

50376  
1975  
33

N° d'ordre : 522

50376  
1975  
33

# THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

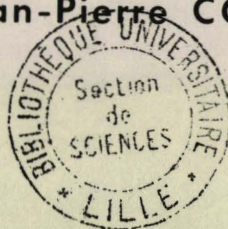
pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE TROISIEME CYCLE

MENTION GEOLOGIE APPLIQUEE

par

Jean-Pierre COLBEAUX



## GEOMETRIE ET CINEMATIQUE DE LA FRACTURATION EN BOULONNAIS EXTENSION VERS L'EST

Soutenu le      avril 1975, devant la COMMISSION D'EXAMEN

MM.	A. BONTE, Professeur	Président
	A. BEUGNIES, Professeur	Examineur
	J. MERCIER, Professeur	Examineur
	J. PAQUET, Professeur	Rapporteur
	H. A. K. CHARLESWORTH	Invité

A MA FEMME

## AVANT PROPOS

J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur A. BONTE, Directeur du laboratoire de Géologie appliquée qui m'a accueilli pendant la réalisation de ce travail.

Monsieur le Professeur J. PAQUET m'a suivi puis dirigé dans cette étude. Je le remercie sincèrement.

Monsieur le Professeur H. A. K. CHARLESWORTH de l'Université d'Alberta (Edmonton, Canada) m'a beaucoup aidé dans la réalisation de ce travail. Lors de nombreuses et stimulantes discussions, il suggéra bon nombre des méthodes utilisées dans ce mémoire. Sa participation au Jury est pour moi un honneur.

Je remercie vivement Monsieur le Professeur J. DERCOURT, Monsieur C. WEBER du Bureau de Recherches Géologiques et Minières d'Orléans, Monsieur le Professeur A. BEUGNIES de l'Ecole Polytechnique de Mons, Monsieur R. LEGRAND, Géologue principal au Service géologique de la Belgique pour les conseils et les encouragements qu'ils m'ont apportés.

Dans le laboratoire de Géologie appliquée j'ai travaillé aux côtés de Monsieur F. LETHIERS, qui ne m'a ménagé ni son temps ni son savoir. Les discussions passionnantes que nous avons eues furent bien souvent un stimulant, qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Madame DUJARDIN et Monsieur CARPENTIER ont contribué très largement à la réalisation technique de ce mémoire. Avec gentillesse et compétence, ils surmontèrent toutes les difficultés que je leur ai imposées. Je leur en sais gré et les en remercie.

## TABLE DES MATIERES

Pages		Pages
	AVANT-PROPOS .....	
	RESUMES FRANCAIS .....	6
	RESUMES ANGLAIS .....	7
	LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS UTILISES .....	8
	INTRODUCTION .....	9
	 <i>PREMIERE PARTIE : LES METHODES D'ETUDE</i> .....	 11
	 <i>A.- DEFORMATIONS CASSANTES : DEFINITIONS - CLASSIFICATIONS</i> ..	 13
	I.- DEFINITIONS .....	13
	II.- CLASSIFICATION .....	13
	 <i>B.- DEFORMATIONS CASSANTES AUX ECHELLE CENTIMETRIQUES ET METRIQUES</i>	 14
	I.- RELEVES SUR LE TERRAIN .....	14
	II.- EXPLORATION STATISTIQUE DES MESURES EN UN AFFLEUREMENT DONNE .....	14
	1) Identification des familles de joints .....	14
	1.1. Construction de stéréogrammes de densité .....	15
	1.2. Construction de stéréogrammes particuliers appliqués aux joints striés .....	15
	1.3. Constructions réservées aux joints à fort pendage (supérieur au moins à 70°) .....	17
	2) Recherche de l'orientation des contraintes .....	17
	2.1. Principes généraux .....	17
	2.2. Détermination de l'orientation de $\sigma_1$ à partir de joints à surface striée .....	18
	2.2.1. Le principe de la méthode de Cruden .....	18
	2.2.2. L'intérêt de la méthode de Cruden .....	19
	III.- EXPLORATION DES CALQUES .....	20
	1) Les joints sigmoïdes .....	20
	2) Les joints à allure de plume .....	21
	3) Les joints emplis de calcite à structure fibreuse ("beef") .....	21
	4) Quelques exemples d'application .....	22

	Pages
C.- DEFORMATIONS CASSANTES AUX ECHELLE DECAMETRIQUES ET KILOMETRIQUES .....	24
I.- A L'ECHELLE DECAMETRIQUE .....	24
II.- AUX ECHELLE HECTOMETRIQUES ET KILOMETRIQUES .....	24
DEUXIEME PARTIE : ETUDE STRUCTURALE EN BOULONNAIS ....	25
A.- DANS LES TERRAINS PRIMAIRES .....	27
I.- INTRODUCTION .....	27
II.- LITHOSTRATIGRAPHIE .....	31
III.- LES ENSEMBLES STRUCTURAUX PRIMAIRES .....	31
1) Le massif de Ferques .....	31
2) Le massif du Haut-Banc .....	32
3) Le massif d'Hydrequent .....	32
4) Les grands traits de la tectonique hercynienne du Boulonnais .....	32
IV.- PRESENTATION DES RESULTATS GENERAUX .....	33
1) Commentaire du tableau général .....	33
1.1. Les familles de joints .....	33
1.2. Le remplissage des joints .....	34
1.3. Les joints à surface striée .....	35
1.4. Les calques .....	36
2) Commentaire des observations particulières ....	37
V.- INTERPRETATION DES OBSERVATIONS EN TERMES DE CONTRAINTES	37
VI.- GENERALISATION .....	38
1) Au niveau des étages stratigraphiques .....	38
2) Au niveau des massifs .....	40
2.1. Le massif de Ferques .....	40
2.2. Les massifs chevauchants .....	42
2.2.1. Le massif du Haut-Banc .....	42
2.2.2. Le massif d'Hydrequent .....	42
3) Généralisation aux terrains primaires .....	42

	Pages
<b>B.- DANS LES TERRAINS SECONDAIRES</b> .....	43
<b>I.- INTRODUCTION</b> .....	43
<b>II.- LITHOSTRATIGRAPHIE</b> .....	44
<b>III.- TECTONIQUE DE LA COUVERTURE SECONDAIRE</b> .....	46
1) La côte jurassique de Boulogne au Nord du Cap Gris-Nez	46
2) Le Cap Gris-Nez .....	46
3) La côte du Cap Gris-Nez à Calais .....	47
4) L'intérieur du pays .....	47
5) Les phases tectoniques secondaires .....	47
<b>IV.- PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....	48
1) La côte de Boulogne au Cap Gris-Nez .....	48
1.1. La sous-zone S-Ambleteuse .....	48
1.2. La sous-zone N-Ambleteuse .....	48
2) Le Cap Gris-Nez .....	48
3) La côte crétacée .....	48
4) Le secondaire au contact du Primaire .....	48
4.1. Le Jurassique .....	48
4.2. Le Crétacé .....	48
<b>V.- LES INTERPRETATIONS</b> .....	48
1) De Boulogne au Cap Gris-Nez .....	48
1.1. Zone S-Ambleteuse .....	48
1.2. Zone N-Ambleteuse .....	48
2) Le Cap Gris-Nez .....	49
3) La côte crétacée .....	49
4) Le secondaire au contact du Primaire .....	50
4.1. Le Jurassique .....	50
4.2. Le Crétacé .....	50
<b>VI.- GENERALISATION</b> .....	50
1) Les observations .....	50
2) Les interprétations .....	50

	Pages
<b>C.- QUELQUES ASSOCIATIONS JOINTS-FAILLES .....</b>	<b>50</b>
<b>I.- DANS LES TERRAINS PRIMAIRES : LA FAILLE D'HYDREQUENT</b>	<b>50</b>
1) Connaissances actuelles .....	50
2) Les observations .....	51
2.1. Les observations de terrain .....	51
2.1.1. Dans la partie supérieure de l'échelle	51
2.1.2. Dans l'échelle .....	51
2.1.3. A la base de l'échelle .....	51
2.2. Les observations de détail .....	52
2.2.1. La géométrie du pli .....	52
2.2.2. La structure interne du pli .....	52
3) Les interprétations .....	53
3.1. Interprétation des observations de terrain	53
3.2. Interprétation de l'étude de détail .....	54
<b>II.- DANS LES TERRAINS SECONDAIRES : DE BOULOGNE AU CAP GRIS-NEZ .....</b>	<b>54</b>
1) Sous-zone S-Ambleteuse .....	54
2) Sous-zone N-Ambleteuse .....	56
3) Conclusion .....	57
<b>D.- VERS UNE CARACTERISATION DES FACIES DE RUPTURE OBSERVES EN BOULONNAIS .....</b>	<b>58</b>
<b>E.- CONCLUSION SUR LE BOULONNAIS .....</b>	<b>60</b>
<b>I.- CONCLUSION DE L'ETUDE MESOSCOPIQUE .....</b>	<b>60</b>
1) Carte des principales familles de joints .....	60
2) Carte des directions de contraintes .....	62
3) Commentaire du tableau synthétique des observations	63
4) Commentaire du tableau synthétique des interprétations	64
<b>II.- SYNTHESE REGIONALE .....</b>	<b>65</b>

	Pages
<i>TROISIEME PARTIE : EXTENSION VERS L'EST DU BOULONNAIS</i>	67
<i>A.- LE BASSIN HOUILLER .....</i>	68
<i>B.- LE TOIT DU PALEOZOIQUE ET SA COUVERTURE DANS LE NORD DE LA FRANCE .....</i>	70
<i>C.- LE DOME DU MELANTOIS .....</i>	73
I.- DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES .....	73
II.- LES OBSERVATIONS .....	74
1) Le socle primaire dans la région de Tournai ....	74
2) La couverture secondaire dans la région de Lille	76
III.- CONCLUSION .....	77
<i>D.- LE BORD S DU MASSIF DU BRABANT .....</i>	78
 <i>QUATRIEME PARTIE : CONCLUSION - ESSAI DE SYNTHESE DES RESULTATS .....</i>	 81
I.- SYNTHESE DES HYPOTHESES EMISES .....	83
1) Dans le Boulonnais .....	83
2) Dans le Bassin houiller Nord - Pas-de-Calais ...	83
3) Dans la région Nord - Artois .....	83
4) Dans le Mélantois - Tournaisis .....	83
5) Dans le Brabant .....	84
II.- DEFINITION DE LA ZONE DE CISAILLEMENT NORD - ARTOIS	84
III.- PLACE DE LA ZONE DE CISAILLEMENT NORD - ARTOIS DANS LA MOITIE NORD DE LA FRANCE .....	85
 <i>BIBLIOGRAPHIE .....</i>	 87
 <i>LISTE DES FIGURES DANS LE TEXTE .....</i>	 97
 <i>LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE .....</i>	 101
 <i>ANNEXE I : détails des observations et interprétations par         affleurement groupés par étages stratigraphiques .</i>	 103
<i>ANNEXE II : tableau récapitulatif des différents affleurements</i>	137



## RESUME

Une étude géométrique et cinématique de la fracturation mésoscopique a été effectuée en Boulonnais et dans la région de Lille - Tournai où affleurent des assises primaires (dévonien-carbonifères en Boulonnais, tournaisiennes plus à l'Est) et des assises secondaires discordantes (bajociennes à sénoniennes en Boulonnais et Crétacé supérieur dans la région de Lille - Tournai). Les terrains primaires sont classiquement corrélés aux séries ardennaises du bord S du "synclinalorium" de Namur. Ils sont affectés de plis, de failles chevauchantes et d'accidents subverticaux. Les assises secondaires sont elles transgressives et affectées également de failles subverticales.

L'homogénéité de la fracturation est démontrée tant au niveau de l'assise qu'au niveau du massif. Les contraintes de compression maxima  $\sigma_1$  ont des orientations moyennes N-S et E-W dans les assises primaires, alors que seule l'orientation E-W caractérise les terrains secondaires.

L'hypothèse de mouvements cisailants dextres horizontaux de direction  $100^\circ-110^\circ$  est suggérée au niveau du Cap Gris-Nez. L'extension vers l'Est de tels mouvements cisailants et des orientations des contraintes  $\sigma_1$  interprétées repose d'une part au niveau du Bassin houiller et de sa couverture sur des données bibliographiques et d'autre part au niveau de la région de Lille - Tournai sur l'étude de la fracturation sur le terrain. Enfin, la continuité des observations et interprétations a été pressentie jusqu'au niveau de Namur à partir de données bibliographiques.

En conclusion, l'existence d'une zone de cisaillement dextre, allant du Cap Gris-Nez à Namur en passant par Lille est proposée : la zone de cisaillement nord-artois, active dès la fin de l'orogénèse hercynienne jusque vraisemblablement les périodes les plus récentes.

## ABSTRACT

A geometrical and kinematic study of mesoscopic rock fracturing has been done in both Boulonnais and Lille - Tournai areas. In these are outcropping paleozoic strata (Devonian and Carboniferous in the former, Tournaisian in the latter), unconformably overlain by the mesozoic strata (Bajocian to Senonian in the former, upper Cretaceous in the latter). The paleozoic strata are usually correlated with Ardennes series from the southern margin of the Namur synclorium. They are affected by folds, thrust faults and sub-vertical faults. The mesozoic strata are transgressive and sliced by sub-vertical faults also.

Rock fracturing has been demonstrated to be equally homogeneous on both stratigraphic formation and regional area scales. The highest compressive stress axis  $\sigma_1$  is seen to exhibit both N-S and E-W preferred orientations within paleozoic strata, whereas mesozoic strata are typified by the only E-W mean direction.

Strike-slip movements, with a  $100^\circ$  to  $110^\circ$  direction are suggested in the Gris-Nez Cape area. The easterly extent of such movements, and the reconstituted  $\sigma_1$  preferred orientations, are documented on the one hand from published data concerning the Coal Basin and overlying strata, and on the other hand from a rock fracturing survey in Lille - Tournai area. Finally, from published data, both observations and interpretations are felt to be continue as far as Namur area.

As a final result, a dextral strike slip system is proposed to have occurred from the Gris-Nez Cape area through Lille area to Namur : the so-called : "Nord-Artois strike slip system". It is said to have been active as early as the Hercynian orogenesis period, probably until recent.

## LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS UTILISES

- // : parallèle à  
 ⊥ : perpendiculaire à  
 > : supérieur à  
 < : inférieur à  
 Cc : Couple de joints conjugués  
 ch : chevauchant  
 ci : cisailant  
 D/P et (47°-52°)/S66°-74° : Direction/Pendage d'une famille de joints  
 e : joint en échelon  
 GJ : grand joint  
 J : joint  
 JBM : joint bien marqué  
 Jci : joint à caractère cisailant  
 Jch : joint à caractère chevauchant  
 Jn : joint à caractère normal  
 km : kilomètre  
 m : mètre  
 N, S, E, W : Nord, Sud, Est, Ouest  
 P : joint à allure de plume  
 Pl : planche hors texte  
 R : joint de Riedel  
 R' : joint conjugué de Riedel  
 P : joint cisailant-chevauchant  
 τ : joint de tension  
 (X = , Y = ) : coordonnées Lambert  
 2ψ : angle aigu compris entre deux joints cisailants conjugués  
 σ<sub>1</sub> : contrainte de compression principale maximale  
 σ<sub>2</sub> : " " " moyenne  
 σ<sub>3</sub> : " " " minimale  
 (170°-20°) : intervalle de directions d'une même famille de joints  
 ou de contraintes

## INTRODUCTION

La microtectonique éclaire sous un jour nouveau la tectonique régionale en lui apportant des données quantitatives et statistiques. Quelques méthodes de la microtectonique relatives aux fractures ont été appliquées à la région du Nord, berceau des notions de subsidence et de charriage.

Une étude mésotectonique rapide en Tournaisis, effectuée dans le cadre du D. E. A. en 1972, m'avait révélé l'existence et la distribution géographique homogène probables de deux familles de joints conjugués affectant les calcaires d'âge tournaisien. La première indiquait une orientation N-S des contraintes de compression maxima  $\sigma_1$ , alors que la seconde, postérieure, conduisait à des contraintes orientées sensiblement E-W. Ce dernier résultat ne s'intègre pas dans le schéma classique de la tectonique du Nord de la France, aussi, fallait-il par une étude plus complète le confirmer ou l'infirmier. Les conditions idéales pour un tel travail étaient : une série stratigraphique complète du Primaire au Tertiaire localisée en un petit nombre d'affleurements (l'un de ces affleurements englobant des termes de passage d'une ère à l'autre). Seul le Boulonnais se rapprochait des critères de base : des assises du Givétien au Sénonien existent à l'affleurement sur une aire correspondant à la feuille de Boulogne-Calais au 1/80 000.

Aucours de plusieurs campagnes de terrain, quelques six mille mesures de joints ont été effectuées en 54 affleurements au niveau des assises primaires et secondaires. Telles sont les bases du présent mémoire, dont le but premier qui était l'étude de joints et la vérification de l'existence de contraintes  $\sigma_1$  E-W a été dépassé par les conséquences structurales à l'échelle de la région Nord.

1914

Dear Sir,

I have the honor to acknowledge the receipt of your letter of the 14th inst. in relation to the matter mentioned therein. The same has been referred to the proper authorities for their consideration. I am sorry to hear that you are unable to visit at the present time. I hope that you will be able to do so in the near future. I am, Sir, very respectfully,  
Yours truly,  
[Signature]

Very truly,  
[Signature]

*PREMIERE PARTIE*

*LES METHODES D'ETUDE*

*A.- DEFORMATIONS CASSANTES : DEFINITIONS - CLASSIFICATIONS*

*B.- DEFORMATIONS CASSANTES AUX ECHELLES CENTIMETRIQUES ET METRIQUES*

*C.- DEFORMATIONS CASSANTES AUX ECHELLES DECAMETRIQUES ET KILOMETRIQUES*

FAILLES ou PARACLASES				
CLASSIFICATION DES FAILLES BASEE SUR				
le mouvement relatif des deux lèvres du plan de faille	Glissement parallèle au pendage du plan de faille		Glissement parallèle à la direction du plan de faille	
	Faille normale		Faille cisailante	
le pendage du plan de faille	Faille normale	Chevauchement Charriage	Dextre	Senestre
	Faille inverse			
les relations du plan de faille avec $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$				
les relations du plan de faille avec les autres structures	Faille directionnelle			
	Faille transverse			
le pendage du plan de faille	Faille à fort pendage ( $\alpha > 45^\circ$ )			
	Faille à faible pendage ( $\alpha < 45^\circ$ )			

JOINTS ou DIACLASES					
CLASSIFICATION DES JOINTS BASEE SUR LEUR					
Forme	Plans et parallèles ou sub-parallèles entre eux			Systématiques	
				Non systématiques	
Nature	Joints de cisaillement			Parallèles aux failles normales	
				Parallèles aux failles cisailantes	
Taille	Joint principal		Joint majeur	Joint mineur	micro-joint ou micro-clivage
Fréquence de taille	Joint primaire				
	Joint secondaire				
Rapport avec les autres structures	Leur plan a une direction parallèle à la stratification ou à la schistosité			"Strike joint"	
	Leur plan a une direction parallèle au pendage des couches ou de la schistosité			"Dip joint"	
	Leur plan a une direction oblique sur celle des couches ou de la schistosité			"Diagonal ou oblique joint"	

Fig. 1 .- Tableaux comparatifs des différentes classifications de joints et failles.



## A.- DEFORMATIONS CASSANTES : DEFINITIONS - CLASSIFICATIONS

### I.- DEFINITIONS

Dans ce travail, on désignera par déformations cassantes toutes les surfaces issues de la rupture des strates, qu'elles aient été, ou non, le siège de glissements. Une faille est le résultat d'une rupture suivie d'un déplacement : elle est cartographiable ; un joint est par contre une surface de rupture non figurable à l'échelle de la carte mais néanmoins visible à l'affleurement.

### II.- CLASSIFICATIONS

De nombreux auteurs se sont penchés sur le problème de la nomenclature des fractures : Daubrée (1881) partant d'expériences simples sur le verre tenta le premier d'élaborer une classification des joints et failles ; Reid (1913) reprenant la bibliographie existante publia une nouvelle classification des failles à usage international sous les auspices de la Société géologique d'Amérique ; Billings (1946), sur la base de données géologiques et mécaniques propose une nouvelle classification. La même démarche est effectuée par Hills (1966) et à nouveau Billings (1973) ; Price (1966) présente une classification originale, reposant sur son expérience de terrain et les données de la mécanique des solides.

Les tableaux comparatifs I et II (fig. 1) ont été établis d'après les travaux de ces auteurs.



## B.- DEFORMATIONS CASSANTES AUX ECHELLES CENTIMETRIQUES ET METRIQUES

### I.- RELEVES SUR LE TERRAIN

La direction et le pendage des plans de joints ont été relevés à l'aide d'une boussole du type Chaix et d'un clinomètre à bille gradué de 5° en 5°. Afin d'apprécier les erreurs de mesure, cinquante relevés ont été effectués sur un même plan de joint (l'opération a été répétée sur trois joints différents) et traités statistiquement sur ordinateur à l'Université d'Alberta, Edmonton, Canada. L'erreur est de  $\pm 3^\circ$  au maximum.

Les observations suivantes ont été effectuées :

- joints recoupant plusieurs bancs,
- état de surface des joints (cassures plumeuses, stries, indices de broutement, calcite en cristaux, traces de circulation des eaux ...),
- remplissage des joints (calcite, pyrite, argile),
- relations entre les joints,
- sens des déplacements le long du joint.

Sur le terrain, différents types de joints ont été distingués selon leur importance à l'affleurement : des *Joints J* : ce sont les ruptures banales (échelle centimétrique à métrique) ; des *Joints Bien Marqués JBM* : ruptures affectant un ou plusieurs bancs et bien visibles dans le front de taille ; des *Grands Joints GJ* : ruptures recoupant tous les bancs sur la hauteur du front de taille.

Dans tous les cas d'observation favorable (bancs peu inclinés, fractures apparentes), des relevés des figures liées à la rupture ont été effectués à l'aide de calques pris sur la surface des bancs. Cette méthode permet donc de rendre compte de l'état de fissuration plus intime de la roche et par là même de fournir des indications sur les modes de rupture ; son inconvénient est qu'elle n'intéresse que deux dimensions de l'espace.

### II.- EXPLORATION STATISTIQUE DES MESURES EN UN AFFLEUREMENT DONNE

#### 1) Identification des familles de joints

##### 1.1. Construction de stéréogrammes de densité.

Par les méthodes de la construction stéréographique, un plan de joint est représenté par son pôle (un point). Il est alors possible d'estimer la densité des "nuages" de points ainsi obtenus. Cette opé-

ration peut être manuelle : on compte dans une fenêtre représentant 1 % de la surface du stéréogramme le nombre de pôles, des zones d'isodensité sont alors déterminables (fig. 2 ). Le transfert stéréographique des données géométriques peut être effectué par ordinateur suivant un programme simple qui conduit également à l'établissement de cartes de densité. Le principe du programme utilisé est le suivant : on caractérise les joints par des cosinus directeurs, puis ils sont traités comme des axes de longueur unité munis de masses unités à chaque extrémité ; leur moment d'inertie par rapport à un axe de rotation sera minimum quand celui-ci correspondra à leur moyenne. (Cette méthode est inédite et a été aimablement mise en oeuvre pour ce travail par M. le Professeur H. A. K. Charlesworth, Université d'Alberta, Edmonton, Canada). La figure 3 donne le diagramme obtenu par cette méthode

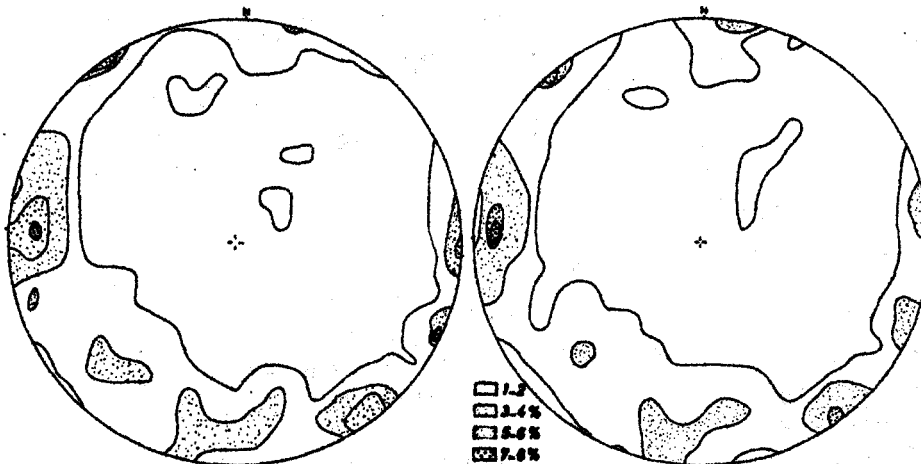


Fig. 2 .- Stéréogramme de 176 joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur. Construction manuelle.

Fig. 3 .- Stéréogramme de 176 joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur. Construction par ordinateur.

à partir des mêmes données ayant conduit au diagramme manuel de la figure 2 . Les deux types de diagrammes sont comparables au niveau des concentrations et de leur forme. Aucune crédibilité statistique des résultats obtenus par l'une ou l'autre méthode n'a été formulée. Néanmoins, dans ce travail les diagrammes manuels et ordinateurs ont été souvent effectués pour chacun des affleurements. Le programme a été mis à l'épreuve depuis une décade par les chercheurs de l'Université d'Alberta.

#### 1.2. Construction de stéréogrammes particuliers appliqués aux joints striés.

Les joints sont définis par leur géométrie et classés en familles. Certains d'entre eux fournissent des *informations cinématiques complémentaires*. Leur surface est en effet striée : les stries indiquent la direction du mouvement dans le plan du joint ; le sens du mouvement peut parfois être connu (cas des surfaces striées en gradins).

Il convient donc d'intégrer ces données dans une représentation stéréographique particulière (\*).

Elle consiste (fig. 4) comme précédemment à représenter :

- le joint  $P$  par un grand cercle  $C_p$  et par son pôle  $p$ ,
- le point représentatif de la strie se place donc sur le grand cercle en  $s$ . Afin de concentrer les informations relatives au plan  $P$  du joint, à la strie  $S$ , on convient d'utiliser le point  $p$  comme centre des informations,

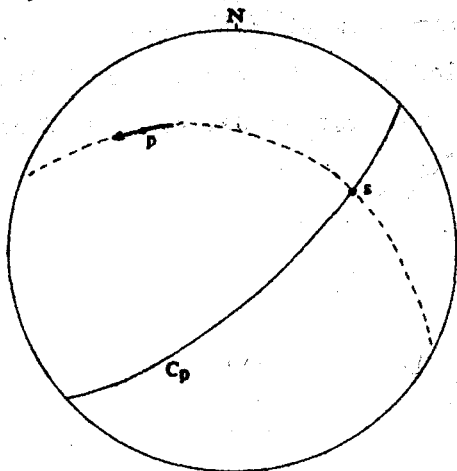


Fig. 4 .- Principe de la représentation stéréographique des joints à surface striée.

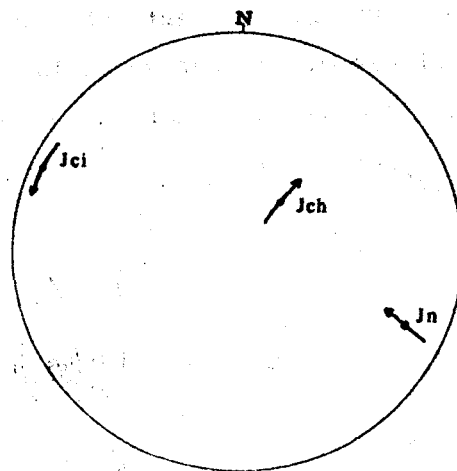


Fig. 5 .- Les principaux types de joints à surface striée et leur représentation stéréographique.

- on amène  $p$  et  $s$  sur un même grand cercle,
- lorsque le sens de déplacement du compartiment manquant est connu, on place à partir de  $p$  un vecteur orienté dans ce sens. Lorsque ce dernier ne peut être mis en évidence, on utilise un symbole différent : deux segments tracés de part et d'autre de  $p$ .

La courbure du grand cercle contenant  $p$  et  $s$  donnera l'orientation des vecteurs et segments par rapport au cercle de projection, c'est-à-dire, l'inclinaison des stries par rapport à l'horizontale. Suivant la position des vecteurs (fig. 5) on connaît la nature du joint : pour les joints à stries de direction conforme au pendage on aura des *Joints chevauchants*  $Jch$ , si le vecteur est dirigé vers l'extérieur du cercle de projection, des *Joints normaux*  $Jn$ , s'il est dirigé vers l'intérieur.

: pour les joints à stries de direction conforme à la direction du plan on aura des *Joints cisailants*  $Jci$ , le vecteur est alors parallèle ou sub-parallèle au cercle de projection (le terme de cisailant est ici restreint à la notion de décrochement).

\* méthode suggérée par M. H. A. K. Charlesworth.

1.3. Constructions réservées aux joints à fort pendage (supérieur au moins à  $70^\circ$ ).

Les histogrammes permettent de séparer les joints en familles directionnelles : en abscisse sont reportées les directions en degrés des joints, en ordonnée le nombre de joints par classe de  $10^\circ$  (fig. 6). Cette figuration est une méthode de travail simple. Les histogrammes servent donc à classer rapidement les mesures de terrain, ils sont la base de l'établissement des rosettes qui ont pour avantage de représenter les orientations et la distribution des joints. Seules les rosettes seront donc figurées.

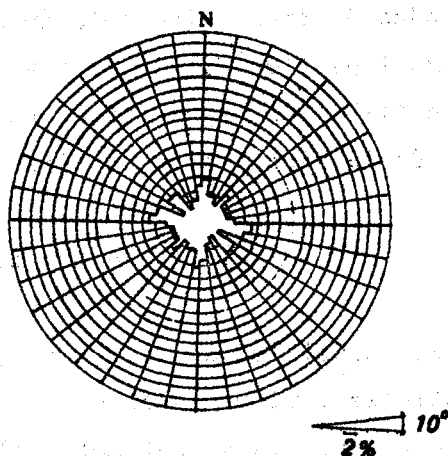
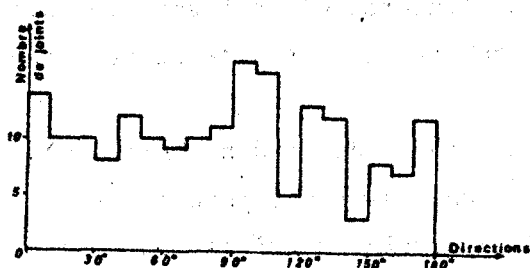


Fig. 6.- Histogramme de joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur.

Fig. 7.- Rosette de joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur.

Les rosettes (fig. 7) représentent les classes précédemment définies par des secteurs de  $10^\circ$ , leur fréquence en % étant reportée radialement.

## 2) Recherche de l'orientation des contraintes

### 2.1. Principes généraux.

En élasticité, on se réfère à trois axes de contraintes principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  et  $\sigma_3$ .  $\sigma_1$  est la contrainte principale maximale,  $\sigma_2$  la contrainte principale moyenne et  $\sigma_3$  la contrainte principale minimale ( $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ). La mécanique des roches utilise le même système de contraintes, les contraintes de compression étant considérées comme positives.

Les contraintes maximales de cisaillement font un angle de  $45^\circ$  avec les axes  $\sigma_1$  &  $\sigma_3$  et contiennent  $\sigma_2$  ; les joints d'extension sont parallèles au plan ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) : la direction  $\sigma_3$  correspond donc à une traction ; les joints cisailants sont en relation *mais non identiques* aux plans de contraintes de cisaillement maximales initiaux ;

deux joints conjugués se coupent selon  $\sigma_2$  ; la bissectrice de l'angle aigu diédral de deux systèmes de joints conjugués est parallèle à  $\sigma_1$  ; pour une faille ou pour un joint strié, les directions de glissement sont parallèles au plan  $(\sigma_1, \sigma_3)$  et le sens de glissement est tel que le matériau situé dans l'angle aigu se déplace suivant la direction et le sens de  $\sigma_1$ .

2.2. Détermination de l'orientation de  $\sigma_1$  à partir des joints à surface striée.

On peut assimiler d'un point de vue géométrique les stries à des linéations ; il est alors possible de leur appliquer toutes les méthodes de figuration relatives à ces structures linéaires Lowe (1946), Philips (1960), Turner & Weiss (1963), et Ragan (1968) . La méthode de Cruden (1971) est synthétique et présente l'intérêt d'une figuration statistique de la répartition des linéations, donc des stries dans le cas présent.

2.2.1. Le principe de la méthode de Cruden (fig. 8).

Soit un élément de roche ayant des joints pré-existants, auquel est appliqué un système de contraintes. Si la contrainte différentielle devient assez grande, des mouvements se produiront le long de ces joints et ils seront matérialisés sur les plans de joints par des stries. Si l'on connaît les orientations de plusieurs plans de joints et de leurs stries respectives, le problème est de savoir si les stries sont associables et si elles conduisent à la même orientation de  $\sigma_1$ . On se rappellera en effet que la direction du glissement et a fortiori son sens caractérise précisément  $\sigma_1$ .

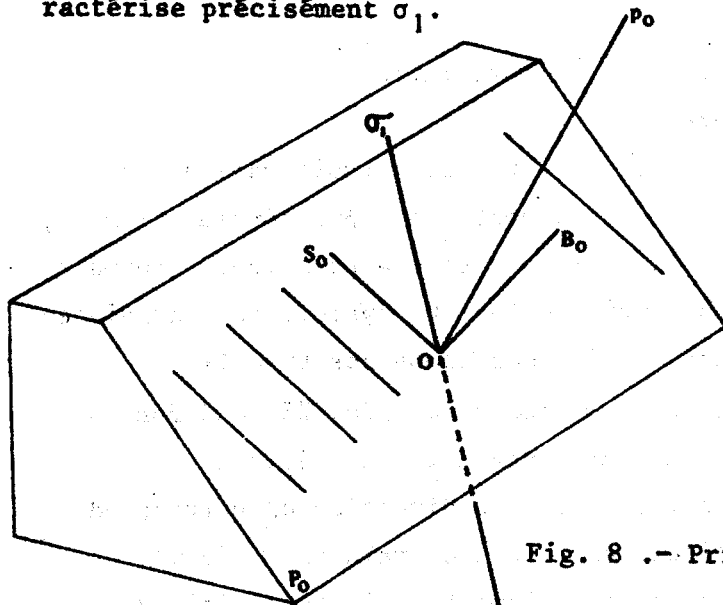


Fig. 8 .- Principe de la méthode de Cruden.

Soient un plan de joint  $P_0$  montrant des stries  $S_0$ . Soit l'une de ces stries  $S_0O$  et  $OB_0$  sa normale dans  $P_0$ . La normale  $Op_0$  au plan  $P_0$  détermine le plan  $S_0Op_0$  qui est le plan  $(\sigma_1, \sigma_3)$ .  $\sigma_1$  est donc par définition dans ce plan  $S_0Op_0$  par exemple  $OS_0$ .

Si un système de joints  $P_n$  et de stries  $S_n$  correspondantes est lié à une même contrainte  $\sigma_1$ , les différents plans  $S_n Op_n$  ont précisément la direction  $\sigma_1$  comme intersection commune. L'identification de cette direction commune éventuelle  $\sigma_1$  peut être obtenue en utilisant les normales  $OB_n$  aux stries dans les plans de joints, normales aisément identifiables. En stéréographie, les projections  $OB_n$  donneront les pôles  $b_n$  des plans  $S_n Op_n$ . Dans la mesure où les plans  $S_n Op_n$  ont une intersection commune, les pôles  $b_n$  sont alignés sur un grand cercle.

Le principe de la méthode étant établi, la technique de report est aisée

: on reporte les normales  $OB_n$ , si les points obtenus s'alignent sur un grand cercle (fig. 9), les joints striés correspondent bien à un même système de joints cisailants.

: le pôle de ce grand cercle est l'intersection des plans  $S_n Op_n$  soit  $\sigma_1$  recherché (sa direction et son pendage sont déterminés graphiquement).

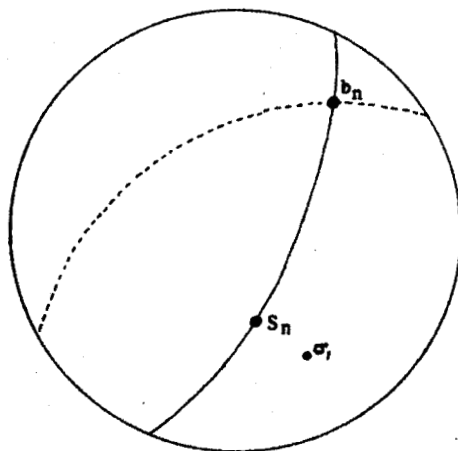


Fig. 9 .- Représentation stéréographique de la méthode de Cruden.

### 2.2.2. L'intérêt de la méthode de Cruden.

Il est avant tout d'ordre statistique. On peut en effet pour un nombre important de joints et de stries obtenir une carte de répartition des pôles et par là même définir une orientation moyenne de  $\sigma_1$ .

### III.- EXPLORATION DES CALQUES

A côté des techniques précédentes conduisant à la caractérisation de familles de joints et des contraintes les ayant engendrées, des méthodes particulières ont été appliquées aux joints emplis de calcite.

#### 1) Les joints sigmoïdes (fig. 10 et 11)

Ces joints, souvent emplis de calcite apparaissent en échelon sous l'effet d'un couple cisailant. Dans le cas théorique d'un cisaillement simple naissent des fissures inclinées de  $45^\circ$  par rapport à la direction de cisaillement. Si la déformation s'amplifie, chaque fissure subit une rotation autour d'un axe normal à la direction de déplacement alors que ses extrémités conservent leur orientation primitive. Il est possible de déterminer la valeur du déplacement le long de la direction de cisaillement (Ramsay & Graham, 1970) ainsi que l'ellipsoïde des déformations au point considéré (Talbot, 1970).

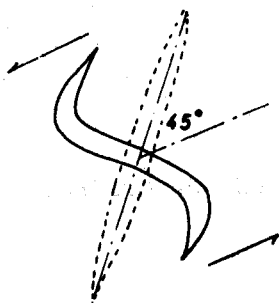
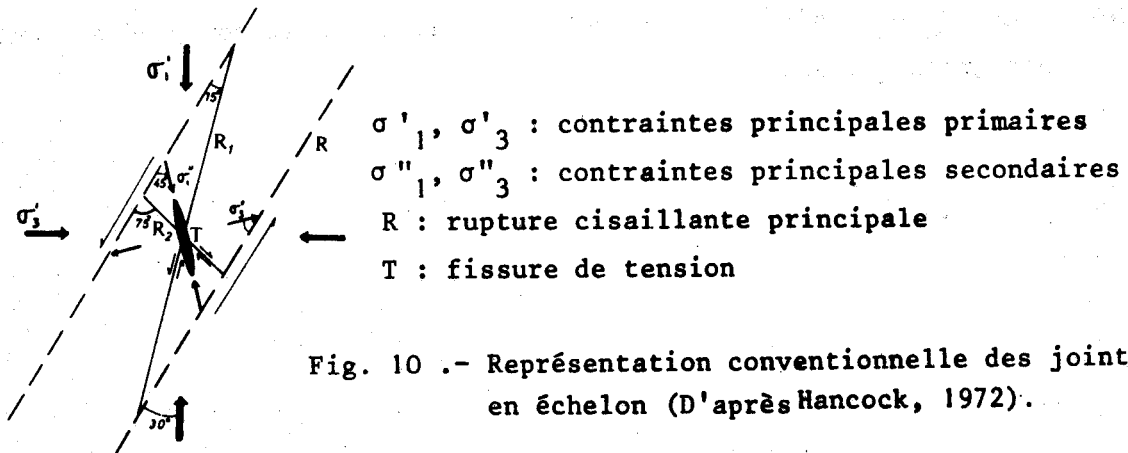


Fig. 11 .- Formation d'un joint sigmoïde par exagération de la déformation (D'après Terry, 1971).



Fig. 12 .- Système conjugué de joints en échelon (D'après Shainin, 1950).

Parfois (fig. 12), deux systèmes conjugués de joints en échelon se développent simultanément, la bissectrice de leur angle aigu est alors parallèle à  $\sigma_1$  (Shainin, 1950).

## 2) Les joints à allure de plume (fig.13 et 14)

Ce sont des joints emplis de calcite présentant un corps principal (axe) et des diverticulations (barbes). Roering (1968) partant d'observations de terrain (quartzites de Hospital Hill, dans la division inférieure du système Witwatersrand, Florida Hills, Johannesburg, Afrique du Sud) et Syme Gash (1971) de données mécaniques (la propagation d'ondes de rupture crée l'état de surface de la cassure) ont montré que ce type de déformation cassante est lié à des phénomènes de cisaillement.

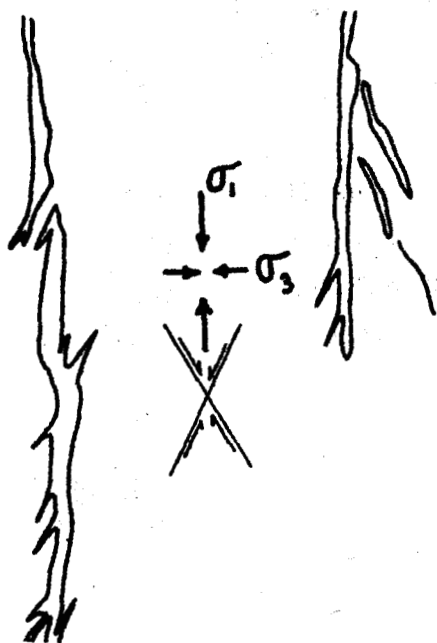


Fig. 13 .- Joints à allure de plume et joints en échelon (D'après Roering, 1968).

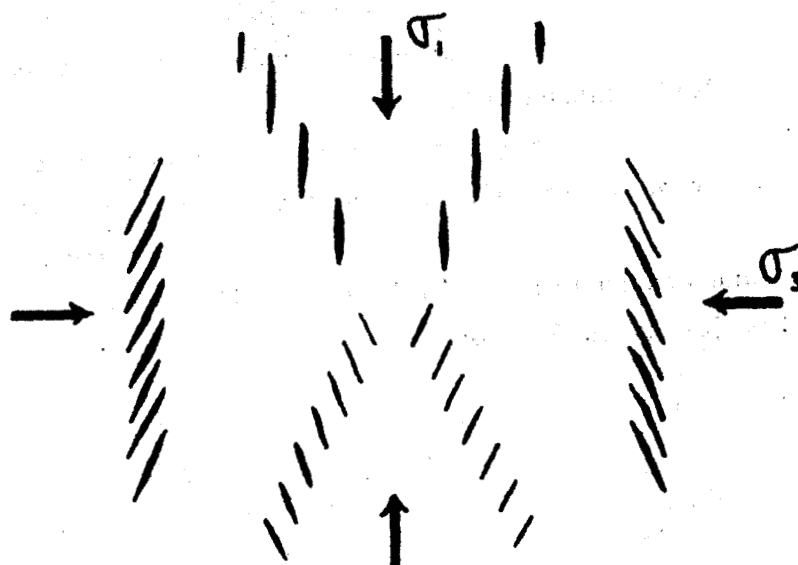


Fig. 14 .- Zones de joints en échelon observées par Roering (1968).

