, des stries sont dirigées vers l'Est ; elles expriment soit un glissement des couches sous la lentille à Bouère, soit un rejeu tectonique des structures planaires à St-Pierre-La-Cour. Enfin, une phase de déformation cassante provoqua failles, diaclases et veines.

Abstract. — *The same deformational sequence has been recognized in two Waulsortian buildups in the Laval Basin (Jars quarry at Bouère and Feux-Vilaine quarry at St-Pierre-La-Cour). The Jars buildup was not tilted during folding but there is some evidence that its shaly envelope was a zone of preferential slippage. At Feux-Vilaine, the N-S compression caused tilting and fracturing together with local boudinage of a thin crinoidal bed. The eastwardly directed slickensides present in both buildups resulted from slippage along the lenticular bodies at Bouère and from tectonic reactivation on planar structures at Feux-Vilaine. A final event of brittle deformation produced faults, joints and tectonic veins.*

I. — INTRODUCTION

1) But du travail

Les mud-mounds waulsortiens sont des complexes carbonatés datés du Tournaisien-Viséen que l'on trouve notamment dans les Synclinorium de Dinant (Ardenne) et de Laval (Massif Armoricain). Les lithofaciès typiques de ces mud-mounds, constitués de lentilles et d'intercalations stratifiées, sont les faciès crinoïdiques, à "veines bleues" et biomi-critiques. Lees *et al.* (1985) ont modélisé leur évolution en quatre phases sédimentaires définies par des assemblages de composants riches en allochems.

Le "récif waulsortien"-type constitue un corps sédimentaire massif, très rigide, et de forme lenticulaire dans l'ensem-

ble. La semelle et le toit de ces mud-mounds sont formés de faciès régulièrement stratifiés parfois plus riches en argiles dans le Synclinorium de Laval, parfois crinoïdiques ou micritiques dans celui de Dinant (Pelhâte, 1971 ; Lees *et al.*, 1977). En terme de mécanique, les lentilles waulsortiennes se comportent comme des noyaux rigides et fragiles au sein d'un encaissant plus ductile (Brodskom 1985, 1988).

Nous avons déjà réalisé l'étude structurale de la grande lentille waulsortienne de Furfooz au SE de Dinant (*op. cit.*). Suite à cela, nous avons souhaité étudier de plus petites lentilles dans un contexte régional différent, pour examiner si le comportement mécanique intrinsèque de ces structures présentait les mêmes caractères. Deux des carrières du Synclinorium de Laval, à Bouère et à St-Pierre-La-Cour, exposent

(*) Université Catholique de Louvain, Faculté des Sciences, Laboratoires de Géologie Générale. Place L. Pasteur, 3 à B-1348 Louvain-La-Neuve (Belgique).

Note présentée le 8 novembre 1989 et acceptée pour publication par le Conseil de la S.G.N. le 16 mai 1990.

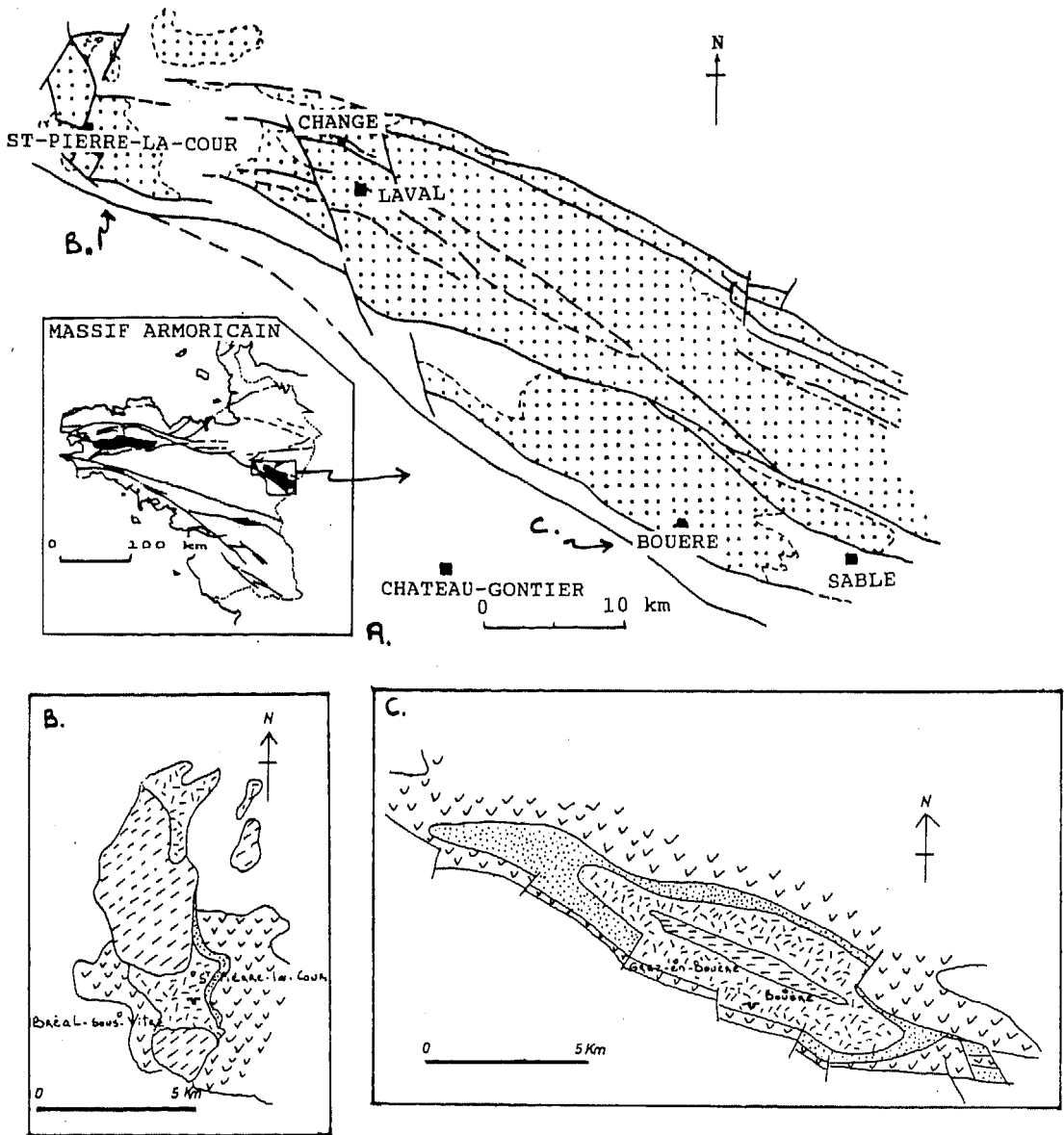


Fig. 1. — Localisation des calcaires waulsortiens du Bassin de Laval. A : Le Bassin Carbonifère de Laval (d'après Houlgatte *et al.*, 1988), B : Graben de St-Pierre-La-Cour, C : Synclinal de Bouère.

Légende commune aux figures B et C :





-  Faciès schisto-gréseux du Stéphalien.
-  Schistes de Laval (Viséen sup. à Westphalien).
-  Faciès waulsortiens (Tournaisien sup. - Viséen).
-  Grauwacke à Paléchinides et Cûlm inférieur.

Fig. 1. — Geological sketch maps showing the Waulsortian limestones in the Laval Basin. A : Carboniferous Basin of Laval (after Houlgatte *et al.*, 1988), B : St-Pierre-La-Cour Graben, C : Bouère Syncline.

des lentilles de dimensions modestes qui ont permis ces observations.

Le but de cette publication est de présenter les structures tectoniques qui affectent le Waulsortien de ces carrières.

Nous montrerons comment le comportement rhéologique des lentilles est différent de l'enveloppe stratifiée. Dans cette première étape, nous présenterons des faits sans aller plus loin dans l'interprétation régionale de la déformation ou les comparaisons avec le Waulsortien de Belgique.

2) Le Bassin Carbonifère de Laval

Le Bassin Carbonifère de Laval (fig. 1) est situé dans la partie orientale de la Zone Centre-Armoricaine. Ce bassin s'ennôit à l'Est sous les couches mésozoïques du Bassin de Paris, tandis qu'à l'Ouest, les affleurements carbonifères sont limités par les séries dévoniennes et paléozoïque inférieur sur lesquelles ils reposent en discordance (Pelhâte *et al.*, 1990). Les faciès waulsortiens connus sont localisés dans deux sites : à l'Ouest, le petit graben de St-Pierre-La-Cour, et à l'Est, le Synclinal de Bouère (Pelhâte, 1971).