L'interprétation des joints à allure de plume et emplis de calcite serait : axe de la plume sensiblement parallèle à  $\sigma_1$ , barbes symétriques par rapport à l'axe de la plume et équivalentes de joints cisailants conjugués. La bissectrice de l'angle aigu ainsi défini est parallèle à  $\sigma_1$ .

## 3) Les joints emplis de calcite à structure fibreuse ("beef")

D'après Bonte (1952) le terme de "beef" (terme anglais repris par l'auteur) est "applicable à tous les minéraux disposés en fibres parallèles dans des fentes étroites ... C'est une texture fibreuse se développant par recristallisation rapide dans des cavités qui s'ouvrent lentement ...". Les fibres seraient donc parallèles à  $\sigma_3$  et donc à une direction de traction.



#### 4) Quelques exemples d'application

4.1. Dans les terrains primaires : affleurement n° 94, h2.1, Viséen, séquence - 10 du V2b , calque n° 29.8.9.

4.1.1. Les éléments observés (fig. 15 ).

- des joints en échelon remplis de calcite et de direction générale 40°,
- des joints s'entrecroisant avec des directions moyennes de 34° et 150°.

4.1.2. Les interprétations possibles (fig.16 )

+ les joints en échelon sont

- de simples fentes de tension parallèles à une contrainte  $\sigma_1$  d'orientation 40°,
- groupés en deux systèmes conjugués avec des directions de 14° et 58°, leur bissectrice a pour direction 36° et  $\sigma_1$  lui est parallèle.

+ les joints conjugués sont cisailants et issus d'une contrainte  $\sigma_1$  d'orientation 4°, la composante 150° recoupe et déplace les joints en échelon.

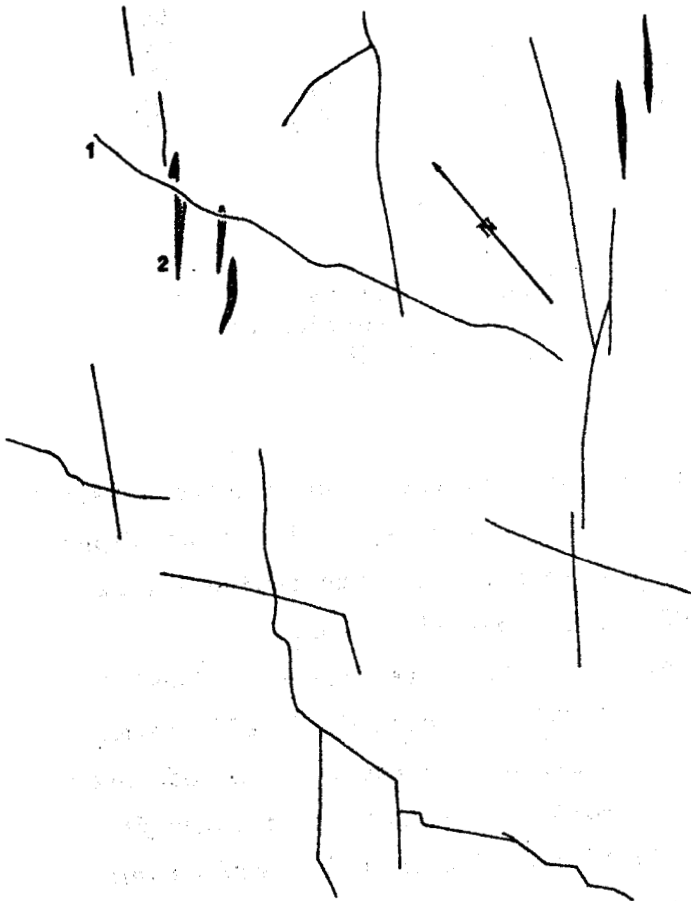


Fig. 15 .- Le calque 29.8.9, affleurement n° 94, h2.1, Viséen, séquence 10 du V2b.

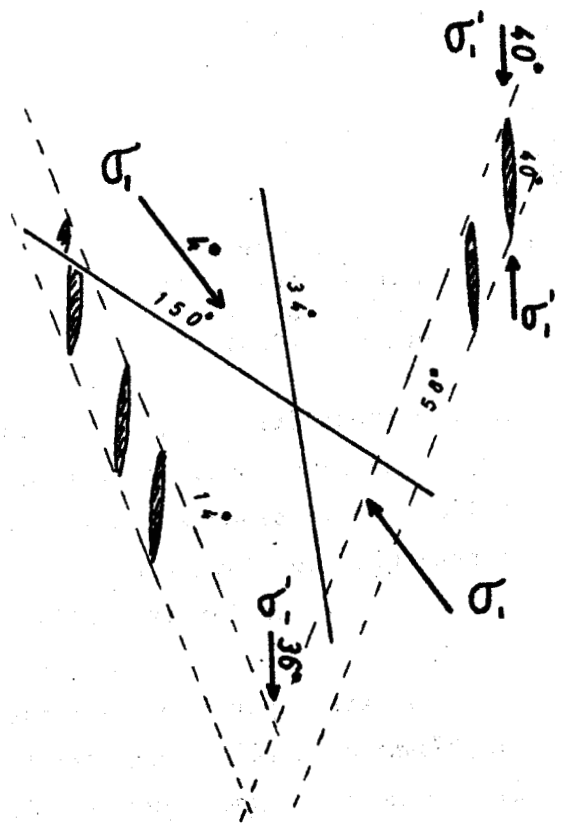


Fig. 16 .- Interprétation du calque 29.8.9.

4.2. Dans les terrains secondaires : affleurement n° 22, J8b.5, Kimméridgien, niveau 4, calques 13.7.15 et 13.7.19.

4.2.1. Les éléments observés (fig. 17).

- des joints à allure de plume de direction générale moyenne sensiblement E-W.

4.2.2. Les interprétations possibles.

+ calque 13.7.15

- joints à allure de plume avec barbes d'orientations moyennes  $54^\circ$  et  $133^\circ$ , ce qui indiquerait une contrainte  $\sigma_1$  orientée à  $92^\circ$ .

+ calque 13.7.19

- joints à allure de plume avec barbes d'orientations moyennes  $57^\circ$  et  $124^\circ$ , ce qui indiquerait une contrainte  $\sigma_1$  orientée à  $89^\circ$ .

Les interprétations sont donc homogènes et l'étude de 10 calques pris en l'affleurement 22 montrera l'existence de joints à allure de plume à barbes de directions moyennes  $60^\circ$  et  $125^\circ$  donnant une orientation de  $92^\circ$  pour  $\sigma_1$ .

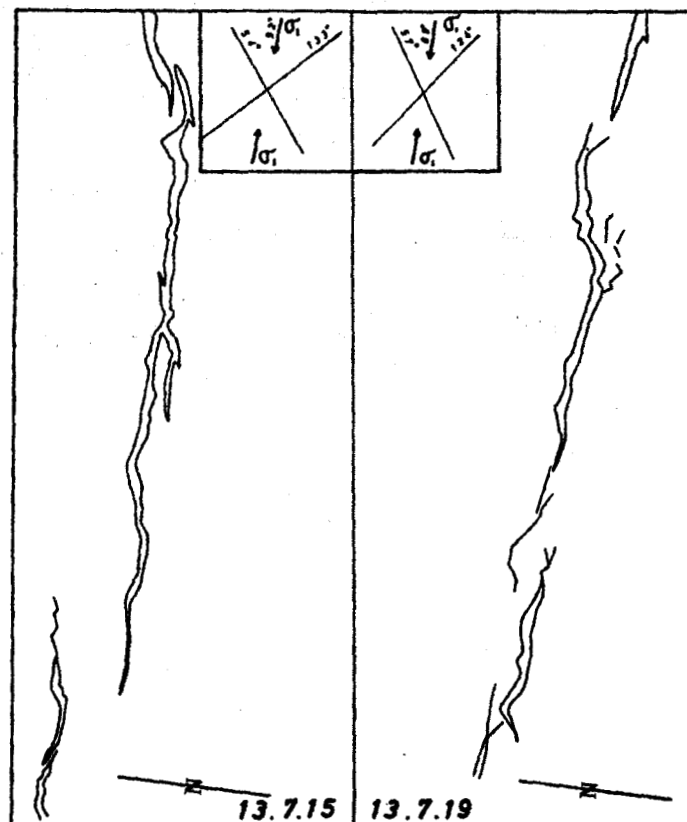


Fig. 17.- Les calques 13.7.15 et 13.7.19, affleurement n° 22, j8b.5, Kimméridgien, niveau 4 : observations et interprétations.

## C.- DEFORMATIONS CASSANTES AUX ECHELLES DECAMETRIQUES ET KILOMETRIQUES

### I.- A L'ECHELLE DECAMETRIQUE

Les déformations cassantes d'échelle décimétrique (joints et failles) et les fractures d'échelle centimétrique et métrique (joints) ont été associées lors des relevés sur le terrain. L'observation des déformations continues telles que les plis a été effectuée de pair avec la caractérisation géométrique et structurale des plans de failles et des joints (direction, pendage, état de surface).

### II.- AUX ECHELLES HECTOMETRIQUES ET KILOMETRIQUES

Cette étude a été menée essentiellement à partir de documents cartographiques publiés. Il s'agit des - cartes de travaux locaux et régionaux : carte des affleurements du Cap Gris-Nez (Leroux, 1959) ; cartes en isobathes des terrains secondaires à l'échelle 1/200 000 ème (Caulier, 1974).

- cartes géologiques détaillées : carte du Massif du Brabant au 1/300 000 ème (Legrand, 1968) ; carte au 1/50 000 ème du bassin houiller Nord - Pas-de-Calais ; carte géologique de Marquise au 1/50 000 ème (Bonte et collaborateurs, 1972).

*DEUXIEME PARTIE**ETUDE STRUCTURALE EN BOULONNAIS**A.- DANS LES TERRAINS PRIMAIRES**B.- DANS LES TERRAINS SECONDAIRES**C.- QUELQUES ASSOCIATIONS JOINTS-FAILLES**D.- VERS UNE CARACTERISATION DES FACIES DE RUPTURE OBSERVES  
EN BOULONNAIS**E.- CONCLUSION SUR LE BOULONNAIS*

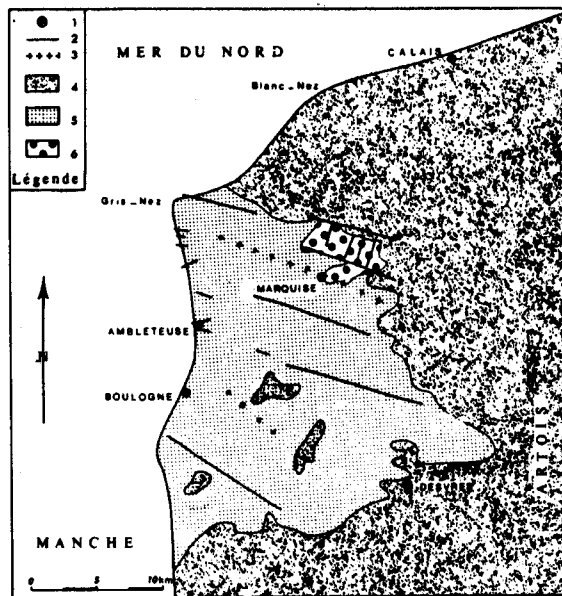


Fig. 18 .- Carte géologique schématique du Boulonnais.

1; localité ; 2, faille sub-verticale ; 3, axe anticlinal ;  
4, Crétacé ; 5, Jurassique ; 6, Primaire.

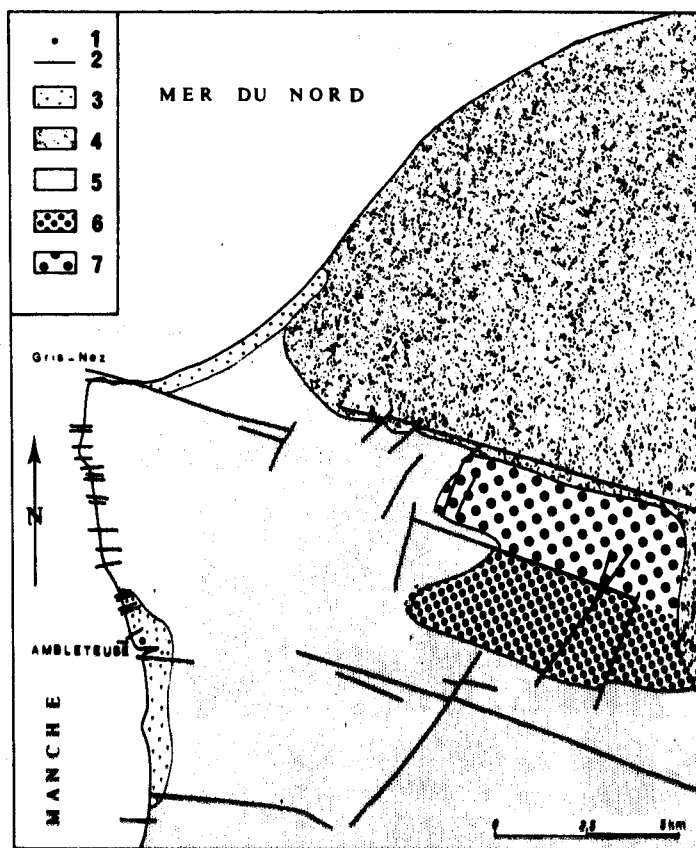


Fig. 19 .- Localisation des massifs primaires.

1, localité ; 2, faille sub-verticale ; 3, dunes ; 4,  
Crétacé ; 5, Jurassique ; 6, 7, Primaire (6, massif  
de Ferques ; 7, massif du Haut-Banc et d'Hydrequent).

BUS  
LILLE

*Il n'est pas possible de donner le détail des observations effectuées en chacun des affleurements. Aussi en annexe, on trouvera des tableaux synthétiques présentant : les familles de joints déterminées sur les stéréogrammes, les principales directions des joints à remplissage de calcite et des joints à surface striée et enfin les résultats de l'analyse des calques. A ces données géométriques, sont associées, de manière clairement distincte, les principales interprétations :  $\sigma_1$  donné par les joints striés (méthode de Cruden) et par les calques.*

#### A.- DANS LES TERRAINS PRIMAIRES

##### I.- INTRODUCTION

Le Boulonnais se présente en boutonnière morphologique affectant un dôme complexe ceinturé de terrains mésozoïques et montrant en son coeur des affleurements paléozoïques (fig. 18).

Venant de l'Artois et se déplaçant d'E en W, après avoir franchi les coteaux crayeux du Crétacé supérieur, on relève une zone basse qui s'étend jusqu'aux rivages de la Manche et de la Mer du Nord. Cette dépression montre des ressauts topographiques réguliers correspondants aux séries compétentes du Jurassique. La présence d'assises primaires est soulignée dans le paysage par de nombreux terrils, témoins de l'exploitation de calcaires en vue de l'empierrement ou de la fabrication de "marbres". Les assises primaires sont localisées dans l'E du Bas-Boulonnais et correspondent à des ensembles tectoniques non discernables dans le paysage. Du N vers le S, il s'agit des massifs de Ferques, du Haut-Banc et d'Hydrequent (fig. 19).

La dissymétrie lithostratigraphique du Bas Boulonnais est plus que tectonique. En effet, les terrains crétacés reposent directement sur le Paléozoïque au N, alors qu'au S la série secondaire comprend du Jurassique et du Crétacé. La géomorphologie du Boulonnais, apparemment simple, rend compte d'un bombement à grand rayon de courbure affectant l'ensemble des terrains primaires et secondaires, d'un régime de failles ENE-WSW intéressant l'ensemble des terrains. A ces accidents (dits longitudinaux) on associe des failles transverses, normales aux précédentes. On examinera dans ce travail celles des fractures qui reviennent d'une part à la tectonique hercynienne et d'autre part à la tectonique alpine.

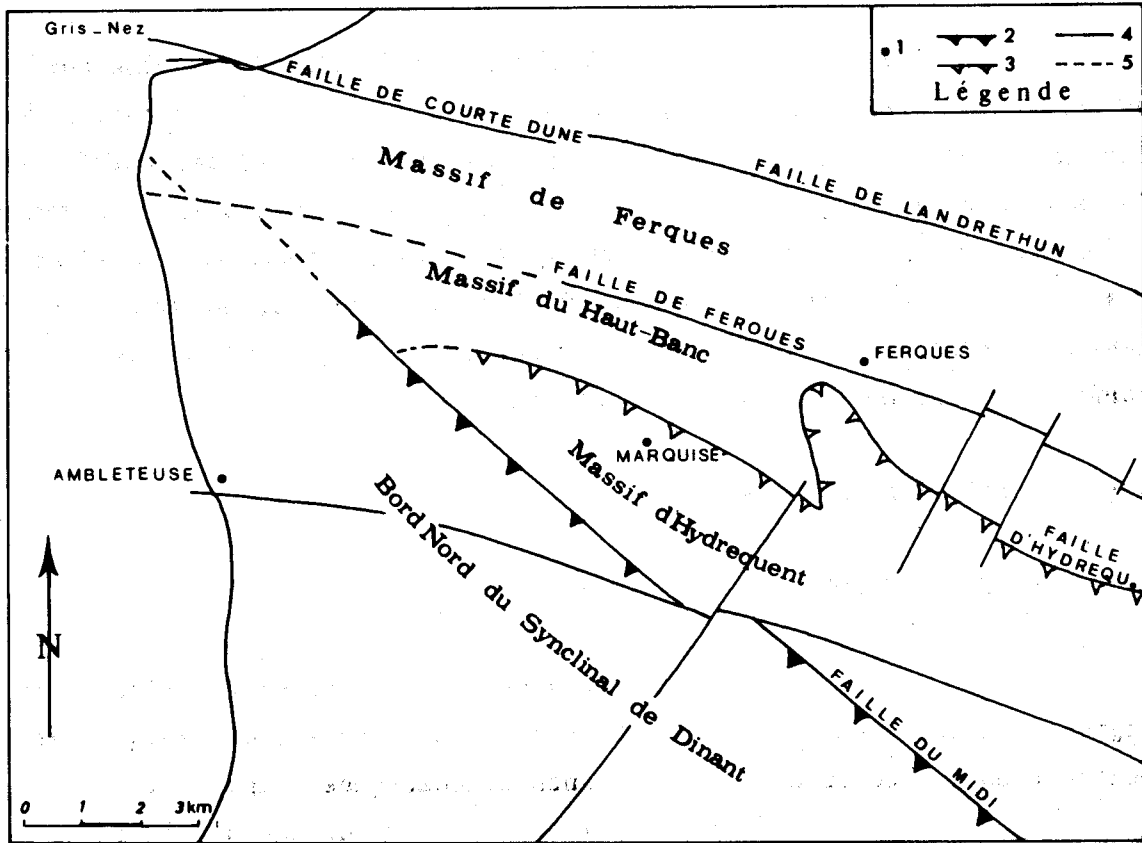


Fig. 20 .- Carte structurale du Primaire du Boulonnais.

1, localité ; 2, 3, failles chevauchantes (2, faille du Midi ; 3, faille d'Hydrequant) ; 4, faille sub-verticale ; 5, faille dont le tracé est supposé.

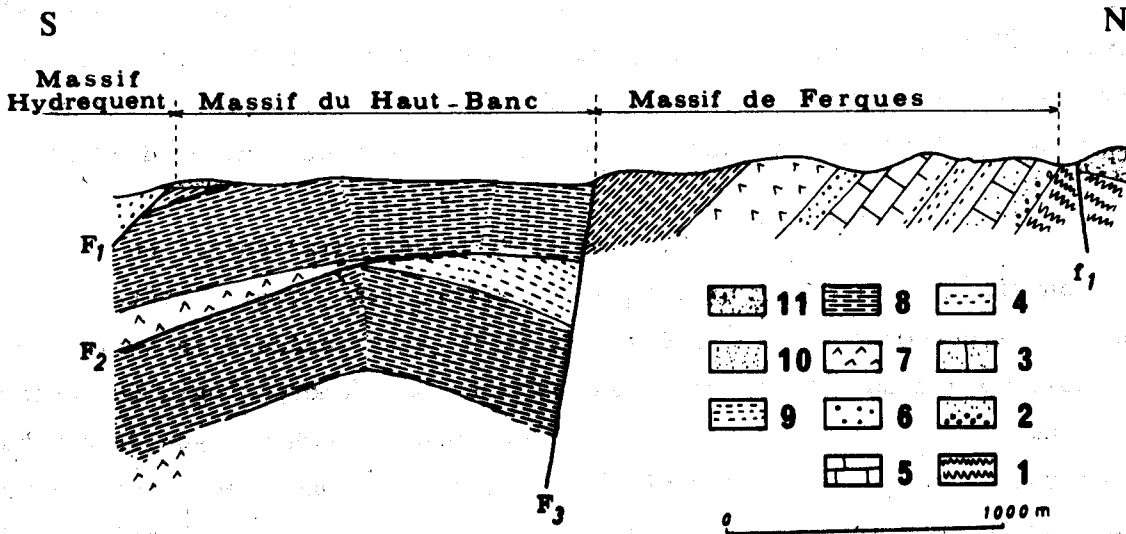


Fig. 21 .- Coupe schématique de l'ensemble des massifs primaires (D'après BONTE, 1969).

1, Silurien ; 2, 3, Givétien ; 4, 5, Frasnien ; 6, Famennien ; 7, Tournaisien ; 8, Viséen ; 9, West-phalien ; 10, Jurassique ; 11, Crétacé ; F<sub>1</sub>, Faille d'Hydrequant ; F<sub>2</sub>, Faille du Haut-Banc ; F<sub>3</sub>, Faille de Ferques ; f<sub>1</sub>, faille de Landrethun.



Bien qu'indistincts dans la morphologie, plusieurs ensembles tectoniques sont clairement définis dans les assises primaires. L'exploitation des terrains houillers (Olry, 1904 ; Bouroz, 1962), les nombreuses exploitations de matériaux et les études régionales (cartes géologiques au 1/80 000 et au 1/50 000 et leur notice) ont permis les divisions tectoniques suivantes : du N vers le S (fig. 20).

- . une étroite bande de Silurien recouverte au N par le Crétacé transgressif et affectée par la faille de Landrethun (fig. 19),

- . le massif de Ferques, monoclinale régulier aux directions et pendages remarquablement constants du SE au NW. Il montre toutes les assises du Primaire classiquement corrélées aux séries ardennaises du bord S du synclinorium de Namur,

- . le massif du Haut-Banc est en contact par faille verticale avec le massif de Ferques (faille de Ferques F3 fig. 20 et 21). Les sondages indiquent néanmoins son chevauchement en profondeur sur une série assimilée à celle du massif de Ferques (F2 fig. 21),

- . le massif d'Hydrequent en contact chevauchant sur le précédent. Les contacts sont visibles dans la partie SW de la carrière de Basse Normandie (X = 559,9, Y = 346,2) située à cheval sur les deux derniers massifs,

- . l'unité structurale paléozoïque située au S du massif d'Hydrequent n'affleure pas. Il s'agit de séries chevauchantes classiquement corrélées avec celles d'Ardennes (bord Nord du synclinorium de Dinant). Le contact anormal de base serait majeur et correspondrait à la grande faille du Midi.

Les observations de la fracturation ont été volontairement concentrées dans le massif de Ferques car on y observe une *homogénéité structurale* qui permet l'association des mesures effectuées à chaque niveau stratigraphique. On a naturellement associé à ce groupe de résultats ceux obtenus dans les autres massifs tectoniques moins homogènes parce que plus complexes.

Les épaisseurs maximales à l'affleurement sont de l'ordre de 600 m pour le Paléozoïque, de 20 à 200 m pour le Jurassique et de 250 m pour le Crétacé.



SYSTEMES	ETAGES ET INDICES		LITHOFACIES	STRATOFACIES DES BANCs COMPETENTS
Carbonifère	Westphalien	h3	- <u>Grès, schistes, veines de houille</u> (200 m) - Grès des plaines (20 m)	Bancs de 1 m
		Viséen h2	- Calcaires et marbres (200 m)	calcaire compact en gros bancs de 1 m et plus, séparés parfois par de fins interlits argileux (1 cm)
		Tournaisien h1	- <u>Calcschistes de la Vallée Heureuse</u> (20 m) - Dolomie du Mure (100 m) (dolomie franche, très cristalline)	en gros banc épais de plusieurs mètres 18 à 20 % MgO
Dévonien	supérieur	Famennien d6	d6b Grès et psammites de Fiennes ou de Sainte Godeleine (50 m) (ce sont soit des grès micacés en petits bancs parfois très cimentés, soit des psammites proprement dits)	bancs de 5 cm à 30 cm 90 % SiO <sub>2</sub>
			d6a <u>Schistes rouges d'Hydrequent</u> (50 m) (schistes argileux micacés, brun rouge à brun violacé avec passages verdâtres)	pélites à intercalations de petits bancs de grès (10 cm)
		Frasnien d5	d5c <u>Schistes rouges d'Hydrequent</u>	
	d5b Calcaire de Ferques (60 m) (calcaire hétérogène, parfois cristallin et violacé, parfois argileux)		bancs de 50 cm à plusieurs mètres. Interbancs argileux fins	
	d5a Schistes de Beaulieu (90 m) (argiles schisteuses bariolées, violacées, rougeâtres et verdâtres avec rares nodules calcaires, lentilles de dolomie)			
	moyen	Givétien d4	d4b Calcaire de Blacourt (110 m) (calcaire noir, formé de quatre biohermes à polypiers noyés dans une série calcaire)	bancs compacts et épais souvent de plusieurs mètres
			d4a <u>Grès et schistes gréseux de Caffiers.</u> <u>Poudingue de Caffiers</u> (à galets de quartz, quartzite et phthanite)	petits bancs centimétriques à décimétriques
inférieur		- <u>Schistes bigarrés rouges et verts</u>		
Silurien	Gothlandien	Ludlowien	- inf. - <u>Schistes argileux</u> - sup. - <u>Schistes et calcaires</u>	



Fig. 22 .- Lithostratigraphie des terrains primaires du Boulonnais.  
(Les assises soulignées n'ont pas été étudiées).

## II.- LITHOSTRATIGRAPHIE

Objet de nombreuses monographies régionales (voir liste bibliographique in Bonte, 1969) les séries sédimentaires du Boulonnais sont bien connues. On utilisera donc les divisions lithologiques présentées par la carte géologique au 1/50 000 de Marquise. Dans un but de simplification de lecture la dénomination des étages sera conservée dans l'étude microtectonique.

Le tableau (fig. 22) résume l'évolution des faciès paléozoïques du Ludlowien au Westphalien.

## III.- LES ENSEMBLES STRUCTURAUX PRIMAIRES

### 1) Le massif de Ferques

Le monoclinale du massif de Ferques est régulier entre les failles de Landrethun au N et de Ferques au S (fig. 20). La direction des couches oscille entre  $100^\circ$  et  $120^\circ$  et le pendage SW entre  $20^\circ$  et  $30^\circ$ . L'épaisseur et la lithologie sont constantes sauf au niveau du Famennien à dominante pélitique qui représente les séries les plus incompetentes du monoclinale.

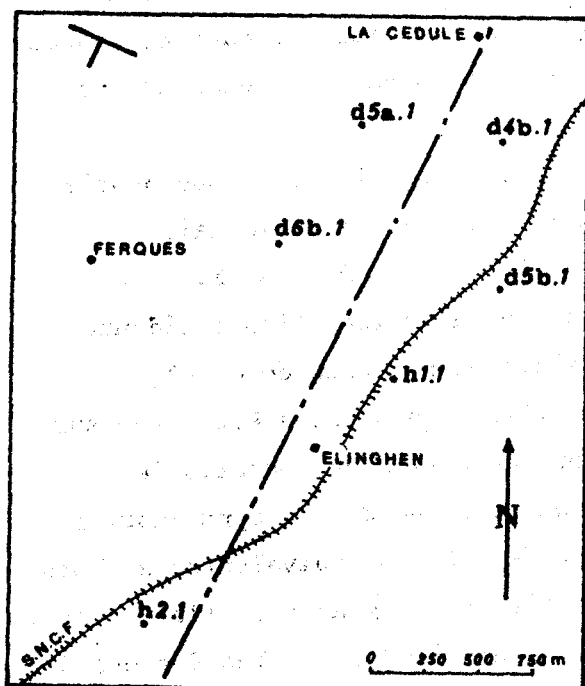


Fig. 23.- Localisation de la coupe de référence.

- : localité
- : coupe de référence
- : affleurement
- d5a1 : désignation de l'affleurement de Frasnien inférieur.

La coupe de référence, normale à la direction générale du monoclinale montre une belle homogénéité du Givétien au Tournaisien (fig. 20 et 23, affleurements affectés de la lettre correspondant à l'étage et du numéro 1. Le massif de Ferques ne montre, à l'affleurement, aucun indice de mouvements chevauchants (fig. 21).

## 2) Le massif du Haut-Banc

Il est au contact du précédent par une faille sub-verticale (faille de Ferques F3 fig. 20 et 21). L'allochtonie du massif du Haut-Banc a été prouvée par deux forages profonds (Vallée Heureuse et mine d'Elinghen) qui ont montré la superposition d'une série dinantienne (343 m) sur d'épaisses assises (au moins 750 m) d'âge dévonien et dinantien.

L'interprétation classique est de considérer la série chevauchée comme un anticlinal cisailé obliquement et recouvert par le massif du Haut-Banc. Le contact anormal les séparant, appelé Faille du Haut-Banc (F2, fig. 21) n'est pas plan mais parallèle à la structure du massif du Haut-Banc. La chronologie des déformations (superposition puis ploiement d'un édifice structuré ou superposition du massif du Haut-Banc et adaptation à un substratum au préalable déformé en voûte) n'est pas établie. L'ampleur du chevauchement paraît être d'au moins de l'ordre du kilomètre.

## 3) Le massif d'Hydrequent

Le bord sud du massif du Haut-Banc (Viséen) est clairement chevauché par des niveaux famenniens. Le contact chevauchant est incliné à 45°. Directement sous ce contact, une zone perturbée peut être interprétée comme un copeau de calcaire carbonifère associé à la faille d'Hydrequent. L'origine tectonique des déformations visibles dans ce copeau sera prouvée par la suite écartant ainsi toute hypothèse de déformations syn-sédimentaires.

## 4) Les grands traits de la tectonique hercynienne du Boulonnais

### Les synthèses régionales sur le Boulonnais

(Bonte, 1969 ; Bouroz, 1956 ; C. F. P., COPESEP, R. A. P. & S. N. P. A., 1965) ont présenté les massifs primaires comme la prolongation occidentale du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais et par voie de conséquence des séries ardennaises. La recherche de houiller productif a été basée sur cette hypothèse. On s'accorde donc à relier les séries des massifs de Ferques, Haut-Banc et Hydrequent à l'équivalent du bord S du synclorium de Namur. Ce dernier est chevauché au S par des séries équivalentes au bord N du synclorium de Dinant par l'intermédiaire de la grande faille du Midi. Ce chevauchement majeur a été tracé sur la figure 20 d'après les données de Bouroz (1962). La faille du Midi de même que les failles du Haut-Banc et d'Hydrequent seraient relatives à la phase tangentielle majeure de l'orogénèse hercynienne (fini-Westphalien) alors que les accidents subverticaux, directionnels et transverses, seraient postérieurs (tardi-hercyniens).

Là où la couverture secondaire existe, on constate qu'elle est affectée par les accidents subverticaux sauf pour la faille directionnelle de Ferques qui s'arrête (en carte) dans le Paléozoïque sur une faille transverse par contre en sondage on constate (Bouroz, 1962) qu'elle se poursuit au NW au niveau du Paléozoïque. L'hypothèse de mouvements tangentiels au cours du Jurassique a été émise (Pruvost, 1925) mais elle est écartée actuellement (Bonte, 1969). Par contre, l'existence d'une phase dite *épicrotacée* (non datée avec précision, mais d'âge post-sénonien) est prouvée. On attribue à cette phase le rejeu des failles subverticales, directionnelles et transverses, précédemment décrites : les rejeux verticaux des terrains primaires et secondaires, le long de ces failles sont différents. On notera que Gosselet (1906, p. 36) fut le premier à signaler l'existence de *failles épicrotacées*, attribuées au rejeu d'accidents pré-existants et affectant le Paléozoïque.

#### IV.- PRESENTATION DES RESULTATS GENERAUX

##### 1) Commentaire du tableau général (Pl. I )

##### 1.1. Les familles de joints.

Si l'on considère un étage, le Viséen par exemple (Pl. I et fig.24 ), on constate que plusieurs familles de joints sont comprises dans les intervalles ( $168^\circ$  à  $18^\circ$ ,  $55^\circ$ - $78^\circ$  et  $92^\circ$  à  $107^\circ$ ) et ce pour trois affleurements au moins. En deux affleurements (h2.3 et h2.4), les familles  $24^\circ$ - $35^\circ$  et  $33^\circ$ - $37^\circ$  pourraient être homologues.

	h2.1	h2.2	h2.3	h2.4	h2.5
N <sub>o</sub>	630	214	74	50	96
D/P		$6^\circ - 18^\circ / E70^\circ - 86^\circ$		$168^\circ - 18^\circ / 90^\circ$	$6^\circ - 12^\circ / E76^\circ - 84^\circ$
			$33^\circ - 37^\circ / 90^\circ$	$24^\circ - 35^\circ / N76^\circ - 96^\circ$	
					$55^\circ - 60^\circ / S78^\circ - 88^\circ$
	$66^\circ - 78^\circ / 90^\circ$			$70^\circ - 75^\circ / N80^\circ - 86^\circ$	$76^\circ - 92^\circ / S72^\circ - 82^\circ$
	$92^\circ - 98^\circ / 90^\circ$	$99^\circ - 107^\circ / 90^\circ$		$94^\circ - 105^\circ / 90^\circ$	$105^\circ - 120^\circ / S54^\circ - 76^\circ$
			$125^\circ - 133^\circ / 90^\circ$		

Fig. 24 .- Les familles de joints du Viséen.

N<sub>o</sub>, nombre d'observations ; D/P, direction/pendage.

Il apparaît donc que, quelque soit l'affleurement, les familles de joints qui y ont été définies ont le plus souvent une signification générale au niveau de l'étage.

Si l'on considère une série d'affleurements appartenant à des étages différents (fig. 25), il n'est plus possible de définir d'une manière catégorique les familles communes. Tout au plus, peut-on dire

	h2.1	h1.1	d6b.1	d5b.1	d5a.1	d4b.1
	630	56	136	135	121	171
D/P				13°- 38°/W 74°-86°		
					30°- 40°/90°	
						44°-50°/90°
		51°- 61°/W68°-80°				
	66°-78°/90°					
	92°-98°/90°					
					100°-110°/90°	
			120°-150°/S75°-85°	115°-136°/NE60°-86°		
	166°-172°/90°				176°-8°/E74°-82°	

Fig. 25 .- Les familles de joints le long de la coupe de référence.

que de part et d'autre des directions N-S et E-W, on trouve au moins trois familles de joints appartenant à trois affleurements différents (ex. : autour de la direction N-S : en h1.1., 166°-172° ; d5b1, 13°-38° ; d4b1, 176°-8°).

### 1.2. Le remplissage des joints.

En différents sites, tant au niveau d'un étage (Viséen, fig. 26) qu'au niveau de plusieurs étages (coupe de référence,

	h2.1	h2.2	h2.3	h2.4	h2.5
D/P			40°- 60°/>70°		
		50°-70°/>80°			
	60°- 80°/90°				
	90°-100°/98°		90°-110°/>65°		
					100°-120°/90°

Fig. 26 .- Les familles de joints emplis de calcite du Viséen.  
(> supérieur à).

fig. 27) une direction moyenne de joints emplis de calcite est commune, il s'agit d'une direction comprise entre  $90^\circ$  et  $110^\circ$ .

	h2.1	h1.1	d6b.1	d5b.1	d5a.1	d4b.1
D/P				10°- 20°		
				30°- 40°		
	60°- 80°/90°					
	90°-100°/90°			90°-100°		90°-110°
				120°-130°		

Fig. 27 .- Les familles de joints emplis de calcite le long de la coupe de référence.

### 1.3. Les joints à surface striée.

Le nombre de joints concernés est faible par rapport au nombre total de mesures, l'interprétation est donc faiblement étayée. Deux types de joints se dégagent lorsque l'on considère le Viséen (fig. 28) :

	h2.1	h2.2	h2.3	h2.4	h2.5
D/P	170°- 10°/<20° ch		0°-30°/<25° ch		
	170°- 10°/>80° ci				
		10°- 20°/>70° ci			
	30°- 50°/>75° ci	30°- 40°/>80° ci			
					50°-60°/>80° ci
	80°-100°/<20° ch	110°-120°/<20° ch			
	80°-100°/>80° ci	110°-120°/>70° ci		80°-100°/>80° ci	80°-90°/>80° ci
	120°-130°/>80° ci				

Fig. 28 .- Les familles de joints à surface striée du Viséen.

>, supérieur à ; <, inférieur à ; Ch, joint à caractère chevauchant ; Ci, joint à caractère cisailant.

des joints chevauchants de directions ( $170^\circ$ - $20^\circ$ ) et ( $80^\circ$ - $110^\circ$ ) et des joints cisailants de directions ( $30^\circ$ - $50^\circ$ ) et ( $80^\circ$ - $100^\circ$ ), cette dernière famille étant la plus importante.

En ce qui concerne la coupe de référence (fig. 29)

	h2.1	h1.1	d6b.1	d5b.1	d5a.1	d4b.1
	170°- 10°/ < 20°	ch				
D/P	170°- 10°/ > 80°	ci				10°- 20°/ > 70°
	30°- 50°/ > 75°	ci				40°- 50°/ > 70°
						40°- 50°/ < 50°
	80°-100°/ < 20°	ch				
	80°-100°/ > 80°	ci				
	120°-130°/ > 80°	ci				
						160°-180°/ > 80°

Fig. 29 .- Les familles de joints à surface striée le long de la coupe de référence.

>, supérieur à ; <, inférieur à ; ch, joint à caractère chevauchant ; ci, joint à caractère cisailant.

seuls deux affleurements (h2.1 et d4b.1) sont concernés : il n'est pas possible d'en tirer une quelconque conclusion.

#### 1.4. Les calques.

Au niveau du Viséen, seul l'affleurement h2.1 a été l'objet de nombreux tracés de calques, au niveau des affleurements situés le long de la coupe de référence, seuls les affleurements h2.1 et

d4b.1				h2.1				
N <sub>c</sub>	N <sub>i</sub>	Nature	σ <sub>1</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>i</sub>	Nature	σ <sub>1</sub>	
8				12	15	joints conjugués 29°-34°x150°-163°	5°	
					2	"heef" 43°	43°	
					11	joints conjugués 10°-15°x66°-73°	42°	
					2	joints en échelon conjugués 14°x58°	36°	
	4		joints conjugués 53°x134°		94°	4	"heef" 81°-97°	89°
	1		joint en échelon 4°					

Fig. 30 .- Observation et interprétation des calques dans le Viséen et le long de la coupe de référence.

N<sub>c</sub>, nombre de calques ; N<sub>i</sub>, nombre d'interprétations ; σ<sub>1</sub>, contrainte de compression principale maximale.

d4.b1 sont concernés. Les résultats consignés dans la figure 30 ne donnent aucune direction de contrainte commune sauf pour la direction E-W.

## 2) Commentaire des observations particulières (Pl. II)

Les joints bien marqués (JBM) et les grands joints (GJ) ont leurs directions souvent situées autour des axes N-S et E-W.

Les caractères chevauchants et cisailants des familles de joints striés de directions respectives ( $170^{\circ}-20^{\circ}$ ,  $80^{\circ}-110^{\circ}$ ) et ( $30^{\circ}-40^{\circ}$ ,  $80^{\circ}-100^{\circ}$ ) sont confirmées par la présence de JBM et GJ de même orientation.

Les informations les plus significatives sont apportées par des joints de direction  $90^{\circ}-110^{\circ}$  et à faible pendage qui ont un caractère chevauchant primaire auquel est parfois superposé un caractère cisailant secondaire : ex. : en d4.b1, un joint  $83^{\circ}N50^{\circ}$  a des stries de direction  $173^{\circ}$  (ch) recoupées par des stries de direction  $94^{\circ}$  (ci) ce qui prouverait qu'il y a eu au moins deux stades de déformation. correspondant à des orientations de contraintes différentes, au moins en ce point d'observation.

Les observations particulières relatives aux calques permettront également de mettre en évidence une succession des déformations dans le temps (ex. : h2.2., 1ère partie, ch. B.III.4 , p. 22).

V.- INTERPRETATION DES OBSERVATIONS EN TERMES DE CONTRAINTES  $\sigma_1$  (Pl. I )

Les contraintes interprétées tant à partir des calques que des joints striés peuvent être groupées en faisceaux communs en directions.

à un étage : pour le Viséen, par exemple, (fig. 31) les directions  $176^{\circ}-7^{\circ}$  et  $81^{\circ}-101^{\circ}$  sont présentes trois fois et plus, la direction  $65^{\circ}-74^{\circ}$  deux fois.

	h2.1		h2.2		h2.3		h2.4		h2.5	
	$7^{\circ}/N 6^{\circ}$	$4^{\circ}-6^{\circ}$	$176^{\circ}/S 6^{\circ}$							
					$27^{\circ}/N 6^{\circ}$					
		$36^{\circ}-43^{\circ}$								
D/P	$65^{\circ}/W14^{\circ}$		$74^{\circ}/W16^{\circ}$							
		$81^{\circ}-97^{\circ}$	$93^{\circ}/W14^{\circ}$				$86^{\circ}/W8^{\circ}$		$101^{\circ}/W10^{\circ}$	$96^{\circ}$
					$119^{\circ}/W74^{\circ}$					
			$135^{\circ}/N14^{\circ}$							

Fig. 31 .- Les interprétations en terme de contraintes dans le Viséen.

Pour un affleurement : colonne de gauche, interprétations par la méthode de Cruden ; colonne de droite, interprétations des calques.



à un groupe d'étages : pour la coupe de référence (fig. 32) les directions  $170^{\circ}-7^{\circ}$  et  $81^{\circ}-99^{\circ}$  sont présentes trois fois.

	h2.1	h1.1	d6b.1	d5b.1	d5a.1	d4b.1
D/P	7°/N 6°	4°- 6°				170°/S30°
		36°-43°				
	65°/W14°					
		81°-97°				99°/W10° 94°
						128°/E14°

Fig. 32 .- Les interprétations en terme de contraintes le long de la coupe de référence (même légende que Fig. 31).

D'autres directions de contraintes sont incorrélables dans les figures 31 et 32. Elles ne résultent généralement que d'une seule méthode en un seul affleurement : elles ne seront donc pas intégrées dans les synthèses.

## VI.- GENERALISATION

### 1) Au niveau des étages stratigraphiques

La figure 33 donne la synthèse des principales observations et interprétations faites en chaque affleurement et généralisées à l'étage stratigraphique correspondant.

Si l'on prend le Viséen h2 comme exemple, les principaux résultats obtenus sont :

- les familles de joints (ch. IV, 1.1., p. 33), ( $168^{\circ}-18^{\circ}$ ), ( $24^{\circ}-37^{\circ}$ ), ( $55^{\circ}-78^{\circ}$ ), ( $92^{\circ}-107^{\circ}$ ) et peut-être ( $125^{\circ}, 133^{\circ}$ ),

- les joints emplis de calcite (ch. IV, 1.2., p. 34), ( $90^{\circ}-110^{\circ}$ ) : calcite en cristaux pour l'un des affleurements, peut-être ( $40^{\circ}-80^{\circ}$ ) si l'on regroupe trois familles ( $40^{\circ}-60^{\circ}$ ) en h2.3, ( $50^{\circ}-70^{\circ}$ ) en h2.2, ( $60^{\circ}-80^{\circ}$ ) en h2.1) qui se recouvrent partiellement,

- les joints striés (ch. IV, 1.3., p. 35), ( $170^{\circ}-20^{\circ}$ ), ( $30^{\circ}-50^{\circ}$ ), ( $80^{\circ}-100^{\circ}$ ) et peut-être ( $120^{\circ}-130^{\circ}$ ),

- les calques (ch. IV, 1.4., p. 36), un seul affleurement a fait l'objet de nombreux relevés (h2.1), les orientations de  $\sigma_1$  sont : ( $4^{\circ}-6^{\circ}$ ), ( $36^{\circ}-43^{\circ}$ ) et ( $81^{\circ}-97^{\circ}$ ). Les observations particulières relatives aux calques suggèrent la succession suivante d'application des contraintes : ( $36^{\circ}-43^{\circ}$ ), ( $4^{\circ}-6^{\circ}$ ) puis ( $81^{\circ}-97^{\circ}$ ) ; cette dernière direction correspondant à un stade nettement postérieur aux précédents.

ETAGE	LES OBSERVATIONS					SUCCESSION DES DEFORMATIONS		INTERPRETATIONS		INTERPRETATIONS GENERALES			
	NOMBRE D'OBSERVATIONS	LES JOINTS		STRATIFICATION D/P	LES FAMILLES DE JOINTS	LF REMPLISSAGE - LES JOINTS STRIES	Observation des calques	Observation des joints striés	$\sigma_1$ par les calques	$\sigma_1$ par les joints striés	$\sigma_1$	les effets de $\sigma_1$	Succession
		DIRECTION	PENDAGE										
h3	40	1°-10° 80°-90° 120°-140°	90° 90° 90°										
h2	1084	148°-18° 24°-37° 55°-78° 92°-107° 125°-133°	E 70°-90° N 76°-90° S 80°-90° 90° 90°				29°-34°x150°-163° (2) 10°-15°x 66°-73° et beef // à $\sigma_1$ (1) beef 81°-97° (3)		4°-6° 36°-43° 81°-97°	176°-12° 27° 65°-74° 86°-101° 120°-135°	76°-12° 30°-43° 81°-101°	24°-37°x150°-163° joints peu pentés de direction $\perp$ 10°-15°x125°-133° et beef // 55°-78°x125°-133° joint à fort pendage // cal. joints peu pentés $\perp$	(2) (1) (3)
h1	56	51°-61° 166°-172°	W 68°-80° 90°										
d6a	199	14°-19° 47°-52° 118°-129° 120°-150°	V 80°-88° S 66°-74° S 45°-53° S 75°-85°										
d5b	403	174°-20° 39°-50° 90°-136° 85°-104°	90° 90° N 75°-90° S 12°-18°				GJ 96°S25° stries direction Q°-10° puis 110°-130° joints à cassure plumeuse 2°W68° 152°N90°		13°-20° 89° 127°	174°-20° 89°-110°	joint à fort pendage // joints peu pentés $\perp$ joints à fort pendage // cal. joints cisailants 50°-60° un rejeu des joints peu pentés $\perp$ à $\sigma_1$ 174°-20°	(1) (2)	
d5a	227	12°-18° 30°-60° 100°-110°	90° 90° 90°										
d4b	446	176°-13° 44°-63° 76°-98° 152°-157°	E 74°-90° 90° E 72°-82° E 74°-82°				0°-8°x30° recoupés par joints 85° 53°x134°	J 83°N50° stries direction 173° recoupées par stries 94° J 95°S45° stries direction 68°	13° 94°	170°-10° 86°-99° 128° 148°	170°-13° 86°-99°	176°-13°x30° joints en échelon 0°-10° joints à faible pendage $\perp$ joints à fort pendage // cal. 44°-63°x134° rejeu des joints à faible pendage $\perp$ à 170°-11°	(1) (2)

Fig. 33 .- Généralisation des observations et interprétations au niveau des étages stratigraphiques.

Cal., joint en pli de calcite ; //, parallèle à ;  $\perp$ , perpendiculaire à ; , calcite en cristaux ; , calcite ; , joint strié.



- *Les interprétations* (ch. V, p. 37), les directions de contraintes les plus apparentes sont ( $176^{\circ}-7^{\circ}$ ) et ( $81^{\circ}-101^{\circ}$ ). La première ( $176^{\circ}-7^{\circ}$ ) a donné naissance à des déformations cassantes à caractère chevauchant (direction  $80^{\circ}-110^{\circ}$ ), à des couples de joints cisailants ( $24^{\circ}-37^{\circ}$ ) x ( $150^{\circ}-163^{\circ}$ ). La seconde ( $81^{\circ}-101^{\circ}$ ) a induit des déformations cassantes de type chevauchant de direction ( $170^{\circ}-20^{\circ}$ ), des joints ouverts et emplis de calcite de direction parallèle à  $\sigma_1$ , des joints conjugués et cisailants ( $55^{\circ}-78^{\circ}$ ) x ( $125^{\circ}-133^{\circ}$ ).

Deux autres directions de contraintes n'ont été mise en évidence respectivement que par une méthode : l'une ( $30^{\circ}-43^{\circ}$ ), par les calques, a donné des joints ouverts et des couples cisailants conjugués ( $10^{\circ}-15^{\circ}$ ) x ( $66^{\circ}-73^{\circ}$ ), l'autre ( $65^{\circ}-74^{\circ}$ ) n'est donnée que par la méthode de Cruden.

## 2) Au niveau des massifs

### 2.1. Le massif de Ferques.

Si l'on considère la coupe témoin (affleurements n° 1), à l'exception du Viséen, les séries étudiées sont toutes situées dans la partie du massif de Ferques au N de la faille du même nom, les résultats qui y ont été obtenus sont reportés dans la figure 34. La régularité du monoclinale est mise en évidence par l'homogénéité des directions structurales des affleurements d4b.1 à h1.1.

- *Les directions des familles de joints* sont dispersées. Tout au plus est-il possible de noter les directions WSW-ENE et WNW-ESE qui sont communes à au moins trois familles de joints ( $66^{\circ}-78^{\circ}$ , ( $51^{\circ}-61^{\circ}$ ) & ( $44^{\circ}-50^{\circ}$ ) et ( $120^{\circ}-150^{\circ}$ ), ( $115^{\circ}-136^{\circ}$ ) & ( $100^{\circ}-110^{\circ}$ ) relatives à des affleurements différents h2.1, h1.1 & d4b.1 et d6a.1, d5b.1 & d5a.1.

- *Les joints emplis de calcite* ont des directions étalées autour de l'orientation (E-W). Par contre, *les joints à surface striée* ont une direction commune (N-S).

- Seul l'affleurement d4b.1 a donné lieu à des *interprétations* (présence de joints striés et levé de calques). La direction ( $94^{\circ}-99^{\circ}$ ) est donné par les deux méthodes et confirmée par la présence de joints emplis de calcite de direction ( $90^{\circ}-110^{\circ}$ ). Les directions  $170^{\circ}$  et  $128^{\circ}$  ne sont données que par la méthode de Cruden. Seule la première direction ( $170^{\circ}$ ) est confirmée par les calques au niveau de l'affleurement d4b.2. Les contraintes d'orientation sensiblement (N-S) et (E-W) sont les plus marquées. Les observations particulières relatives aux calques indiquent que  $\sigma_1$  (E-W) est postérieure à  $\sigma_1$  (N-S).

- Les JBM et GJ s'orientent de part et d'autre des directions (N-S) (pendages forts), ( $30^{\circ}-50^{\circ}$ ) (pendages forts) et (E-W) (pendages faibles et forts).








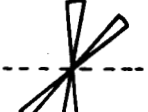

LES OBSERVATIONS							INTERPRETATIONS	
N° du site	N°	les joints		Stratification D/P	Les familles de joints	Le remplissage - Les joints striés	$\sigma_1$ par les calques	$\sigma_1$ par les joints striés
		Direction	Pendage					
h2.l	630	66°- 78° 92°- 98°	90° 90°	162°/W15°			4°- 6° 36°-43° 81°-97°	7°N 6° 65°W14°
h1.l	56	51°- 61° 166°-172°	W68°-80° 90°	125°/S28°				
d6a.l	136	120°-150°	S75°-85°	119°/S26°				
d5b.l	135	13°- 38° 115°-136°	W74°-86° NE60°-86°	107°/S30°				
d5a.l	121	30°- 40° 100°-110°	90° 90°					
d4b.l	126	176°- 8° 44°- 50°	E74°-82° 90°	110°/S40°			94°	170°S30° 99°W10° 128°E14°

Fig. 34 .- Généralisation des observations et interprétations le long de la coupe de référence (même légende que Fig. 33).

Si l'on s'intéresse maintenant aux extensions latérales de la coupe de référence, et donc au massif de Ferques dans son ensemble (d4b à h1, tableau IV), on note que la distribution des familles de joints est toujours dispersée (seules les directions N-S, E-W et 40°-50° sont des enveloppes significatives). Par contre, les interprétations par les méthodes des calques et de Cruden conduisent à des orientations de  $\sigma_1$  autour des axes (N-S) et (E-W),  $\sigma_1$  (E-W) étant postérieur à  $\sigma_1$  (N-S).

## 2.2. Les massifs chevauchants.

### 2.2.1. Le massif du Haut-Banc.

Tous les affleurements de Viséen étudiés intéressent ce massif. On se reportera donc au chapitre (VI, 1, p. 38) pour le détail des observations et interprétations. Les orientations des contraintes ayant provoqué les déformations cassantes les mieux marquées sont (N-S) et (E-W) et les secondes sont postérieures aux premières.

### 2.2.2. Le massif d'Hydrequent.

Un seul affleurement appartient à ce massif (d6b.2), les familles de joints y ont pour orientation :  $(14^{\circ}-19^{\circ})/W80^{\circ}-88^{\circ}$  ;  $(47^{\circ}-52^{\circ})/S66^{\circ}-74^{\circ}$  et  $(118^{\circ}-129^{\circ})/S45^{\circ}-53^{\circ}$ . Il n'est pas possible d'aller plus avant dans l'interprétation.

### 3) Généralisation aux terrains primaires

Les directions de contraintes situées autour des axes (N-S) et (E-W) apparaissent comme majeures quel que soit le type d'observation ou d'interprétation considéré. En ce qui concerne la succession des déformations, celles liées aux contraintes  $\sigma_1$  (N-S) paraissent antérieures à celles découlant de  $\sigma_1$  (E-W).

## B.- DANS LES TERRAINS SECONDAIRES

## I.- INTRODUCTION

L'observation des terrains secondaires en Boulonnais n'est possible dans de bonnes conditions que le long de la côte maritime. Cette dernière a une direction sensiblement N-S de Boulogne au Cap Gris-Nez puis SW-NE du Gris-Nez à Calais (fig.35) ; le point le plus élevé est situé au Cap Blanc-Nez. Les couches pendent faiblement de part et d'autre du Cap Gris-Nez donnant à l'ensemble une structure anticlinale à grand rayon de courbure.

Schématiquement, de Boulogne au Cap Gris-Nez, les terrains affleurant continûment en falaise sont d'âges kimméridgien et portlandien et sont sujets à une érosion intense ; du Cap Gris-Nez à Calais, les terrains sont d'âge crétacé et la côte présente une zone de sédimentation actuelle et subactuelle très large derrière le Cap Gris-Nez, au niveau de la station balnéaire de Wissant.

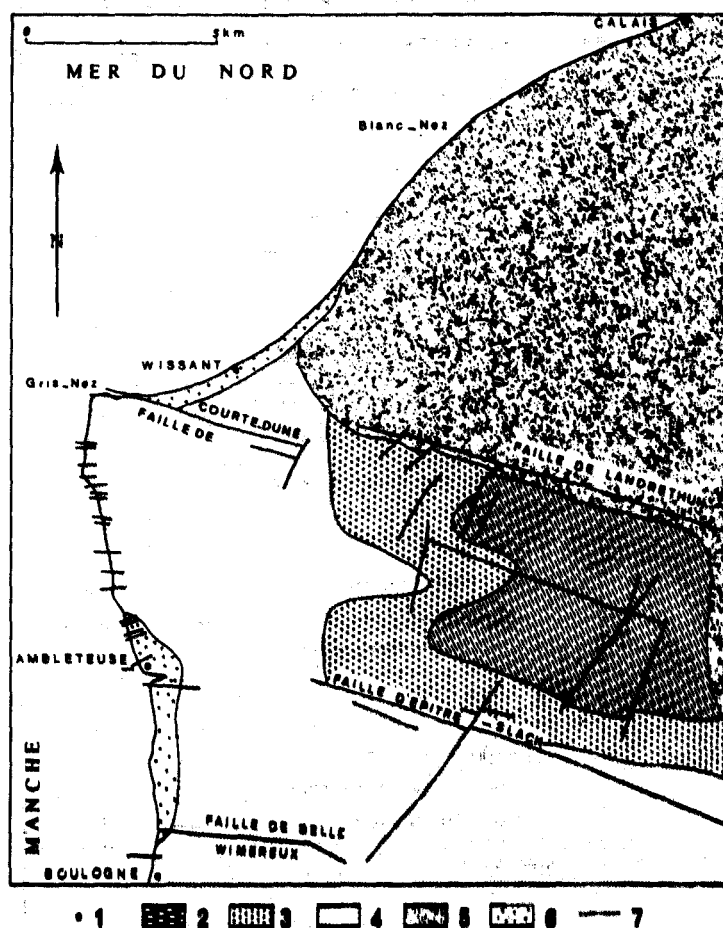


Fig. 35 .- Carte géologique schématique du Boulonnais.

- 1, localité ; 2, Primaire ; 3, Bajocien, Bathonien ;  
 4, Kimméridgien, Portlandien ; 5, Crétacé ; 6, dunes ;  
 7, faille sub-verticales.

Dans l'intérieur du Boulonnais, les affleurements de Bajocien et de Bathonien ceinturent le massif primaire à l'W, au S et à l'E ; exploités jadis pour la pierre de taille, ces affleurements sont souvent aujourd'hui des carrières comblées, aucun affleurement de Kimméridgien ou Portlandien n'a été jugé d'assez bonne tenue pour être étudié. Au N enfin, d'une ligne Cap Gris-Nez - Landrethun les affleurements sont d'âge crétacé.

A l'axe anticlinal à grand rayon de courbure est superposée une zone faillée longitudinalement ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ), ce qui lui donne une structure en horst. Il sera montré plus avant comment des faits concordants permettent de mettre en évidence une zone de cisaillement dextre (avec déplacements à composantes horizontale et verticale) passant précisément au niveau du Cap Gris-Nez.

## II.- LITHOSTRATIGRAPHIE

Ainsi que pour les terrains primaires, on utilisera les divisions lithologiques présentées par la carte géologique au 1/50 000 ème de Marquise. Le tableau fig. 36 résume l'évolution des faciès mésozoïques du Trias au Crétacé supérieur.

SYSTEMES	ETAGES ET INDICES		LITHOFACIES		STRATOFACIES DES BANCS COMPETENTS
Crétacé	Supérieur	Sénonien C4	- Craie blanche à silex	C4.3c	
		Turonien C3 - supérieur	- (10 m) Craie blanche à silex		
		- moyen	- (40 m) Marnes blanc crème, à lits de craie marneuse compacte	C3b	
		- inférieur	- (30 m) Marnes blanc verdâtre (diâves)	C3a	
		Cénomaniens C2			
	- supérieur	- (20 m) Craie grise	C2b		
	- inférieur	- (16 m) Craie marneuse	C2a		
	Moyen		- <u>Argile du Gault</u>	C1b	50 à 60 % CaCO <sub>3</sub>
			- <u>Sables verts</u> (2 m) (sables glauconieux grossiers à nodules de quartz)	C1a	banes de 20 cm à 50 cm
		Aptien n6	<u>Argiles</u>	n6	
Inférieur	Wealdien n3	- <u>dépôts continentaux variés</u> (sables, argiles)	n3		

Fig. 36.- Lithostratigraphie des terrains secondaires.  
(Les assises soulignées n'ont pas été étudiées).

Jurassique	Malm	Purbeckien Jp	- (1 m) ( <u>calcaire et lumachelle lacustres</u> )	jp		
		Portlandien (64 m) j9	- supérieur	- 12 m (grès calcaireux)	j9c	bancs de 20 cm à 1 m
			- moyen	- 32 m (ensemble argileux coupé de bancs calcaires)	j9b	bancs de 10 à 20 cm
			- inférieur	- Grès de la Crèche (18 m) (grès calcaireux et sables)	j9a	bancs de 1 m
		Kimméridgien (80 m) j8	(6) Argiles de Chatillon (22 à 25 m) (argiles pyriteuses gris foncé à rares bancs de lumachelle et à lits de gros nodules de calcaires compacts)	j8c	bancs de 10 à 20 cm	
			(5) Grès de Chatillon ou d'Audresselle (5 m) (sables et grès jaunes légèrement glauconieux)	j8b	bancs de 1 m	
			(4) Calcaires du Moulin Wibert (14 m) (alternance de calcaires marneux et de marnes plus ou moins sableuses)	j8a	bancs de 10 cm à 70 cm	
			(3) Sables de Connincthun (5 m) (sables glauconieux, marnes sableuses)			
			(2) Argiles du Moulin Wibert (20 m) (marnes noires pyriteuses)		13 bancs de calcaire	
			(1) Calcaire de Brecquerécque (15 m) (alternance de marnes et de calcaires)			
			Séquanien j7	- Caillasse d'Hesdigneul (5 m) (calcaire marneux, très dur) - Oolithe d'Hesdin-l'Abbé (10 m) (calcaire oolithique à oolithes blanches) - Grès de Brunembert (5 m) (grès roux à ciment calcaire)	j7	
			Rauracien j6	- Argile (20 m) (argile noire à lits d'oolithe ferrugineuse) - Calcaire du Mont des Boucards (10 m) (calcaire marneux gris)	j6	
			Oxfordien j4	- Argiles de Selles (40 m) - Marnes (10 m) - Argiles du Coquillot		
			Callovien j3	- Argiles de Montaubert - Marne ferrugineuse de Belle (3 m) (riche en oolithes ferrugineuses)		
			Dogger	Bathonien j2		
	- supérieur	- Marnes et calcaires (4 m)		j2c	en bancs de 10 à 50 cm	
	- moyen	- Oolithes de Marquise (7 m)	j2b			
	- inférieur	- Calcaire de Rincent (10 m) (oolithe et pseudoolithique)	j2a			
	Bajocien j1	- Sables d'Hydrequant (3 m) - Marnes d'Hydrequant (2,5 m)	j1			
	Lias	<u>Grès, Argiles, Calcaires</u>				
Trias		<u>Argiles gréseuses et micacées, schistes, conglomérats (80 m)</u>				





### III.- TECTONIQUE DE LA COUVERTURE SECONDAIRE

#### 1) La côte jurassique de Boulogne au Nord du Cap Gris-Nez

Le pendage des couches est faible (inférieur à  $10^\circ$ ) et orienté vers le Sud. Deux accidents de forte amplitude viennent interrompre cette monotonie : la faille d'Épitre-Slack et la faille de Belle Wimereux (fig. 35). En plus de ces accidents d'échelle kilométrique des failles décamétriques à hectométriques découpent les bancs. Toutes ces failles ont été interprétées jusqu'à présent comme des failles d'effondrement. Tenant compte de l'amplitude de ces accidents, la zone Boulogne - Cap Gris-Nez a été divisée en deux sous-zones : l'une située au S d'Ambleteuse et l'autre au N (prolongement en plan des massifs primaires).

#### 2) Le Cap Gris-Nez

Le Gris-Nez est la zone de transition-clef tant au point de vue géométrique que sédimentaire de la côte. L'interprétation structurale du Cap Gris-Nez a toujours fait l'objet de controverses nées de difficultés d'observation : les affleurements sur la plage ne sont en effet visibles qu'aux périodes de basse mer. De plus les niveaux affleurant sur le rivage sont incertains du fait de glissements en masse des falaises qui surplombent l'estran.

Les documents consultés sont la carte géologique de Marquise au 1/50 000 ème et celle, plus locale et relative aux affleurements de l'estran dressée par Leroux (1959).

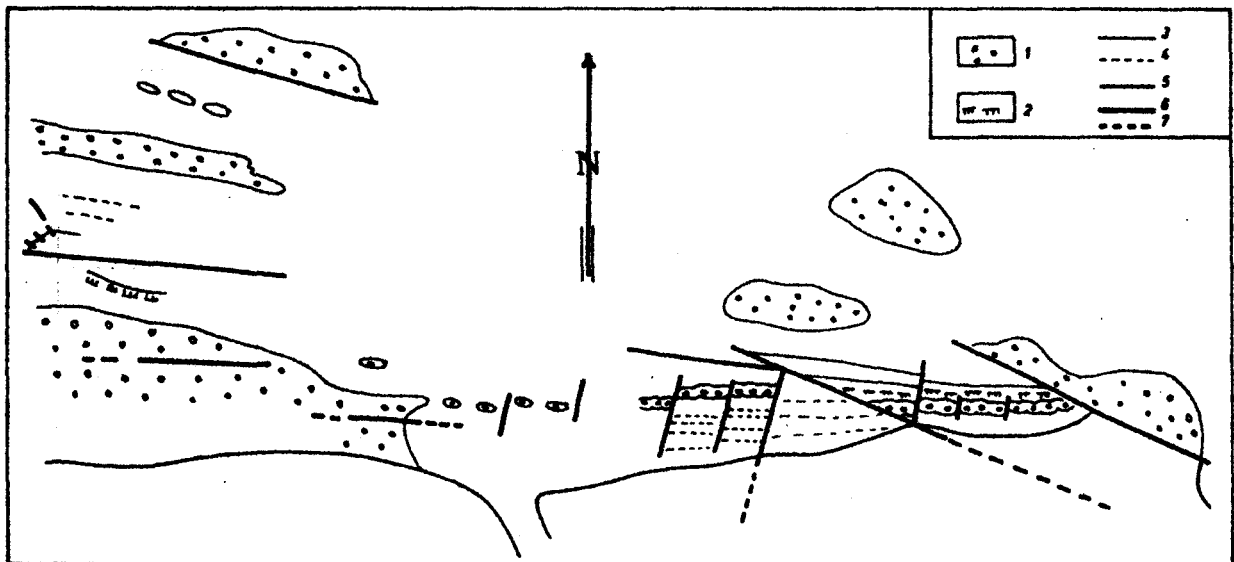


Fig. 37 .- Carte des affleurements sur l'estran, au Gris-Nez (D'après LEROUX, 1959).

1, 2, bancs repères (1, grès de la Crèche ; 2, banc à Perna) ; 3, limite de banc ; 4, limite de banc supposée ; 5, limite de la falaise ; 6, faille subverticale ; 7, faille supposée ; l'échelle n'est pas figurée par LEROUX.

La carte géologique de Marquise montre une faille cartographiée sur 11 km, de direction  $110^\circ$ . Elle affecte toute la zone du Cap Gris-Nez. Sur l'estran, elle se ramifie et devient la faille de "Courte-Dune" s.s. et la faille des Epaulards (fig. 35).

La faille de "Courte-Dune", d'âge post-crétacé (Pruvost, 1921) provoquerait un rejet vertical de 50 m des assises secondaires et de 150 m pour le socle paléozoïque en son extrémité SE.

La carte locale des affleurements dressée par Leroux montre la grande complexité de l'estran. L'ensemble du Gris-Nez apparaît comme une structure anticlinale faillée longitudinalement et transversalement (fig. 37).

Pruvost (1925) interprète cette zone comme une structure chevauchante témoin de contraintes tangentielles. Depuis, Bonte, Leroux & Rogier (1959), le Cap Gris-Nez est interprété comme une structure née d'un *"effondrement entre deux failles avec coins à rejets différentiels ... ; puis remaniement par glissement en bordure de rivage ... ; cette structure serait la répercussion sur une couverture stratifiée de failles inclinées du socle"* (Bonte et al. 1959, p. 143 et 144).

### 3) La côte du Cap Gris-Nez à Calais

Le pendage N des couches est faible. Les strates ne sont apparemment interrompues par aucune faille ; cette absence d'accidents est due au fait qu'il est très difficile d'établir un stratigraphie fine dans le Crétacé. Les faciès étant homogènes sur de fortes épaisseurs, les déplacements le long des failles éventuelles ne peuvent être appréciés.

### 4) L'intérieur du pays

Les terrains jurassiques sont découpés de failles longitudinales ( $90^\circ$ - $110^\circ$ ) et transversales ( $20^\circ$ - $30^\circ$ ) conformes à celles qui affectent les terrains primaires.

Au niveau du Crétacé, aucune faille n'a été cartographiée. Elles existent vraisemblablement.

### 5) Les phases tectoniques secondaires

Pruvost (1921) a proposé l'existence d'une phase tectonique importante d'âge jurassique. En fait Bonte (1969) propose de donner une importance primordiale à une phase dite artésienne (formation du dôme de l'Artois) d'âge épicroétacé. Les failles affectant le Secondaire seraient contemporaines de cette phase.

#### IV.- PRESENTATION DES RESULTATS

##### 1) La côte de Boulogne au Cap Gris-Nez

###### 1.1. La sous-zone S-Ambleteuse (Pl. III).

Les résultats sont peu homogènes, néanmoins, les joints situés autour des directions (N-S) et (E-W) seraient communs. Les calques donnent des joints à allure de plume autour de la direction ( $70^\circ$ ).

###### 1.2. La sous-zone N-Ambleteuse (Pl. IV).

Les familles de joints et les joints à allure de plume donnés par les calques présentent une bonne homogénéité autour de la direction E-W.

##### 2) Le Cap Gris-Nez (Pl. V)

Les directions de joints (E-W) et ( $120^\circ-140^\circ$ ) sont communes, mais il faut accorder peu de crédit aux résultats, le nombre de mesures étant faible.

##### 3) La côte crétacée (Pl. VI)

La dispersion des familles de joints est forte. Aucune direction dominante n'apparaît.

##### 4) Le Secondaire au contact du Primaire

###### 4.1. Le Jurassique (Pl. VII).

On notera la forte dispersion des familles de joints, les directions ( $50^\circ-70^\circ$ ), ( $90^\circ-110^\circ$ ) et ( $120^\circ-140^\circ$ ) paraissent communes.

###### 4.2. Le Crétacé (Pl. VIII).

Peu d'affleurements ont été visités, mais le nombre de mesures est important : les familles communes de joints ont pour directions ( $80^\circ-100^\circ$ ) et ( $140^\circ-150^\circ$ ).

#### V.- LES INTERPRETATIONS

##### 1. De Boulogne au Cap Gris-Nez

###### 1.1. Zone Sud Ambleteuse (Pl. III).

Les calques conduisent à une orientation de ( $70^\circ-72^\circ$ ) pour  $\sigma_1$ .

###### 1.2. Zone Nord Ambleteuse (Pl. IV).

Deux orientations de contraintes ( $71^\circ-73^\circ$ ) et ( $81^\circ-95^\circ$ ) apparaissent. La direction (E-W) est la mieux marquée et les joints cisailants qui lui sont liés ( $110^\circ-130^\circ$ ) recoupent et déplacent

les joints à allure de plume nés de  $\sigma_1$  ( $71^\circ-73^\circ$ ) affleurement J8c.3 (33-34-35) . Au niveau des JBM les joints de direction ( $80^\circ-100^\circ$ ) sont cisailants dextres et senestres en J9a.3.

## 2. Le Cap Gris-Nez (Pl. V)

Des joints à allure de plume indiquent une orientation de  $83^\circ$  pour  $\sigma_1$ , ce qui est confirmé par la présence de joints remplis de calcite de direction ( $80^\circ-90^\circ$ ).

Une des familles de joints, ( $120^\circ-140^\circ$ ) semble homologue d'une des deux familles de failles figurées par Leroux.

Reprenant les affleurements de Leroux il est possible de déterminer les sens des déplacements le long des failles, ce qui nous donne le schéma cinématique de la figure 38. Ce dernier est comparable

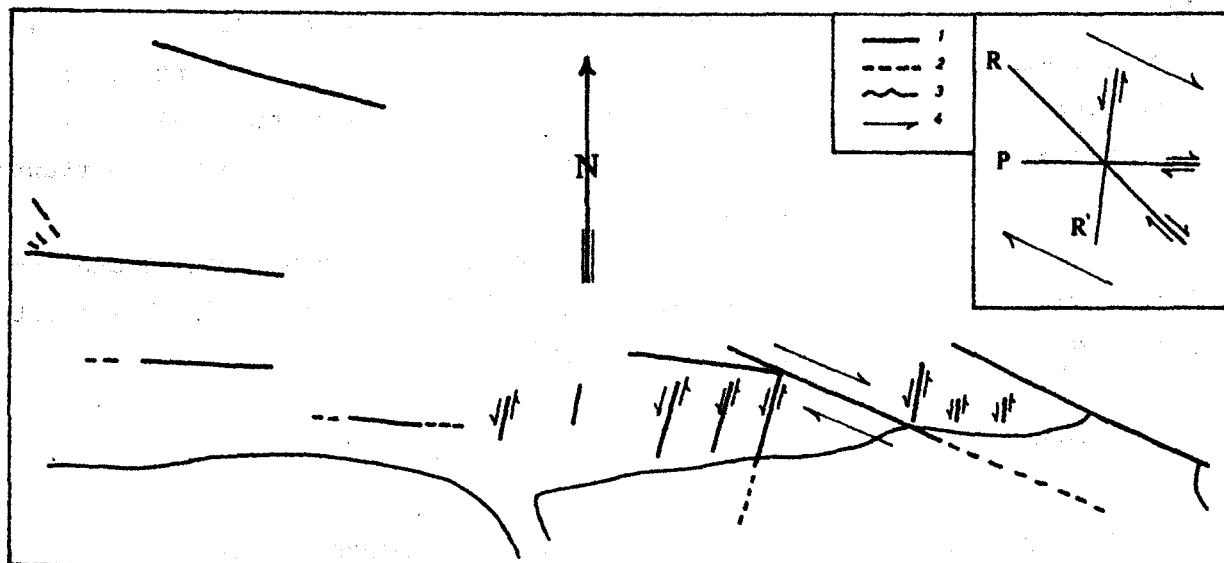


Fig. 38 .- Interprétation cinématique de la carte de LEROUX.

1, faille sub-verticale ; 2, faille supposée ; 3, falaise ; 4, sens de déplacement ; R, joint cisailant de Riedel ; R', joint conjugué de Riedel ; P, joint cisailant-chevauchant.

aux joints nés dans une zone de cisaillement figurés par Tchalenko & Ambraseys (1970). Les failles de Courte-Dune et des Epaulards seraient parallèles à la direction générale du cisaillement et les failles mineures de direction ( $10^\circ-30^\circ$ ) seraient des failles conjuguées de Riedel R'. On aurait donc ici l'indice d'une zone de cisaillement dextre liée à des contraintes d'orientation sensiblement (E-W).

## 3. La côte crétacée (Pl. VI)

Des joints de tension indiquent une orientation de  $88^\circ$  pour  $\sigma_1$ .

#### 4. Le Secondaire au contact du Primaire

4.1. Le Jurassique (Pl.VII) a donné trop peu d'observations pour conduire à une interprétation.

4.2. Le Crétacé (Pl.VIII) (affleurement C4.3c.2) a livré deux familles de joints qui, observées sur le terrain sont souvent conjuguées (se déplaçant l'une et l'autre aussi seraient-elles issues d'une contrainte d'orientation 103°).

### VI.- GENERALISATION

#### 1) Les observations

Afin de généraliser les observations et les interprétations, les différentes planches (III à VIII) ont été regroupées dans la planche IX. Il apparaît difficile de grouper les observations à la fois dans une même zone et au niveau d'un étage. Les familles de joints sont trop dispersées, sauf pour les joints à allure de plume, parallèles aux directions (70°-80°) et (80°-100°) (cette dernière étant la plus importante).

#### 2) Les interprétations

Les contraintes de compression maxima ont été relevées surtout suivant deux orientations (70°-73°) et (81°-96°). Les joints nés de  $\sigma_1$  E-W recoupant ceux nés de  $\sigma_1$  70°.

### C.- QUELQUES ASSOCIATIONS JOINTS-FAILLES

#### I.- DANS LES TERRAINS PRIMAIRES : LA FAILLE D'HYDREQUENT

##### 1) Les connaissances actuelles

La faille d'Hydrequent (ch. A, p. ) est un accident chevauchant accompagné de failles satellites délimitant des écailles de poussée. L'une d'entre elles est visible le long de la voie ferrée Calais-Boulogne au niveau de la carrière de Basse-Normandie (fig. 39, x = 559,9, y = 346,2). Ainsi que le souligne Bonte (1969) l'interprétation de cette écaille est soumise à controverses : *"Contre la faille d'Hydrequent, les plissements qui s'observent dans la tranchée de chemin de fer au-dessus du banc à Lithostrotion martini ont toujours été attribués à la poussée des schistes d'Hydrequent du compartiment sud. Mais, récemment, l'analogie avec des glissements sous-marins, qui seraient normaux dans des formations de ce genre a été soulignée. La compression exercée par le jeu de la faille d'Hydrequent aurait simplement exagéré le phénomène qui s'estompe, sur quelques dizaines de mètres, sans laisser de traces"*.

## 2) Les observations

## 2.1. Les observations de terrain.

Les observations ont été effectuées sur le flanc de la carrière entre la voie de chemin de fer et la voie d'accès, flanc orienté  $57^{\circ}\text{N}$ . Le plan de base de l'écaïlle a une direction de  $45^{\circ}$  environ avec un pendage de  $10^{\circ}$  vers le SW (F1, fig. 20 et 39).

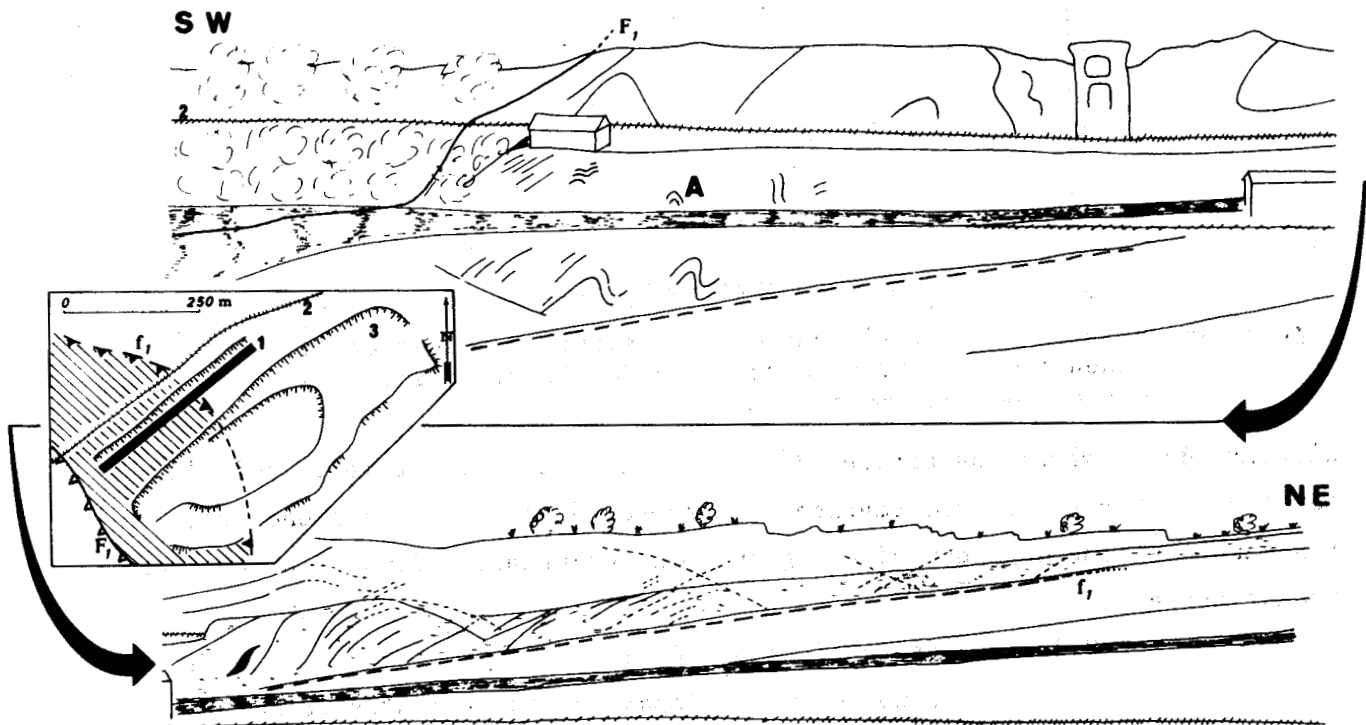


Fig. 39 .- Panorama du flanc NW de la Carrière de Basse Normandie. (X = 559,9 ; Y = 346,2) avec en encadré la localisation du panorama.

1, zone étudiée ; 2, chemin de fer Boulogne-Calais ; 3, flanc de la carrière ;  $f_1$ , faille satellite ;  $F_1$ , faille d'Hydrequent ; secteur en hachures, extension probable de l'écaïlle étudiée ; A, position du pli étudié ; zone ombrée, banc étudié.

2.1.1. Dans la partie supérieure de l'écaïlle et contre la faille d'Hydrequent une série de plis isopaques d'échelle métrique affectent les bancs : leurs charnières ont une direction comprise entre  $117^{\circ}$  et  $133^{\circ}$  N et un pendage faible (inférieur à  $30^{\circ}$ ) vers le NW ou le SE.

: leurs plans axiaux sont sub-parallèles entre eux ( $125^{\circ}/\text{SW}66^{\circ}$  à  $158^{\circ}/\text{SW}74^{\circ}$ ).

2.1.2. Dans l'écaïlle, les joints peuvent être groupés en cinq familles :  $(10^{\circ}-20^{\circ})/90^{\circ}$  ;  $(28^{\circ}-35^{\circ})/\text{SE}(24^{\circ}-32^{\circ})$  ;  $(48^{\circ}-60^{\circ})/\text{SE}(80^{\circ}-86^{\circ})$  ;  $(88^{\circ}-96^{\circ})/\text{S}(74^{\circ}-85^{\circ})$  ;  $(97^{\circ}-104^{\circ})/\text{S}(46^{\circ}-54^{\circ})$ .

2.1.3. A la base de l'écaïlle, un banc situé au-dessus de la séquence + 5 du V2b $\gamma$  (Hoyez, 1971) a son épaisseur qui augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de la zone des plis. Ce banc est découpé de joints striés et ondulés de direction ( $92^{\circ}-120^{\circ}$ ), à pendage sud variable pour un même joint (avec un maximum vers  $60^{\circ}$ ). Du SW au NE,

l'épaisseur du banc diminue donc pour devenir constante et égale à 1,10 m (fig. 40). Des mesures de l'épaisseur prises tous les 2 mètres et sur une

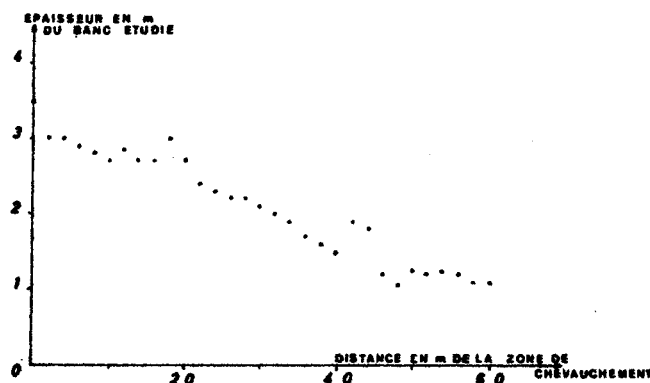


Fig. 40 .- Variation de l'épaisseur du banc situé au-dessus de la séquence + 5 du V2ba en fonction de l'éloignement à la zone de chevauchement.

distance de 60 mètres permettent d'affirmer que le banc est raccourci d'au moins 50 %. Les seules déformations apparentes étant les joints ondulés, ils semblent donc que ceux-ci ont grandement contribué à donner au banc son aspect actuel.

## 2.2. Les observations de détail.

L'un des plis isopaques situés contre la faille d'Hydrequent (A, fig. 39) a été intégralement prélevé et découpé perpendiculairement à son axe en trois tranches épaisses de 5 cm.

### 2.2.1. La géométrie du pli.

Il s'agit d'un pli concentrique ou isopaque à charnière orientée ( $121^{\circ}\text{NW}25^{\circ}$ ) et à flanc S ( $140^{\circ}\text{SW}37^{\circ}$ ) chevauchant le flanc N ( $120^{\circ}\text{N}75^{\circ}$ ). Sur le flanc S, les stries de glissement interbanc sont inclinées de  $65^{\circ}$  vers le SE sur l'horizontale ("pitch"), elles sont donc obliques par rapport à la charnière ; des recristallisations de calcite indiquent un mouvement cisailant du type dextre.

### 2.2.2. La structure interne du pli.

Avec Arthaud et Mattauer (1972), Choukroune (1969), et Plessmann (1972), on désignera par stylolites, la colonne stylolitique ; par joint stylolitique, le plan moyen enveloppe des bases de stylolites ; par joint stylolitique H, un joint plan à pics parallèles à la stratification ; par joint stylolitique V, un joint plan à pics perpendiculaires à la stratification.

Afin de faciliter les observations, les faces des tranches de pli ont été agrandies trois fois. Différents éléments (a à f) témoins d'une déformation tectonique ont été observés (fig.41).

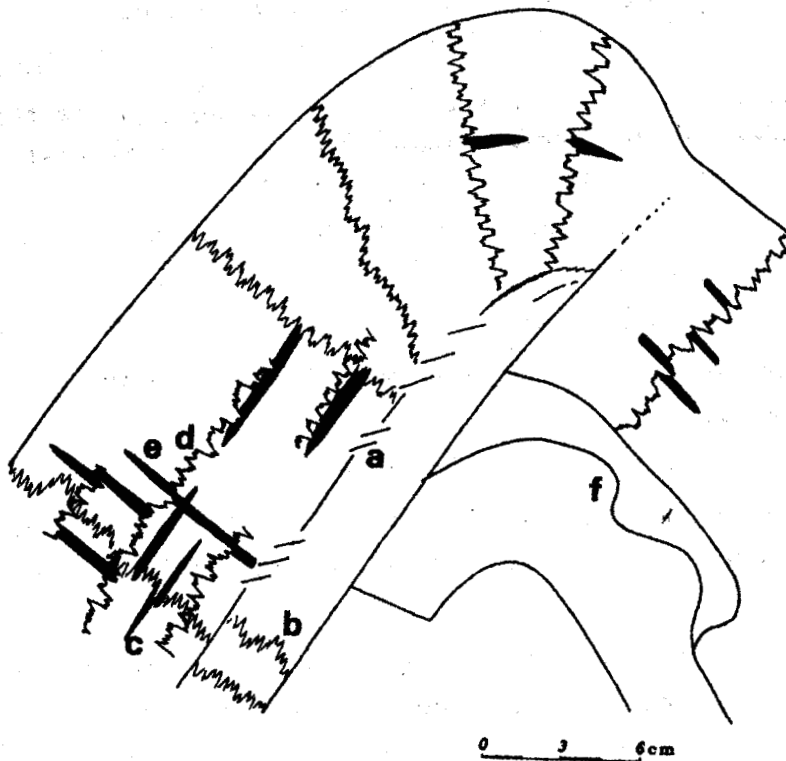


Fig. 41 .- Schéma interprétatif du pli isopaque étudié.

a : zones de cisaillement marquées par des joints de Riedel ou par des remplissages de calcite à structure fibreuse ("beef").

b et c : joints stylolitiques H et fentes de traction associées,

d et e : joints stylolitiques V et fentes de traction associées,

f : zone de déformation continue.