La discordance du Dinantien sur les terrains dévoniens et plus anciens ne peut être que l'effet d'une déformation post-emsienne et anté-tournaisienne dont les caractères géométriques ne sont pas encore connus dans le détail (Pelhâte *et al.*, 1990). La sédimentation dinantienne, à laquelle participent les faciès waulsortiens, s'effectue alors que l'aire de sédimentation est très mobile le long d'une flexure orientée NW-SE passant par Sablé et Changé (Pelhâte, 1971). Cette mobilité prolongerait la phase bretonne de l'orogénèse varisque. Au Tournaisien supérieur, une sédimentation calcaire succède donc au Cülm et se poursuit durant le Viséen. Deux formations se déposent de part et d'autre de la flexure : le Calcaire de Changé en zone infralittorale au NE, et, au SW, le Calcaire de Laval en zone cirçalittorale subsidente où s'établiront les mud-mounds waulsortiens.

De la fin du Viséen moyen au début du Westphalien (Schistes de Laval), la déformation reprend, associée à des éruptions volcaniques (Plaine, 1976 et Edel et Coulon, 1984). Ces événements sont l'équivalent de la phase sudète-I de l'Est de la France. Toutes ces formations seront plissées en une structure armoricaine synclinale par une phase tardive du début Westphalien, la phase sudète-II dite *erzgebirge*. Cette crise orogénique est intense et correspond à une compression N-S avec faible métamorphisme. Les plis de cette tectogénèse sont droits à déversés vers le Nord et accompagnés d'une schistosité plus intense au Sud du synclinal. Enfin, lors d'une phase tardi-hercynienne, un failage synsédimentaire a affecté les dépôts au Westphalien-Stéphaniens (Edel et Coulon, 1984 ; Rolet *et al.*, 1986 ; Houlgatte *et al.*, 1988).

II. — LE WAULSORTIEN DU SYNCLINAL DE BOUÈRE

Le Synclinal de Bouère (fig. 1) est allongé NW-SE sur 20×4 km et situé autour de Bouère à 35 km au SE de Laval. De sa périphérie au centre, il contient la Formation de Grez-en-Bouère (anct. Grauwacke à Paléchinides), la Formation des Calcaires de Bouère (correspondant aux faciès waulsor-

tiens) et la Formation de Bouessay (anct. Schistes de Laval).

La Formation des Calcaires de Bouère (Tn. sup. - V. moyen) montre la succession des calcaires et schistes correspondant à l'installation, au développement et à l'extinction de récifs waulsortiens. De la base au sommet, ces faciès sont les suivants (Houlgatte et Pelhâte, 1988) :

- Calcaire gris noir à rares débris de crinoïdes, de radioles d'Echinides et à Calcisphères, interstratifiés avec de fines couches d'argilite.
- Micrites litées roses ou vertes à rares entroques.
- Calcaire massif crinoïdique rose à *Scal. anchoralis*.
- Calcaire à veines-bleues et Bryozoaires, associé à des micrites à entroques épars et renfermant *Pseudopol. triangulus pinnatus* (sommet du Tn sup.).
- Schistes calcareux de couleur lie-de-vin.
- Micrites litées bleu-gris ou roses, riches en entroques. Son sommet renferme *Gnath. commutatus commutatus* (V moyen ?).

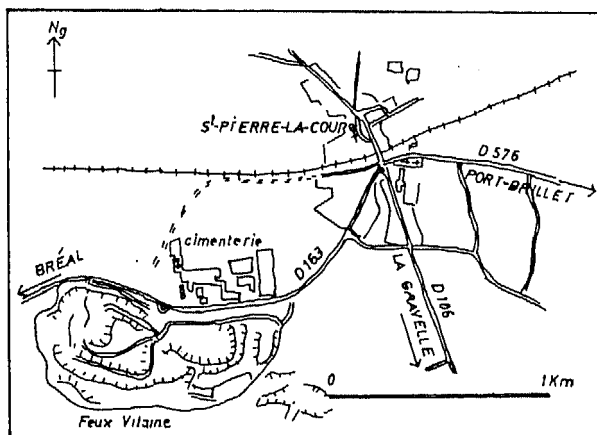
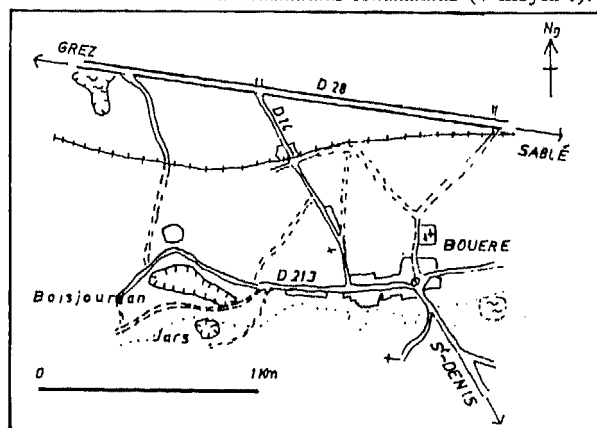


Fig. 2. — Localisation des carrières de Boisjourdan, du Jars et de Feux-Vilaine.

Fig. 2. — Localisation of the Boisjourdan, Jars and Feux-Vilaine quarries.

1) Les carrières de Boisjourdan et du Jars

Deux carrières abandonnées et en partie inondées ont été étudiées : celles de Boisjourdan et du Jars voisines l'une de l'autre et situées à 1 km à l'Ouest de Bouère sur la D 213 (fig. 2). Dans l'importante carrière de Boisjourdan seules persistent de grandes dalles du faciès waulsortien à veines bleues. L'accès à cette carrière étant difficile, l'étude a été limitée à la petite carrière du Jars dans laquelle une lentille complète est exposée avec son encaissant (fig. 3).

D'un point de vue lithologique, sept faciès bien distincts sont visibles dans la carrière du Jars et précèdent le Waulsortien proprement dit. Les couches sont dans l'ensemble horizontales et celles du sommet de la carrière du Jars correspondent à la base de la carrière de Boisjourdan. Ces faciès sont décrits dans l'ordre stratigraphique :

- a) Calcaire stratifié bleu foncé riche en clastes et stylolithes parallèles à la stratification avec intercalations schisteuses.
- b) Lentille d'une épaisseur de 2,5 mètres de calcaire waulsortien massif de teinte gris foncé à bleu-noir et contenant les "veines bleues" et des crinoïdes.
- c) Latéralement ce Waulsortien "précoce" fait place à une boue calcaire bleue contenant des clastes, stratifiée et traversée de nombreux joints stylolithiques.

- d) Au-dessus de la lentille, des calcschistes gris-noirs finement cli-vés par des microjoints de dissolutions et de concentrations d'insolubles s'étendent sur une épaisseur de 50 cm. Ces calcschistes contiennent des niveaux de calcite.
- e) Banc calcaire faiblement clastique gris-sombre d'une épaisseur moyenne de 35 cm et surmontant les calcschistes après un passage graduel.
- f) Quelques bancs calcaires de teinte bleue foncée.
- g) Gros bancs de teinte rosée où alternent des bandes de micrites fines et des passages très crinoïdiques dans une matrice plus grossière. Ce terme qui affleure dans le front de taille nord de la carrière du Jars est la semelle du Waulsortien de Boisjourdan.

2) Analyse structurale de la carrière du Jars

L'analyse structurale de la lentille décrite dans le faciès B était intéressante étant donné sa géométrie et son contexte structural (fig. 3 & 4). Si les joints de stratification sont sub-horizontaux dans toute la coupe (fig. 4 & 5), on constate néanmoins que la stratification contourne la lentille et n'est déformée que par deux structures mésoscopiques :

— Au Sud de la lentille, un pli dissymétrique à vergence NE d'amplitude métrique et marqué par les bancs des faciès E et F (plan axial d'attitude $N 120^{\circ}E, 60^{\circ}SW$).