### 3) Les interprétations

#### 3.1. Interprétation des observations de terrain.

Diverses méthodes permettent d'apprécier l'orientation de  $\sigma_1$  : la méthode de Cruden appliquée aux joints à surface striée indique des orientations de  $14^\circ N22^\circ$  et  $62^\circ SW14^\circ$ ,

: les charnières des plis sont en première approximation perpendiculaires à la direction de  $\sigma_1$ , qui serait alors comprise entre  $27^\circ$  et  $43^\circ N$ . Les plans axiaux étant déversés vers le N,  $\sigma_1$  aurait un sens du S vers le N,

: l'intersection des joints ondulés avec le plan de base de l'échelle peut être considérée comme perpendiculaire à  $\sigma_1$ , qui aurait une orientation comprise entre  $162^\circ$  et  $16^\circ N$ .



### 3.2. Interprétation de l'étude de détail.

*Les joints stylolitiques H* sont uniformément répartis dans le pli, aussi bien au niveau des flancs que dans la tête du pli. Ils ne procèdent donc pas des déformations ayant engendré le ploiement de la strate. La répartition des déformations n'est, en effet, pas homogène dans un pli puisque l'on distingue de la base de la strate vers son sommet, une zone en compression, un axe neutre et une zone en traction. L'égalité de répartition des joints H dans le pli et leur disposition relative, permettent donc d'envisager qu'ils sont *antérieurs au pli* et témoins d'un stade précoce de la déformation.

*Les joints stylolitiques H* situés de part et d'autre des zones de cisaillement (a, fig. 41) n'ont pas de correspondance directe. Il semble donc que ces deux éléments soient *contemporains* d'un même stade de déformation.

*Les joints stylolitiques V* sont, en de nombreux points du flanc S du pli, clairement marqués, alors que les joints H paraissent effacés. De plus, certains pics V entament des joints de tension directement associés aux joints H (fig. 41). Les joints V seraient donc *postérieurs aux joints H* et témoins de contraintes normales aux strates, on peut les interpréter comme issus de la surcharge liée au chevauchement d'Hydrequent.

La genèse des joints du pli est donc clairement pluriphasée et peut être interprétée comme le résultat de contraintes d'orientation grossièrement N-S ayant engendré dans un premier temps les joints stylolitiques H et les zones de cisaillement, et dans un second temps le pli lui-même. Enfin suite à la surcharge de la lame chevauchante il y a eu formation des joints V. De telles microstructures rendent bien compte d'une déformation tectonique que l'on retrouve à plus grande échelle dans le chevauchement du massif d'Hydrequent sur celui du Haut-Banc.

Il paraît donc exclu d'attribuer les déformations continues observées au contact du chevauchement du massif d'Hydrequent à des déformations synsédimentaires.

## II.- DANS LES TERRAINS SECONDAIRES : de Boulogne au Cap Gris-Nez

### 1) Sous-zone S-Ambleteuse (fig.42A)

En l'affleurement J9b.1 (26) face au point coté 53,4 (au NW de Terlincthun), une faille ( $130^{\circ}\text{SW}55^{\circ}$ ) découpe la falaise avec un rejet vertical de l'ordre du mètre ; néanmoins sur l'estran, elle décale horizontalement de quelques mètres un joint ( $170^{\circ}/90^{\circ}$ ) par un cisaillement senestre. La faille serait donc le résultat de mouvements à composantes horizontale forte et verticale faible.

Entre les affleurements (26) et (28), une autre faille ( $117^{\circ}/NE80^{\circ}$ ) présente des traces de broutement qui lui donneraient un caractère de faille normale. Sur l'estran, près du droit de la faille, on peut observer des joints à allure de plume de direction sensiblement E-W ainsi que des joints ouverts parfois remplis de calcite et de direction moyenne  $97^{\circ}$ . A 100 m environ, une famille de joints en échelon de direction générale  $100^{\circ}$  a été observée (fig. 42B).

Près de l'affleurement J9b.2 (102-103), au N de la pointe des Rochettes, deux plans de failles  $85^{\circ}/S70^{\circ}$  (1) et  $85^{\circ}/S56^{\circ}$  (2), avec des stries verticales découpent la falaise. A la faille (2) est associé un petit axe anticlinal d'axe  $65^{\circ}/SW10^{\circ}-20^{\circ}$  (fig. 42C).

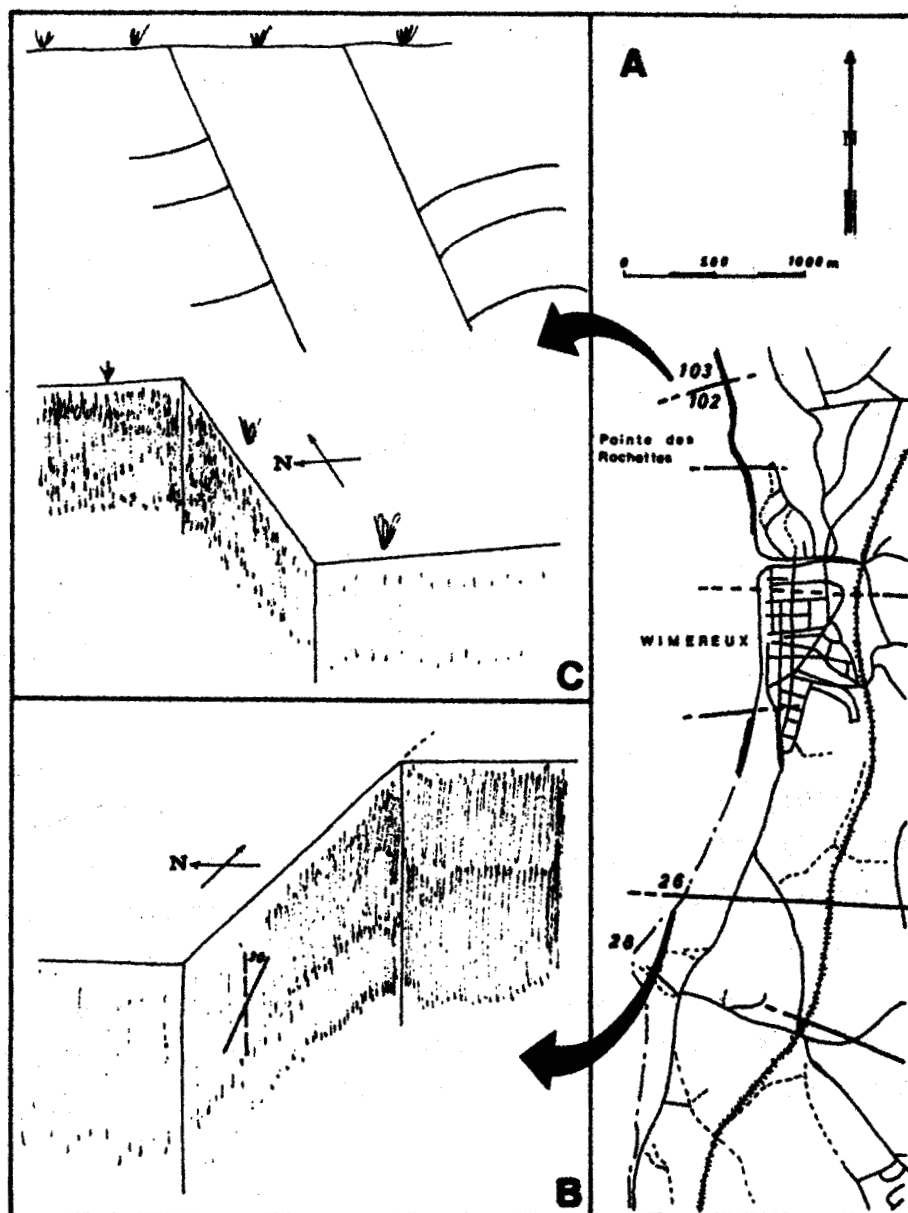


Fig. 42 .- Relations entre joints et failles dans la sous-zone S Ambleteuse.

A, localisation des observations ; B, faille située entre les affleurements 26 et 28 ; C, failles situées entre les affleurements 102 et 103 (j9b.2).

## 2) Sous-zone N-Ambleteuse (fig. 43)

A la pointe du nid de Corbet, aux affleurements J9a4 (18) et (16), une faille normale décale verticalement les bancs de grès (plan de faille  $96^\circ/S58^\circ$ , stries inclinées de  $80^\circ$  vers l'W).

Face à la casemate située au N d'Audresselles, une autre faille à caractère normal découpe les strates ( $92^\circ/N65^\circ$ , stries  $72^\circ W$ ).

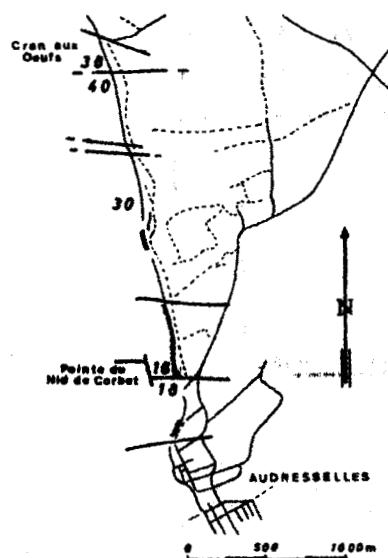


Fig. 43 .- La sous-zone N Ambleteuse.

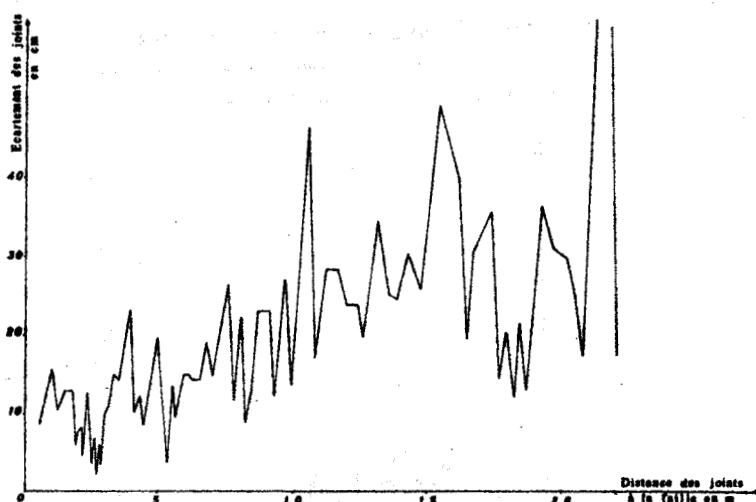


Fig. 44 .- Ecartement des joints à allure de plume en fonction de la distance à la faille située entre les affleurements 38 et 40.

Près du Cran aux Oeufs, entre les affleurements J8b7 (38) et J8b6 (40), un plan de faille ( $92^\circ/N78^\circ$ ) présente des stries douteuses inclinées de  $20^\circ$  à  $30^\circ$  vers l'W. Sur l'estran, des joints à allure de plume de direction générale  $98^\circ$  ont été observés. L'écartement entre ces joints est d'autant plus grand que l'on s'éloigne du plan de faille (fig. 44).

A l'affleurement J8b.3 (30), le même type d'observation a été effectué ; de part et d'autre d'une faille ( $90^\circ/S85^\circ$ ) des joints à allure de plume ont une direction générale de  $89^\circ$  (fig. 45 et 46 ).

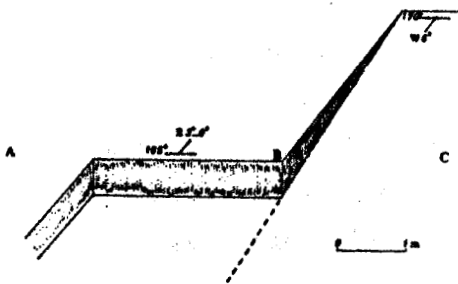


Fig. 45 .- Représentation schématique de la faille située à l'affleurement 30.

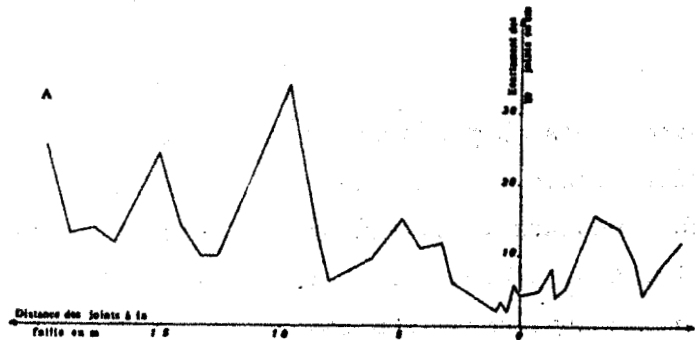


Fig. 46 .- Ecartement des joints à allure de plume de part et d'autre de la faille (30) en fonction de cette dernière.

### 3) Conclusion

La nature des failles qui affectent les terrains secondaires est donc incertaine. Lorsqu'elles sont visibles en falaises, elles montrent des rejets apparemment verticaux et présentent parfois des stries fortement inclinées sur l'horizontale. Par contre sur l'estran en prolongement des intersections, les joints à allure de plume et les axes de microplis associés aux failles indiquent des caractères cisillants. La falaise est de plus généralement décalée horizontalement.

D.- VERS UNE CARACTERISATION DES FACIES DE RUPTURE OBSERVES EN BOULONNAIS

On appellera faciès de rupture, la somme des caractères morphologiques de la déformation cassante (couple de joints cisailants conjugués, joints en échelon, joints à allure de plume, joints chevauchants ...). Aux joints à allure de plume et aux couples cisailants, il est possible d'annexer l'angle ( $2\psi$ ) aigu diédral compris entre les composantes cisailantes.

Le tableau (fig. 47) résume de façon schématique les faciès de rupture observés dans chacun des niveaux stratigraphiques du Boulonnais pour une direction homogène de contrainte interprétée. En regard sont figurés les lithofaciès sur lesquels ont porté les observations.

On remarquera que :

- les joints à allure de plume n'affectent que les niveaux jurassiques et plus spécialement, les niveaux calcaires (épaisseur 10-20 cm) alternant avec des horizons marneux (de même épaisseur) ;

- les couples cisailants ont été observés essentiellement dans les niveaux compacts et homogènes sur de fortes épaisseurs (Givétien, Viséen, Cénomaniens et Turonien supérieur-Sénonien) ;

- l'angle  $2\psi$  est variable d'un étage à l'autre, avec une valeur moyenne de  $60^\circ$  environ. Il a une valeur plus faible ( $50^\circ$ ) dans le cas de niveaux calcaires de faible épaisseur alternant avec des horizons plus plastiques et caractérisés par des joints à allure de plume, que dans le cas de niveaux épais et de comportement global rigide caractérisés eux par des couples de joints conjugués et cisailants ( $70^\circ$ ).

ETAGE	LITHOFACIES	MODE DE REACTION A $\sigma_1$ DE DIRECTION		
		N-S	70°	E-W
Turonien Sénonien C4-3c	Craie blanche			Cc 2 $\phi$ 74°/94° 54°-66°x140°-150°
Cénomanién C2	Craie marneuse			Cc 2 $\phi$ 40°/60° 60°-70°x110°-120°
Portlandien j9c	Grès bancs de 20 cm à 1 m			P très fins Cc 72°x123° 2 $\phi$ 51°
Portlandien j9b	Alternance de cal- caires et marnes bancs de 10 à 20 cm			P 58°x117° 2 $\phi$ 59°
Portlandien j9a	Grès bancs de 1 m		P 40°-45°x102°-106° 2 $\phi$ 57°/66°	P 55°-65°x110°-120° 2 $\phi$ 45°/65° Cc 110°-130°
Kimméridgien niveau 6 j8c	Alternances de cal- caires et marnes bancs de 10 à 20 cm		P 112°-28° 2 $\phi$ 84°	P 50°-70°x110°-130° 2 $\phi$ 40°/60°
Viséen h2	Calcaire compact gros bancs 1 m et plus	Cc 2 $\phi$ 41°/67° 24°-37°x150°-163° j $\perp$ Ch		Cc 2 $\phi$ 57°/78° 55°-78°x125°-133° j // j $\perp$ Ch
Frasnien d5b	Calcaire hétérogène bancs 50 cm à plu- sieurs mètres	j // j $\perp$ Ch		jci 50°-60° j //
Givétien d4b	Calcaire compact bancs plusieurs mètres	Cc 2 $\phi$ 17°/34° 176°-13°x30° E 0°-10° j $\perp$ Ch		Cc 2 $\phi$ 71°/90° 44°-63°x134° j //

Fig. 47 .- Essai de caractérisation des faciès de rupture observés en Boulonnais.

E, joint en échelon ; Cc, couple de joints cisailants ;  
P, joint à allure de plume ; j // , joint dont la direction  
est parallèle à celle de  $\sigma_1$  ; j  $\perp$  ch, joint à caractère  
chevauchant dont la direction est perpendiculaire à celle  
de  $\sigma_1$  ; 2 $\phi$ , angle aigu compris entre les couples de joints  
cisailants.



## E.- CONCLUSIONS SUR LE BOULONNAIS

### I.- CONCLUSION DE L'ETUDE MESOSCOPIQUE

Afin de généraliser les observations et leurs interprétations, deux types de documents ont été établis : des cartes sur lesquelles sont figurées les directions des principales familles de joints et de contraintes, définies en chaque affleurement;

: des tableaux donnant soit l'orientation et la nature des déformations cassantes soit l'orientation des contraintes et la méthode qui a permis leur mise en évidence ainsi que l'échelle des déformations cassantes qu'elles ont provoquées.

#### 1) Carte des principales familles de joints (fig. 49)

Les principales familles de joints mises en évidence dans les chapitres A et B ont été reportées sur un fond commun au 1/50 000 pour chacun des points d'observation. Les directions communes aux différentes familles ont été tracées, ( $10^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $62^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $115^\circ$  et  $132^\circ$ ). Leur distribution dans les terrains primaires est figurée dans le tableau (fig. 48).

Terrains Joints Orientation	Primaires	Secondaires	
$10^\circ$			
$40^\circ$			1
$62^\circ$			2
$90^\circ$			3
$115^\circ$			4
$135^\circ$			

Fig. 48 .- Les principales familles de joints à l'échelle du Boulonnais.  
1, absent ; 2, peu abondant ; 3, abondant ; 4, très abondant.

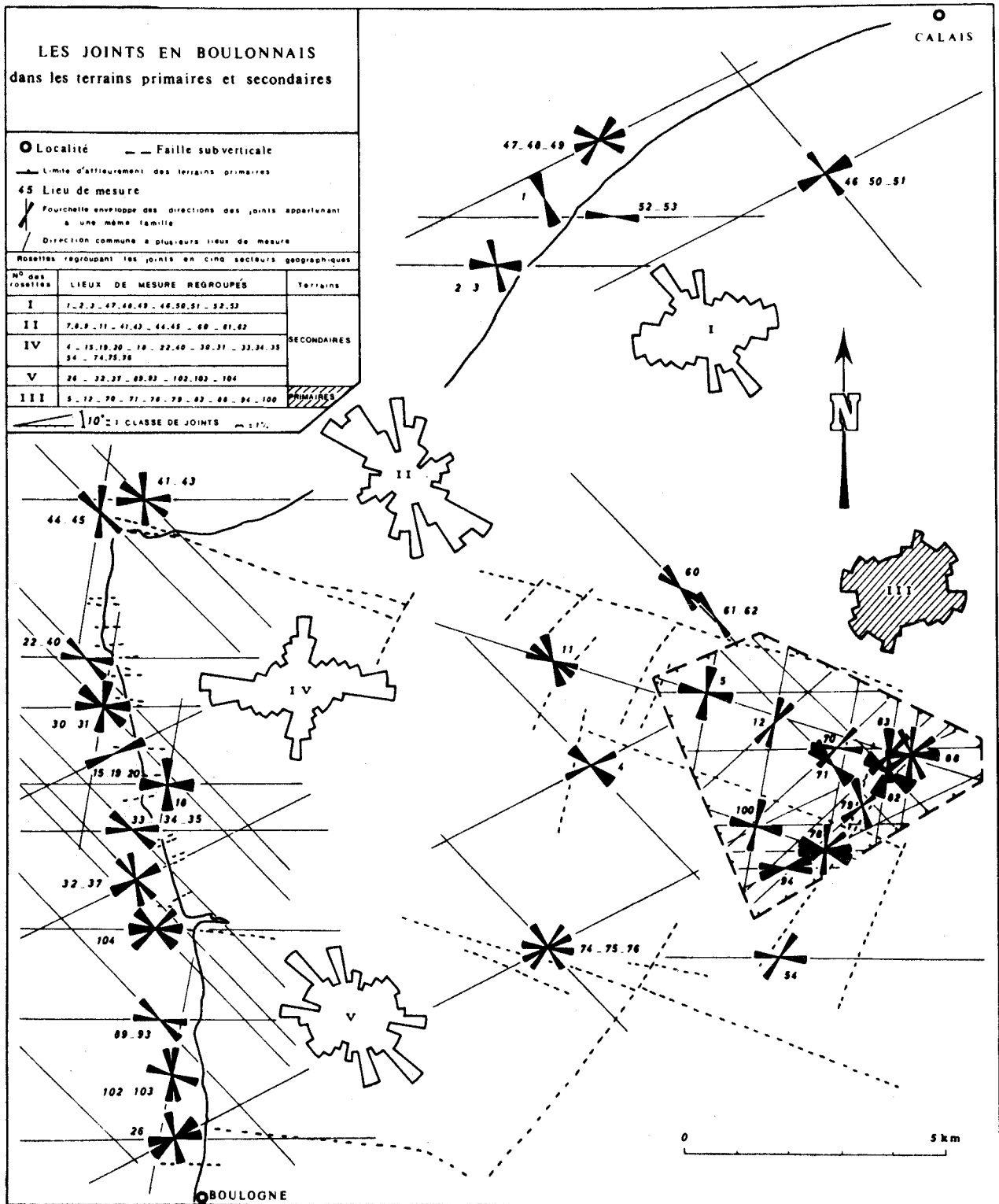


Fig. 49 .- Les joints en Boulonnais dans les terrains primaires et secondaires.



## 2) Carte des directions de contraintes (fig. 50)

Suivant le même principe que ci-dessus, les directions de contraintes ont été reportées sur carte et leur distribution figurée dans le tableau (fig. 51).

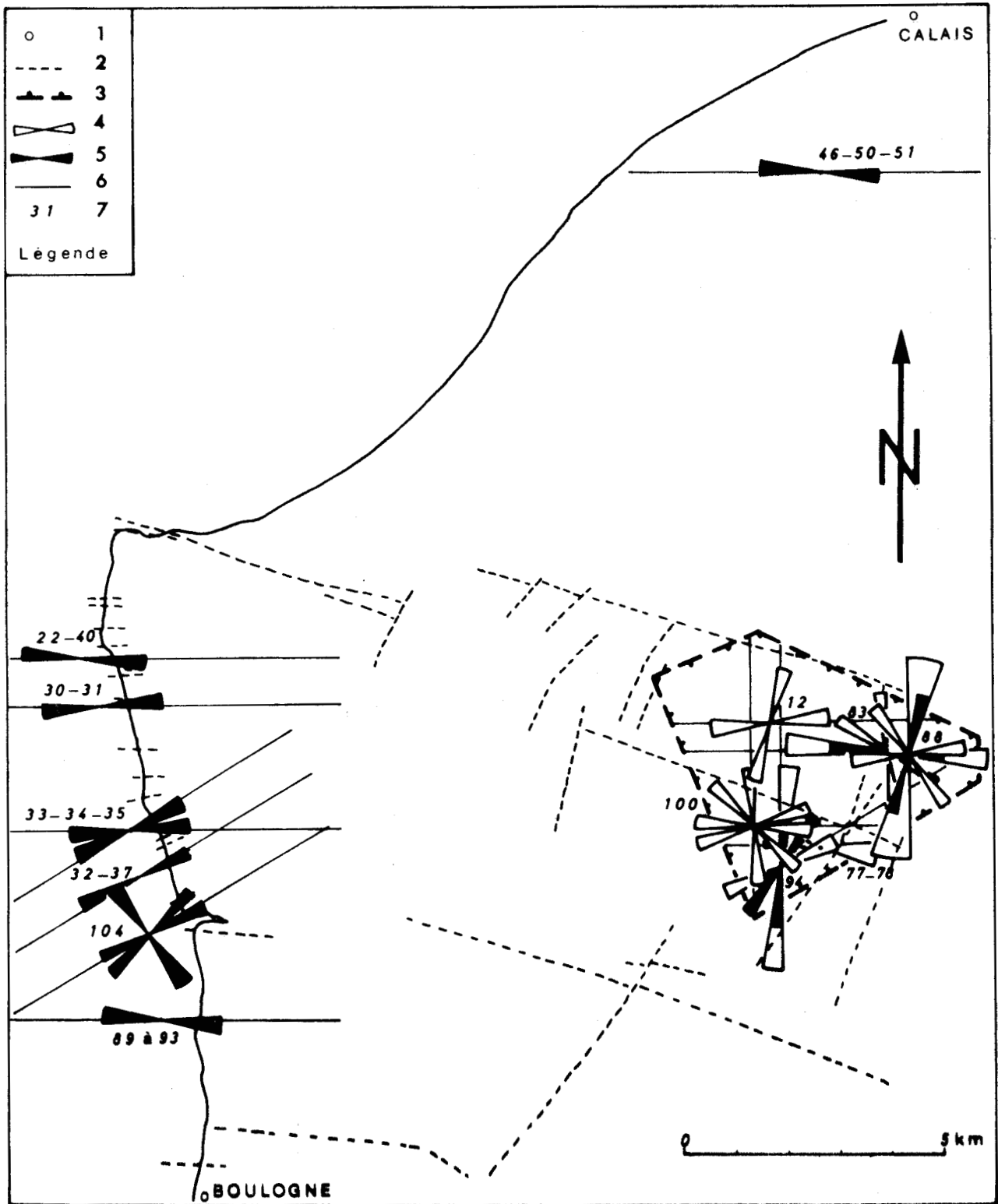


Fig. 50 .- Les contraintes de compression en Boulonnais dans les terrains primaires et secondaires.

1, localité ; 2, faille sub-verticale ; 3, limite d'affleurement des terrains primaires ; 4, 5 ; fourchettes des orientations de  $\sigma_1$  interprétées à partir des calques (4), de la méthode de Cruden (5) ; 6, direction de contrainte commune à plusieurs affleurements ; 7, n° de l'affleurement.

Orientation de $\sigma$ ,	Dans les terrains	
	Primaires	Secondaires
$0^\circ$		
$68^\circ$		
$90^\circ$		

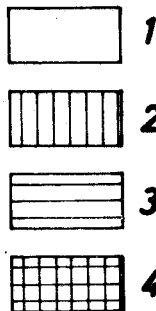


Fig. 51 .- Les principales orientations de contraintes en Boulonnais.

1, absent ; 2, peu abondant ; 3, abondant ; 4, très abondant.

3) Commentaire du tableau synthétique des observations (fig. 52)

SENONIEN TURONIEN supérieur					$C_c$							$C_c$		
CENOMANIEN					$C_c$					$C_c$				
PORTLANDIEN supérieur					$C_c$			$P$				$C_c$		
PORTLANDIEN moyen	$C_c$						$P$		$P$			$C_c$		
PORTLANDIEN inférieur			$C_c$		$P$			$P$				$C_c$		
KIMMERIDGIEN niveau 6							$P$		$P$			$C_c$		
KIMMERIDGIEN niveau 4									$P$					
WISEEN	$C_c$	$C_c$	$C_c$	$t$	$C_c$	$C_c$		<b>Ch</b>				$C_c$		$C_c$
FRASNIEN supérieur		$C_c$				$C_c$			<b>Ch</b>					
GIVETIEN supérieur	•		$C_c$			$C_c$			<b>Ch</b>			$C_c$		$C_c$

Fig. 52 .- Tableau synthétique des observations.

Nature des déformations

Echelle des déformations

$C_c$  : couple cisailant

$P$  : joint à allure de plume

$e$  : joint en échelon

$t$  : joint de tension

$c$  : centimétrique à décimétrique

$C$  : " à métrique

$C_c$  : " à décimétrique

$C_c$  : " à hectométrique

$30^\circ$  : direction du plan de la déformation.

La distribution des directions des plans des dé-

formations cassantes est plus large dans les assises primaires ( $0^\circ$  à  $180^\circ$ ) que dans les assises secondaires ( $50^\circ$  à  $130^\circ$ ). Dans les terrains primaires,

les déformations cassantes d'amplitude décimétrique sont de deux types : l'un cisailant selon des directions de  $20^\circ$  à  $60^\circ$ , l'autre chevauchant

avec des plans de direction  $80^\circ$ - $100^\circ$ . Dans les terrains secondaires, les déformations cassantes ont un caractère cisailant avec des directions de  $110^\circ$ - $150^\circ$ .

4) Commentaire du tableau synthétique des interprétations (fig. 53)

Suivant l'ampleur de leurs effets, on peut distinguer trois groupes de contraintes.

SENONIEN TURONIEN supérieur								C <sub>0</sub>					
CENOMANIEN								C <sub>0</sub> S					
PORTLANDIEN supérieur								C					
PORTLANDIEN moyen				c				c				c	
PORTLANDIEN inférieur				c			c						
KIMMERIDGIEN niveau 6				c			c	C					
KIMMERIDGIEN niveau 4								c					
VISEEN	C S			c			s	S			s		
FRASNIEN supérieur	S							S					
GIVETIEN supérieur	C S							C S			S		s

Fig. 53 .- Tableau synthétique des interprétations.

$\sigma_1$  interprété à partir de a provoqué des déformations d'échelle

- C : calques
- S : stries (Cruden)
- C<sub>0</sub> : rosettes et stéréogrammes
- c : centimétrique à décimétrique
- C : " à métrique
- C : " à décamétrique
- C : " à hectométrique

Le premier recouvre celles qui n'ont donné que des déformations cassantes d'échelle centimétrique à décimétrique, elles sont orientées de 35° à 55°, 65° à 75°, 140° à 150° et dans la plupart des cas elles sont données par l'étude des calques.

Le deuxième groupe celles qui découlent de l'interprétation des diagrammes de Cruden uniquement, elles n'auraient donc que provoqué le jeu de plans de rupture préexistants ; leurs directions sont : 65° à 75°, 115° à 130° et 140° à 150°.

Le troisième comprend celles qui ont provoqué des déformations d'échelle centimétrique à décimétrique (et parfois plus), elles ont pour orientations : 175° à 15° et 80° à 105°.

Les contraintes liées aux deux premiers groupes ne figurent que sporadiquement. Celles du troisième groupe se sont manifestées soit dans les assises primaires ( $175^\circ$  à  $15^\circ$ ) soit à la fois dans les assises primaires et secondaires ( $80^\circ$  à  $105^\circ$ ).

## II.- SYNTHÈSE REGIONALE

L'ensemble des observations relatives à la répartition statistique des joints et à leur nature permet de proposer que les terrains primaires ont été affectés de contraintes principales maximales d'orientation (N-S) puis (E-W). Dans les niveaux secondaires, par contre, la direction essentielle des contraintes serait uniquement (E-W). Il paraît donc possible à ce stade d'attribuer strictement à l'orogénèse hercynienne la direction (N-S) alors que celle (E-W) est soit commune à l'orogénèse hercynienne et à l'orogénèse alpine soit propre à cette dernière. Par analogie avec l'Artois, l'âge des déformations alpines en Boulonnais serait contemporain de l'aube du Tertiaire (vraisemblablement à la limite du Secondaire et du Tertiaire).

Les failles régionales d'orientation  $100^\circ$ - $110^\circ$  ne peuvent être le résultat de l'application de contraintes (N-S). L'ensemble des observations des familles de joints et de la cinématique de la déformation indique la présence de phénomènes de cisaillement d'autant plus marqués que l'on se situe près des accidents. Or, jusqu'à présent, l'hypothèse tectonique régionale classique était de considérer le Boulonnais comme une structure en dôme anticlinal issue du rejeu vertical de failles profondes d'orientation  $100^\circ$ - $110^\circ$ .

Le ploiement du Paléozoïque en dôme lors d'une phase hercynienne ultime peut être envisagé. On peut même envisager la permanence d'une telle structure régionale sur laquelle vient s'adapter une paléogéographie secondaire, mais, quoiqu'il en soit, on est désormais amené à définir dans cette région des phénomènes cisailants caractérisés par des déplacements à composante horizontale majeure. L'ensemble du Boulonnais (Primaire et couverture) traduit de tels cisaillements : la déformation régionale paraît régulièrement répartie dans les jeux relatifs de damiers isolés par les fractures  $100^\circ$ - $110^\circ$  et leurs normales,

: la prédominance de joints d'orientation  $120^{\circ}$ - $140^{\circ}$  (fig. 49) de part et d'autre d'une zone N-Ambleteuse - massif primaire.

Il apparaît donc que des mouvements cisailants importants d'orientation  $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$  ont pris place dans une zone passant immédiatement contre le Cap Gris-Nez et à l'E dans la partie N du massif primaire. Partout où ils ont été pressenties, ils ont un caractère cisailant dextre. Il était donc important à ce stade de l'étude, de porter une attention particulière aux accidents situés en prolongement de cette zone en direction de l'E. On envisagera donc cette éventuelle extension d'W en E du Boulonnais au S de la Belgique dans le chapitre suivant.

**TROISIEME PARTIE****EXTENSION VERS L'EST DU BOULONNAIS**

**A.- LE BASSIN HOILLER**

**B.- LE TOIT DU PALEOZOIQUE ET SA COUVERTURE DANS LE NORD DE LA FRANCE**

**C.- LE DOME DU MELANTOIS**

**D.- LE BORD S DU MASSIF DU BRABANT**

L'extension vers l'Est du Boulonnais (fig. 54, 1) et donc de l'accident cisailant dextre du Gris-Nez mis en évidence au chapitre précédent a été envisagée de deux manières : d'une part, par une

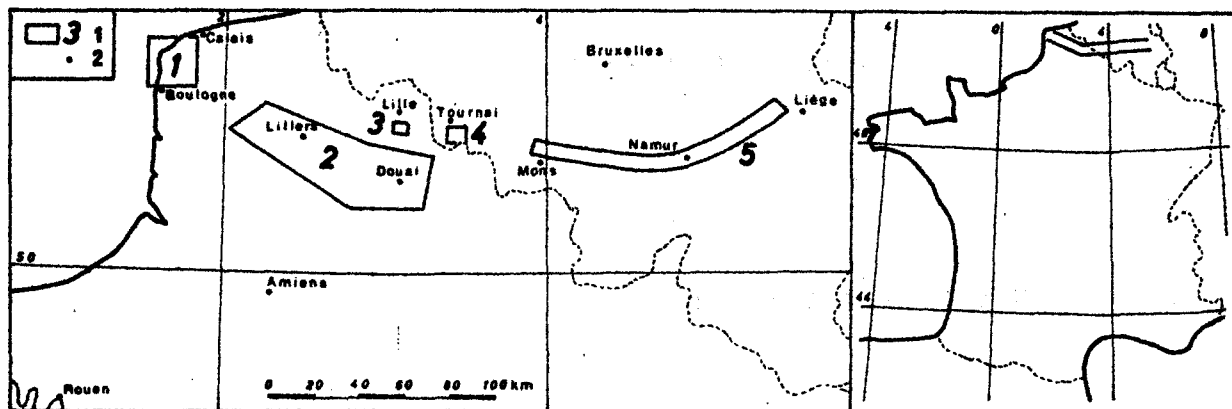


Fig. 54 .- Localisation des zones étudiées dans le Nord de la France.

1, extension et indice de la zone étudiée ; 2, localité.

étude cartographique des données bibliographiques relatives au bassin houiller (fig. 54, 2), à la région Nord-Artois et au bord S du massif du Brabant (fig. 54, 5), et d'autre part par une étude de terrain sommaire dans les régions de Lille et Tournai (fig. 54, 3 & 4). On gardera en mémoire que l'exploitation d'une cartographie à grande échelle (du 1/50 000 ème au 1/320 000 ème) ne peut conduire à des hypothèses cinématiques de même ordre que celles émises en Boulonnais ou dans le Mélantais. Ces dernières en effet, sont basées sur une exploitation statistique de très nombreux joints et de stries matérialisant les déplacements. On sera donc amené à se poser le problème de la cohérence des résultats cartographiques à grande échelle avec ceux de l'échelle mésostructurale.

#### A.- LE BASSIN HOULLER (fig. 54, 1 & 2 et fig. 55)

La figure 55 évoque le tracé des principales failles sub-verticales qui découpent le bassin houiller du Nord - Pas-de-Calais. Reconnues par les travaux miniers, ces failles affectent soit les assises primaires seules, soit les assises primaires et secondaires ; elles sont alors qualifiées d'épicrétacées selon une terminologie introduite par Gosselet (1906, p. 36) qui note que ces failles ont conduit à l'abaissement de la Flandre de 150 à 200 m par rapport à l'Artois. Bouroz (1956) montre qu'à la faveur d'une phase épicrotécée, le compartiment S de la faille de Marqueffles s'est déplacé avec "un mouvement ascensionnel oblique vers le NW en présentant une composante horizontale non négligeable"

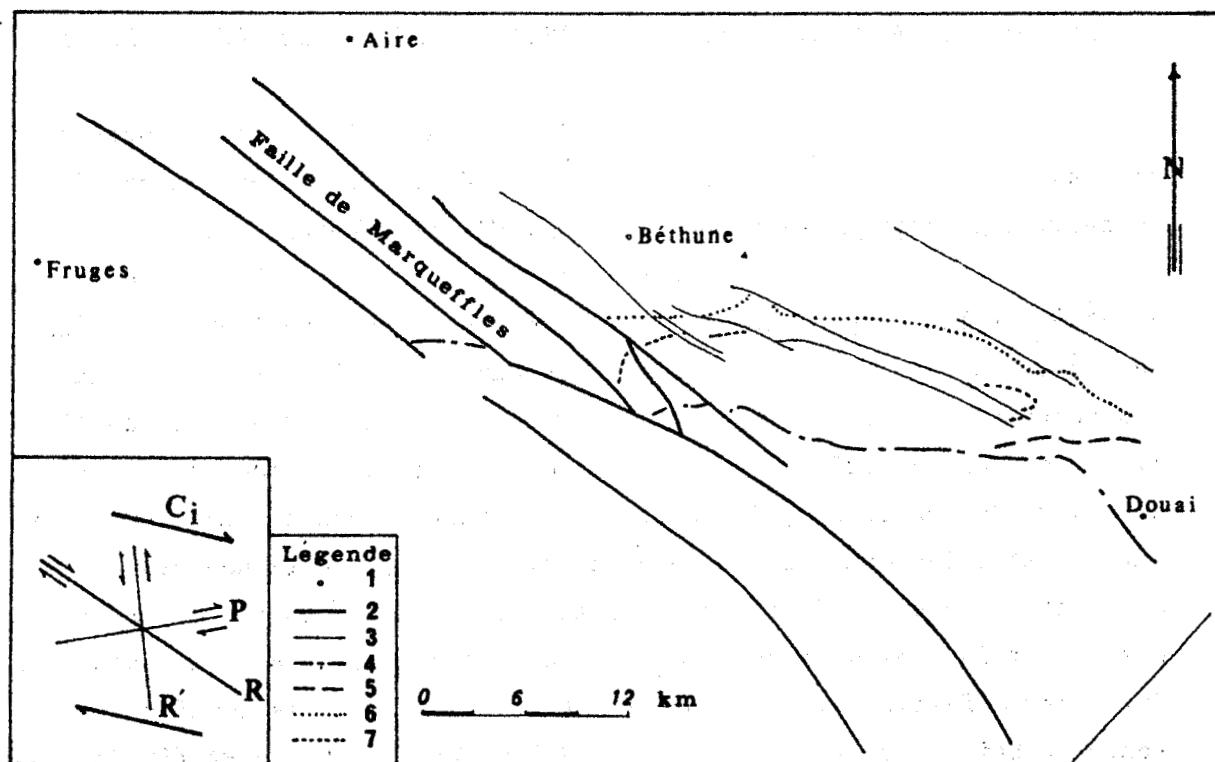


Fig. 55 .- Les failles du bassin houiller (D'après BOUROZ et *al.*, 1962).

1, localité ; 2, 3, failles subverticales, épicrotácées (2), non reconnues comme épicrotácées (3) ; 4, faille du Midi ; 5, faille Barrois ; 6, faille Pruvost ; 7, faille de Gabion-Rangonnieux ; Ci, cisaillement principal ; R, joint cisailant de Riedel ; R', joint conjugué de Riedel ; P, joint cisailant-chevauchant.

(p. 53). Ces failles subverticales qu'elles soient épicrotácées ou non, ont toutes même orientation (fig.55) et le rejet de la faille de Marqueffles montre une composante horizontale. Il s'agirait d'un accident cisailant dextre. Dans la terminologie descriptive de Tchalenko et Ambraseys (1970), le système de failles serait un système de failles de Riedel caractérisant une zone de cisaillement dextre.

On notera qu'une telle conclusion ne repose ici que sur des données très générales, à l'échelle du bassin houiller. La structure de ce bassin ne s'oppose pas à l'hypothèse, formulée en Boulonnais à partir d'une étude fine, de l'existence de mouvements cisailants dextres.



*B.- LE TOIT DU PALEOZOIQUE ET SA COUVERTURE DANS LE NORD DE LA FRANCE*

Caulier (1974) a recensé deux mille sondages effectués dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais et archivés au service géologique régional (B. R. G. M. Lille-Lezennes).

Les descriptions des sondages, l'étude des carottes et les diagraphies lui ont permis de tracer au 1/50 000 puis au 1/200 000 deux types de cartes : des cartes des isobathes du toit des terrains primaires (fig. 56), du Cénomaniens, du Turonien moyen (fig. 57) et du contact Crétacé-Tertiaire ; des cartes en isopaches de l'argile du Gault, du Cénomaniens, du Turonien inférieur, moyen et supérieur. Ces cartes, établies dans un but purement hydrogéologique (étude des nappes de la craie) peuvent être examinées sur le plan structural. En effet, mis à part la zone du bassin houiller où elles étaient bien connues, les différentes failles figurées précisent et complètent les données de Bouroz & Stiévenard (1958) et de la CFP, COPESEP, RAP & SNPA (1965).