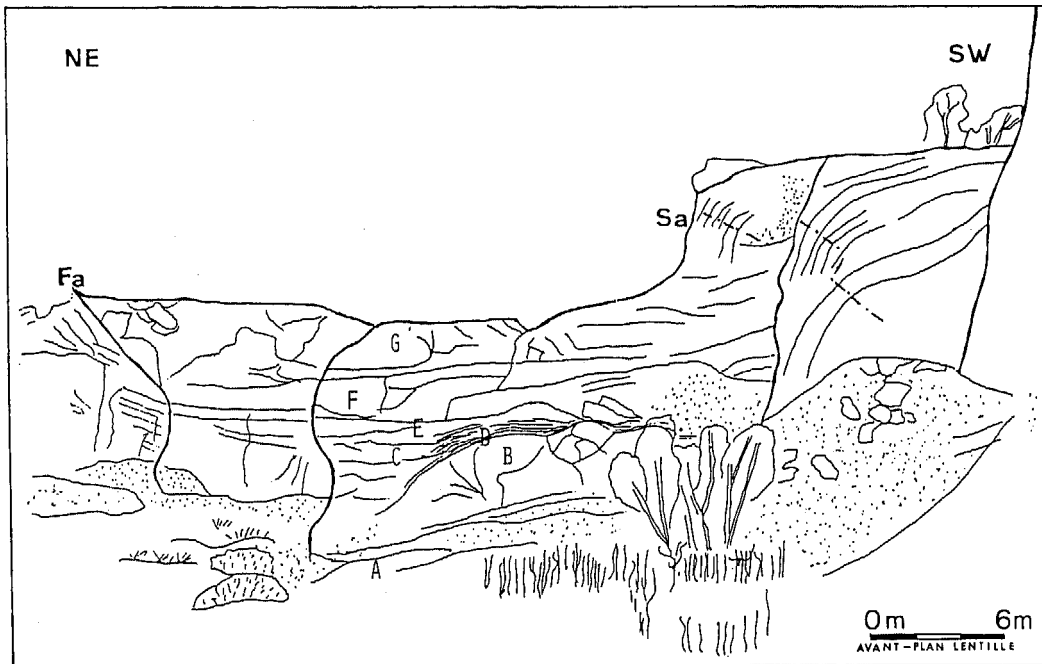


Fig. 3. — Carrière du Jars. A à G : faciès reconnus avec en B la lentille waulsortienne. Sa : Surface axiale du pli dissymétrique. Fa : Faille normale en arrière-plan.

Fig. 3. — Jars quarry. A to G : recognized facies with B, the Waulsortian lenticular body. Sa : axial surface of the dissymmetric fold, Fa : normal fault see in the background of the quarry.

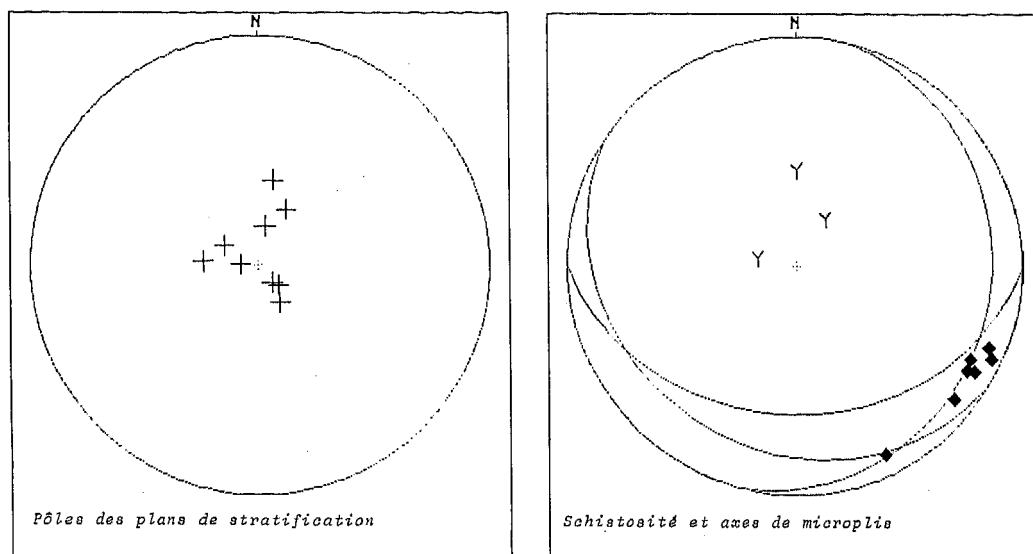


Fig. 4. — Stéréogrammes (Canevas de Schmidt) autour de la lentille du Jars : pôles des plans de stratification (+), pôles et plans de schistosité (γ), axes de microplis (◆).

Fig. 4. — Equal-area projection around the Jars buildup : poles to bedding surfaces (+), poles and planes of cleavage (γ), axial plunge of microfolds (◆).

— Au NE de la lentille, une faille normale à rejet décimétrique affectant les faciès latéraux et supérieur de la lentille (plan d'attitude $N 100^{\circ}E, 50^{\circ}S$).

La bande calcschisteuse du faciès C est une zone préférentielle de glissement comme en atteste le plissement des niveaux centimétriques de calcites (3, 6 et 7, fig. 5).

Les mesures d'axes de ces petits plis montrent un ennoyage moyen de 10° , $N 124^{\circ}E$ (fig. 4). Les surfaces de compactions marquées par un fin clivage où se concentrent les insolubles épousent le contour lenticulaire du Waulsortien en passant de $N 102^{\circ}E$ à $N 212^{\circ}E$ de l'Est au SW.

Dans le faciès A, des stries de glissement banc sur banc et des stries sur fractures sont dirigées de $N 65^{\circ}E$ à $N 115^{\circ}E$. Ces stries montrent un glissement, vers l'Est et sans grande extension, des bancs en position sub-horizontale et des blocs de fractures situés juste sous la lentille. Les stries traduisent ici le comportement de la semelle stratifiée de la lentille : lors de la déformation, les bancs ont glissé l'un sur l'autre sous la lentille rigide, en même temps que se sont développées, par compensation, des fractures qui présenteront des stries de même intensité et sens de déplacement.

Il existe une première phase de déformation cassante ultérieure à ce glissement (4 et 5, fig. 5). Les témoins de cette phase dans les calcschistes sont les kink-band observés au-dessus de la partie centrale de la lentille et de plan axial $N 140^{\circ}E, 85^{\circ}NE$. Dans le prolongement de ces kinks et après réfraction, la lentille est affectée par une zone de fracturation dont le plan moyen est d'attitude $N 120^{\circ}E, 75^{\circ}SW$.

Cette zone est constituée de veines calcitiques en échelon et de fractures sans rejet et non organisées en réseau. Plus au NE dans la lentille, un réseau conjugué de veines en échelon a également été observé (2, fig. 5) : la bissectrice de l'angle aigu séparant les deux familles de veines est dirigée $N 140^{\circ}E$.

Enfin, un jeu de petites failles inverses affecte l'extrémité sud de la lentille (fig. 5). Le mouvement de ces plans décale le contact lentille-calcschistes sur près de 15-20 cm. La direction de ces plans de faille est analogue à la grande faille avec des attitudes $N 87^{\circ}E, 85^{\circ}N$ et $N 96^{\circ}E, 38^{\circ}S$. Entre ces deux petites failles et à l'intérieur même de la lentille, la roche est très fissurée par des veines et veines en échelon pour l'ensemble à pendage moyen ou sub-vertical vers le SW.

3) Conclusion

Le Waulsortien du Jars est présent sous la forme d'une lentille qui n'est pas directement affectée par la déformation ductile. Elle servira cependant d'appui résistant, sur lequel les calcschistes supérieurs et la semelle stratifiée vont glisser lors de la déformation, elle-même à l'origine du pli en chaise de l'enveloppe. Dans un épisode ultérieur de déformation du type cassante, le corps lenticulaire va se fracturer alors que, dans une direction semblable, des kinks vont affecter les calcschistes. Enfin, un comportement solidaire a été reconnu pour les phases tardives de déformation : d'une part, lors d'un léger cisaillement à l'origine des veines en échelon et d'autre part, lors du faillage où le même rejet décimétrique a été noté pour la lentille et son enveloppe.

III. — LE WAULSORTIEN DU BASSIN DE ST-PIERRE-LA-COUR

Le petit graben carbonifère de St-Pierre-La-Cour est situé à environ 20 km à l'Ouest de Laval où il occupe une dépression topographique enchâssée dans les formations siluro-dévonienne (fig. 1 & 2). Il est ainsi limité à l'Est et à l'Ouest par les schistes et quartzites gedinniens, au Nord, par les grès du Siegénien inférieur et enfin au Sud, par les grès de l'Ordovicien supérieur et du Silurien.