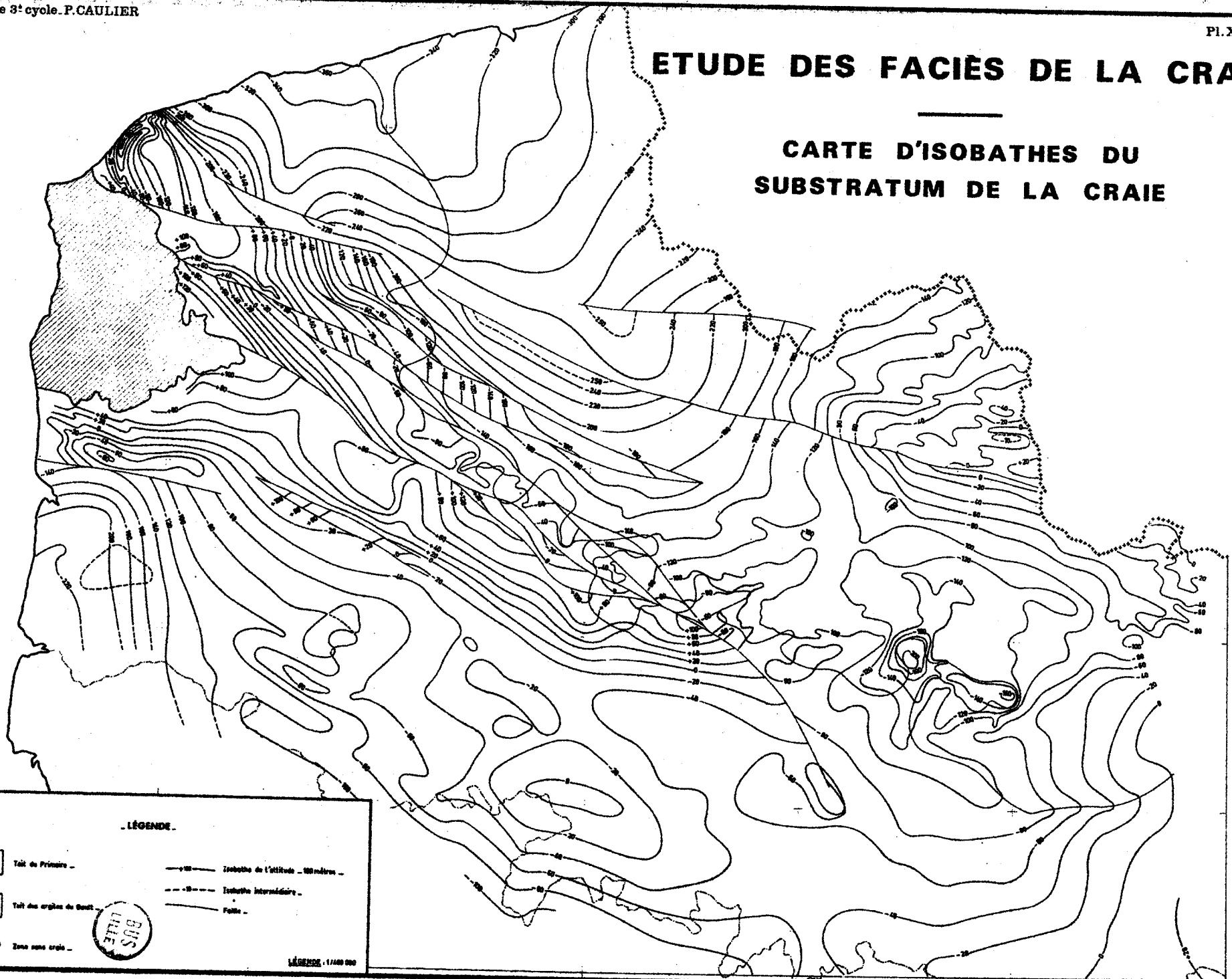
Sur ses cartes en isobathes, Caulier a figuré près d'Hazebrouck (fig. 56 & 57) une dépression d'axe ( $150^{\circ}$ - $160^{\circ}$ ) qui marque les surfaces du Primaire et du Turonien moyen et supérieur. Cette dernière est découpée et décalée par une série de failles d'orientation ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ). Le déplacement horizontal est dextre et a une amplitude de 10 à 12 km dans l'ensemble de la zone considérée. Les rejets verticaux ont une valeur maximum de 100 m, on peut donc considérer que le système de failles a un caractère cisailant dextre.

Cette conclusion repose sur l'interprétation des forages donnée par Caulier et non sur des observations directes sur le terrain. Il n'en reste pas moins qu'elle confirme et les conclusions tirées de l'allure géométrique des failles à fort pendage affectant le bassin houiller, et les interprétations découlant de l'étude de terrain effectuée en Boulonnais.





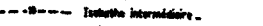
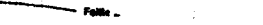
Fig. 56 .- Carte d'isobathes du substratum de la craie (CAULIER, 1974).

# ETUDE DES FACIÈS DE LA CRAIE

## CARTE D'ISOBATHES DU SUBSTRATUM DE LA CRAIE



LÉGENDE

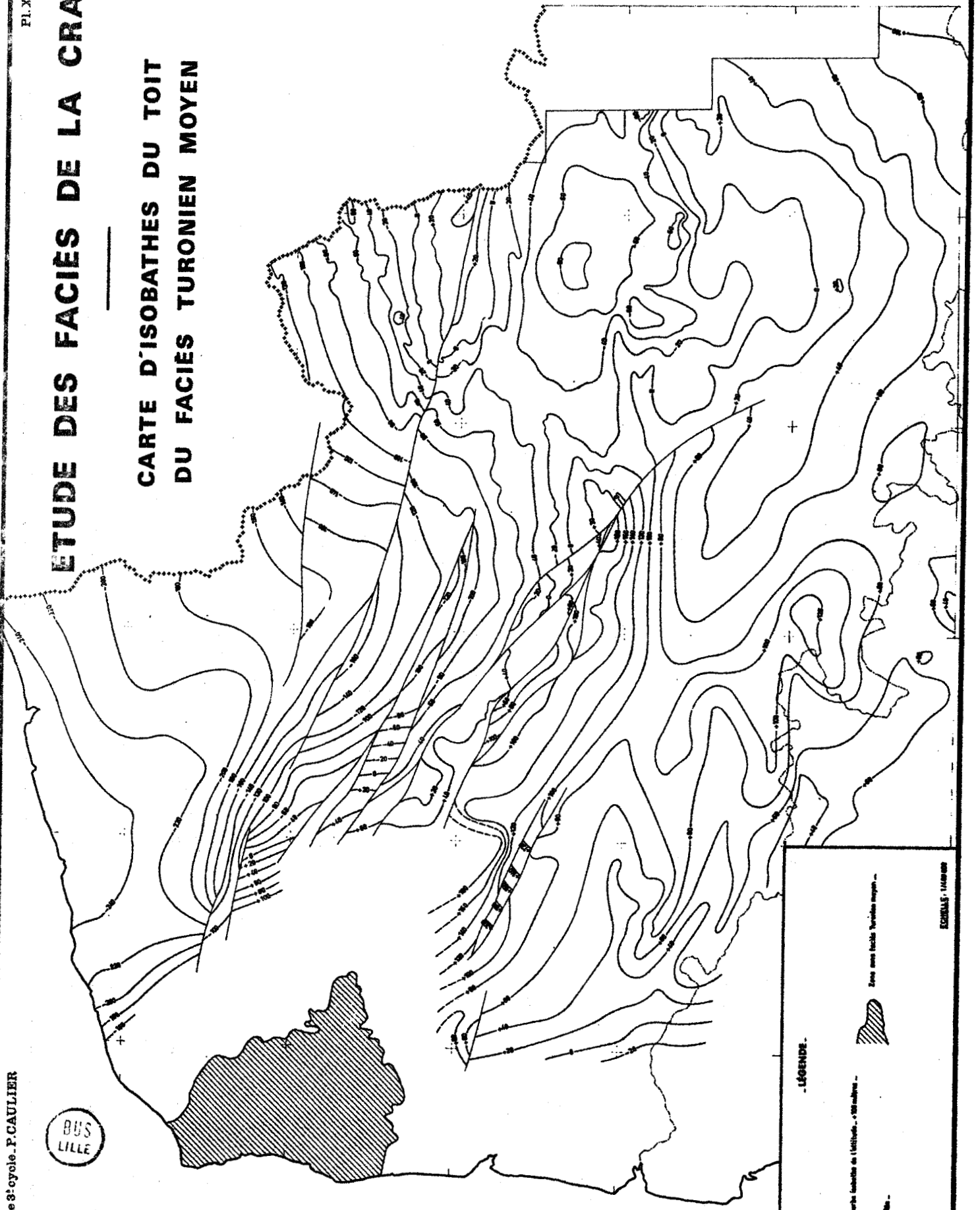
-  Talil de Primaire
-  Talil des argiles de Soudil
-  Zone sans craie
-  Isobathe de l'altitude - 100 mètres -
-  Isobathe intermédiaire
-  Faille



LÉGENDE 1/100 000

# ETUDE DES FACIÈS DE LA CRAIE

## CARTE D'ISOBATHES DU TOIT DU FACIÈS TURONIEN MOYEN



Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. P. CAULIER

Fig. 57 .- Carte d'isobathes du toit du faciès Turonien moyen (CAULIER, 1974).

- LÉGENDE -

Craie (niveau de l'altitude... 100 mètres)  
 Zone avec facies Turonien moyen  
 Fosse

ÉCHELLE: 1:100 000

## C.- LE DÔME DU MELANTOIS (fig. 58 et 59)

## I.- DONNES BIBLIOGRAPHIQUES

Passant par Hazebrouck, Haubourdin, Sainghin et au SE de Tournai, le "dôme" du Mélantois et ses prolongements se traduisent dans la topographie par une dénivellation de 20 à 30 m. L'expression "dôme" du Mélantois est due à Gosselet (1905) qui y voyait "une ancienne saillie du fond de la mer recouverte en discordance par les sédiments secondaires (Crétacé) et tertiaires (Landénien, Yprésien, Lutétien et Bartonien)".

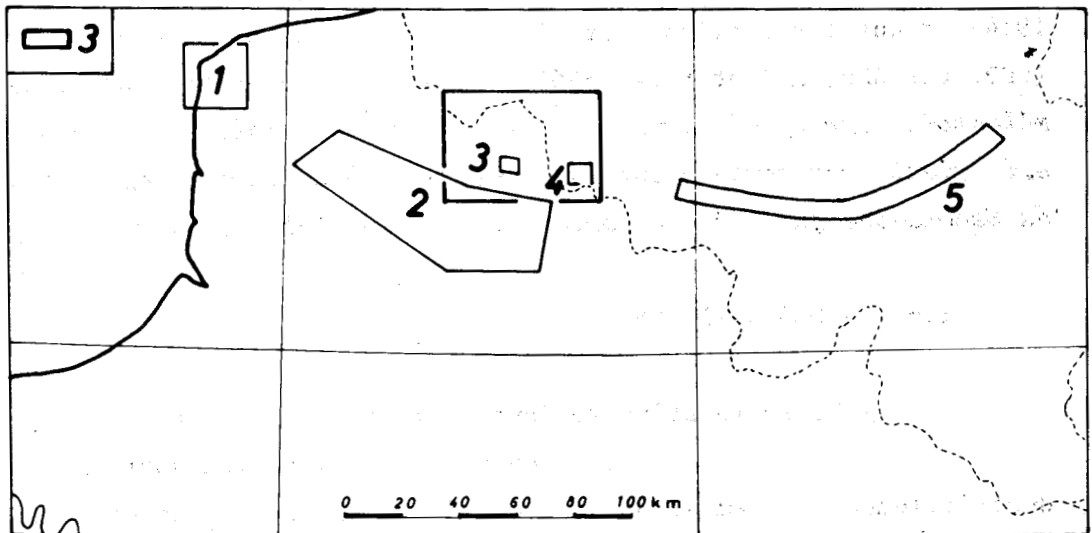


Fig. 58 .- Localisation des zones étudiées.

1, extension et indice de la zone étudiée.

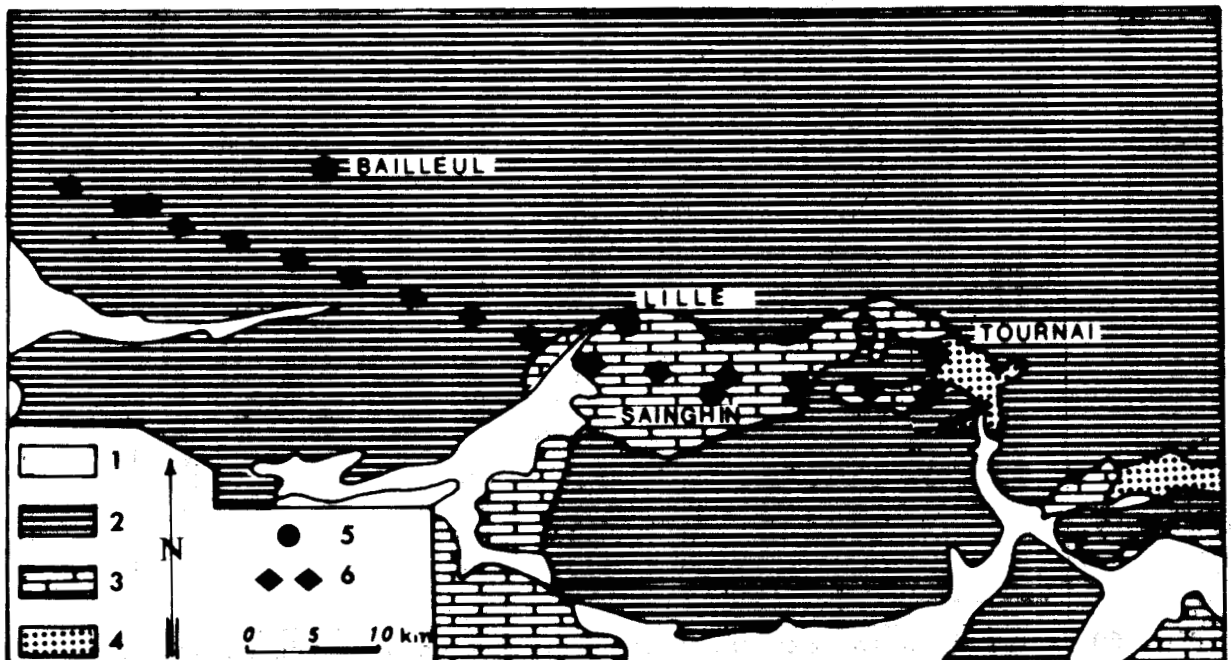


Fig. 59 .- Carte géologique schématique de la région de Lille (D'après G. WATERLOT, 1969).

1, alluvions ; 2, Tertiaire ; 3, Crétacé ; 4, Primaire ; 5, localité ; 6, axe du "dôme" du Mélantois.

Suite aux travaux de Cornet (1925), Waterlot (1948, 1969) et Bonte (1955) cette structure est considérée comme un anticlinal d'âge hercynien qui fût le siège d'une surrection plus ou moins continue depuis le Crétacé inférieur. La couverture crétacée étudiée par Bonte (1957) et Fenet (1965) révèle l'existence de failles directionnelles ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ) à faible rejet vertical (3 à 5 m) et à miroirs striés tantôt verticalement, tantôt obliquement ou horizontalement ; ces failles donnent à l'ensemble une structure en panneaux décalés verticalement les uns par rapport aux autres. Le toit du Primaire forme un bombement au niveau du "dôme", on sait d'ailleurs d'après les sondages que les couches sont généralement très faillées (Delépine & Joly, 1954 ; Gosselet, 1905 ; Pruvost, 1914) et que les failles sont directionnelles et orientées  $105^{\circ}$  à  $125^{\circ}$  (CFP, COPESEP, RAP et SNPA, 1965). Il apparaît donc "que l'accident du Mélançois correspond, dans le socle, à une zone faillée ... ces failles existaient sans doute avant la transgression crétacée, jouant au cours du Secondaire jusqu'à nos jours ..." (Bonte, 1957, p. 160).

## II.- LES OBSERVATIONS

### 1) Le socle primaire dans la région de Tournai

Les calcaires du Tournaisien sont exploités industriellement à 4 km au SE de Tournai (Belgique) en vastes carrières (fig. 60) qui permettent un relevé aisé des joints ; ces calcaires corres-

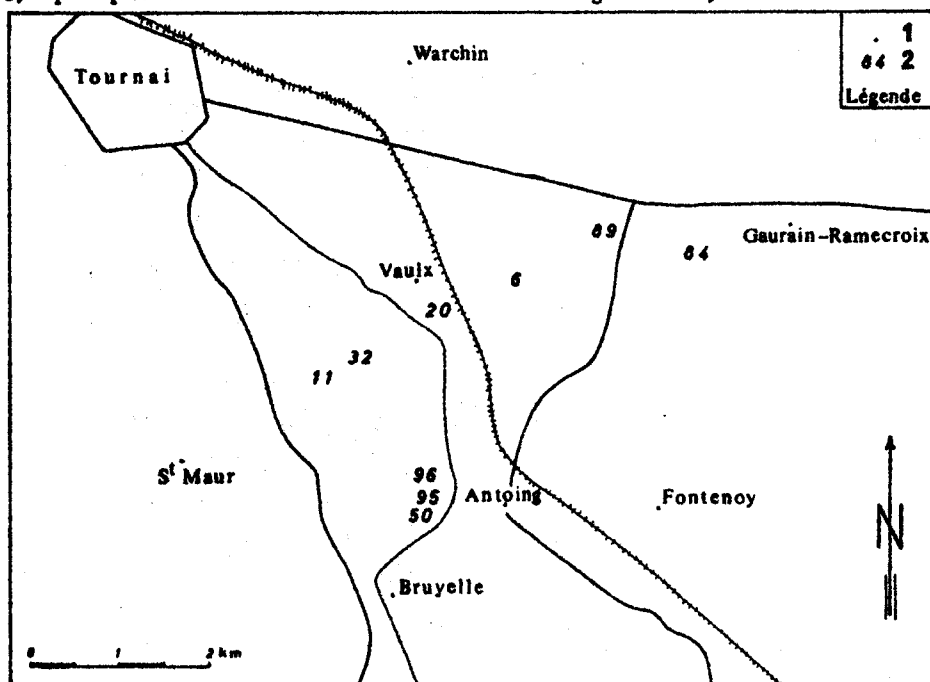
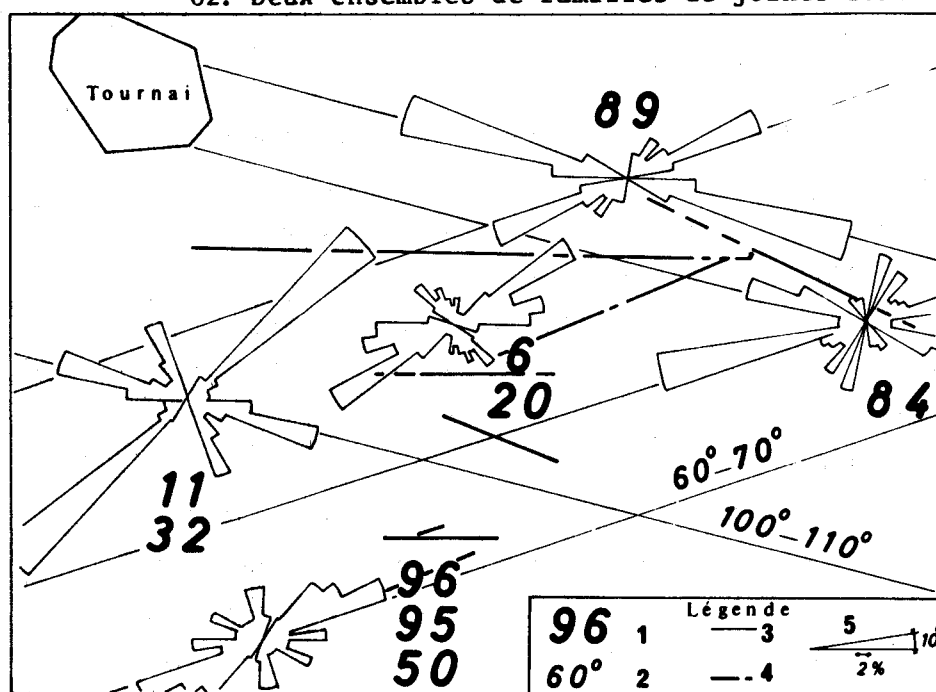


Fig. 60 .- Localisation des carrières étudiées dans la région de Tournai.

1, localité ; 2, n° de l'affleurement.

pondent à la bordure SW de l'anticlinal du Brabant. Les couches sont inclinées de  $0^{\circ}$  à  $10^{\circ}$  vers le S et les niveaux concernés par les mesures appartiennent à l'assise de Celles (tn3 de Dorlodot, 1895 ; niveaux tn3b $\alpha$ , tn3b $\beta$ , tn3c $\alpha$  du lexique stratigraphique international). L'analyse des joints (Colbeaux, 1972) a conduit à l'établissement des figures 61 et 62. Deux ensembles de familles de joints sont ainsi mis en évidence :



- 1, n° de l'affleurement ;
- 2, 3, direction de joints commune à plusieurs affleurements ;
- 4, faille (d'après CAMERMAN, 1944) ;
- 5, un secteur de  $10^{\circ}$  représente une famille de joints.

Fig. 61 .- Distribution des joints dans le Dinantien de la région de Tournai.

ASSISE DE CELLES Niveaux	N°	LES JOINTS		N°	LES JOINTS	
		N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>m</sub>	Familles de joints
tn3c	50	58	60°- 70°/90°	89	33	
	95					
	96		100°-110°/90°			
			160°-170°/90°			
tn3b	6	147	50°- 60°/90°	11	100	40°- 50°/90°
	20		70°- 80°/90°			
tn3b	84	78	10°- 20°/90°	89	33	
			70°- 80°/90°			
			110°-120°/90°			

Fig. 62 .- Tableau des principales familles de joints dans la région de Tournai.

N°, n° de l'affleurement ; N<sub>m</sub>, nombre de mesures.

((50°-70°) & (100°-120°)) et ((10°-20°) & (160°-170°)). Le premier ensemble groupe des joints nombreux, bien visibles sur le terrain et indique une contrainte  $\sigma_1$  de direction (E-W) alors que le second associe des joints peu marqués et donnant un  $\sigma_1$  d'orientation (N-S). Le fait que les joints du premier ensemble soient mieux marqués que ceux du deuxième permettrait de penser que  $\sigma_1$  de direction (E-W) est postérieur à  $\sigma_1$  d'orientation (N-S).

Sur la figure 61, les directions de joints communes ((60°-70°) & (100°-110°)) aux différentes rosettes ont été tracées : elles sont identiques à celles des failles représentées par Camerman (1944). De tels joints et failles seraient liés aux contraintes d'orientation (E-W). Les failles de direction (80°-90°), par contre, n'ont pas leur équivalent à l'échelle des joints. On remarquera simplement qu'elles sont parallèles au système de failles donné par Caulier (fig.57) dans la région lilloise.

## 2) La couverture secondaire dans la région de Lille (fig. 59)

Une étude de population de joints a été effectuée dans une carrière ouverte au sein de la craie du Turonien supérieur à 1' W de Sainghin-en-Mélantois (X = 657,2 - Y = 321,0). Les joints (101) mesurés se répartissent en deux familles principales (fig.63A) de directions (50°-60°) et (150°-160°) à fort pendage compris entre 65° et 90°.

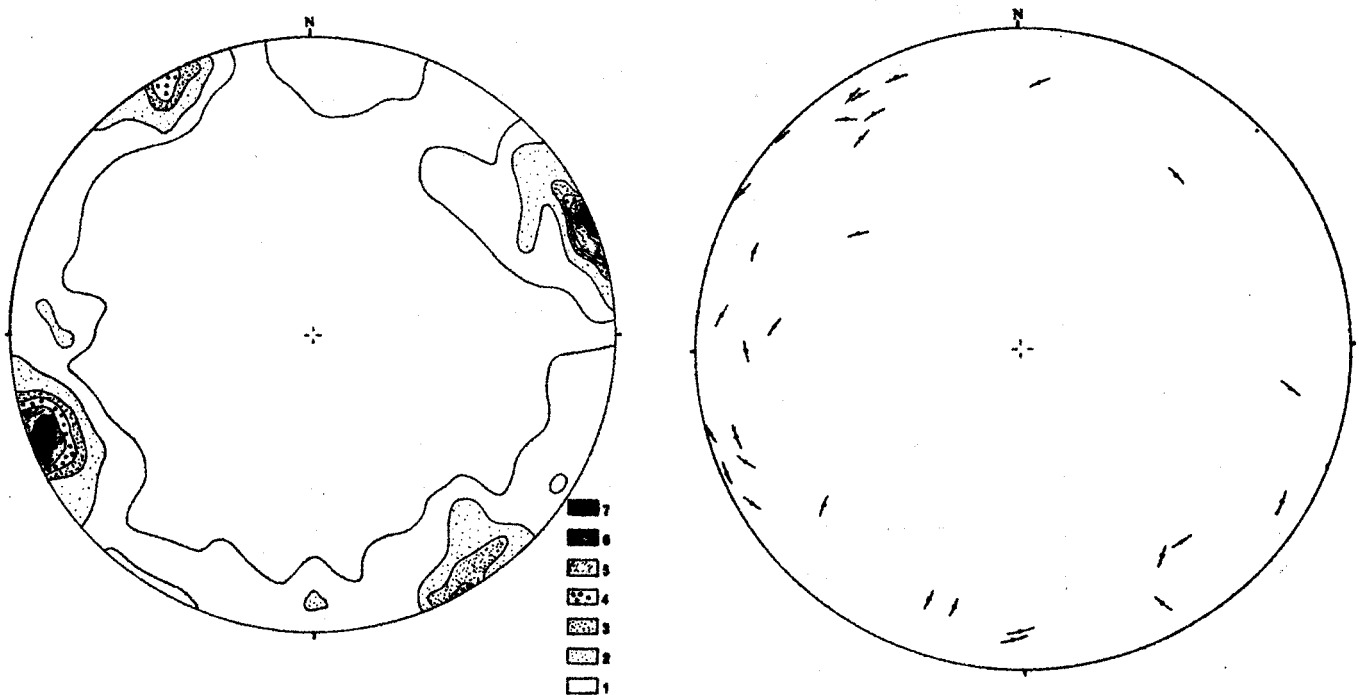


Fig. 63 .- A - Stéréogramme des joints de Sainghin-en-Mélantois (X = 657,2 ; Y = 321,0).

B - Représentation stéréographique des joints à surface striée de Sainghin-en-Mélantois.

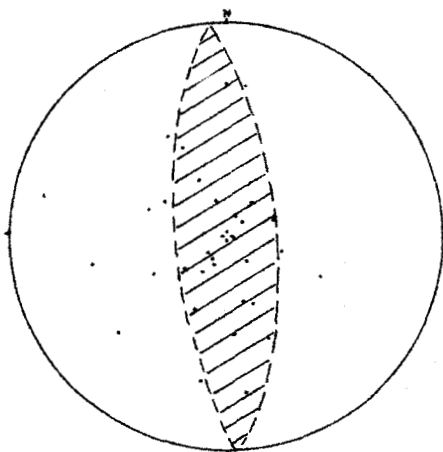


Fig. 64 .- Diagramme de Cruden pour les joints à surface striée de Sainghin-en-Mélantois.

Les joints (30) à surface striée ont une direction privilégiée comprise entre  $50^{\circ}$  &  $60^{\circ}$  et un caractère cisailant nettement marqué (fig. 63B) ; leur interprétation par la méthode de Cruden est néanmoins délicate (fig. 64) ; les points en effet ne se répartissent pas sur un grand cercle, mais forment un nuage d'axe sensiblement (N-S). Les points excentriques à ce nuage sont de plus ceux correspondant à des stries peu marquées et assez difficiles à exploiter. Cette concentration permet d'avancer que la contrainte de compression maximale  $\sigma_1$  serait sensiblement (E-W).

Les joints bien marqués (JBM) ont une direction comprise entre  $105^{\circ}$  et  $115^{\circ}$ . Ils seraient homothétiques d'un système de failles de direction ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ), figuré d'ailleurs, à environ 200 m de la carrière, sur la carte géologique au 1/50 000 ème de Lille - Halluin et sur les cartes de Caulier (1974) (fig. 57).

### III.- CONCLUSION

Toutes les coupes du "dôme" du Mélantois données par les différents auteurs s'accordent en un schéma de panneaux décalés verticalement par des failles de direction ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ). L'interprétation classique de cette structure est un soulèvement du socle le long de failles ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ) induisant la rupture de la couverture en panneaux et la disposition régionale en bombement anticlinal.



Les études de joints ont montré l'existence de contraintes (N-S) puis sans doute (E-W) dans les assises primaires de la région de Tournai, alors que seule la direction E-W se retrouve dans les assises secondaires superposées à ce Primaire dans la région de Lille ; le travail de Caulier (1974) laisse supposer que le "dôme" est caractérisé par une zone faillée cisailante de direction ( $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ). Aussi est-il désormais possible à partir de l'étude des joints et de leur nature de considérer que la zone faillée correspondant au "Dôme" du Mélandois a un caractère cisailant. Elle aurait joué aux diverses époques géologiques avec un mouvement à composante horizontale forte et verticale faible (dans la craie, les stries ont une inclinaison moyenne de  $30^{\circ}$  sur l'horizontale). Dans cette optique, à Sainghin-en-Mélantois, les joints de direction ( $50^{\circ}$ - $60^{\circ}$ ) seraient directement liés à la contrainte  $\sigma_1$  d'orientation E-W alors que les joints de direction ( $150^{\circ}$ - $160^{\circ}$ ) seraient des joints de second ordre (tels qu'ils ont été définis par Lajtai, 1969 et Price, 1968) liés à un cisaillement dextre.

#### D.- LE BORD S DU MASSIF DU BRABANT

De Seclin à l'W jusque Liège sur la Meuse à l'E (fig. 65) une faille, la *faille bordière du massif du Brabant* souligne le bord S du massif. Il n'en sera donné que les traits caractéristiques et pour plus de précisions, on se reportera à l'ouvrage que Legrand lui a consacré en 1968.

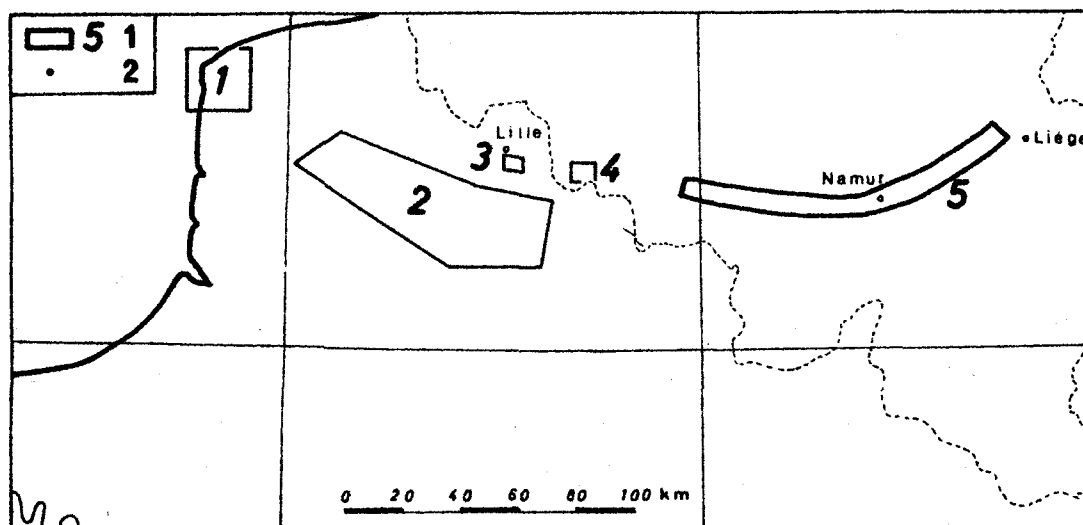


Fig. 65 .- Localisation de la zone étudiée.

1, localité ; 2, extension et indice de la zone étudiée.

Bordée au N de terrains viséens et au S de terrains westphaliens (bassin houiller), la faille est fortement redressée sur toute sa longueur ( $70^\circ$  vers le N, là où les travaux miniers l'ont rencontrée). Dans les assises primaires, il ne s'agit pas d'une faille unique, de nombreuses failles mineures viennent en effet s'y raccorder ; dans les assises secondaires, elle perd le caractère dominant de faille et semblerait n'avoir engendré qu'une flexure faillée sans rejet vertical ponctuel important. La faille bordière du massif du Brabant aurait les caractères d'une faille cisailante dextre (fig. 66) : la phase de déformation a dû débiter au Dévonien-Carbonifère, la phase majeure de coulissage, de 5 à 7 km d'amplitude serait postérieure au Westphalien, vraisemblablement antérieure au Keuper et en tout cas au Wealdien. La faille aurait néanmoins rejoué jusqu'à nos jours.

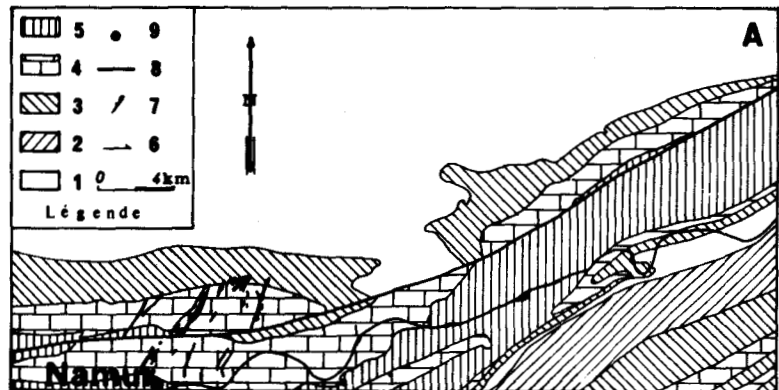
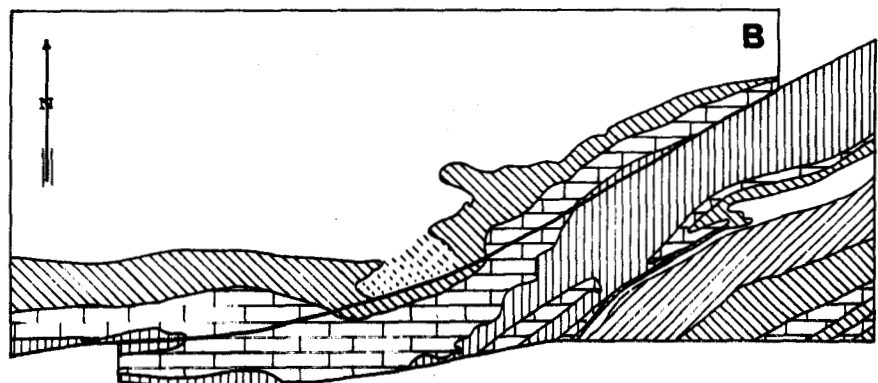


Fig. 66 .- Carte géologique schématique de la région de Namur (D'après LEGRAND, 1968).

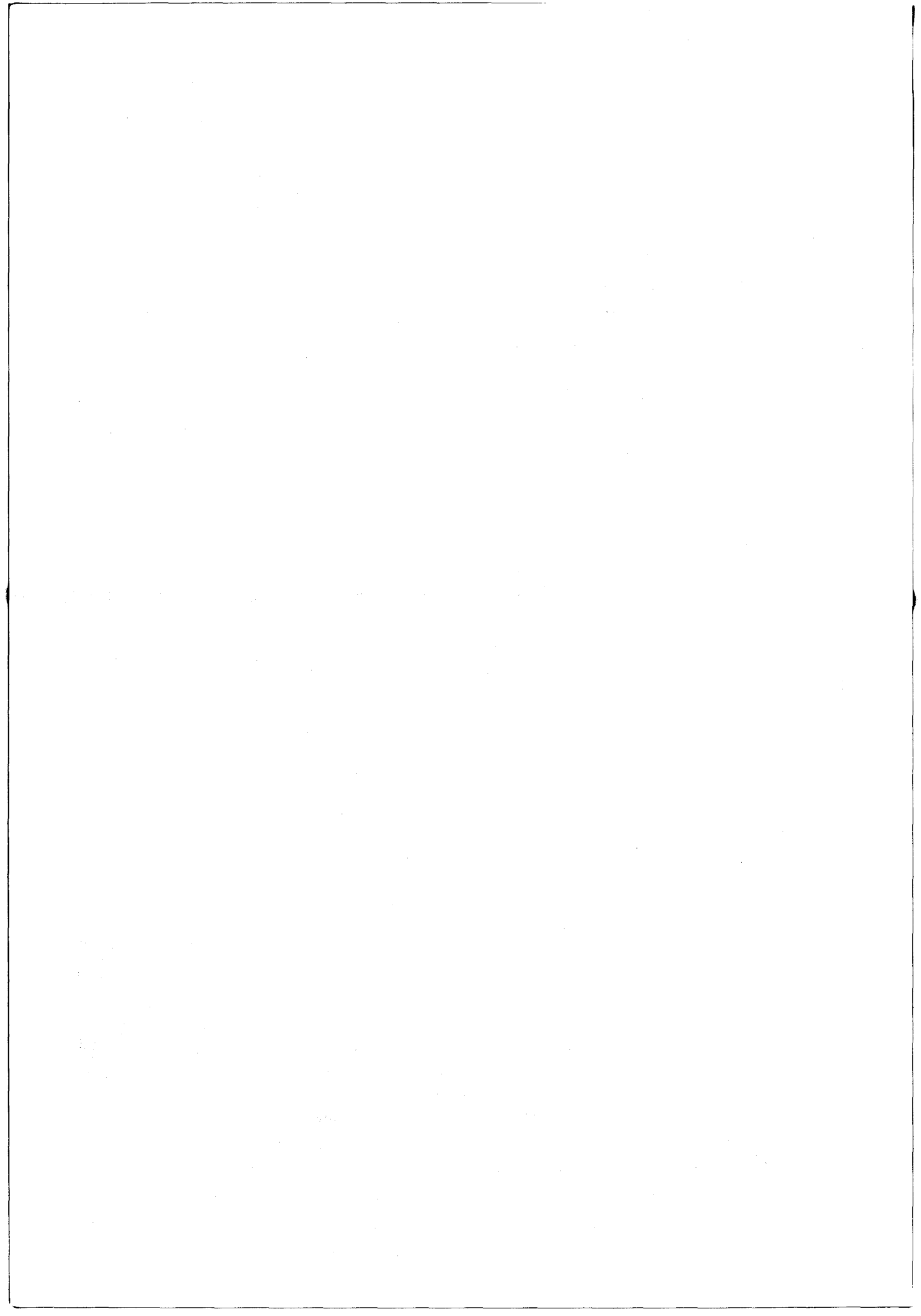
A - Disposition actuelle résultant d'un coulissage d'âge hercynien.

B - Continuité obtenue en annulant le rejet longitudinal.

1, Silurien ; 2, Eodévonien ; 3, Méso et Néodévonien ; 4, calcaire Carbonifère ; 5, terrain Houiller ; 6, sens du coulissement ; 7, filons de pyrite ; 8, faille ; 9, localité.



L'exploitation de données bibliographiques sur le bord méridional du massif du Brabant permet d'envisager la continuité des hypothèses émises en France plus à l'W. La faille bordière du massif du Brabant pourrait être considérée comme une continuation vraisemblable du système faillé cisailant dextre mis en évidence par l'étude des joints du "Dôme" du Mélantois (régions de Lille et Tournai).



*QUATRIEME PARTIE*

*ESSAI DE SYNTHESE DES RESULTATS*

*A.- SYNTHESE DES HYPOTHESES EMISES*

*B.- DEFINITION DE LA ZONE DE CISAILLEMENT NORD-ARTOIS*

*C.- PLACE DE LA ZONE DE CISAILLEMENT NORD-ARTOIS DANS LA MOITIE  
NORD DE LA FRANCE*

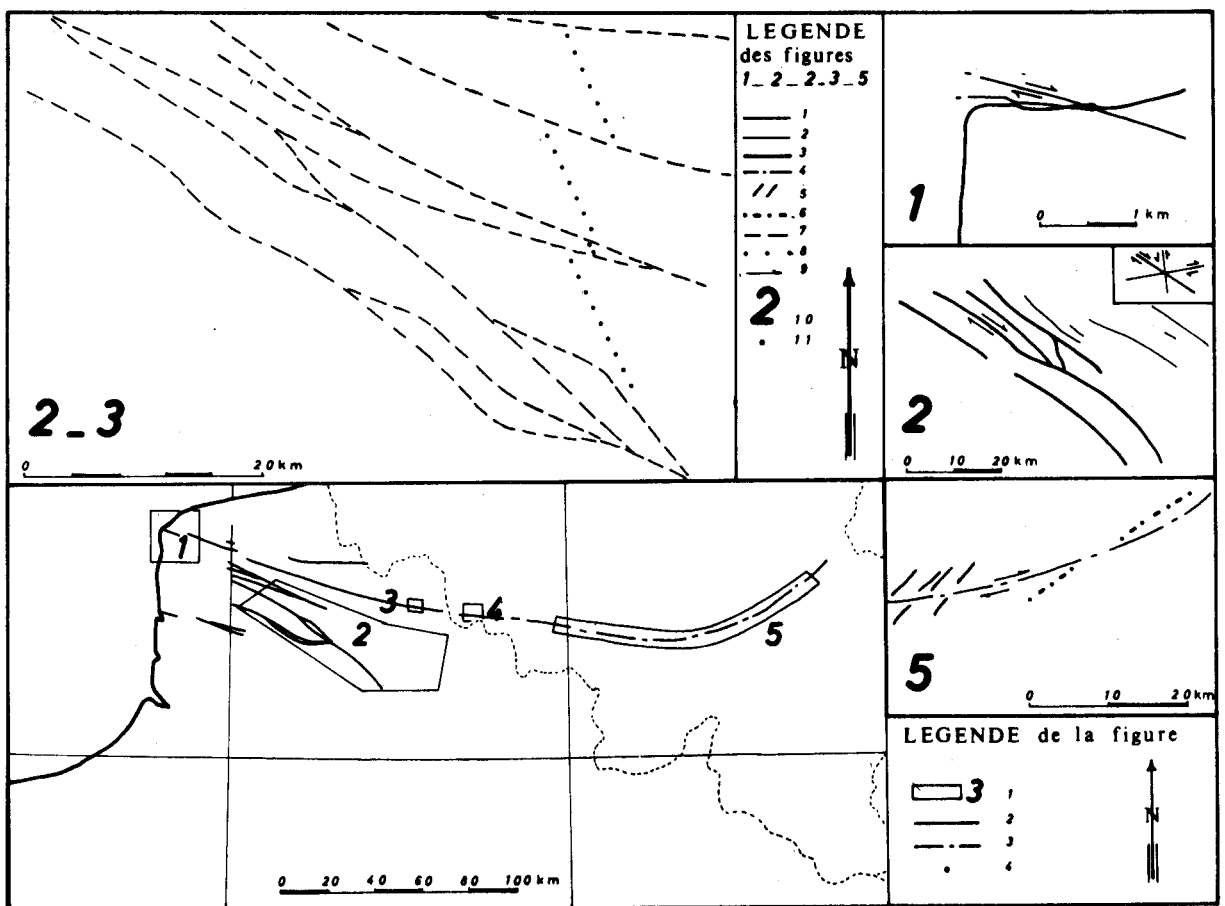


Fig. 67 .- Les différentes interprétations effectuées dans le Nord de la France.

Légende de la figure générale : 1, extension et indice de la zone étudiée ; 2, faille sub-verticale ; 3, faille bordière du massif du Brabant ; 4, localité.

Légende des figures 1 - 2 - 2.3 - 5 : 1, faille sub-verticale ; 2,3, faille subverticale, épicrotaccée (2), non reconnue comme épicrotaccée (3) ; 4, faille bordière du massif du Brabant, 5, filons de pyrite ; 6, allure des structures déplacées ; 7, failles figurées par CAULIER (1974) ; 8, axe de la cuvette d'Hazebrouck ; 9, sens des déplacements ; 10, zone étudiée ; 11, localité.

## I.- SYNTHÈSE DES HYPOTHÈSES ÉMISES (fig. 67)

*Les données que l'on possède à ce stade de l'étude sur la fracturation et sa cinématique n'ont pas le même degré de précision du Boulonnais à l'W au bord S du massif du Brabant à l'E. En se souvenant donc de cette hétérogénéité dans la précision des observations, on peut néanmoins tenter de les intégrer dans une synthèse régionale.*

### 1) Dans le Boulonnais (fig. 67.1)

On a montré, au niveau du Cap Gris-Nez, l'existence d'une zone de cisaillement dextre de direction  $100^{\circ}$ - $110^{\circ}$ . L'analyse des joints, a permis de mettre en évidence une chronologie des déformations : les assises primaires avaient d'abord subi l'action de contraintes d'orientation N-S puis de contraintes E-W que l'on retrouve également au niveau des assises secondaires.

### 2) Dans le Bassin houiller Nord-Pas-de-Calais (fig. 67.2)

Les failles à fort pendage d'orientation  $110^{\circ}$ - $130^{\circ}$  y ont un "faciès" de failles de Riedel indiquant probablement l'existence d'un cisaillement régional de type dextre. Cette hypothèse repose sur des données cartographiques régionales du Bassin houiller. Elle ne repose pas sur le même type d'observation que précédemment.

### 3) Dans la région Nord-Artois (fig. 67.2-3)

Les cartes établies par Caulier (1974) permettent d'esquisser l'existence de déplacements qui seraient issus de mouvements cisailants du type dextre de 10 km d'amplitude décelable à partir des isobathes du Turonien moyen. La même remarque que précédemment peut être formulée. L'exploitation de cartes en isobathes doit être faite avec prudence. Elle conduit à une conclusion cohérente avec les hypothèses basées sur des observations détaillées. On la retiendra donc comme telle.

### 4) Dans le Mélantois-Tournaisis (fig. 67.3)

Les assises primaires ont subi l'action de contraintes d'abord N-S puis E-W, les assises secondaires, elles, ne révèlent que des contraintes E-W comme dans le Boulonnais. L'une des failles (faille de Seclin-St Omer) définie par Caulier (1974) est associée à cette zone : son caractère cisailant dextre suggéré par le déplacement de 6 km (fig. 67.2-3 de l'axe de la cuvette d'Hazebrouck semble renforcé par l'existence de joints de second ordre dans les terrains secondaires du Mélantois.

## 5) Dans le Brabant (fig. 67.5)

La faille bordière du massif du Brabant serait elle aussi un accident cisailant dextre, le décrochement ayant une amplitude de l'ordre de 5 à 6 km.

## II.- DEFINITION DE LA ZONE DE CISAILLEMENT NORD-ARTOIS

L'homogénéité des données mésostructurales (Boulonnais-Dôme du Mélantois) et des interprétations cartographiques à plus grande échelle (Bassin houiller, Artois et massif du Brabant) permet d'avancer l'hypothèse de l'existence d'un accident de socle (cf. 5) de ce chapitre) qui sera appelé *ZONE DE CISAILLEMENT NORD-ARTOIS*. Cette zone présente un certain nombre de caractéristiques (Colbeaux, 1974).

1) Elle est de type dextre et va du Cap Gris-Nez au NE de Namur (fig. 67).

2) Elle serait postérieure au grand chevauchement de la faille du Midi qu'elle recoupe et déplace en de nombreux endroits : failles de Marqueffles et de Sains dans le Bassin houiller Nord - Pas-de-Calais ; failles de Ferques et d'Epître-en-Boulonnais (Bouroz, 1956, 1962 ; Bourouz, Stiévenard, 1958). Elle est donc d'âge tardi-hercynien et a rejoué épisodiquement jusqu'au Quaternaire (des phénomènes liés à une tectonique récente ont été mis en évidence par Bonte, 1969 ; Cornet, 1925 et Sommé, 1969).

3) Ce cisaillement donne des failles de Riedel dans la couverture (failles de Marqueffles et de Sains par exemple), semblables aux observations de Tchalenko (1970) et Tchalenko & Ambraseys (1970) pour des zones de cisaillement tant expérimentales que naturelles.

4) L'amplitude du déplacement horizontal total le long de la zone de cisaillement nord-artois n'est pas actuellement chiffrable. Néanmoins au niveau de quelques-uns des accidents qui la caractérise (troisième partie, Ch. B et D), le déplacement horizontal serait de l'ordre de la dizaine de km alors que le déplacement vertical serait de l'ordre de la centaine de mètres.

5) Visible en surface, la zone de cisaillement nord-artois semble être décelable en profondeur, comme en témoignent les documents géophysiques (carte gravimétrique au 1/320 000, carte magnétique au 1/1 000 000). En effet, la disposition des axes gravimétriques et des zones de gradient élevé permet de localiser un accident de socle en forme d'arc près de la zone considérée.

6) Des séismes à hypocentres peu profonds (10-15 km) sont associés à cette zone (Ahorner, 1970 ; de Montessus de Ballore, 1906 ; Fourmarier, 1926 ; Fourmarier & Legraye, 1926 ; Fourmarier & Somville, 1926 ; Ritsema, 1970). Les foyers dessinent une ceinture arquée reliée à la bordure S du massif du Brabant et indiqueraient le déplacement du compartiment S vers l'W (Ahorner, 1970).

7) En Belgique, les études gravimétriques (Jones, 1970) montreraient que la zone de cisaillement nord-artoïse serait superposée à une zone intermédiaire située entre deux blocs de l'écorce d'épaisseur différente : un bloc au N, sous le Brabant, avec une épaisseur de 20 km et un autre au S, sous l'Ardenne avec une épaisseur de 60 km.

### III.- PLACE DE LA ZONE DE CISAILLEMENT NORD-ARTOÏSE DANS LA MOITIÉ NORD DE LA FRANCE

L'hypothèse de l'existence d'une zone de cisaillement nord-artoïse vient compléter celles d'accidents profonds affectant la moitié N de la France : Graben du Rhin (Illies, 1972), accident nord-centralien (Illies, 1972 ; Montjuvent et Sarrot-Reynauld, 1972), sillon houiller et faille de Metz (Grolier et Letourneur, 1968), accident W du Bassin de Paris (Gérard & Weber, 1971 ; Weber, 1971 et 1973 ; Baltenberger, 1973 ; Ogier & Weber, 1974).

Ces accidents profonds affectant le Bassin de Paris et ses bordures ne sont vraisemblablement pas uniques. Trop peu de données profondes ne permettent d'envisager une configuration réelle du sub-stratum paléozoïque du Bassin de Paris et, par là même, des accidents qui l'affectent. Ils sont en toute vraisemblance nombreux. Néanmoins, l'accident dextre mis en évidence dans ce travail constitue le premier élément septentrional mis en évidence à l'heure actuelle permettant une compréhension de la tectonique régionale du Bassin de Paris.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
DIVISION OF THE PHYSICAL SCIENCES  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
5300 SOUTH DICKENS STREET  
CHICAGO, ILLINOIS 60637  
TEL. (312) 937-1351

**BIBLIOGRAPHIE**

1. ...

2. ...

3. ...

4. ...

5. ...

6. ...

7. ...

8. ...

9. ...

10. ...

11. ...

12. ...

13. ...

14. ...

15. ...

16. ...

17. ...

18. ...

19. ...

20. ...

21. ...

22. ...

23. ...

24. ...

25. ...

26. ...

27. ...

28. ...

29. ...

30. ...

31. ...

32. ...

33. ...

34. ...

35. ...

36. ...

37. ...

38. ...

39. ...

40. ...

41. ...

42. ...

43. ...

44. ...

45. ...

46. ...

47. ...

48. ...

49. ...

50. ...

51. ...

52. ...

53. ...

54. ...

55. ...

56. ...

57. ...

58. ...

59. ...

60. ...

61. ...

62. ...

63. ...

64. ...

65. ...

66. ...

67. ...

68. ...

69. ...

70. ...

71. ...

72. ...

73. ...

74. ...

75. ...

76. ...

77. ...

78. ...

79. ...

80. ...

81. ...

82. ...

83. ...

84. ...

85. ...

86. ...

87. ...

88. ...

89. ...

90. ...

91. ...

92. ...

93. ...

94. ...

95. ...

96. ...

97. ...

98. ...

99. ...

100. ...

## LISTE DES ABREVIATIONS UTILISEES

*Ann. S. G. B.* : Annales de la Société géologique de Belgique.

*Ann. S. G. N.* : Annales de la Société géologique du Nord.

*B. S. G. F.* : Bulletin de la Société géologique de France

*Bull. B. R. G. M.* : Bulletin du Bureau de Recherches géologiques et minières.

*C. J. E. S.* : Canadian Journal of Earth Sciences.

*C. R. Acad. Sc.* : Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.

*D. E. A.* : Diplôme d'Etudes Approfondies.

*D. E. S.* : Diplôme d'Etudes Spécialisées.

*Et. Gîtes Min. France* : Etude des Gîtes minéraux de France.

*G. S. A. B.* : Geological Society of America Bulletin.

*G. S. C.* : Geological Survey of Canada.

*Geol. Mag.* : Geological Magazine.

*Geol. Rund.* : Geologische Rundschau.

*Mém. Expl. cartes géologiques et minières de la Belgique* : Mémoires pour servir à l'explication des Cartes géologiques et minières de la Belgique.

*P. R. A. S. T.* : Première Réunion annuelle des Sciences de la Terre

*Rev. Géo. Phys. et Géol. Dyn.* : Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique.

- AHORNER L. (1970) .- Seisms-tectonic relations between the Graben Zones of the Upper and Lower Rhine valley. In "International Upper Mantle Project", *Scientific Report*, n° 27, p. 155-166 et p. 297-316, 5 fig.
- ARTHAUD F., MATTAUER M. (1972) .- Sur l'origine tectonique de certains joints stylolitiques parallèles à la stratification ; leur relation avec une phase de distension (exemple du Languedoc). *B. S. G. F.*, (7), XIV, p. 12-17, 6 fig.
- BALTENGERGER P. (1973) .- Etude sismique de la zone d'anomalie du Bassin Parisien. *C. R. Acad. Sc.*, t. 276, p. 277-280, 1 fig., 2 tabl.
- BALTENBERGER P., LABROUSTE Y., MECHLER P. (1973) .- Anomalies de durée de propagation des ondes P observées en France hors des explosions nucléaires souterraines des Iles Aléoutiennes. *C. R. Acad. Sc.*, t. 277, p. 1 625-1 628, 1 fig., 1 tabl.
- BILLINGS M. P. (1946) .- Structural geology. 1 vol. 15x21, 459 p., 336 fig., 19 pl., New-York, Prentice Hall Inc. (2ème édition 1973).
- BONTE A. (1952) .- Réflexions sur le beef à propos d'une note de M. L. DAVID. *B. S. G. F.*, (6), II, p. 111-112.
- BONTE A. (1955a) .- Vallées quaternaires remblayées dans les environs de Lille. *Ann. S. G. N.*, t. LXXV, p. 111-122.
- BONTE A. (1957) .- Observations sur le Dôme du Mélantois. *Ann. S. G. N.*, t. LXXVII, p. 154-163, 1 fig.
- BONTE A., LEROUX B., ROGIER P. (1959) .- Une hypothèse nouvelle sur la structure du Cap Gris-Nez. *C. R. Acad. Sc.*, t. 249, p. 143-144.
- BONTE A. (1969) .- Le Boulonnais. *Ann. S. G. N.*, t. LXXXI, p. 23-46, 2 fig., 1 annexe.
- BOUROZ A. (1956) .- Contribution à l'étude des failles épicrotaciées de l'Artois. *Ann. S. G. N.*, t. LXXVI, p. 51-62, 4 fig., 4 pl. hors texte.
- BOUROZ A., STIEVENARD M. (1958) .- La structure du gisement des charbons gras du Pas-de-Calais et la notion de faille de Reumaux. *Ann. S. G. N.*, t. LXXVIII, p. 146-172, 7 fig., 2 pl. hors texte.

- BOUROZ A., CHALARD J., DALINVAL A., STIEVENARD M. (1962) .- La structure du bassin houiller du Nord de la région de Douai à la frontière belge. *Ann. S. G. N.*, t. LXXXI, p. 173-220, 32 fig., 1 pl. hors texte.
- BOUROZ A. (1962) .- Contribution à l'étude de la structure du bassin houiller du Boulonnais. *Ann. S. G. N.*, t. LXXXII, p. 27-37, 4 fig.
- CAMERMAN Ch. (1944) .- La Pierre de Tournai. *Mémoires de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrogéologie*, n° 1, nouvelle série in 4°, 85 p., 4 pl., 4 tabl. dans le texte.
- Carte géologique de la France, 1/80 000, feuille de Boulogne-Calais.
- Carte géologique de la France, 1/50 000, feuille de Marquise.
- Carte géologique de la France, 1/50 000, feuille de Lille-Halluin.
- Carte magnétique de la France, 1/1 000 000, feuille Nord.
- Carte gravimétrique de la France, 1/320 000, feuille de Lille.
- CAULIER P. (1974) .- Etude des faciès de la craie et de leurs caractéristiques hydrauliques, dans la région du Nord. Thèse de 3ème cycle, Lille.
- C. F. P. -(M), COPESEP, R. A. P., S. N. P. A. (1965) .- Contribution à la connaissance des bassins paléozoïques du Nord de la France. *Ann. S. G. N.*, t. LXXXV, p. 273-281, 3 pl. hors texte.
- CHOUKROUNE P. (1969) .- Un exemple d'analyse microtectonique d'une série calcaire affectée de plis isopaques (concentriques). *Tectonophysics*, vol. 7, n° 1, p. 57-70, 12 fig., 1 pl.
- COLBEAUX J. P. (1972) .- Etude des cassures naturelles et artificielles des roches. *D. E. A.*, Lille.
- COLBEAUX J. P. (1974) .- Mise en évidence d'une zone de cisaillement nord-artois. *C. R. Acad. Sc.*, t. 278, p. 1 159-1 161, 1 fig.
- CORNET J. (1925) .- La Haine, l'Escaut et le Dôme du Mélantois. *Ann. S. G. B.*, t. XLVIII, p. B.105-B.113.
- CRUDEN D. M. (1971) .- Traces of lineation on random planes. *G. S. A. B.*, vol. 82, p. 2 303-2 306, 3 fig., 1 tabl.

- DAUBREE M. (1881) .- Essai d'une classification des cassures de divers ordres que présente l'écorce terrestre. *B. S. G. F.*, (3), X, p. 136-142.
- DE MONTESSUS DE BALLORE (1906) .- La science séismologique. Les tremblements de terre. 1 vol. in 8° raison, 579 p., 222 fig. et cartes, A. COLIN.
- DELEPINE G., JOLY F. (1954) .- Forage des établissements Le Blan à Lille (Avenue de Bretagne). *Ann. S. G. N.*, t. LXXIV, p. 31-38, 1 fig.
- DOUXAMI H. (1906) .- Les tremblements de terre par F. DE MONTESSUS DE BALLORE. *Ann. S. G. N.*, t. XXXV, p. 193-202, 1 fig.
- FENET B. (1965) .- Le Dôme du Mélantois dans les environs de Lille. *D. E. S.*, Lille.
- FOURMARIER P. (1926) .- Le tremblement de terre du 5 janvier 1926 dans l'Est de la Belgique. *Ann. S. G. B.*, t. XLIX, p. B.180-B.185, 1 fig.
- FOURMARIER P., LEGRAYE M. (1926) .- Le tremblement de terre du 23 février 1933 dans le Limbourg et la province de Liège. *Ann. S. G. B.*, t. XLVIII, p. M.19-M.47, 2 fig., 2 pl. hors texte.
- FOURMARIER P., SOMVILLE O. (1926) .- Le tremblement de terre du 19 mai 1921 dans l'Ouest de la Belgique. *Ann. S. G. B.*, t. XLIX, p. B.259-B.266, 1 fig.
- GERARD A., WEBER C. (1971) .- L'anomalie magnétique du Bassin de Paris interprétée comme élément structural majeur dans l'histoire géologique de la France. *C. R. Acad. Sc.*, t. 272, p. 921-923, 1 fig.
- GERARD A., WEBER C. (1973) .- Evolution tectonique du socle du Sud du Bassin de Paris en relation avec la grande anomalie magnétique. *P. R. A. S. T.*, p. 205.
- GOSSELET J. (1905) .- Les assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et sondages du Nord de la France (fasc. 2). Région de Lille, *Et. Gêtes Min. France*, 98 p., 11 fig., 12 tabl.
- GOSSELET J. (1906) .- In Fenet 1965.

- HANCOCK P. L. (1972) .- The analysis of en-echelon veins. *Geol. Mag.*, vol. 109, n° 3, p. 269-276, 4 fig., 4 pl. hors texte.
- HILLS E. S. (1963) .- Elements of structural geology. 1 vol. relié, 483 p., 418 fig., Methuen & Co L. T. D. (Londres), 2ème édition 1972.
- HOYEZ B. (1970) .- Analyse séquentielle des calcaires viséens du massif du Haut-Banc (Boulonnais). *Thèse 3ème cycle*, Lille.
- HOYEZ B. (1971) .- Le Viséen du Boulonnais : analyse et corrélation séquentielles. *Ann. S. G. N.*, t. XCI, p. 113-128, 5 fig., 1 tabl.
- ILLIES J. H. (1972) .- The Rhine graben rift system - plate tectonics and transform faulting. *Geophysical Surveys*, n° 1, p. 27-60, 21 fig.
- JONES L. (1955) .- Pesanteur, in Atlas de Belgique du Comité national de Géographie, 16 p., pl. V.
- LAJTAI E. Z. (1969) .- Mechanics of second order faults and tension gashes. *G. S. A. B.*, vol. 80, p. 2 253-2 272, 19 fig., 2 pl.
- LEGRAND R. (1968) .- Le massif du Brabant. *Mém. Expl. Cartes géologiques et Minières de la Belgique*, n° 9, 148 p., 9 fig., 5 pl. hors texte.
- LEROUX B. (1959) .- Une hypothèse sur la structure du Cap Gris-Nez. *D. E. S.*, Lille, 3 juillet 1959, 51 p., 24 pl.
- LOWE K. E. (1946) .- Improved method of counting out petrographic diagrams. *G. S. A. B.*, vol. 57, n° 12, p. 1215.
- MONTJUVENT G., SARROT-REYNAULD J. (1972) .- Existence probable d'un important accident structural du socle à la limite du Massif Central et du Bassin de Paris. *Rev. Géo. Phys. et Géol. Dyn.*, vol. XIV, fasc. 3, p. 293-303, 1 fig.
- OGIER M., WEBER C. (1974) .- Données géophysiques sur le socle du Sud-Est du Bassin de Paris. *P. R. A. S. T.*, p. 301.
- OLRY (1904) .- Topographie souterraine du Bassin houiller du Boulonnais ou Bassin d'Hardinghen. *Et. Gtes Min. France*, 1 vol., VI, 240 p., 44 fig. 3 pl.

- PHILIPS P. (1960) .- The use of stereographic projection in structural geology. London, Edward Arnold Publishers L. T. D.
- PLESSMANN V. W. (1972) .- Horizontal stylolithen in französischschweizerischen Tafelund und Faltenjura und ihre Einpassung in den regionalen Rahmen. *Geol. Rund.*, p. 332-347, 7 fig.
- PRICE N. J. (1966) .- Fault and joint development in brittle and semi-brittle rocks. 1 vol. relié, 176 p., 58 fig., 3 pl. Pergamon Press, London.
- PRICE N. J. (1968) .- A dynamic mechanism for the development of second order faults. In "Proceedings", p. 49-78, 11 fig.
- Proceedings, conference on research in tectonics (kink bands and brittle deformation), Edit. Baer A. et Norris D. K., *G. S. C. Paper* 68-52, 373 p., 128 fig., 29 pl., 1 tabl. (1968).
- PRUVOST P. (1914) .- Note sur les résultats de quelques sondages profonds exécutés au Sud-Ouest de la ville de Lille. *Ann. S. G. N.*, t. XLIII, p. 177-189, 1 fig.
- PRUVOST P. (1921) .- La faille de Landrethun et son prolongement au Cap Gris-Nez. *Ann. S. G. N.*, t. XLVI, p. 55-67, 5 fig.
- PRUVOST P. (1925) .- Observations sur la structure du Cap Gris-Nez. *B. S. G. F.*, t. XXVIII, n° 156, 72 p., 18 fig., 4 pl.
- PRUVOST P., DELEPINE G. (1921) .- Observations sur la faille d'Hydrequent et sur les couches de base du Carbonifère dans le Bas-Boulonnais. *B. S. G. F.*, (4), XXI, p. 189-206, 5 fig., 1 tabl., 1 pl. hors texte.
- RAGAN D. M. (1968) .- Structural geology, an introduction to geometrical techniques. Vol. broché, 165 p., 194 fig., John Wiley & Sons (New-York).
- RAMSAY J. G. (1967) .- Folding and fracturing of rocks. Vol. relié, 568 p., 500 fig., Mc Graw Hill Book Company (New-York).
- RAMSAY J. G., GRAHAM R. H. (1970) .- Strain variation in shear belts. *C. J. E. S.*, vol. 7, n° 3, p. 786-813, 25 fig.



- REID H. F., DAVIS W. M., LAWSON A. C., RANSOME F. L. (1913) .- Report of the committee on the nomenclature of faults. *G. S. A. B.*, vol. 24, n° 2, p. 163-186, 18 fig.
- RITSEMA A. R. (1970) .- Earthquake epicentres in the Netherlands and surrounding areas. *Losbladige Atlas van Netherland*, p. II.7-II.8, 1 fig.
- ROERING C. (1968) .- The geometrical significance of en-echelon crack-arrays. *Tectonophysics*, vol. 5, n° 2, p. 107-123, 14 fig., 1 tabl.
- SAHININ V. E. (1950) .- Conjugate sets of en-echelon tension fractures in the Athens limestone at Riverton, Virginia. *G. S. A. B.*, vol. 61, n° 6, p. 509-517, 8 fig., 2 pl.
- SITTLER C. (1969) .- Le fossé rhénan en Alsace, aspect structural et histoire géologique. *Rev. Géol. Phys. Géol. Dyn.*, (2), XI, fasc. 5, p. 465-494, 20 fig., 2 tabl.
- SOMME J. (1969) .- Introduction à la géomorphologie du Nord de la France. *Ann. S. G. N.*, t. LXXXI, p. 103-110.
- SYME GASH P. J. (1971) .- A study of surface features relating to brittle and semi-brittle fracture. *Tectonophysics*, vol. 12, p. 349-391, 38 fig., 1 tabl.
- TALBOT (1970) .- The minimum strain ellipsoid using deformed quartz veins. *Tectonophysics*, vol. 9, p. 47-76, 6 fig.
- TCHALENKO J. S. (1970) .- Similarities between shear zones of different magnitudes. *G. S. A. B.*, vol. 81, p. 1 625-1 640, 12 fig., 2 tabl.
- TCHALENKO J. S., AMBRASEYS N. N. (1970) .- Structural analysis of the Dasht-e Biayaz (Iran) earthquake fractures. *G. S. A. B.*, vol. 81, n° 1, p. 41-60, 16 fig.
- TERRY J. (1971) .- Etude géologique d'un secteur des Dogtooth Mountains, Colombie Britannique, Canada. *Thèse 3ème cycle*, Lille.
- TURNER J., WEISS L. (1963) .- Structural analysis of metamorphic tectonites. *Mc Graw-Hill Book Cie*, 545 p.

- WATERLOT G. (1948) .- Affaissements actuels du sol : précisions dans la vallée de la Haine française. *Ann. S. G. N.*, t. LXVIII, p. 2-12.
- WATERLOT G. (1969) .- Aperçu géologique de la région de Lille. *Ann. S. G. N.*, t. LXXXI, p. 67-77, 4 fig.
- WEBER C. (1973) .- Le socle anté-triasique sous la partie sud du Bassin de Paris d'après les données géophysiques. *Bull. B. R. G. M.*, Géologie appliquée - Chronique des Mines, Section II, 1ère partie, n° 3, p. 219-292, 51 fig., 4 tabl., 2 pl. en pochette ; 2ème partie, n° 4, p. 293-341.

17. 20

18. 20

19. 20

20. 20

21. 20

22. 20

23. 20

24. 20

25. 20

26. 20

27. 20

28. 20

29. 20

30. 20

31. 20

32. 20

33. 20

34. 20

35. 20

36. 20

37. 20

38. 20

39. 20

40. 20

41. 20

42. 20

43. 20

44. 20

45. 20

46. 20

47. 20

48. 20

49. 20

50. 20

51. 20

52. 20

53. 20

54. 20

55. 20

## LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
<i>Première partie</i>	
1.- Tableaux comparatifs des différentes classifications de joints et failles. ....	12
2.- Stéréogramme de 176 joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur. Construction manuelle. ....	15
3.- Stéréogramme de 176 joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur. Construction par ordinateur. ....	15
4.- Principe de la représentation stéréographique des joints à surface striée. ....	16
5.- Les principaux types de joints à surface striée et leur représentation stéréographique. ....	16
6.- Histogramme de joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur. ....	17
7.- Rosette de joints, affleurement n° 83, d4b1, Givétien supérieur. ....	17
8.- Principe de la méthode de Cruden. ....	18
9.- Représentation stéréographique de la méthode de Cruden. ....	19
10.- Représentation conventionnelle des joints en échelon (d'après Hancock, 1972). ....	20
11.- Formation d'un joint sigmoïde par exagération de la déformation (d'après Terry, 1971). ....	20
12.- Système conjugué de joints en échelon (d'après Shainin, 1950). ....	20
13.- Joints à allure de plume et joints en échelon (d'après Roering, 1968). ....	21
14.- Zones de joints en échelon observés par Roering (1968). ....	21
15.- Le calque 29.8.9, affleurement n° 94, h2.1, Viséen, séquence 10 du V2b. ....	22
16.- Interprétation du calque 29.8.9. ....	22
17.- Les calques 13.7.19, affleurement n° 22, j8b.5, Kimméridgien, niveau 4 : observations et interprétations. ....	23

## LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
<i>Deuxième partie</i>	
18.- Carte géologique schématique du Boulonnais. ....	26
19.- Localisation des massifs primaires. ....	26
20.- Carte structurale du Primaire du Boulonnais. ....	28
21.- Coupe schématique de l'ensemble des massifs primaires (D'après BONTE, 1969). ....	28
22.- Lithostratigraphie des terrains primaires du Boulonnais.	30
23.- Localisation de la coupe de référence. ....	31
24.- Les familles de joints du Viséen. ....	33
25.- Les familles de joints le long de la coupe de référence.	34
26.- Les familles de joints emplis de calcite du Viséen. ....	34
27.- Les familles de joints emplis de calcite le long de la coupe de référence. ....	35
28.- Les familles de joints à surface striée du Viséen. ....	35
29.- Les familles de joints à surface striée le long de la coupe de référence. ....	36
30.- Observation et interprétation des calques dans le Viséen et le long de la coupe de référence. ....	36
31.- Les interprétations en terme de contraintes dans le Viséen.	37
32.- Les interprétations en terme de contraintes le long de la coupe de référence. ....	38
33.- Généralisation des observations et interprétations au niveau des étages stratigraphiques. ....	39
34.- Généralisation des observations et interprétations le long de la coupe de référence. ....	41
35.- Carte géologique schématique du Boulonnais. ....	43
36.- Lithostratigraphie des terrains secondaires. ....	44-45
37.- Carte des affleurements sur l'estran, au Gris-Nez (D'après LEROUX, 1959). ....	46
38.- Interprétation cinématique de la carte de LEROUX. ....	49
39.- Panorama du flanc NW de la Carrière de Basse Normandie (X = 559,9 ; Y = 346,2) avec en encadré la localisation du panorama. ....	51

Figures	Pages
40.- Variation de l'épaisseur du banc situé au-dessus de la séquence + 5 du V2b <sub>a</sub> en fonction de l'éloignement à la zone de chevauchement. ....	52
41.- Schéma interprétatif du pli isopaque étudié. ....	53
42.- Relations entre joints et failles dans la sous-zone S Ambleteuse. ....	55
43.- La sous zone N Ambleteuse. ....	56
44.- Ecartement des joints à allure de plume en fonction de la distance à la faille située entre les affleurements 38 et 40. ....	56
45.- Représentation schématique de la faille située à l'affleurement 30. ....	57
46.- Ecartement des joints à allure de plume de part et d'autre de la faille (30) en fonction de leur distance à cette dernière. ....	57
47.- Essai de caractérisation des faciès de rupture observés en Boulonnais. ....	59
48.- Les principales familles de joints à l'échelle du Boulonnais. ....	60
49.- Les joints en Boulonnais dans les terrains primaires et secondaires. ....	61
50.- Les contraintes de compression en Boulonnais dans les terrains primaires et secondaires. ....	62
51.- Les principales orientations de contraintes en Boulonnais. ....	63
52.- Tableau synthétique des observations. ....	63
53.- Tableau synthétique des interprétations. ....	64



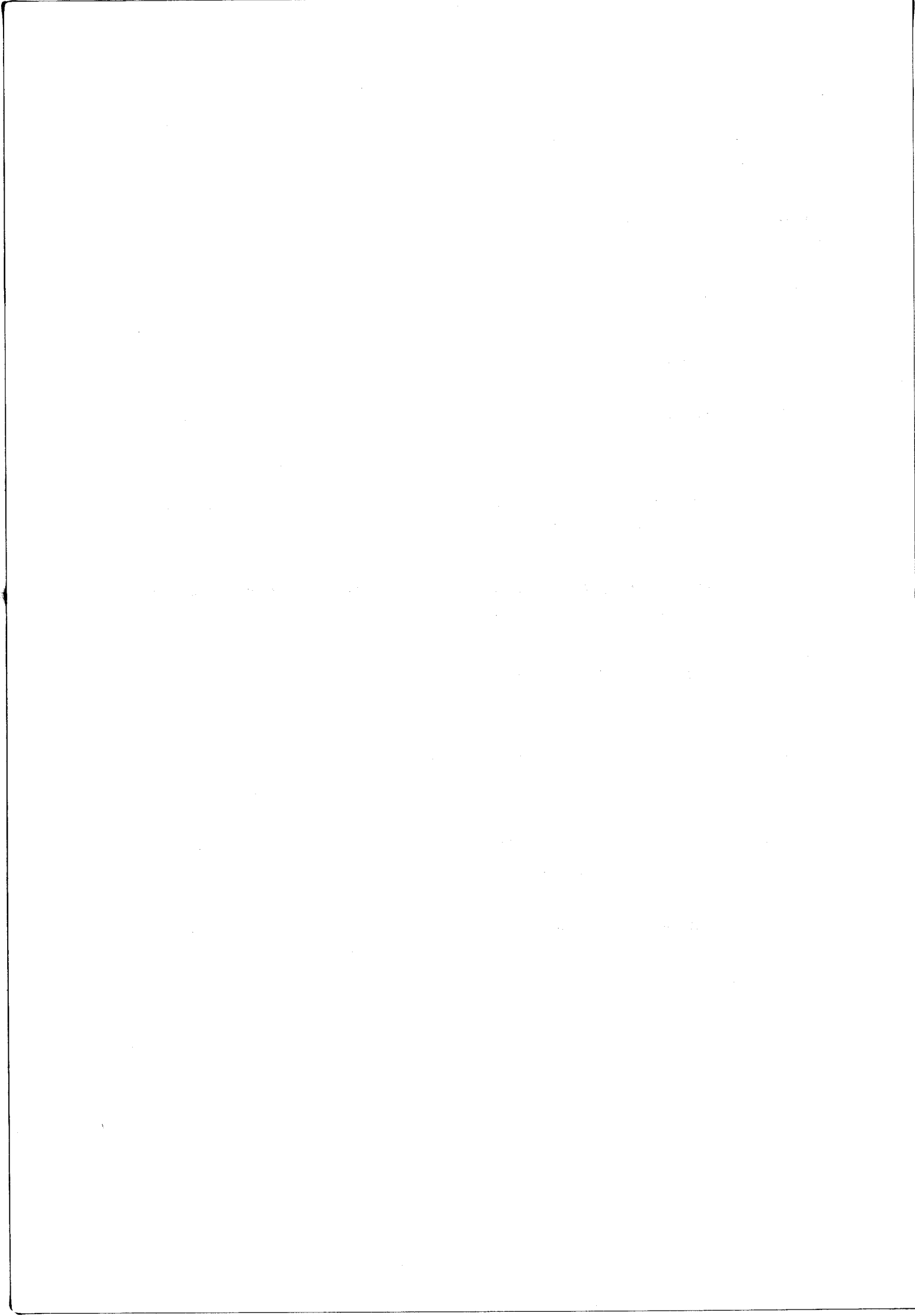
## LISTE DES FIGURES

Figures	Pages
<i>Troisième partie</i>	
54.- Localisation des zones étudiées dans le Nord de la France.	68
55.- Les failles du bassin houiller (D'après BOUROZ et al., 1962).	69
56.- Carte d'isobathes du substratum de la craie (CAULIER, 1974).	71
57.- Carte d'isobathes du toit du faciès Turonien moyen (CAULIER, 1974).	72
58.- Localisation des zones étudiées.	73
59.- Carte géologique schématique de la région de Lille (D'après G. WATERLOT, 1969).	73
60.- Localisation des carrières étudiées dans la région de Tournai.	74
61.- Distribution des joints dans le Dinantien de la région de Tournai.	75
62.- Tableau des principales familles de joints dans la région de Tournai.	75
63.- A - Stéréogramme des joints de Sainghin-en-Mélantois (X = 657,2 ; Y = 321,0).	76
B - Représentation stéréographique des joints à surface striée de Sainghin-en-Mélantois.	76
64.- Diagramme de Cruden pour les joints à surface striée de Sainghin-en-Mélantois.	77
65.- Localisation de la zone étudiée.	78
66.- Carte géologique schématique de la région de Namur (D'après LEGRAND, 1968).	79
<i>Quatrième partie</i>	
67.- Les différentes interprétations effectuées dans le Nord de la France.	82

## LISTE DES PLANCHES HORS TEXTE

- Pl. I .- Les observations et interprétations dans les terrains primaires.
- Pl. II .- Les observations particulières dans les terrains primaires.
- Pl. III .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la sous-zone S - Ambleteuse.
- Pl. IV .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la sous-zone N - Ambleteuse.
- Pl. V .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la zone du Cap Gris-Nez.
- Pl. VI .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la côte crétacée.
- Pl. VII .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires au contact du Primaire : le Jurassique.
- Pl. VIII .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires au contact du Primaire : le Crétacé.
- Pl. IX .- Généralisation au niveau des étages stratigraphiques secondaires des observations et interprétations.





## ANNEXE I

Détails des observations et interprétations par affleurement, groupés par étages stratigraphiques.

## Conventions adoptées

Page de gauche

- + Localisation des affleurements
- + Rosette et stéréogramme des joints pour chacun des affleurements

Page de droite

- + Lithostratigraphie

Numéro de l'affleurement et coordonnées Lambert

- + Les observations

- Un tableau récapitulatif de la géométrie des joints

$N^{\circ}$  = numéro de l'affleurement

$N_m$  = nombre de mesures

$176^{\circ}-8^{\circ}/E74^{\circ}-82^{\circ}$  = direction/pendage d'une famille de joints

$N_c$  = nombre de calques pris sur l'affleurement concerné

- Les autres observations

Elles donnent des renseignements sur la chronologie des déformations ou sur la nature des joints : ch = chevauchant, ci = cisailant, GJ = grand joint, JBM = joint bien marqué.

- + Les interprétations

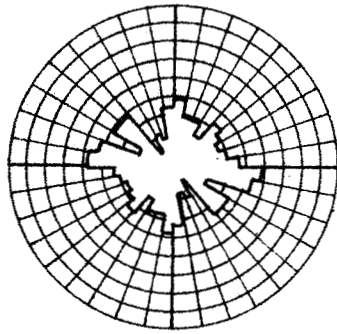
- Les calques

$N^{\circ}$  = numéro de l'affleurement

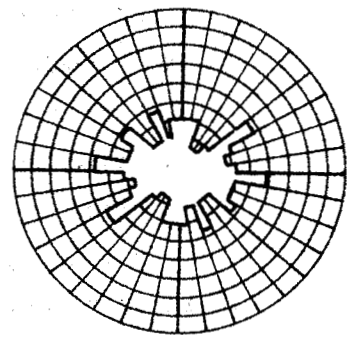
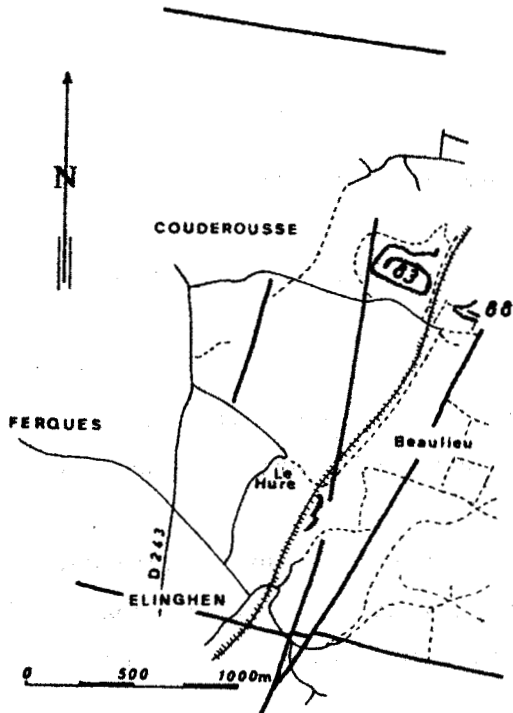
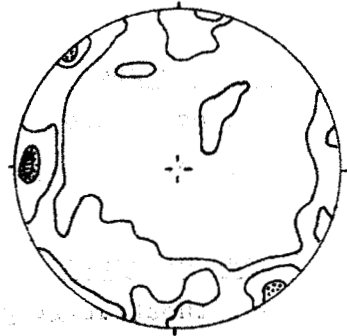
$N_i$  = nombre d'interprétations identiques pour un même affleurement

Nature des joints : Cc = couple conjugué, E = joint en échelon, P = joint à allure de plume, B = "beef", T = joint de tension

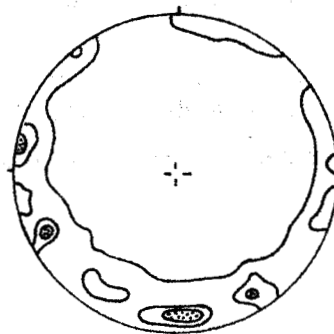
$\sigma_1$  = orientation de la contrainte principale maximale



83



88



## GIVETIEN SUPERIEUR : d4b

1) Calcaire de Blacourt (110 m) : calcaire noir compact en gros bancs.

- 83 (561,6 ; 348,5) - 88 (561,8 ; 348,4).

2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Stratification	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
83	176	176°- 8°/E74°-82° 44°- 50°/90°	110°/S40°	8	- joints en échelon de direction 4°, recoupés par des joints emplis de calcite (53° et 134°)
88	270	8°- 13°/90° 54°- 63°/N72°-82° 76°- 98°/E72°-82° 152°-157°/E74°-82°	105°/S25°	2	- joints en échelon de direction 8°. - joints 0-7° et 30° recoupés par des joints emplis de calcite de direction 50°.

*Les autres observations*

N° 83 - joint à caractère normal : 108°/N70°, stries E73°.

- joint à deux directions de stries : 83°/N50°, stries de direction 178° (ch) recoupées par stries de direction 94° (ci).

- GJ : 48°/NW75°, stries NE 5 à 15°.

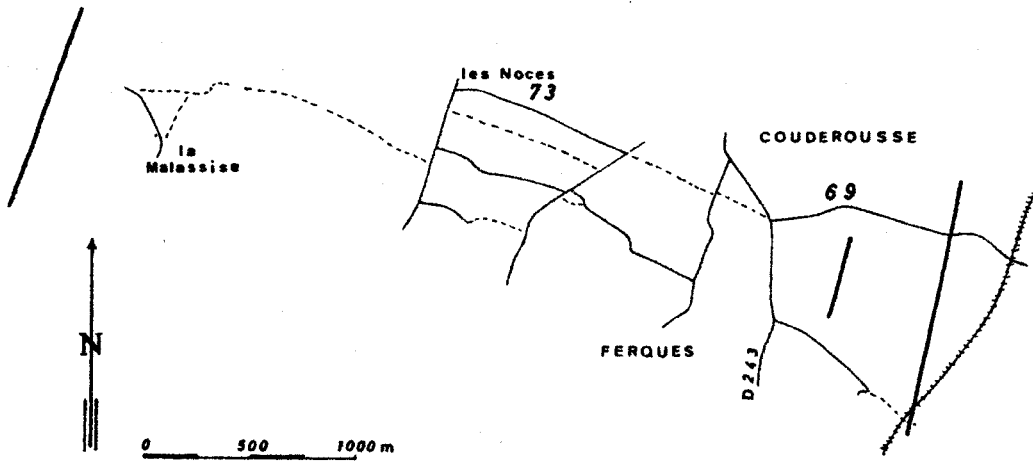
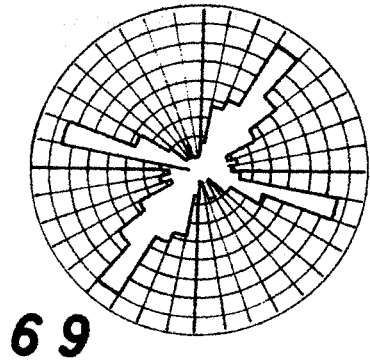
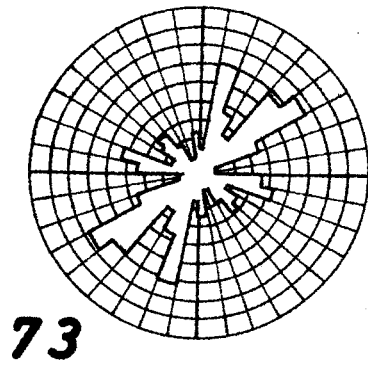
N° 88 - joints à caractère normal : 95°/S45°, stries de direction 248° et 116°/S50° stries NE80°.

- joints à caractère chevauchant : 91°/S23°, stries de direction 15° à 20° et 107°/S40° stries NE80°.