Ces formations constituent le substratum sur lequel repose, en discordance, le Cûlm inférieur localement surmonté stratigraphiquement par la Grauwacke à Paléchinides. Au-dessus du Cûlm vient le Waulsortien du Calcaire de Laval, exploité dans la carrière de Feux-Vilaine, et les formations schistogréseuses du Stéphanien. Des dépôts argileux lie-de-vin et verdâtres comblent les poches de décalcification et recouvrent le Calcaire de Laval. Ces dépôts sont attribués au Stéphanien, sans pour autant avoir livré de spores caractéristiques (Pelhâte et Meilliez, comm. pers. V. 1988).

1) La carrière de Feux-Vilaine

La carrière de Feux-Vilaine, entièrement dans le faciès waulsortien, est située au Sud de la D 163, à 500 m de la sortie de St-Pierre-La-Cour vers Bréal-sous-Vitré (fig. 2). Allongée suivant un axe E-W, sa longueur est de 900 m pour une largeur de 600 m accès compris. La masse waulsortienne, comme l'ensemble de la série, est en position inverse avec un fort pendage sud. Enfin, les faciès terrigènes encaissants affleurent en contact par faille avec le Waulsortien. Deux fronts de taille ont été analysés : le premier, à — 80 m par rapport au sol, a fait l'objet d'un levé structural complet tandis que le second, à — 40 m, nous a permis d'étudier le contact par faille du Waulsortien avec les schistes.

Dix échantillons ont été prélevés à intervalles constants le long de la coupe du niveau — 80 m. Une première analyse de ce Waulsortien, probablement de la phase B de Lees *et al.* (1985), a montré l'absence de dolomie, pourtant importante dans les faciès équivalents du Synclinorium de Dinant. Dans l'ensemble, les calcaires sont des mudstones-

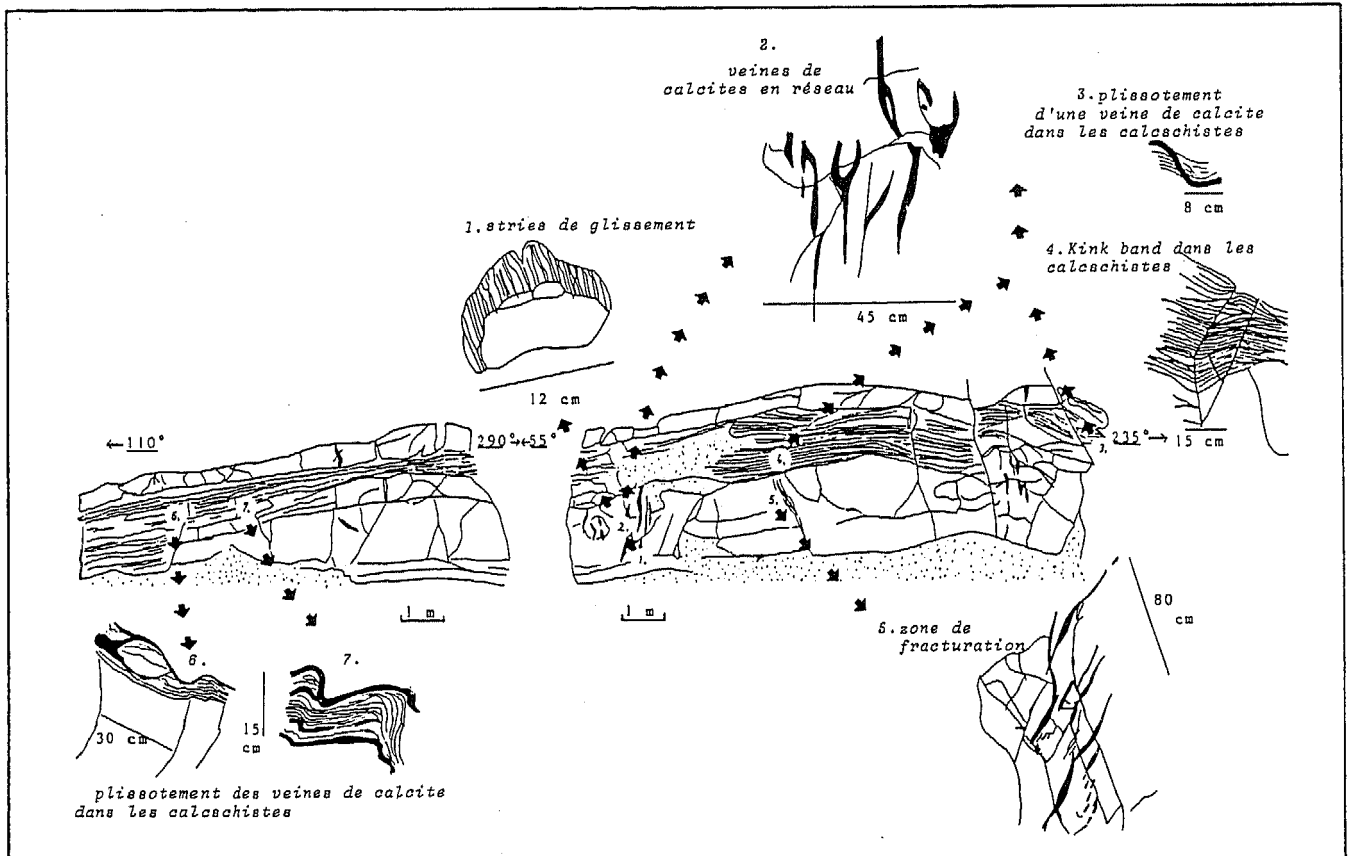


Fig. 5. — Coupes de la lentille waulsortienne de la carrière du Jars et détail des structures tectoniques étudiées dans le texte (Nos 1 à 7).
 Fig. 5. — Section showing the Waulsortian buildup of the Jars quarry and the particular tectonic structures studied in the text (Nbr 1 to 7).

wackestones moyennement riches en crinoïdes (jusqu'à 35 %) et pauvres en bioclastes (rares coquilles, ostracodes, bryozoaires). L'ensemble de ces calcaires a été affecté par la diagenèse : les lames minces montrent une forte micritisation ainsi que des ciments granulaires et des plages de sparites. La diagenèse présente aussi des phénomènes de remplacement néomorphique (microspar-pseudospar et calcites fibreuses). Les stylolithes sont relativement bien développés et plus particulièrement dans la partie massive. Ces stylolithes de hauteur millimétrique passent latéralement à des joints plats suturés ou anastomosés remplis d'insolubles opaques ou d'argiles de teintes vertes.

2) Analyse structurale du Waulsortien de la carrière de Feux-Vilaine (niveaux — 80 m et — 40 m)

La coupe étudiée au niveau — 80 m est sécante à la stratification et orientée selon une direction NE-SW (fig. 6).

Notre choix s'est porté sur cette coupe étant donné sa direction, sa taille, son accessibilité et sa qualité à l'affleurement. Le front de taille NW-SE n'avait révélé que l'existence d'un jeu de diaclases sub-verticales dirigées N-S dans du Waulsortien massif de teinte bleue ou rose. La coupe NE-SW fait précisément 140 m de long avec un léger changement d'orientation à 40 m. L'échelle du levé structural de la coupe est au 1/500°.

a) Structure d'ensemble au niveau — 80 m

Un examen d'ensemble de la coupe (fig. 6) a montré que le Waulsortien pouvait ici être divisé en deux sections suivant l'importance et la quantité des bancs et diaclases : une section plus finement stratifiée et nettement moins diaclasée au SW (de 0 à 60 m de la base) et une section massive (de 60 à 140 m) où seules quelques surfaces de stratification apparaissent dans un milieu très diaclasé.

A la base où les plans de stratification sont bien marqués, les bancs ont une épaisseur allant de quelques décimètres à un ou deux mètres. L'attitude moyenne de ces bancs est $N 89^{\circ}E, 57^{\circ}S$. Notons qu'à 30 mètres de la base dans la partie stratifiée, une surface de stratification nettement bombée contourne une première petite lentille waulsortienne en position redressée. Lors de la phase principale de déformation, les bancs situés sur le pourtour de cette lentille ont subi une très forte fracturation se traduisant par des réseaux diffus de veines de calcite d'orientations $N 115^{\circ}E, 65^{\circ}NE$ et $N 104^{\circ}E, 73^{\circ}S$. La petite lentille présente par contre l'aspect homogène d'un corps rigide qui forme un butoir résistant autour duquel l'encaissant a été forcé de se déformer sous l'effet des contraintes locales.

Dans la partie supérieure de la coupe (de 60 à 140 m) par contre, la roche est beaucoup plus massive. Les quelques plans

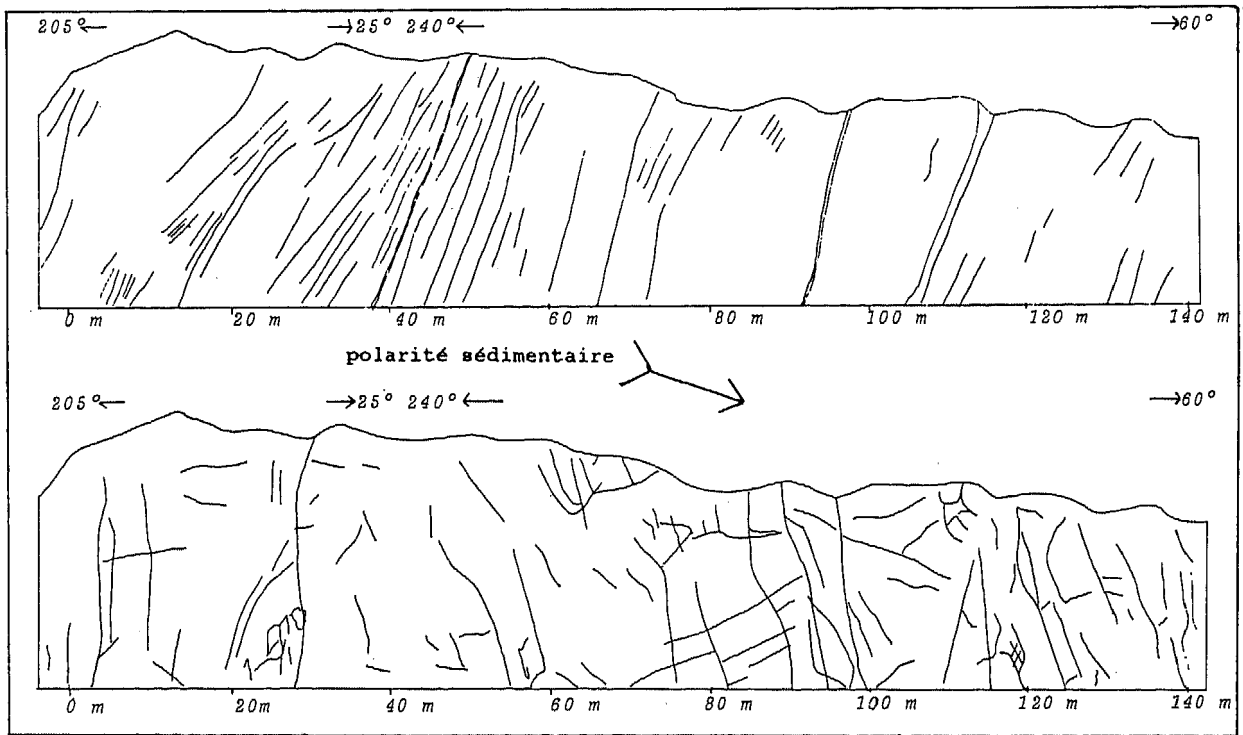


Fig. 6. — Niveau — 80 m du front de taille NE-SW de la carrière de Feux-Vilaine. A : coupe des plans de stratification, B : coupe des plans de diaclases.

Fig. 6. — NE-SW face of the — 80 m level at the Feux-Vilaine quarry. A : section with the bedding surfaces, B : section with joint surfaces.

de stratification qui apparaissent présentent une attitude moyenne proche de ceux de la partie stratifiée : $N 98^{\circ}E, 65^{\circ}S$.

Cette première approche nous a déjà permis de voir des comportements différents entre le Waulsortien massif et son enveloppe stratifiée. Ci-dessous, nous passerons en détail les diverses structures de cette coupe qui permettront de mieux comprendre comment la déformation affecte le Waulsortien : stries, boudinage, diaclases et veines en échelon.

b) *Les stries de glissement*

Dans la partie bien stratifiée de base et sur les plus rares plans de stratification de la partie massive, des stries de glissement "banc sur banc" sont observables (fig. 7 et 8). Ces stries, cristallisées en calcite fibreuse, sont sub-horizontales et dirigées ENE à la base et ESE dans la partie massive. Dans les deux cas, on observe sur les mêmes surfaces des placages striés de dépôts argileux violacés à verts (fig. 8).

Dans les deux zones, l'analyse des terminaisons de stries montre un sens de déplacement sénestre des bancs supérieurs, dirigés grosso-modo vers l'Est et donc, dans une direction perpendiculaire au pendage des couches. On ne peut ainsi invoquer pour leur origine un simple glissement des bancs dans le sens du pendage lorsque ceux-ci et le Waulsortien ont été basculés dans leur position actuelle. Ces stries ont enregistré le dernier déplacement des bancs ou paquets waulsortiens et ne sont explicables que par un glissement tardif et préférentiel le long de ces surfaces. Ces mouvements longitudinaux des bancs proviennent d'une restructuration du graben de St-Pierre-La-Cour après la *phase sudète-II* de compression et de structuration principale.

Les placages argileux du Stéphanien sont creusés de stries verticales, très régulières et à pendage Sud. Ils recouvrent, là où ils sont présents, les stries de glissement longitudinales. Ces placages sont donc postérieurs au glissement tardif des bancs et ne peuvent être que rattachés à l'épisode de faille synsédimentaire *tardi-hercynien*.

Ces glissements tardifs ont affecté indifféremment, les bancs du faciès stratifié de base et les rares plans de stratification de la partie waulsortienne massive. On ne peut donc voir ici, si ce n'est dans l'orientation légèrement variable, de comportement rhéologique différent dans les phases tardives de restructuration du graben.

c) *Les bancs crinoïdiques et le boudinage*

Deux fins bancs sont constitués d'un packstone extrêmement riche en crinoïdes, partiellement dissous et cimentés par une calcite granulaire. Cette composition confère aux bancs un caractère compact très résistant à la destruction. Alors que le banc à 90 m de la base dans le Waulsortien massif est régulier avec une épaisseur de 10 cm, celui situé à 40 m est nettement boudiné avec des lentilles œillées de 15 cm d'épaisseur et des resserrements de 4-8 cm. La calcite y est cristallisée et issue de la dissolution sous contrainte du packstone crinoïdique. L'observation n'étant faite qu'en section, il n'a pas été possible de voir l'élongation normale de ces boudins (fig. 9).

Le boudinage du banc crinoïdique de la section stratifiée est lié à une différence de compétence entre ce fin banc et les bancs calcaires du type mudstone-wackestone qui l'encadrent. A 90 m de la base, où le banc crinoïdique est inséré dans la masse waulsortienne, l'absence de bancs, et donc de variation de compétence, n'a pas permis au boudinage de se développer.

d) *Les diaclases*

La distribution des pôles de diaclases est assez dispersée ce qui traduit l'absence d'anisotropie régulière dans le faciès waulsortien. Différents réseaux peuvent être dégagés si nous regroupons les diaclases suivant leur attitude par rapport à la stratification (fig. 10) ; cette dernière est de direction plus ou moins N-S et de pendage plus ou moins $60^{\circ}E$:

Réseau L. — Les diaclases longitudinales sont présentes dans la partie stratifiée de la coupe. Ce sont des diaclases E-W relativement plates à faible pendage Nord, sub-orthogonales à la stratification.

Réseau T. — Les diaclases transversales existent sur toute la coupe. Ces diaclases N-S et sub-verticales sont orthogonales à la stratification.

Réseau D. — Les diaclases diagonales peuvent être gauche ou droite et former ainsi un système conjugué. Ces diaclases sont présentes dans la partie massive avec quelques diagonales droites dans la partie stratifiée. Leur direction est NW-SE à N-S avec un pendage moyen à sub-vertical.

Réseau Q. — Ce dernier réseau, présent dans toute la coupe, est constitué de diaclases NE-SW. Le pendage de ces diaclases est SE et sub-vertical dans la partie massive tandis qu'il est moyen dans la partie stratifiée.

Dans l'ensemble les réseaux L et T contiennent des diaclases ouvertes de tailles moyennes et affectant plusieurs bancs. La densité de fracture de ces réseaux est faible mais reste cependant supérieure aux autres. Enfin, ces deux réseaux sont équivalents avec une maille régulière si l'on considère leur organisation dans le milieu fracturé.