3) Interprétations :

*Les calques*

N°	N <sub>i</sub>	Nature des joints et interprétation		σ <sub>1</sub>
83	4	Cc	53°x134° peu développés	94°
	1	E	Direction 4°, dextre recoupé par joints 85°	
88	2	Cc	0°-7°x30°	13°
	1	E	Direction 8°, dextre	



## FRASNIEN INFÉRIEUR : d5a

- 1) "Schistes de Beaulieu" (90 m) : argiles schisteuses violacées.  
- 73 (559,6 ; 349,2) - 69 (561 ; 348,7).

## 2) Observations

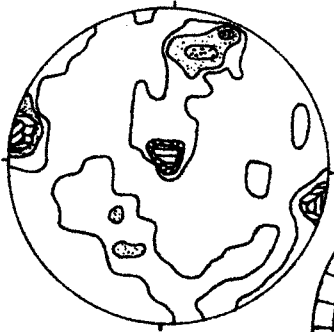
*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
73	106	12°- 18°/90° 41°- 56°/90°			
69	121	30°- 40°/90° 100°-110°/90°			

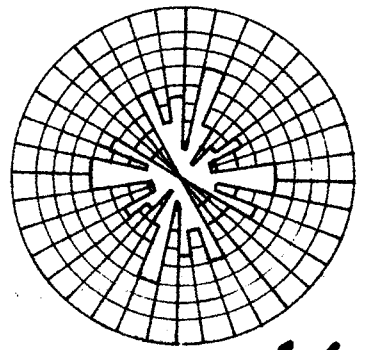
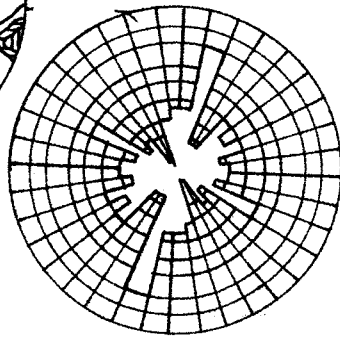
*Les autres observations*

Nombreuses zones de direction 30° - 40° à cassures serrées et parallèles.

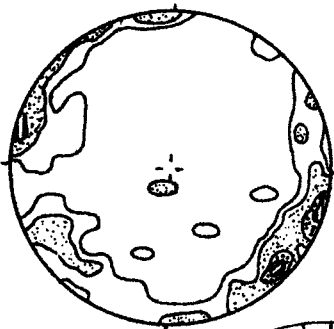
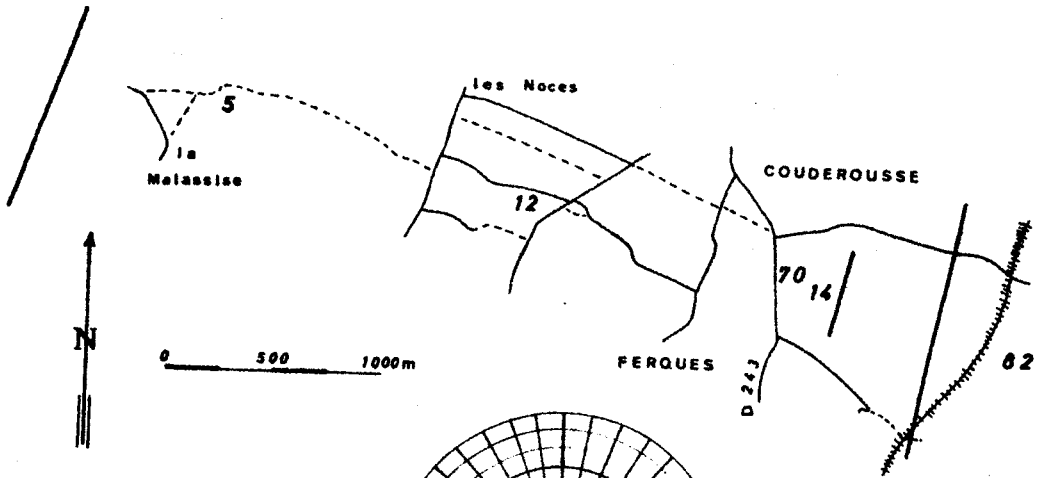




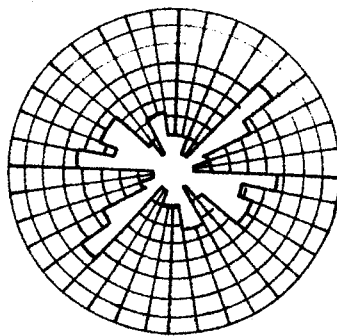
5



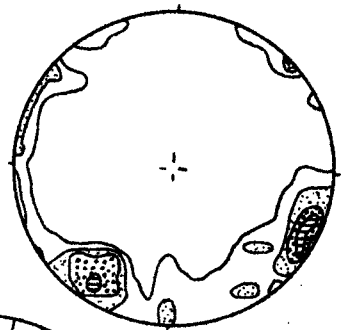
14



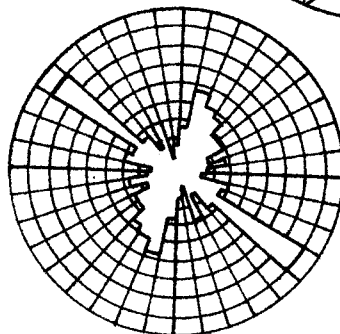
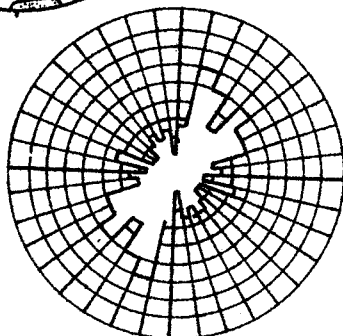
12



70



82



## FRASNIEN SUPERIEUR : d5b

1) Calcaire de Ferques (60 m) : calcaires biogène, en gros bancs avec rares passées argileuses.  
 - 5 (558,1 ; 349,4) - 12 (559,3 ; 348,8) - 70 (550,6 ; 348,4) - 14 (560,8 ; 348,4) - 82 (561,4 ; 347,8).

## 2) Faits d'observation

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Stratification	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
5	90	7°- 15°/90° 85°-104°/S18°-12° 93°-111°/S68°-85°	109°/S46°		
12	61	10°- 20°/90° 39°- 46°/N80°-87°	109°/S41°		
70	46	40°- 50°/90° 90°-100°/90°	88°/S30°		
14	71	9°- 16°/E78°-84° 47°- 55°/90° 93°-107°/N62°-82° 174°-178°/90°	106°/S30°		
82	135	13°- 38°/W74°-86° 115°-136°/NE60°-86°	107°/S30°		

*Les autres observations*

N° 5 - GJ plat 96°/S25°, stries N-S (0 - 10°) et E-W (110° - 130°).

- JEM 96°/S70°, 102°/S75°, 0°/E75°.

N°12 - GJ plat 110°/N13°, direction des stries 22°.

- GJ 59°/N82°, stries NE8°.

N°70 - JEM 163°/90°.

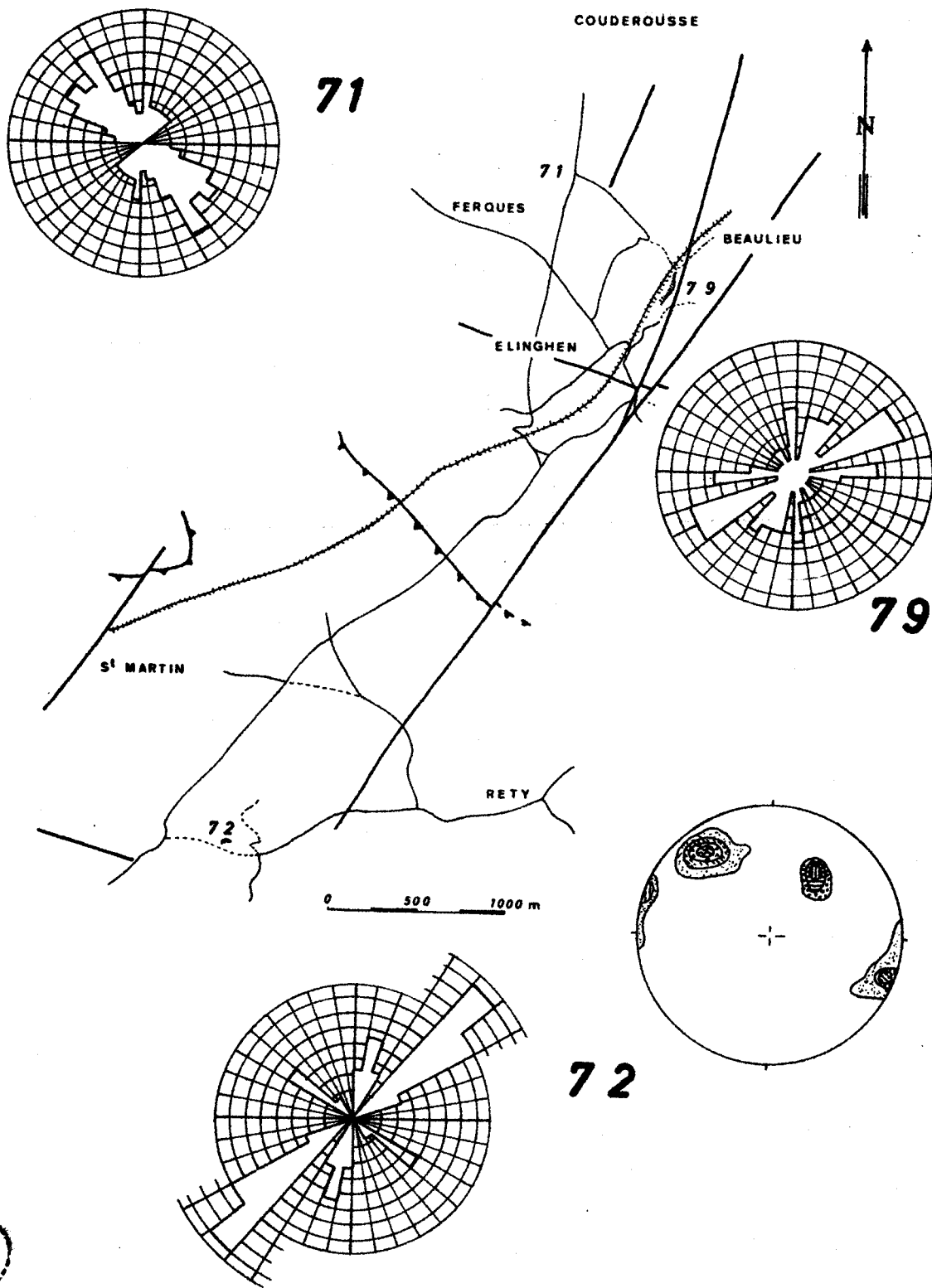
N°82 - 4°/90°.

- 13°/W87°.

- joints à surface plumeuse 2°/W68° et 152°/N90°.







## LE FAMENNIEN : d6b

- 1) Grès et psammites de Fiennes ou de Sainte-Godeleine (50 m) : grès micacés.  
- 71 (560,5 ; 348,1) - 72 (558,5 ; 344,1).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
71	136	120°-150°/S75°-85°	119°/S26°		
72	63	14°- 19°/W80°-88° 47°- 52°/S66°-74° 118°-129°/S45°-53°	124°/NE45°		

*Les autres observations*

- N° 71 - un joint 80°/N86°, stries NE 15 à 20°.  
- un accident (mineur ?) passe en cet endroit, de plus les couches schisteuses et gréseuses dessinent un léger anticlinal.

## LE TOURNAISIEN : h1

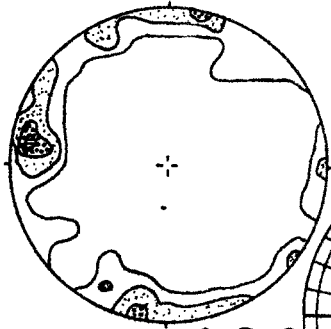
- 1) Dolomie du Hure (100 m) : dolomie franche.  
- 79 (561,1 ; 347,5).

## 2) Observations

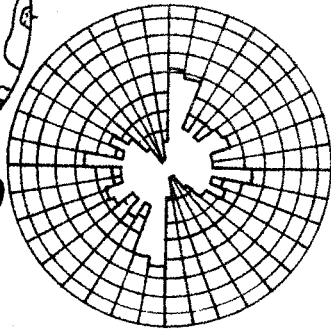
*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
79	56	56°- 61°/W68°-80° 166°-172°/90°	125°/S28°		

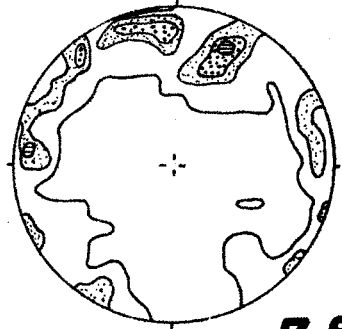




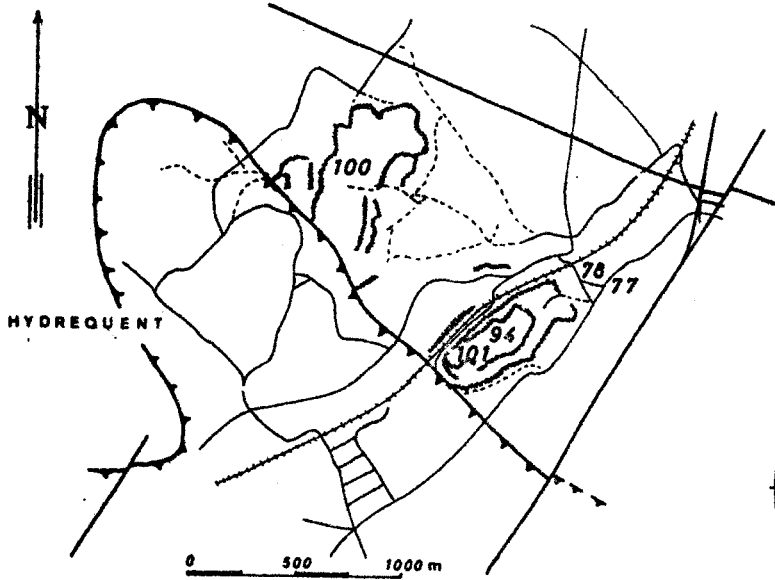
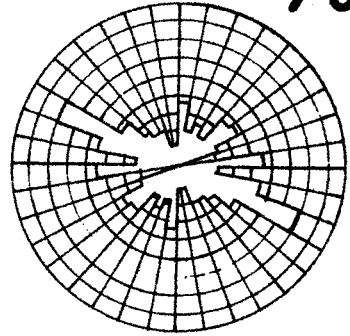
100



FERQUES

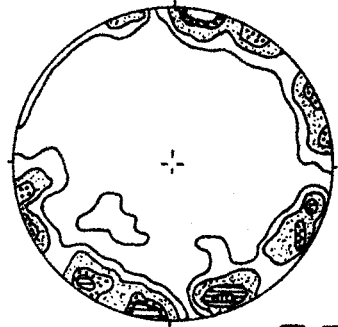


78

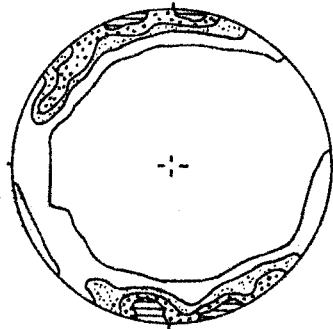
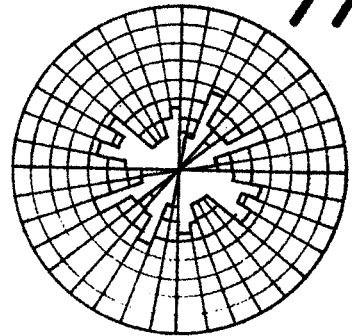


HYDREQUENT

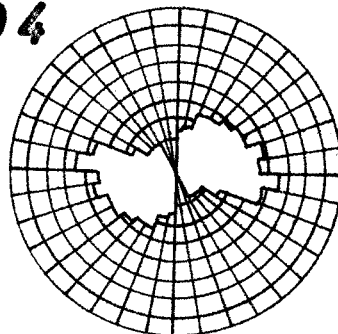
0 500 1000 m



77

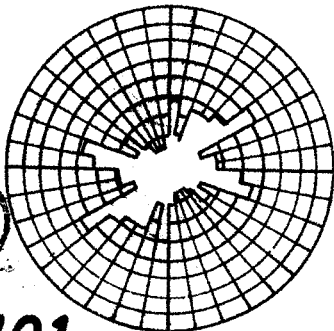


94



BUS  
LIEGE

101



- 1) (200 m) : calcaires recristallisés, organogènes et oolithiques en bancs compacts.  
 - 100 (559 ; 347) - 101 (559,7 ; 346,2) - 94 (559,9 ; 346,2) - 77 (560,4 ; 346,4) - 78 (560,4 ; 346,6).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
100	234	6°- 18°/E70°-86° 99°-107°/90°	169°/W14°		
101	74	33°- 37°/90°	115°/S59°		
94	630	66°- 78°/90° 92°- 98°/90°	162°/W15°	12	<u>Séquence - 11</u> - beef 41° - joints conjugués 29°x163° 13°x70° - joints de tension 88° <u>Séquence - 10</u> - joints de tension 40° - joints conjugués 36°x150° - joints de tension 87° <u>Séquence 3'pi</u> - joints de tension 97° et 132°
77	50	13°- 18°/N80°-88° ? 24°- 35°/N76°-86° 70°- 75°/N80°-86° 94°-105°/90° 125°-133°/90° 148°-160°/90° ? 168°-172°/90°	178°/E14°		
78	96	6°- 12°/E76°-84° 55°- 60°/S78°-88° 76°- 92°/S72°-82° 105°-120°/S54°-76°	119°/N29°	4	- beef 96°

*Les autres observations*

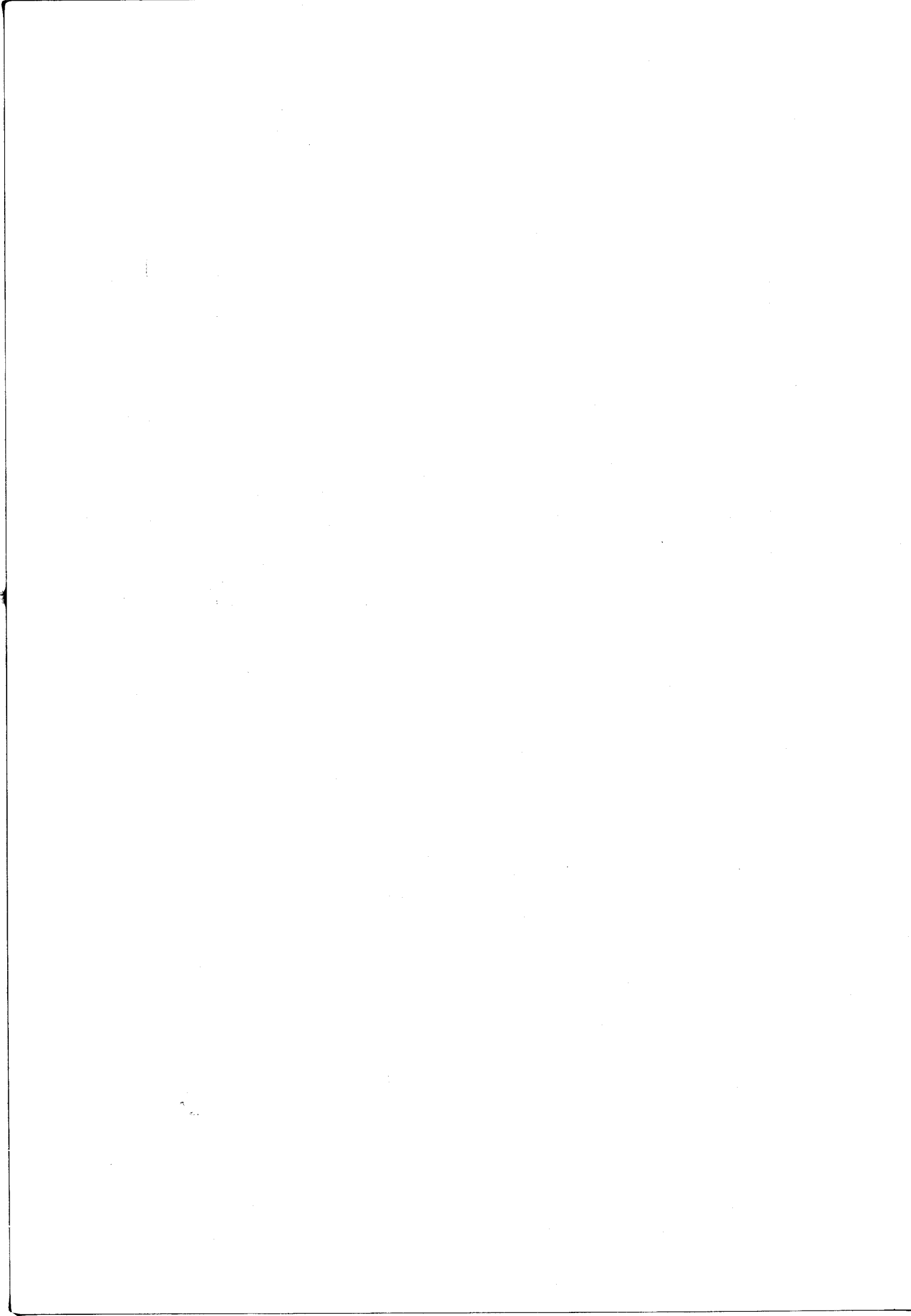
N° 100 - un joint normal : 172°/E50°, stries S68°.

- GJ : 8°/W85°.

N° 101 - un joint peu penté 176°/E23°, stries de direction 50°

- les joints peu pentés de direction 0 - 30° ont tous des stries sensiblement parallèles à leur direction.

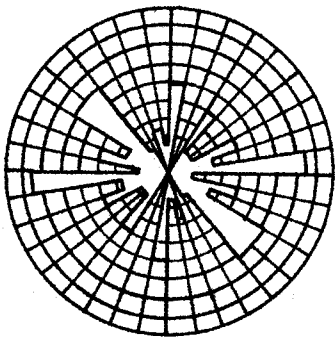




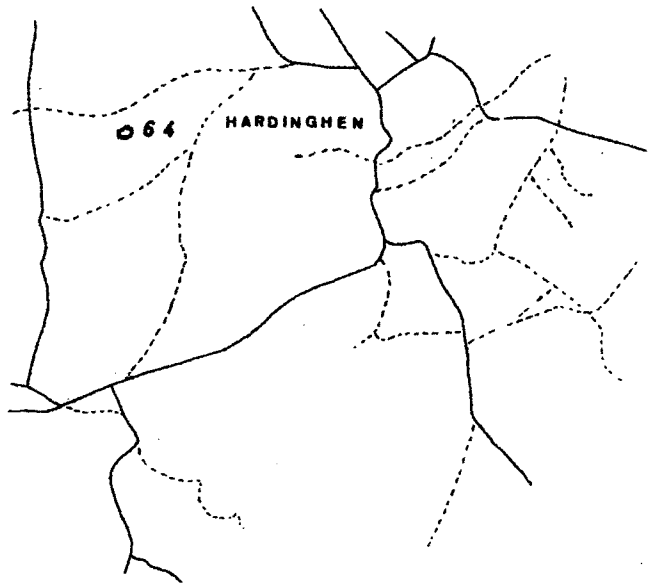
## 3) Interprétations : les calques

N°	N <sub>i</sub>	Nature des joints et interprétation		σ <sub>1</sub>
94 Séq. - 10	2	T	joints de tension (40°) sans calcite : deux interprétations en sont possibles : a) joints ouverts, parallèles à 1 b) systèmes de joints en échelon conjugués 14°x58°	40°
		E		36°
	14	CC	peu développés 34°x150° (la composante 150° recoupe et déplace les joints de tension (40°))	4°
	7		des joints sans calcite de direction 87° recouper et déplacent la branche 34° des CC	
Séq. - 11	2	B	beef et joint de calcite de direction 43°	43°
	1)	9	CC 15°x66° (la branche 15° recoupe le beef)	40°
2)	1	CC	29°x163°	6°
	2	CC	10°x 73°	42°
	2		joints emplis de calcite de direction 81° 96° déplace 10°	
Séq.	2	T	joints de tension emplis de calcite 97°	
3' pi	3		joints sans calcite 131°-133°	





64



0 500 1000m



## LE WESTFALIEN : h3

1) Grès des plaines (20 m) : grès à ciment quartzeux en gros bancs.  
- 64 (562,4 ; 345).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
64	40	0°- 10°/90° 80°- 90°/90° 120°-140°/90°	138°/SW15°		

*Les autres observations*

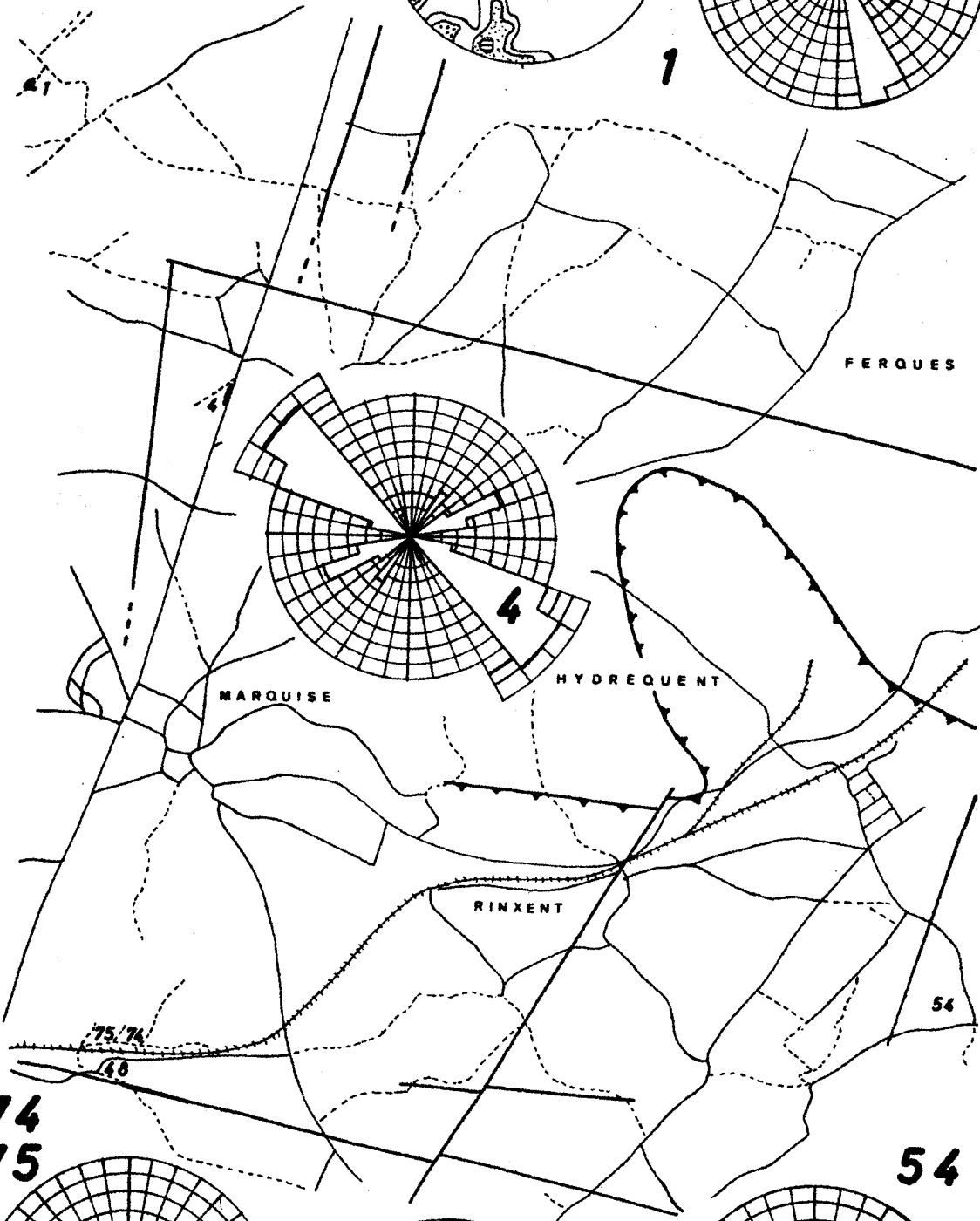
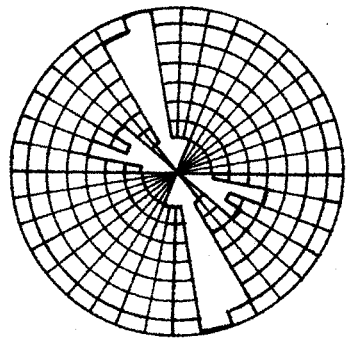
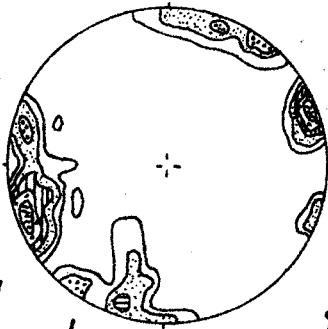
Des circulations karstiques fossiles ont été observées le long des joints : 33°/- 90° et 88°/- 90°.



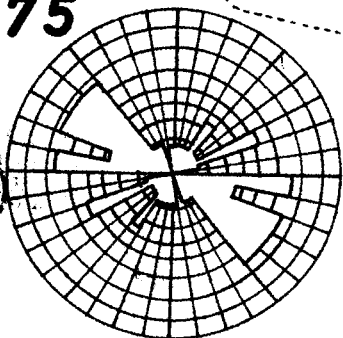




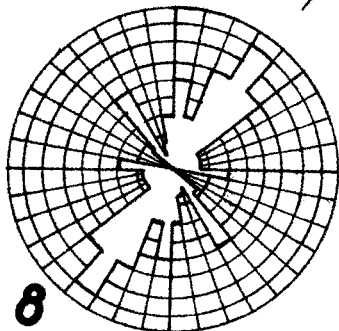
0 500 1000 m



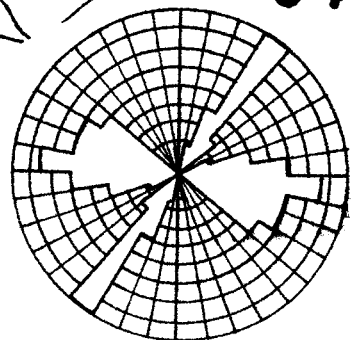
74  
75



48



54



GUS  
LILLE

## BATHONIEN INFÉRIEUR : j2a

- 1) Calcaire de Rinxent (10 m) : calcaire oolithique et pseudoolithique.  
- 48 (554,9 ; 344,6) - 54 (559,6 ; 344,5).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
48	32	30°- 40°/90° 140°-150°/90°			
54	41	30°- 40°/90° 90°-100°/90°			

## BATHONIEN MOYEN : j2b

- 1) Oolithe de Marquise (7 m) : calcaire oolithique à débit en plaquettes.  
- 1 (554,9 ; 349,9) - 4 (556 ; 348,1) - 74 (555,3 ; 344,6) - 75 (555,1 ; 344,6) - 65 (562 ; 343,8) - 20 (561,9 ; 343,7).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

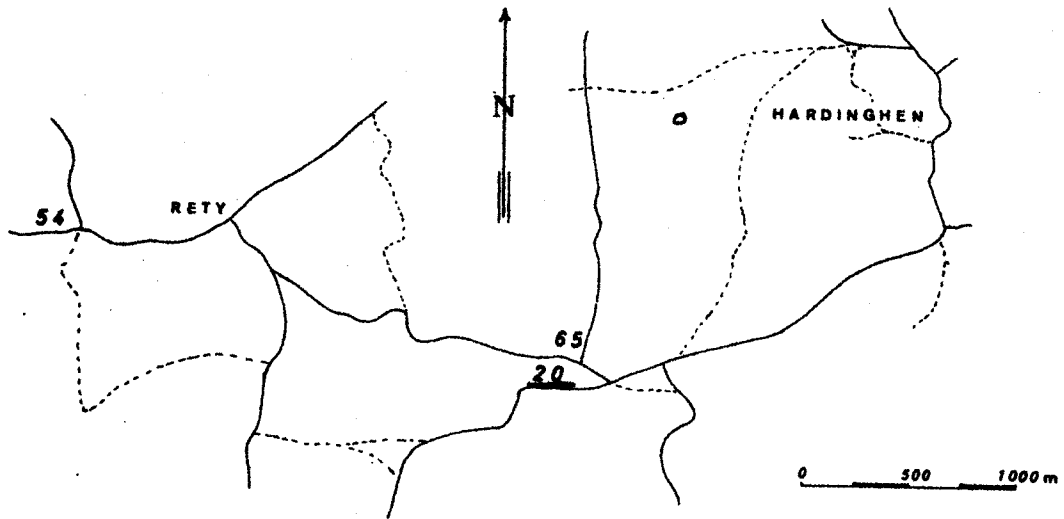
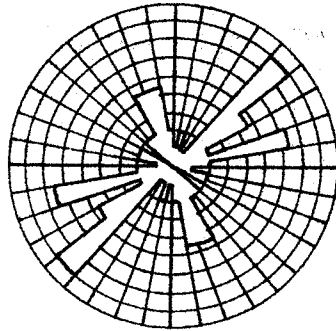
N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
1	50	107°-111°/N78°-86° 119°-125°/90° 156°-165°/90°			
4	41	60°- 70°/90° 120°-140°/90°			
74 75	31	60°- 70°/90° ? 90°-100°/90° ? 110°-140°/90° ?			
65	45	40°- 50°/90° 70°- 80°/90°	153°/SW8°		
20	50	50°- 60°/90° 90°-100°/90° 130°-140°/90°			



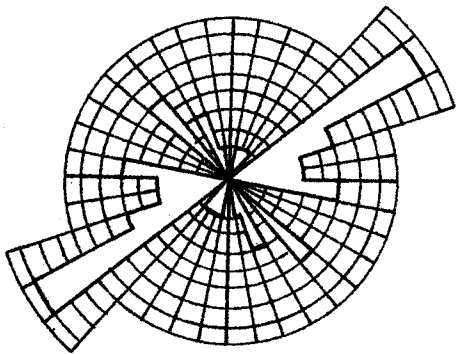
THE UNIVERSITY OF CHICAGO LIBRARY

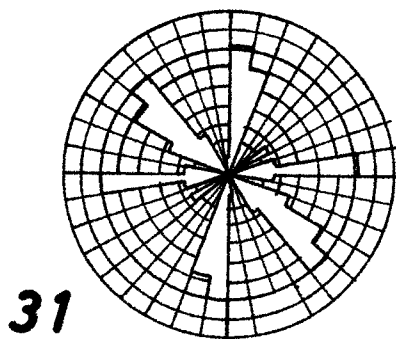
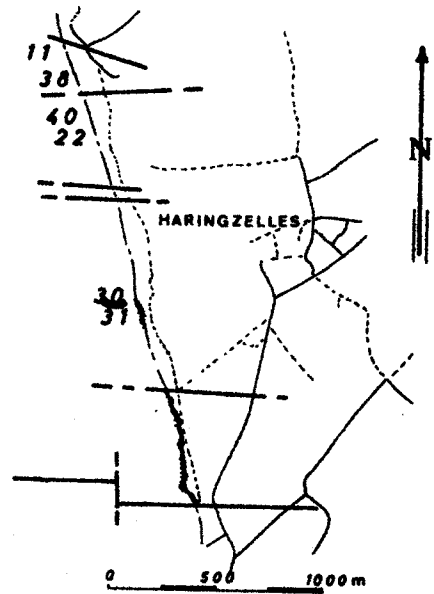
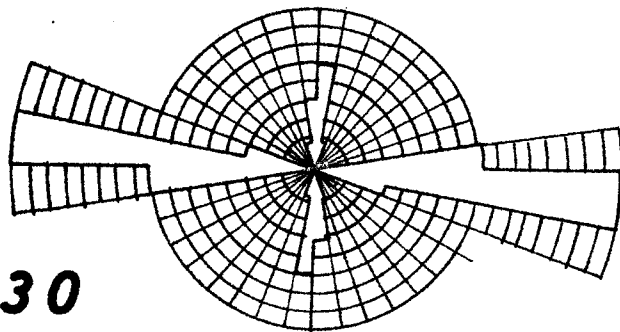
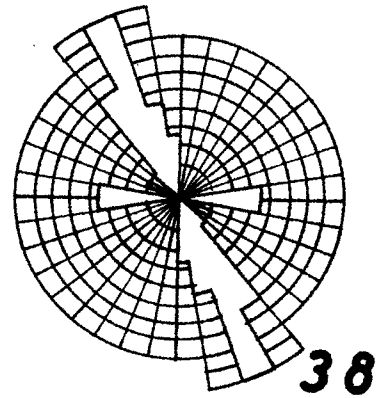
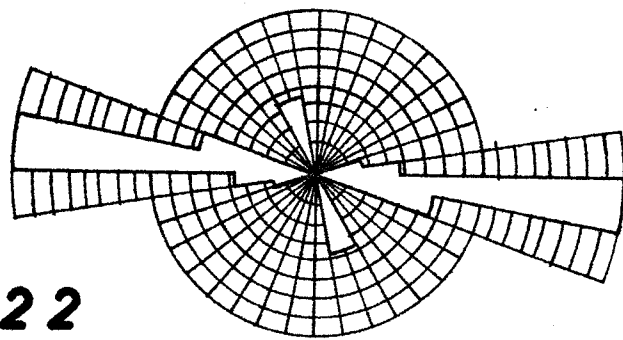
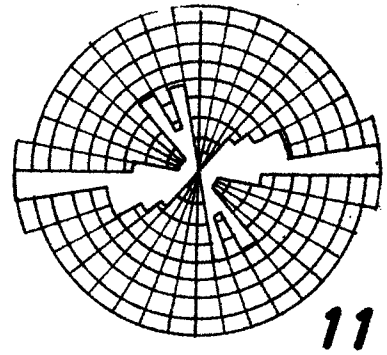
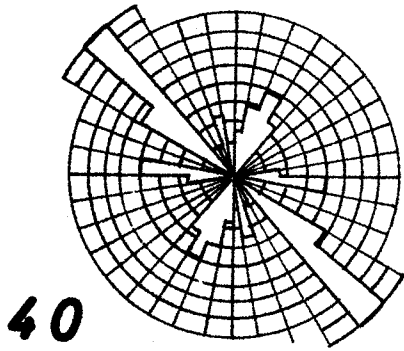


65



20





## KIMMERIDGIEN NIVEAU 4 : j8a

1) Calcaire du Moulin Wibert (14 m) : alternance de bancs de calcaires marneux et de marnes plus ou moins sableuses.

- 30 (547,1 ; 349,3) - 31 (547,1 ; 349,1) - 22 (546,9 ; 349,8) - 40 (546,9 ; 349,9) - 38 (546,9 ; 350,2) - 11 (546,9 ; 350,35).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>j</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
30	31	0°- 10°/90° 90°-100°/90°		5	joints à allure de plume (90°-100°)
31	43	0°- 20°/90° 80°- 90°/90° 120°-140°/90°		3	joints à allure de plume (80°-90°)
22	48	90°-100°/90°		10	joints à allure de plume (90°-100°)
40	60	90°-100°/90° 130°-140°/90°		2	joints à allure de plume (90°-100°)
38	57	150°-160°/90°		10	joints à allure de plume (80°-90°)
11	41	68°- 76°/880°-90° 84°-87°/886°-90°			

*Les autres observations*

Un fait remarquable à noter est la très forte prédominance des familles de joints de direction E-W.

N°	% par rapport au nombre total de joints
30	50 %
31	15 %
22	43 %
40	30 %
11	20 %

3) Interprétations : *Les calques*

N°	N <sub>i</sub>	Nature des joints et interprétation		σ <sub>1</sub>
30	2	P	54°x117°	85°
31	3	P	57°x106°	81°
22	19	P	60°x125°	92°

N°	N <sub>i</sub>	Nature		σ <sub>1</sub>
40	4	P	69°x121°	95°
38	11	P	57°x121°	89°

41-43

CAP  
GRIS-NEZ 43-41

15  
19  
20

14

33  
34  
35

32

0 500 1000 m

13

19

15  
20

14

13

AUDRESSELLES

35

34

33

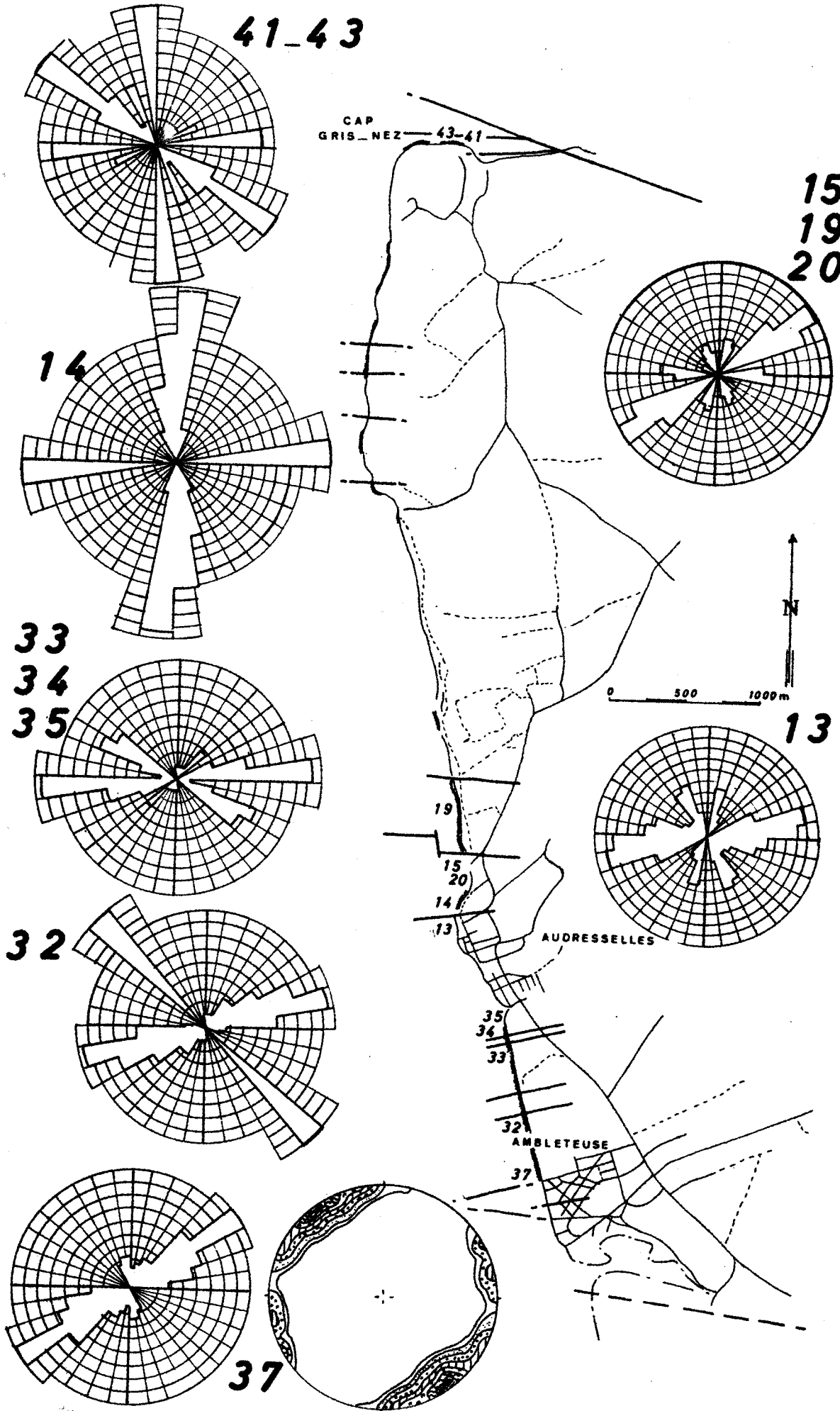
32

AMBLETEUSE

37

BUS  
LILLE

37



- 1) Argiles de Chatillon (22-25 m) : argiles pyriteuses à rares bancs de lumachelles et à lits de gros nodules de calcaire compacts
- 37 (547,9 ; 346,1) - 32 (547,8 ; 346,3) - 33 (547,7 ; 346,8) - 34 (547,7 ; 347)
  - 35 (547,7 ; 347,1) - 13 (547,3 ; 347,7) - 14 (547,3 ; 347,9) - 15 (547,3 ; 348,1)
  - 19 (547,3 ; 348,5) - 20 (547,3 ; 348,1) - 41 (547,4 ; 352,8) - 43 (547,3 ; 352,8).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Stratification	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
37	70	48°- 62°/90° 165°-170°/90°		3	- joints à allure de plume (60°-70°) - joints en échelon (87°)
32	58	62°- 71°/90° 132°-137°/90°		1	- joints à allure de plume (60°-70°)
33 34 35	91	80°- 90°/90° 120°-130°/90°		6	- joints à allure de plume (50°-70°) - couples de joints conjugués (62°x116°)
13	119	70°- 90°/90°		1	- joints à allure de plume (90°-100°)
14	41	0°- 10°/90° 90°-100°/90°			
15 19 20	152	50°- 60°/90°	93°/83°		
41 43	32	80°- 90°/90° 120°-130°/90° 170°-180°/90°		1	- joints à allure de plume (80°-90°)

*Les autres observations*

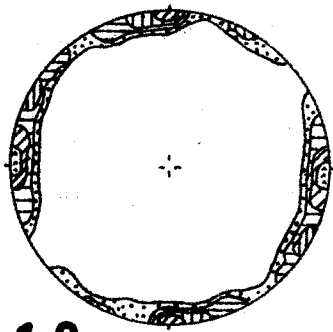
N° 15-19-20 - principales directions de joints : 90°-100°

- parfois ces joints (90°-100°) sont cisailants, parfois, ils sont eux-mêmes déplacés par des joints (120°-130°).