Le réseau D présente des diaclases habituellement jointives et bien moins développées. Le relevé des bissectrices des angles aigus de ces diaclases conjuguées gauche et droite indique une direction de contrainte maximale $N 344^{\circ}E$ perpendiculaire à la direction générale des couches. Elle pourrait traduire une contrainte de compression mieux marquée dans la partie waulsortienne massive et rigide. Son effet cassant s'y est particulièrement bien développé par manque de surfaces de discontinuité pouvant agir comme plan de glissement.

Très disparate quant à la densité locale de répartition, le réseau Q, quelconque par rapport aux plans de stratification, présente en grosse majorité des diaclases ouvertes et de tailles moyennes. Ces diaclases se distribuent d'une manière plus ou moins parallèle à la grande faille du niveau d'exploitation — 40 m (Cfr pt f. ci-dessous). Elles pourraient donc être de la même phase et constituer le dernier événement tectonique affectant le Waulsortien de St-Pierre-La-Cour.

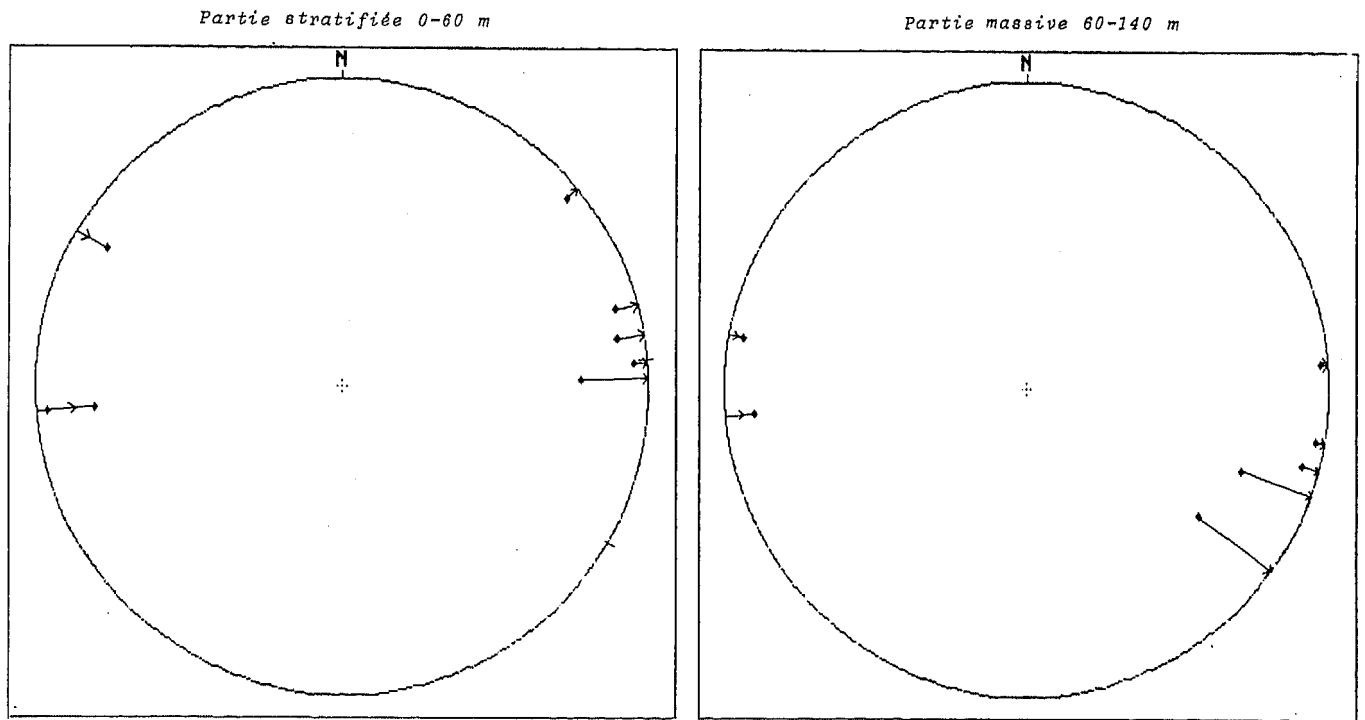
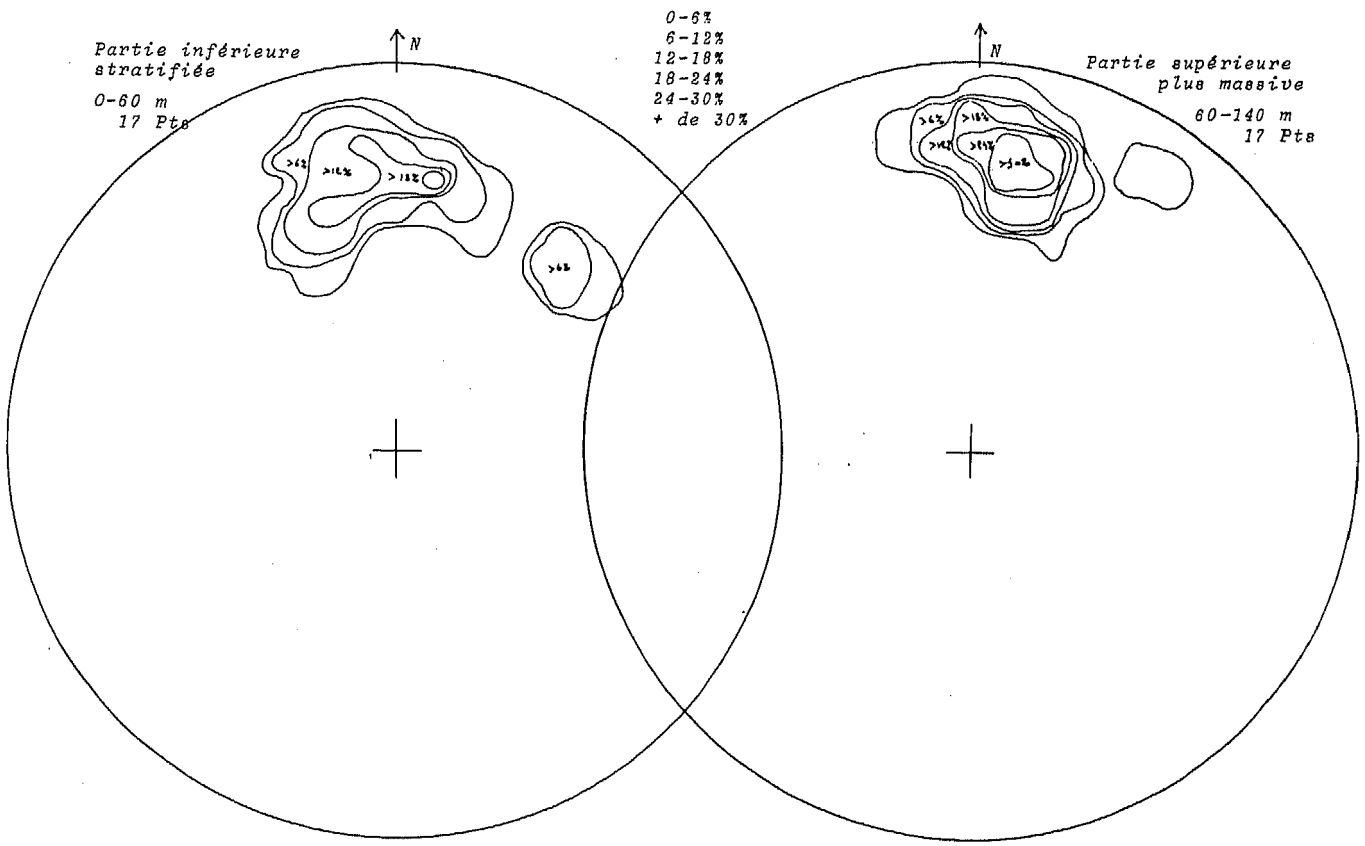


Fig. 7. — Stéréogrammes (Canevas de Schmidt) de densité des pôles de la stratification et projection des stries de glissement. Niveau — 80 m du front de taille NE-SW de Feux-Vilaine.