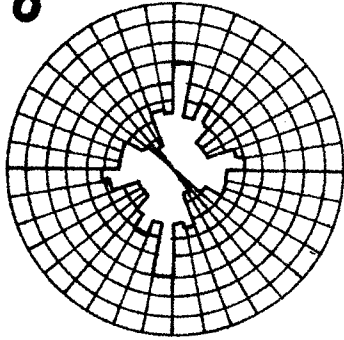
3) Interprétations : *Les calques*

N°	N <sub>i</sub>		Nature des joints et interprétation	σ <sub>i</sub>
37	5	P	41°x102°	70°
	1	R	Joint en échelon trahissant un cisaillement sensé le long de la direction 87°	
32	1	P	Joint à allure de plume peu développé	72°
33	1	P	21°x 86°	53°
	4	P	42°x106°	73°
	7	P	62°x116° bien développés	86°
34	5	CC	Une direction de joints cisailants (110°-130°) bien développés, elle recoupe et déplace les joints à allure de plume de direction 53° et 73°	
13	1	P	Joint à allure de plume peu développé	92°
41 43	1	P	54°x111°	

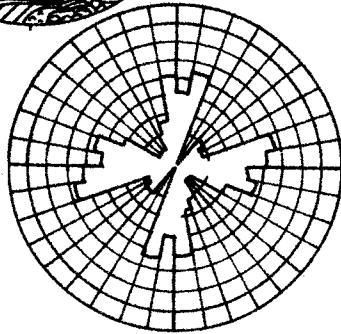
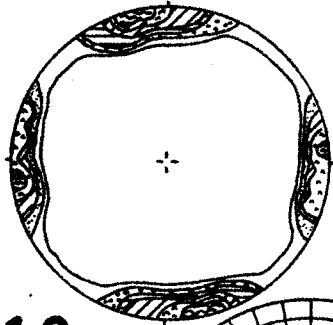




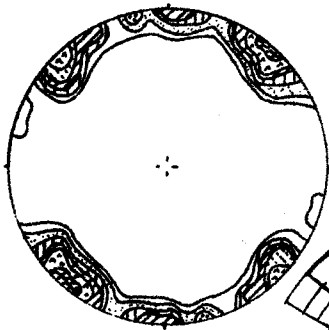
18



12  
13



104



CAP  
GRIS-NEZ

- 44  
45

44  
45



0 00 1000 m

AUDRESSELLES

AMBLETEUSE

10  
13  
12

104



## PORTLANDIEN INFÉRIEUR : j9a

1) Grès de la Crèche (18 m) : grès calcaireux.

- 104 (548,1 ; 345,5) - 12 (547,3 ; 347,5) - 13 (547,3 ; 347,7) - 18 (547,3 ; 348,2) - 44 (547,2 ; 352,8) - 45 (547,1 ; 352,8).

2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Stratification	Les calques	
	N <sub>j</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
104	101	44°- 49°/90° 87°-104°/90° 125°-137°/90°	125°/SW10°	10	- joints à allure de plume (40°-50°- et (60°-70°) - couple de joints ? (115°x176°)
12 13	142	6°-176°/90° 76°- 96°/90°		1	- couple de joints ? (50°x93°)
18	230	8°-178°/90° 76°- 94°/90°		11	Les calques sont trop confus Aucun résultat
44 45	48	0°- 10°/90° 130°-140°/90°			

*Les autres observations*

N° 104 - parfois des joints 90° - 100° déplacent d'autres joints 120° - 130°.

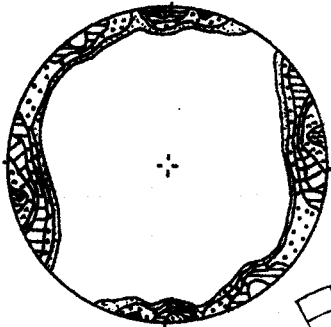
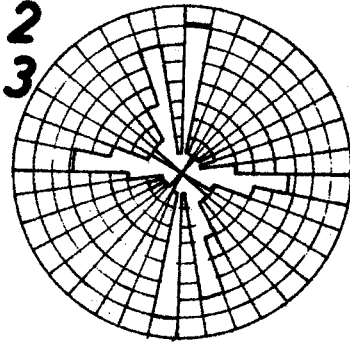
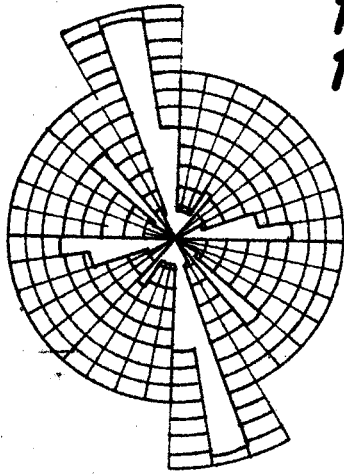
N°12-13- directions de joints cisailants dextres et senestres 80° - 100°.

N°44-45- directions de joints cisailants 90° - 100° dextre et 120° - 140°.

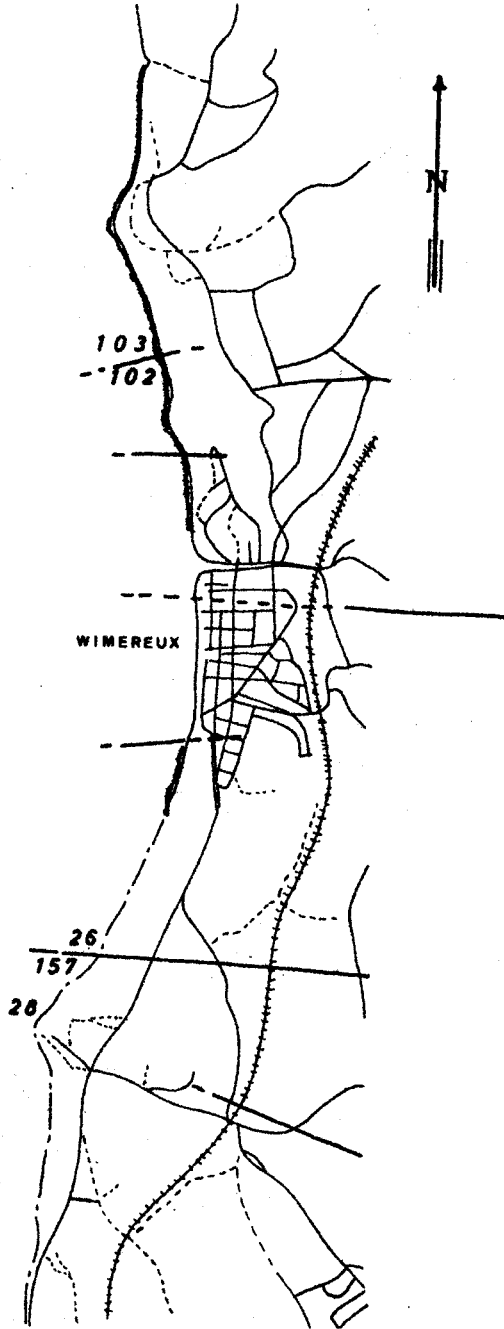
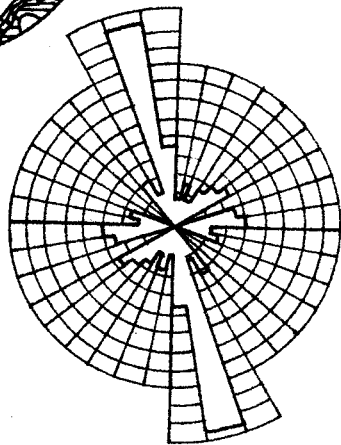
3) Interprétations : *Les calques*

N°	N <sub>i</sub>	Nature des joints et interprétation		σ <sub>1</sub>
104	5	P	Peu développés 16°x71°	45°
	6	P	Bien développés allant parfois jusqu'à un système de joints conjugués cisailants (qui recoupent alors les joints à allure de plume associés) 28°x112°	70°
	1	CC	115°x176°	145°
12 13	1	CC	50°x93°	

102  
103



26



BOULOGNE-sur-MER

BUS  
LILLE

28

0 500 1000 m

PORTLANDIEN MOYEN : j9b

1) (32 m) : alternances de bancs argileux et calcaires.

- 28 (547,8 ; 339,4) - 157 (547,9 ; 339,7) - 26 (547,9 ; 339,7) - 102 (548,4 ; 342,5) - 103 (548,35 ; 342,7).

2) Observations

*La géométrie des joints*

A = niveau argileux

B = niveau calcaire

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>A</sub>	Familles de joints		N <sub>C</sub>	Types de joints
28 <sub>A</sub>	130	0°- 10°/90°			
157 <sub>C</sub>	0			8	- joints à allure de plume (50°-60°) et (80°-90°) - joints cisillants (0°-10°x110°-120°)
26 <sub>A</sub>	97	48°- 55°/90° 74°- 92°/90° 164°-170°/90°			
102 103 <sub>C</sub>	50	0°- 10°/90° 100°-110°/90° 160°-170°/90°			
102 103 <sub>A</sub>	32	130°-140°/90° 160°-170°/90°			

*Les autres observations*

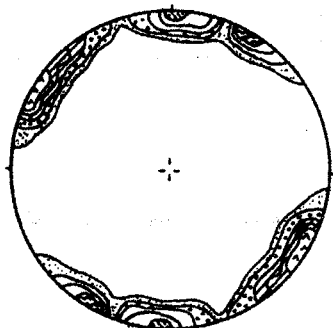
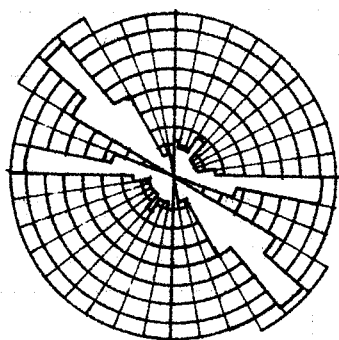
N° 28 - les joints de direction 160° - 170° sont cisillants dextres.

N° 157 - les joints de direction 30° - 40° sont cisillants dextres et 80° sont cisillants senestres.

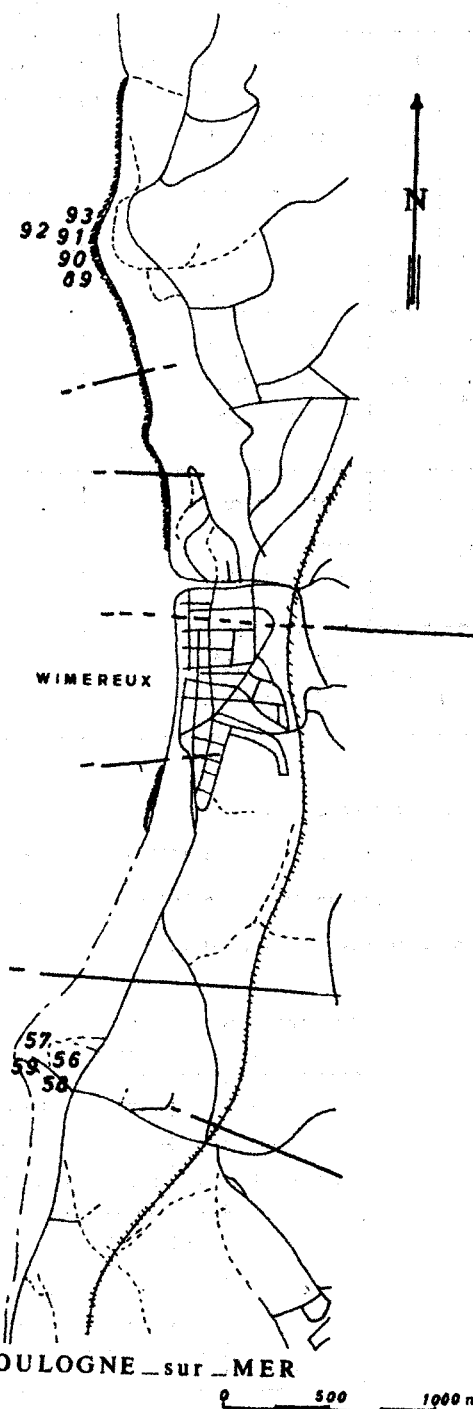
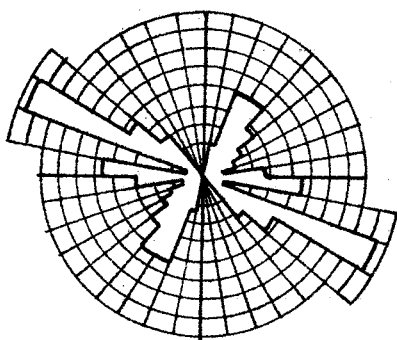
3) Interprétations : *Les calques*

N°	N <sub>i</sub>	Nature des joints et interprétation		σ <sub>1</sub>
157	4	P	peu développés 26°x73°	50°
	11	P	bien développés 58°x117°	87°
	6	CC	2°x110° recoupés par les deux familles de joints à allure de plume	148°
	1	E	40° dextre	
	1	E	35° dextre	
	1	E	65° dextre	
	1	E	80° senestre	

89  
90  
91  
92  
93



56  
57  
58  
59



BOULOGNE-sur-MER

0 500 1000 m

BUS  
LILLE

## PORTLANDIEN SUPERIEUR : j9c

1) (12 m) : grès calcaireux

- 56 (547,9 ; 339,2) - 57 (547,8 ; 339,2) - 58 (547,8 ; 339,2) - 59 (547,6 ; 339,3) - 89 (548,3 ; 343,25) - 90 (548,3 ; 343,3) - 91 (548,3 ; 343,4) - 92 (548,3 ; 343,35) - 93 (548,35 ; 343,35).

2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Stratification	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
56 57 58 59	100	26°- 39°/90° 87°-103°/90° 118°-124°/90°			
89 90 91 92 93	176	90°-100°/90° 130°-140°/90°	82°/S4°	5	- joints à allure de plume (90°-100°) - joints conjugués (72°x123°)

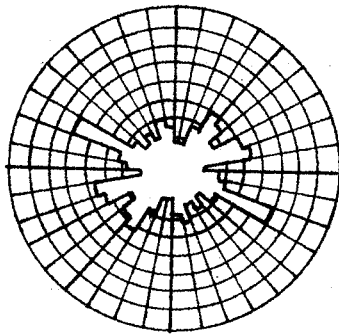
*Les autres observations*

N° 56 à 59 - "beefs" de direction 80° - 100°.

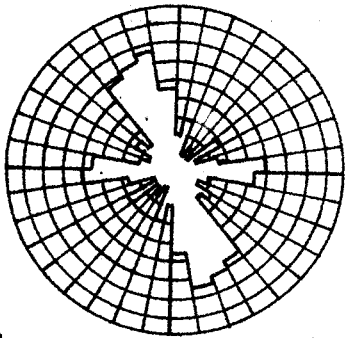
N° 89 à 93 - zones de cisaillement : 90° - 100° dextre et 120° - 130° dextre.

3) Interprétations : *Les calques*

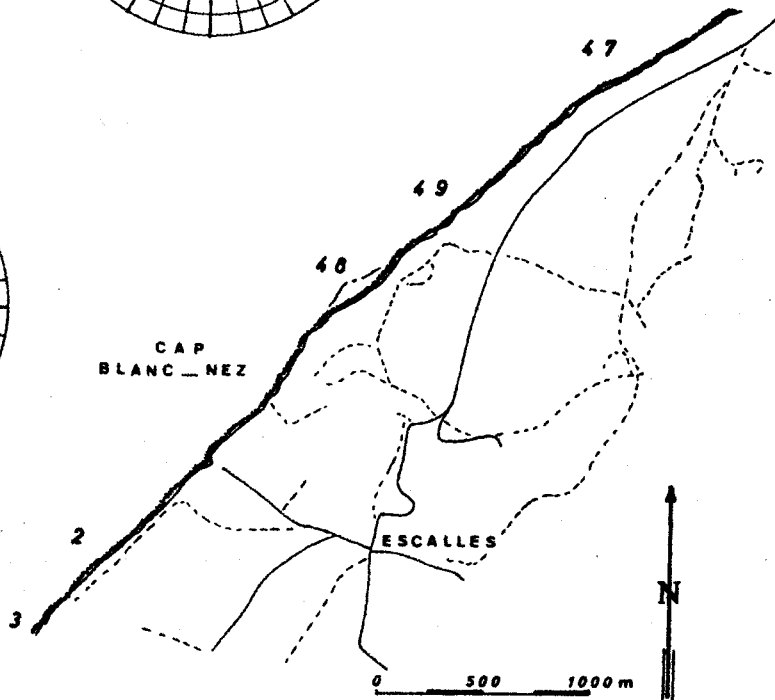
N°	N <sub>i</sub>	Nature des joints et interprétation		σ <sub>1</sub>
89 à 93	10	P	Très fins	96°
	2	CC	72°x123°	96°



47  
48  
49



2  
3



## LE CENOMANIEN : c2

## 1) (20 m) craie marneuse

- 2 (555,2 ; 357,9) - 3 (554,6 ; 357,7) - 47 (557,2 ; 360,1) - 48 (556,1 ; 359,1) - 49 (556,6 ; 359,5).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Stratification	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
2 3	169	80°-100°/ 160°-170°/		2	Joints de tension de direction 88°
47 48 49	193	30°- 40°/ 60°- 80°/ 110°-120°/			

*Les autres observations*

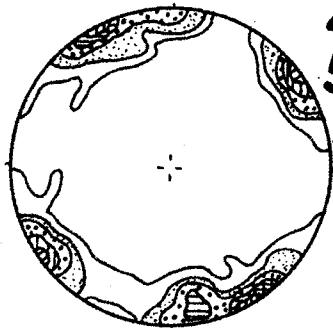
N° 2-3 - pendage des joints assez fort 70° - 90°.

- directions cisailantes 165° et 18° senestres déplacent des joints de direction 80° - 90°.
- joint à cassure plumée : 54°/- 90°, axe de la plume incliné de 5° vers le NE, sens de propagation vers le NE.

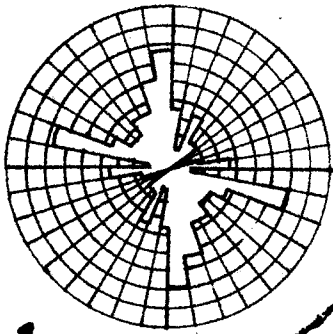
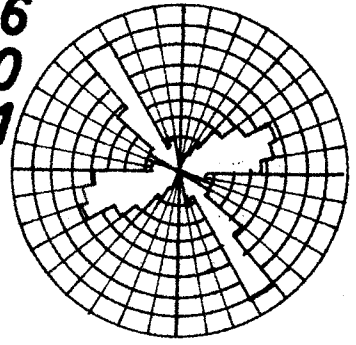
N° 47-48-49 - pendage des joints assez fort 70° - 90°.

- des joints de direction 60° - 70° déplacent ou sont déplacés par des joints de direction 110° - 120° en de nombreux endroits sur l'estran.
- des joints en échelon, remplis de pyrite fibreuse (marcassite) ont été étudiés en 48. Du fait de la grande dimension de ces joints (plusieurs mètres) par rapport à l'estran et de la précarité des affleurements, il n'a pu être procédé à l'observation de séries continues de joints en échelon. Les directions de cisaillement qu'indiquent ces joints semblent être 136°, 179° - 35°, 45°.

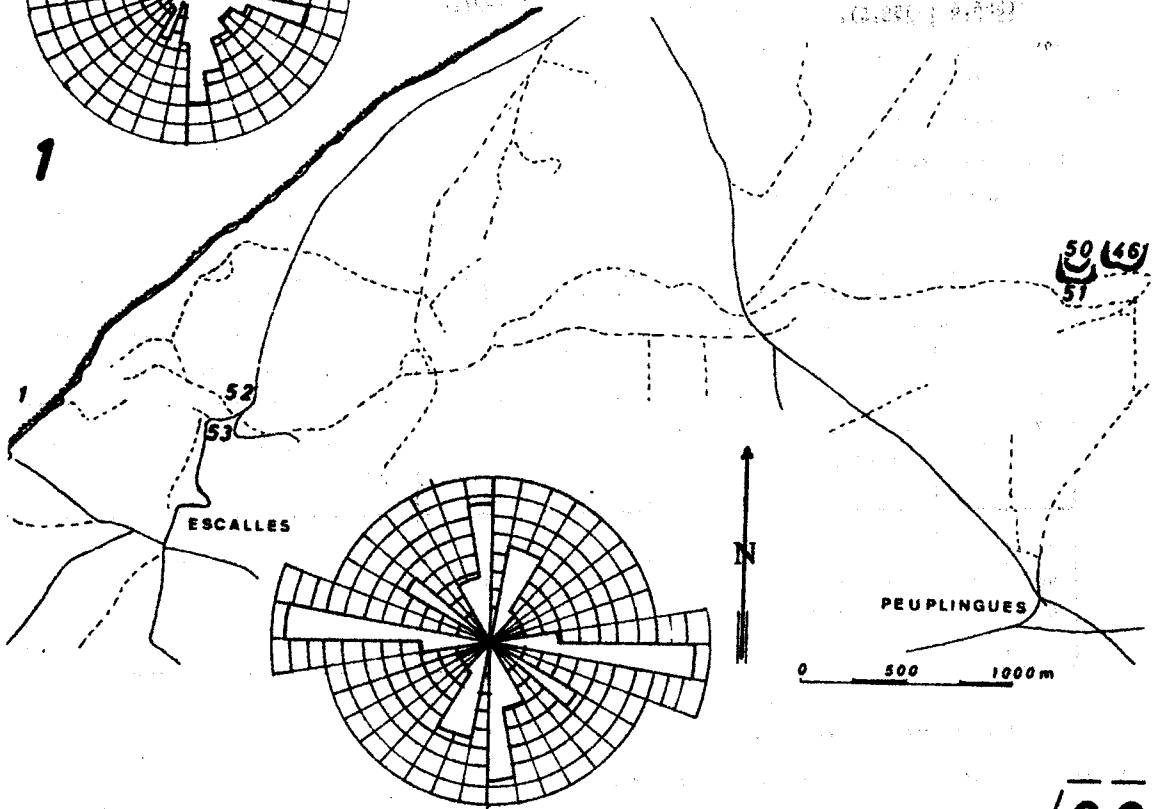




46  
50  
51



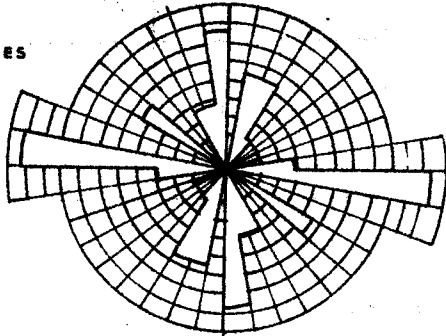
1



ESCALLES

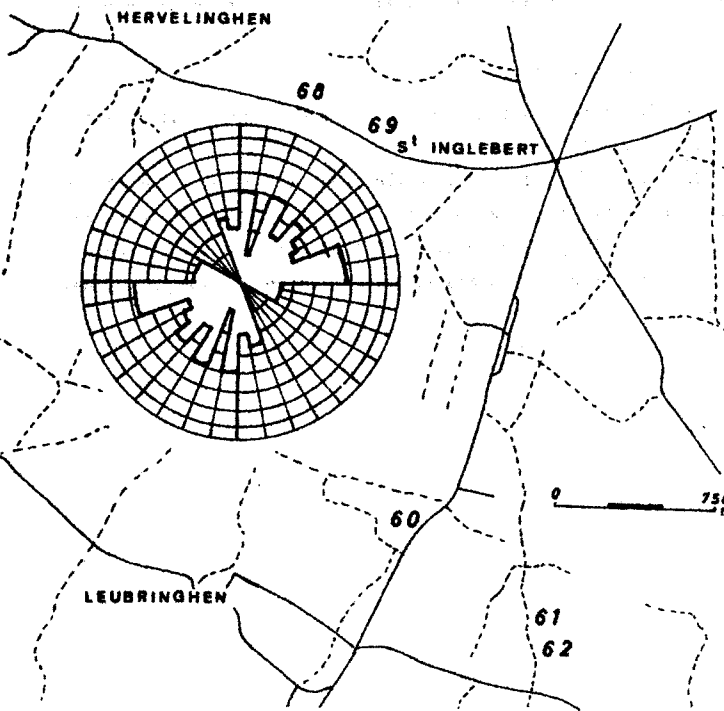
PEUPLINGUES

0 500 1000 m



50 46  
51

60



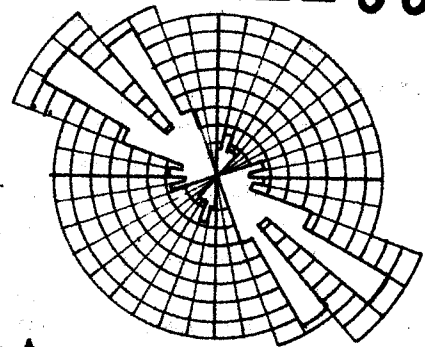
HERVELINGHEN

68  
69  
S<sup>t</sup> INGLEBERT

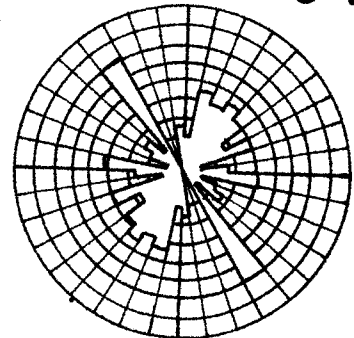
LEUBRINGHEN

0 750 m

61  
62



61



- 1) (30 m) : marnes blanches à verdâtres (diâves)  
- 1(555,7 ; 358,6).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
1	51	158°-163°/W74°-80°			

*Les autres observations*

Des joints en échelon avec ou sans remplissage de pyrite, indiquant des directions cisailantes de 7°, 16°, 123° ont pu être observés.

## TURONIEN MOYEN : C3b

- 1) (40 m) : marnes blanc crème, à lits de craie marneuse compacte  
- 61 (558,2 ; 350,9) - 62 (558,3 ; 350,8).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
61 62	56	140°-150°/90°			

## TURONIEN SUPÉRIEUR - SENONIEN : C4-3c

- 1) Épaisseur supérieure à 10 m, craie blanche à lits de silex  
- 46 (560,7 ; 359,4) - 50 (560,5 ; 359,3) - 51 (560,5 ; 359,2) - 52 (556,5 ; 358,6)  
- 53 (556,5 ; 358,5) - 68 (557,4 ; 353,4) - 69 (557,7 ; 353,2) - 60 (555,7 ; 351,5).

## 2) Observations

*La géométrie des joints*

N°	Les joints		Strati- fication	Les calques	
	N <sub>m</sub>	Familles de joints		N <sub>c</sub>	Types de joints
46 50 51	130	56°- 66°/90° 140°-149°/90°			
52 53	27	90°-100°/N75°-85°			
68 69	69	0°- 10°/90° 70°-90°/S85°-90°	153°/SW8°		
60	75	120°-130°/NE80°-90° 140°-150°/E70°-90°			

*Autres observations*

N° 46-50-51 - Quelques zones faillées, provoquant un rejet d'une dizaine de centimètres, ont été observées (plan moyen 137°/SW85°). En s'approchant de celles-ci, les diaclases se resserrant très fortement jusqu'à donner une zone hachée. Cette remarque pourrait être un critère de reconnaissance pour retrouver les failles dans la ceinture crétacée du Boulonnais.



The first part of the document discusses the general principles of the proposed system, which is designed to be both efficient and economical. It is intended to provide a comprehensive overview of the various components and their interactions. The system is based on a solid foundation of scientific research and practical experience, ensuring its reliability and effectiveness.

The second part of the document details the specific implementation of the system, including the various stages and processes involved. It provides a clear and concise description of the methods and techniques used, along with the necessary resources and equipment. This section is intended to serve as a practical guide for those responsible for the system's operation and maintenance.

The third part of the document discusses the results of the system's implementation, including the various benefits and advantages it offers. It provides a detailed analysis of the system's performance and its impact on the overall process, highlighting the significant improvements in efficiency and cost-effectiveness. This section is intended to provide a clear and convincing case for the system's adoption and widespread use.

The fourth part of the document discusses the future prospects of the system, including the various opportunities and challenges it presents. It provides a detailed analysis of the system's potential for further development and improvement, as well as the various factors that will influence its long-term success. This section is intended to provide a clear and realistic assessment of the system's future role and contribution to the overall process.

In conclusion, the proposed system is a highly innovative and effective solution to the various challenges and problems faced by the industry. It is designed to be both efficient and economical, providing a comprehensive overview of the various components and their interactions. The system is based on a solid foundation of scientific research and practical experience, ensuring its reliability and effectiveness. It is intended to serve as a practical guide for those responsible for the system's operation and maintenance, and to provide a clear and convincing case for its adoption and widespread use.

## ANNEXE II

Tableau récapitulatif des différents affleurements  
étudiés.

## Conventions

N° = numéro de l'affleurement

c3a.1 = indice affecté à l'affleurement

X ; Y = coordonnées Lambert

pages = numéro des pages où l'affleurement est cité

N°	Indices	X ; Y	Pages
1	c3a.1	555,7 ; 358,6	134-135
	j2b.1	554,9 ; 349,9	118-119
2	c2.1	555,2 ; 357,9	132-133
3		554,6 ; 357,7	
4	j2b.2	556 ; 348,1	118-119
5	d5b.2	558,1 ; 349,4	108-109
11	j8b.8	546,9 ; 350,35	122-123
12	j9a.3	547,3 ; 347,5	126-127
	d5b.3	559,3 ; 348,8	108-109
13	j9a.3	547,3 ; 347,7	126-127
	j8c.4		124-125
14	j8c.5	547,3 ; 347,9	124-125
	d5b.5	550,8 ; 348,4	108-109
15	j8c.6	547,3 ; 348,1	124-125
18	j9a.4	547,3 ; 348,2	56-126-127
19	j9c.6	547,3 ; 348,5	124-125
20	j8c.6	547,3 ; 348,1	124-125
	j2b.5	561,9 ; 343,7	119-121
22	j8b	546,9 ; 349,8	23-97-122-123
26	j9b.1	547,9 ; 339,7	54-55-128-129
28	j9b	547,8 ; 339,4	55-128-129
30	j8b.3	547,1 ; 349,3	56-57-99-122-123
31	j8b.4	547,1 ; 349,1	122-123
32	j8c.2	547,8 ; 346,3	124-125

33		547,7 ; 346,8	
34	j8c.3	547,7 ; 347	49-124-125
35		547,7 ; 347,1	
37	j8c.1	547,9 ; 346,1	124-125
38	j8b.7	546,9 ; 350,2	56-99-122-123
40	j8b.6	546,9 ; 349,9	36-99-122-123
41	j8c.1	547,4 ; 352,8	124-125
43		547,3 ; 352,8	
44	j9a.1	547,2 ; 352,8	126-127
45		547,1 ; 352,8	
46	c4.3c.2	560,7 ; 359,4	50-134-135
47	c2.2	557,2 ; 360,1	132-133
48		556,1 ; 359,1	
49		556,6 ; 359,5	
50	c4.3c.2	560,5 ; 359,3	50-134-135
51		560,5 ; 359,2	
52	c43c.3	556,5 ; 358,6	134-135
53		556,5 ; 358,5	
54	j2a.2	559,6 ; 344,5	118-119
55			
56	j9c.1	547,9 ; 339,2	130-131
57		547,8 ; 339,2	
58		547,8 ; 339,2	
59		547,6 ; 339,3	
60	c4.3c.1	555,7 ; 351,5	134-135

61	c3b.1	558,2 ; 350,9	134-135
62		558,3 ; 350,9	
64	h3.2	562,4 ; 345	116-117
65	j2b.4	562 ; 343,8	119-121
68	c4.3c.4	557,4 ; 353,4	134-135
69	c4.3c.4	557,7 ; 353,2	134-135
	d5a.1	561 ; 348,7	31-34-35-36-38-40-106-107
70	d5b.4	550,6 ; 348,4	108-109
71	d5b.1	560,5 ; 348,1	31-34-35-36-38-40-110-111
72	d6b.2	558,5 ; 344,1	110-111
73	d5a.2	559,6 ; 349,2	106-107
74	j2b.3	555,3 ; 344,6	118-119
75		551,1 ; 344,6	
77	h2.4	560,4 ; 346,4	33-34-35-36-37-112-113
78	h2.5	560,4 ; 346,6	33-34-35-36-37-112-113
79	h1.1	561,1 ; 347,5	31-34-35-36-37-38-40-110-111
82	d5b.1	561,4 ; 347,8	31-34-35-36-38-40-108-109
83	d4b.1	561,6 ; 348,5	15-17-31-34-35-36-37-38-40-104-105
88	d4b.2	561,8 ; 348,4	104-105
89	j9c	548,3 ; 343,25	130-131
90		548,3 ; 343,3	
91		548,3 ; 343,4	
92		548,3 ; 343,35	
94	h2.1	559,9 ; 346,2	22-29-31-33-34-35-36-37-38-40-50-51-97-112-113-115
100	h2.2	559 ; 347	33-34-35-36-37-112-113
101	h2.3	559,7 ; 346,2	33-34-35-36-37-112-113

102	j9b.2	548,4 ; 342,5	55-128-129
103		548,35;342,7	
104	j9a.1	548,1 ; 345,5	126-127
157	j9b	547,9 ; 339,7	128-129





PLANCHES HORS TEXTE







		j9c.1 (56-57-58-59)								
		Observations			Interprétations					
		Jointe	Remplissage	Jointe striée						
J9c Portlandien supérieur	Les joints	N <sub>m</sub>	100							
		D/P	26°-39°/90°							
			87°-103°/90°	80°-100°/90°						
			118°-124°/90°							
				j9b.1 (26)				j9b.2 (102-103)		
		Observations			Interprétations	Observations			Interprétations	
		Jointe	Remplissage	Jointe striée		Jointe	Remplissage	Jointe striée		
J9b Portlandien moyen	Les joints	N <sub>m</sub>	97			50				
		D/P	0°-10°/90°							
			48°-55°/90°							
			74°-92°/90°							
			164°-170°/90°				100°-110°/90°			
					160°-170°/90°					
		j9a.1 (104)								
		Observations			Interprétations					
		Jointe	Remplissage	Jointe striée						
J9a Portlandien inférieur	Les joints	N <sub>m</sub>	101							
		D/P	44°-49°/90°	40°-50°						
				60°-70°						
			87°-104°/90°							
		125°-137°/90°								
	Les calques	N <sub>c</sub>	10							
		N <sub>o</sub>	5	jointe plumes faibles	16°x71°	45°				
6		jointe plumes fortes et Cc	28°x112°	70°						
	1	jointe conjugués Cc	115°x176°	145°						
		j8c.1 (37)				j8c.2 (32)				
		Observations			Interprétations	Observations			Interprétations	
		Jointe	Remplissage	Jointe striée		Jointe	Remplissage	Jointe striée		
J8c Kimméridgien niveau 6	Les joints	N <sub>m</sub>	70			58				
		D/P	48°-62°/90°							
				60°-70°			62°-71°/90°	60°-70°		
							132°-137°/90°			
		165°-170°/90°								
Les calques	N <sub>c</sub>	3								
	N <sub>o</sub>	5	jointe plumes	41°x102°	70°	1	Jointe plume		72°	
	1	jointe en échelon senestre	87°							

Pl. III .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la sous-zone S - Ambleteuse.





### P1. IV - Les observations et interpretations dans les terrains secon- daires : la sous-zone N - Ambloiseau.

N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	Jalons Impasse Jalons	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup>		N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup>		N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	N <sup>o</sup> N <sup>o</sup>	
			Direction des observations	Direction					Direction des observations	Direction							Direction des observations
P1. IV (12-13) 190.4																	
Les jalons																	
142					18												
143																	
Observations																	
Interpretation																	
190.4 (12-13)																	
Les jalons																	
144																	
145																	
Observations																	
Interpretation																	
190.5 (23-25) 190.6																	
Les jalons																	
146																	
147																	
Observations																	
Interpretation																	
190.5 (23-25) 190.6 (19-20) 190.4 (21)																	
Les jalons																	
148																	
149																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
150																	
151																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
152																	
153																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
154																	
155																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
156																	
157																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
158																	
159																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
160																	
161																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
162																	
163																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
164																	
165																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
166																	
167																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
168																	
169																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	
Les jalons																	
170																	
171																	
Observations																	
Interpretation																	
190.7 (11) 190.7 (20) 190.5 (22) 190.6 (20) 190.4 (22)																	

j9a.1 (44-45)			
	Observations		Interprétations
	Joints	Remplissage	
j9a Portlandien inférieur	N <sub>m</sub>	48	
		0° - 10°/90°	
	D/P		90°-100° dextre ci
		130°-140°/90°	120°-140° ci
j8c.1 (41-43)			
	Observations		Interprétations
	Joints	Remplissage	
j8c Kimmeridgien niveau 6	N <sub>m</sub>	32	
		80° - 90°	
	D/P		
		120°-130°/90°	
		170°-180°/90°	
	N <sub>c</sub>	1	
Les calques	N <sub>o</sub>	Nature des observations	
	1	Joint plume	Directions 54°x111°
			83°

Pl. V .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la zone du Cap Gris-Nez.



C3a.1 (1)		Observations			Interprétations
		Jointe	Remplissage	Jointe striée	
C3a Terronien inférieur	N <sub>m</sub>	51			
	D/P	158°-163°/W74°-80°			
C2.1 (2-3)					C2.2 (47-48-49)
C2 Éocénien		Observations			Interprétations
		Jointe	Remplissage	Jointe striée	
Les jointe	N <sub>m</sub>	169			193
	D/P	80°-100°/90°	70°-100°		30°-40°/90°
		160°-170°/90°			60°-80°/90°
	N <sub>c</sub>	2			110°-120°/90°
Les calques		Mature des observations			Directions
		No	Jointe plume	88°	
		5			88°

Pl. VI .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires : la côte crétacée.





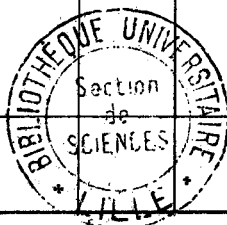
27a	27b.1 (1)						27b.2 (4)						27b.3 (74-75)						27b.4 (85)					
	Observations			Interprétations			Observations			Interprétations			Observations			Interprétations			Observations			Interprétations		
	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés	Joins	Remplissage	Joins striés
27a Description Indéterminé	50			41			31					45												
				60° - 70°/N0°			60°-70°/N0°					60°-80°/N0°												
				130°-140°/N0°			90°-100°/N0°					65°-80°												
				150°-165°/N0°			110°-140°/N0°																	
27a Description Indéterminé	41			41			50					50												
				30° - 40°/N0°			50° - 60°/N0°					90°-100°/N0°												
				140°-150°/N0°			130°-140°/N0°																	

Pl. VII .- Les observations et interprétations dans les terrains secondaires au contact du Primaire : le Jurassique.





	PRINCIPALES OBSERVATIONS ET INTERPRETATIONS								ESSAI DE GENERALISATION	
	n° Nm Na	jointe	$\sigma_1$						nature des joints	directions interprétations succession
C4.3c	VIII 301 4	140°-150°	103°						Cc (56°-66° X 140°-150°)	103°
C3b	VIII 56 1	140°-150°								
C3a	VI 51 1	158°-163°								
C2	VI 362 2		88°						Cc (60°-70° X 110°-120°)	85°-95°
J9c	III 100 1	26°-39° 87°-103° 118°-124°							Joint plume très fin Cc (72-123°)	96°
J9b	III 147 2	160°-170°							Joint plume (58°-117°) Cc (2° X 110°)	87° (2) 148° (1)
J9a	III 101 1	44°-49° 87°-104° 12°-135°	45° 70° 145°	IV 160 2	6°-178° 76°-96°	71°	V 48 1	0°-10° 130°-140°	Joint plume (28°-112°)	70°-71°
J8c	III 128 2	60°-70° 87°-104° 125°-137°	70°-72°	IV 403 4	170°-10° 80°-100° 120°-130°	73° 83°-92°	V 32 1	170°-180° 80°-90° 120°-130°	Joint plume (40°-45° X 102°-106°) Joint plume (55°-65° X 110°-120°) Joint ci .....110°-130°	70°-73° (1) 83°-92° (2)
J8b				IV 280 6	80°-90°	81°-95°			Joint plume (50°-70° X 110°-130°)	81°-95°
J2b	VII 217 4	30°-40° 110°-140°								
J2a	VII 41 1	30°-40° 140°-150°								



Pl. IX .- Généralisation au niveau des étages stratigraphiques secondaires des observations et interprétations.