Fig. 7. — Contoured equal-area projection of poles to bedding and plot of slickensides. Level — 80 m of the NE-SW face at Feux-Vilaine.

e) *Les veines en échelon*

Diverses familles de veines du type lenticulaire à sigmoïde et disposées en échelon ont été observées. A 35 m de la base, les trois familles majeures sont représentées et l'on constate que les deux plus anciennes (la supérieure à mouvement dextre et l'inférieure à mouvement sénestre) forment un réseau conjugué dont l'angle aigu est de 40° :

Attitude des axes de zone :	
Sup. : 20°, N 200°E	Inf. : 25°, N 20°E
Angle moyen δ veines-zone :	
Sup. : 28°	Inf. : 20°
Longueur des veines :	
Sup. : 10 à 50 cm	Inf. : 15 à 40 cm
Épaisseur de zone :	
Sup. : 35 cm	Inf. : 25 cm
Directions de contrainte principale :	
P _{max} : horizontale et dirigée N 20°E.	
P _{int} : horizontale et dirigée N 290°E.	
P _{min} : verticale et dirigée N 200°E.	

Sous l'effet de la contrainte, les fractures se sont développées en dilatation positive (angle δ) pour former des veines distribuées en échelon. Le système s'est développé en cisaillement et en rotation à l'origine des distorsions sigmoïdales, plus importantes pour le niveau supérieur dextre.

La troisième famille est plus récente et constituée de quelques veines très fines d'attitude moyenne N 113°E, 62°S.

f) *Note sur la faille du niveau — 40 m*

La structure essentielle de ce niveau est une faille d'attitude N 45°E, 55°SE qui fait reposer sur le Waulsortien, des schistes de teinte vert-noir correspondant soit aux Schistes de Laval (Namurien-Westphalien probable) soit à des schistes stéphaniens (Pelhâte et Meilliez, comm. pers. V.1988). Comme ces schistes ont un pendage sub-vertical, le faillage est ultérieur à la phase sudète-II de compression, soit *tardihercynien*. L'analyse des échantillons de calcaire waulsortien pris au contact et à proximité de la faille ont permis d'analyser les microveines de calcite. L'observation en lumière naturelle ne permettant pas de bien distinguer les

réseaux de veines, une rapide analyse a été menée en cathodoluminescence (*Technosyn Model 8200 MK II*). Trois réseaux de veines tectoniques sont présents et affectent diversément le Waulsortien jusqu'à 6 mètres de la faille :

— Le plus ancien réseau est limpide en lumière naturelle et de luminescence orange moyen. Il affecte le Waulsortien dans son ensemble et n'est pas spécifiquement lié à la faille. La direction des veines de ce réseau varie de N 145°E à N 155°E pour des pendages sub-verticaux vers le SW.

— Jusqu'à 6 mètres, un ensemble de veines est fortement luminescent (orange vif) et sans orientation spécifique. Ces veines, liées à la faille sont plus épaisses près de celle-ci pour devenir plus loin un réseau de microveinules non visibles en lumière naturelle. Des joints stylolithiques sont présents, d'âge contemporains ou juste postérieurs à ces veines. Leur intensité diminue en s'écartant de la faille et leur attitude est semblable à celle-ci : N 70°E, 35°SE. Cet ensemble, veines et stylolithes correspond à la zone de broyage de la faille.

— Enfin, un très beau réseau de veines "noires", donc sans luminescence ou à luminescence annihilée, est présent au contact de la faille. Les veines sont épaisses, mal cristallisées et, autour d'elles, une multitude de fines veinules droites s'anastomosent. Les veines de ce réseau font un angle de 20° avec la faille et correspondent à un événement tardif puisqu'elles intersectent nettement les veines de la zone de broyage.

3) **Conclusions**

Le Waulsortien de Feux-Vilaine est caractérisé par une section massive qui présente, en regard de la section stratifiée, une plus forte intensité de fracturation marquée par l'importance des réseaux de diaclases. Ce comportement habituel des roches massives est expliqué par l'absence de surfaces repères pré-tectoniques qui serviraient de plans de glissement lors du basculement des couches. C'est la même absence de niveaux bien stratifiés qui empêchera le boudinage de se développer dans un fin banc crinoïdique, par opposition à celui de la section stratifiée. Notons encore que cette différence de comportement a pu être mise en évidence à la base, où

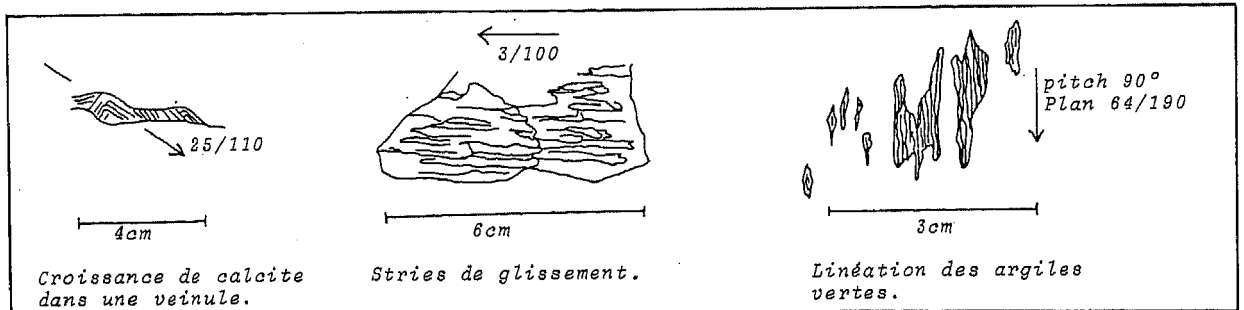


Fig. 8. — Dessin de détail et direction des stries sur une surface de stratification à 108 m de l'extrémité SW de la paroi. Niveau — 80 m du front de taille NE-SW de Feux-Vilaine.

Fig. 8. — Detailed drawing and trend of slickensides on the bedding surface located at 108 m from the SW end of the wall. Level — 80 m of the NE-SW face at Feux-Vilaine.

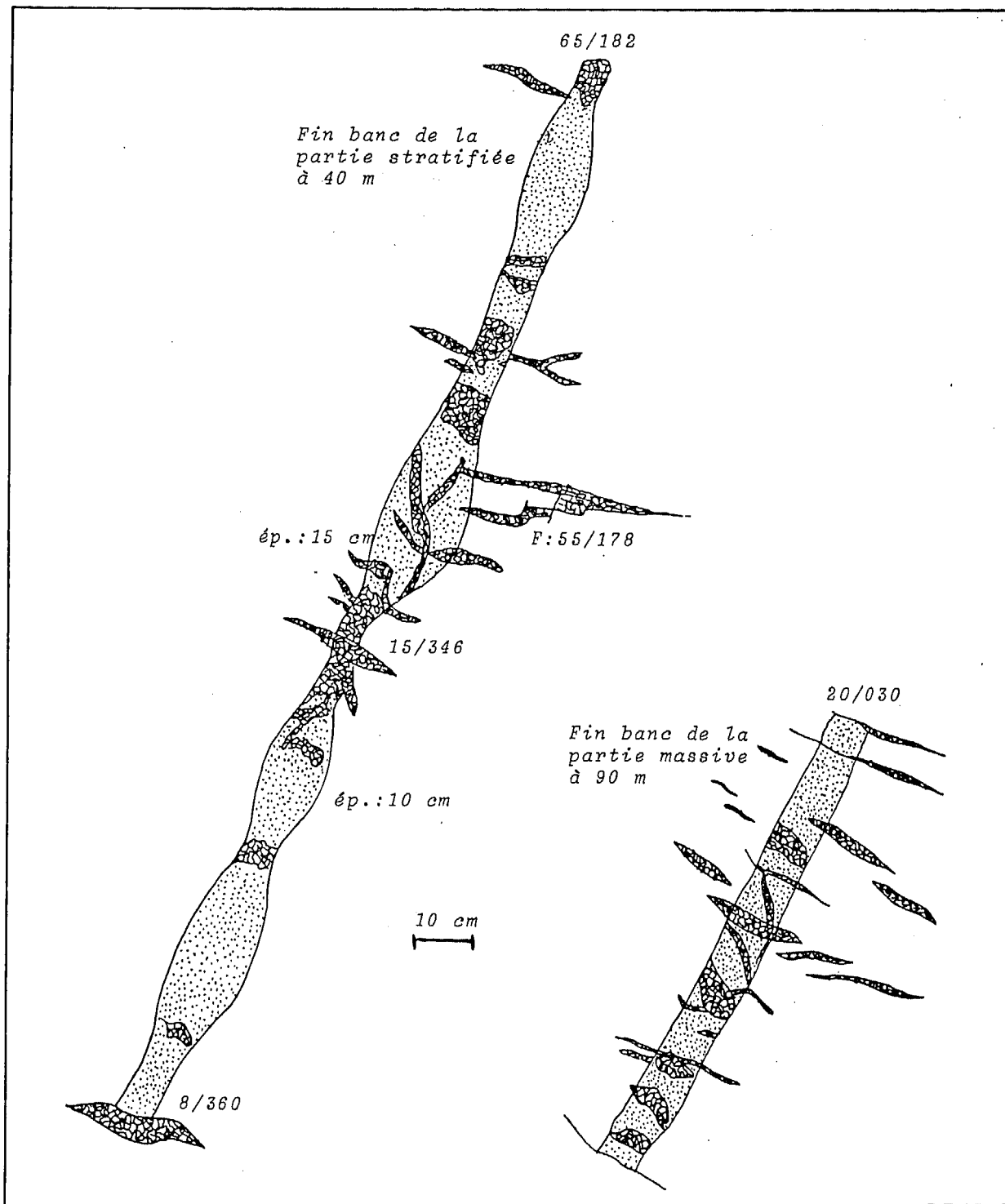


Fig. 9. — Croquis et mesures des fins bancs crinoïdiques. Niveau — 80 m du front de taille NE-SW de Feux-Vilaine.

Fig. 9. — Sketch and measures of the thin crinoidal beds. Level — 80 m of the NE-SW face at Feux-Vilaine.

une lentille précoce de Waulsortien massif est "contournée" par un banc qui, avec ses réseaux de veines tectoniques, présente une plus forte déformation que les autres bancs à proximité.

Une discrimination a été faite entre les veines propres au broyage de la faille et les réseaux préexistant ou postérieurs.

IV. — SYNTHÈSE DES ÉVÉNEMENTS

Nous pouvons donc proposer la séquence suivante dans les événements tectoniques ayant affecté la lentille waulsortienne du Jars et le Waulsortien de la carrière de Feux-Vilaine :

1) Carrière du Jars

— Formation du pli en chaise dans l'enveloppe et glissement des calcschistes sur la lentille dont la masse rigide agit comme un noyau de résistance à la contrainte. Des stries de glissement dirigées vers l'Est affectent les couches de la semelle waulsortienne et des fractures de la lentille.

— Formation de kinks dans les calcschistes et fracturation de la lentille avec développement de veines tectoniques.

— Développement des failles inverses dans les faciès latéraux et l'extrémité sud de la lentille.

2) Carrière de Feux-Vilaine

— Plissement et basculement vers le Nord du complexe Waulsortien (base stratifiée et partie massive). La direction de contrainte principale de cette compression est $N 344^{\circ}E$ à $N 20^{\circ}E$. La déformation s'accompagne du boudinage d'un fin banc crinoïdique dans la section stratifiée et d'une fracturation d'intensité plus forte dans la partie massive.

— Rejeu des couches et paquets waulsortiens avec formation des stries de glissement longitudinales dirigées vers l'Est.

— Faillage tardi-hercynien dont la faille du niveau — 40 m est un témoin. Au niveau — 80 m, les éléments suivants sont liés au faillage : le réseau Q de diaclases, un réseau de veines en échelon et les stries sur les placages d'argiles.

Remerciements. — Cette étude n'aurait pu être réalisée sans l'aide de M. Fr. Meilliez et de M^{me} A. Pelhâte, Professeur à l'Université du Maine, à qui j'adresse mes plus vifs remerciements. Je remercie aussi les promoteurs de ce travail, les Professeurs D. Laduron et A. Lees de l'Université Catholique de Louvain. Enfin, je remercie pour leur accueil les responsables du siège de St-Pierre-La-Cour des cimenteries Lafarges. Cette mission de travail en mai 1988 à Laval a été financée dans le cadre des échanges culturels franco-belges (Projet 88-1).

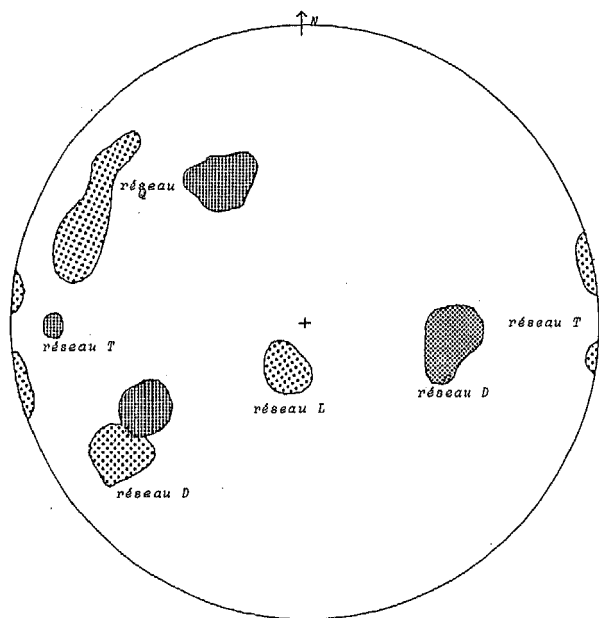


Fig. 10. — Stéréogramme (Canevas de Schmidt) des pôles des plans de diaclases : trame large pour la partie stratifiée (24 pôles), trame serrée pour la partie massive (18 pôles). Niveau — 80 m du front de taille NE-SW de Feux-Vilaine.

Fig. 10. — Equal-area projection of poles to joints : large dots for the stratified part of the section (24 poles) and close dots for the massive part (18 poles). Level — 80 m of the NE-SW face at Feux-Vilaine.

Enfin, le même glissement tardif longitudinal, traduisant un comportement solidaire, a affecté les plans de stratification de la base et les plus rares plans de la partie massive.

Au niveau — 40 m, l'analyse des veines tectoniques près de la faille, nous a permis de mieux comprendre la déformation cassante et l'effet de failles sur le Waulsortien massif.

BIBLIOGRAPHIE

1) BRODKOM F. (1985). — Relations structurales du récif waulsortien de Furfooz avec son enveloppe stratifiée et plissée (S-W du Bassin de Dinant). *Mémoire de Licence, Université Catholique de Louvain*, 83 p. (inédit).

2) BRODKOM F. (1988). — Mise en évidence de zones d'étranglement dans le récif waulsortien de Furfooz. *Synclinorium de Dinant, Belgique. 12^e Réunion des Sciences de la Terre, Lille 1988, Soc. Géol. Fr. édit. Paris*, p. 24.

- 3) EDEL J.-B. et COULON M. (1984). — Late Hercynian remagnetization of Tournaisian series from the Laval syncline, Armorican Massif, France. *Earth and Planetary Science letters*, 68, 343-350.
- 4) HOULGATTE E. et PELHATE A. (1988). — Terrains carbonifères. Notice explicative de la feuille Château-Gontier au 1/50.000^e. *Edit. B.R.G.M., Orléans*.
- 5) HOULGATTE E., LE HÉRISSÉ A., PELHATE A. et ROLET J. (1988). — Evolution géodynamique du Bassin carbonifère de Laval. *Géologie de la France*, n° 1 (1988), 27-46.
- 6) LEES A., HALLET V. et HIBO D. (1985). — Facies variation in Waulsortian buildups, Part 1 ; A model from Belgium. *Geological Journal*, Vol. 20, 133-158.
- 7) LEES A., NOËL B. and BOUW P. (1977). — The Waulsortian "reefs" of Belgium : a progress report. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 29, 289-315.
- 8) PELHATE A. (1967). — Le Carbonifère inférieur du Bassin de Laval (Massif Armoricain). Stratigraphie, Sédimentologie, Evolution paléogéographique. *Thèse Etat, Rennes. Mém. Soc. Géol. minéral. Bretagne*, 15, 315 p.
- 9) PELHATE A., CONIL R., VUILLEMIN C. et MEILLIEZ F. (1990). — Les calcaires de la Viosne : un milieu endémique en terminaison occidentale du Bassin de Laval, au Moliniacien (Viséen inférieur). *Ann. Soc. Géol. Nord*, sous presse.
- 10) PLAINE J. (1976). — La bordure Sud du Synclinorium Paléozoïque de Laval (Massif Armoricain). Stratigraphie, Volcanisme, Structure. *Thèse 3^e Cycle, Rennes*, 212 p. (inédit).
- 11) ROLET J., LE GALL B., DARBOUX J.-R., THONON P. et GRAVELLE M. (1986). — L'évolution géodynamique dévonocarbonifère de l'extrémité occidentale de la chaîne hercynienne d'Europe sur le transect Armorique - Cornwall. *Bull. Soc. Géol. France* (8), t. II, n° 1, 43-54.