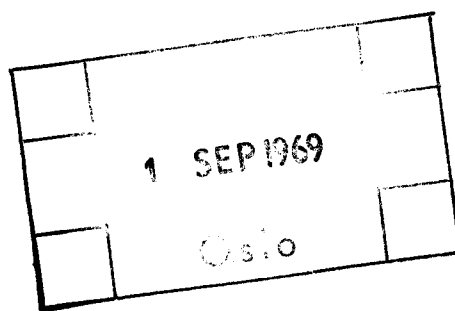


ELF R.E.  
D. EXPLOR.  
LABORATOIRE EXPLORATION



neg.

ETUDE DES MINERAUX ARGILEUX ET MAJEURS  
DANS LES SONDAGES TOR (17/4-1) ET 17/11-1 SHELL  
COMPARAISON AVEC LES SONDAGES  
AMBERJACK (16/11-1), ODIN (16/6-1)  
ET HOLLVIKEN N° 2

D-31-B n° 9/204 R

B. GUENOT

Mai 1969

# SOMMAIRE

|                                                                                      | <u>Page</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <u>INTRODUCTION</u> .....                                                            | 1           |
| I - <u>VUE D'ENSEMBLE SUR LES MINERAUX ARGILEUX DANS LES DEUX<br/>SONDAGES</u> ..... | 2           |
| II - <u>ZONATION MINERALOGIQUE ETABLIE DANS LE SONDAGE 17/11-1</u> ...               | 4           |
| III - <u>ZONATION MINERALOGIQUE ETABLIE DANS LE SONDAGE TOR</u> .....                | 10          |
| IV - <u>COMPARAISON ENTRE LES ZONATIONS MINERALOGIQUES DES<br/>SONDAGES ETUDIES</u>  |             |
| A - Comparaison 17/11-1-TOR .....                                                    | 16          |
| B - Comparaison 17/11-1-TOR - ODIN - AMBERJACK -<br>HOLLVIKEN n° 2 .....             | 18          |
| V - <u>REMARQUES PALEOGEOGRAPHIQUES</u>                                              |             |
| 1 - Relation entre la zonation minéralogique et la<br>stratigraphie .....            | 29          |
| 2 - Relation entre la zonation minéralogique et les<br>paléoclimats .....            | 29          |
| 3 - Relation entre les minéraux argileux et la<br>lithologie .....                   | 33          |
| 4 - Relation entre les minéraux argileux ou majeurs et<br>le milieu de dépôt .....   | 34          |
| 5 - Diagenèse des minéraux .....                                                     | 35          |
| <u>CONCLUSION</u> .....                                                              | 36          |

## FIGURES DANS LE TEXTE

- 1 - Schéma montrant l'évolution verticale des cortèges de minéraux majeurs et argileux dans le sondage 17/11-1.
- 2 - Sondage 17/11-1 : portions de diagrammes de diffraction X de minéraux argileux dans les zones III et IV.
- 3 - Schéma montrant l'évolution verticale des cortèges de minéraux majeurs et argileux dans le sondage TOR.
- 4 - Sondage TOR : portions de diagrammes de diffraction X de minéraux argileux dans les zones III et IV.
- 5 - Schéma des corrélations proposées à l'aide des minéraux argileux et majeurs dans les sondages AMBERJACK, ODIN, TOR et 17/11-1.
- 6 - Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone I dans les sondages étudiés.
- 7 - Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone II dans les sondages étudiés.
- 8 - Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone III dans les sondages étudiés.
- 9 - Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone IV dans les sondages étudiés.
- 10 - Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone V dans les sondages étudiés.
- 11 - Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone VI dans les sondages étudiés.
- 12 - Tableau schématisant la zonation minéralogique dans les sondages AMBERJACK, ODIN, TOR, 17/11-1 et HOLLVIKEN n° 2.
- 13 - Tableau montrant l'évolution verticale des climats et des minéraux argileux dans la région étudiée, depuis le Permien jusqu'à l'époque actuelle.

.../...

## PLANCHES

- 1 - Plan de position des sondages étudiés
- 2 a à h - Diagrammes de diffraction X
- 3 - Schéma des corrélations proposées à l'aide des minéraux argileux et majeurs dans les sondages 17/11-1, TOR, AMBERJACK, ODIN et HOLLVIKEN n° 2
- 4 - Log analytique de répartition des minéraux argileux et majeurs dans le sondage 17/11-1 à l'échelle de 1/2.000
- 5 - Log analytique de répartition des minéraux argileux et majeurs dans le sondage TOR à l'échelle de 1/2.000.

I N T R O D U C T I O N

Cette étude effectuée sur des déblais, les carottes mécaniques et les carottes latérales des sondages 17/11-1 et TOR (17/4-1) fait suite à celle qui portait sur les sondages ODIN et AMBERJACK\* dans le but de comparer entre elles les associations de minéraux argileux et majeurs des différentes séries traversées par les puits de l'off-shore norvégien.

L'étude a porté sur 317 échantillons de déblais dans le sondage 17/11-1, sur 281 échantillons de déblais, 32 des carottes 1 et 2 et 16 de carottes latérales dans le sondage TOR. L'analyse a été effectuée par diffractométrie de rayons X avec deux appareils SIEMENS à anticathode de cuivre et filtre de nickel, l'un pour les minéraux argileux, l'autre pour les minéraux majeurs. Pour les minéraux argileux, les pourcentages ont été évalués par rapport à l'ensemble de la fraction argileuse à partir de la mesure des hauteurs de pics. Pour les minéraux majeurs, les pourcentages ont été évalués par la méthode de l'étalon externe en mesurant la surface des pics ; en ce qui concerne le sel gemme (halite), les valeurs sont absolues pour la série de TOR, relatives pour celles de 17/11-1 (mesures en nombre de coups par minute)\*\*.

L'ensemble des résultats analytiques a été reporté sur des logs au 1/2000 (voir planches 4 et 5).

.../...

---

\* cf. rapport n° 8/2179 R - Juillet 1968 par B. GUENOT

\*\* Analyses effectuées par J.C. SEVERAC et A. VIVONI.

## I - VUE D'ENSEMBLE SUR LES MINÉRAUX ARGILEUX DANS LES DEUX SONDAGES

Les minéraux argileux présents sont la kaolinite, la chlorite, l'illite, les interstratifiés illite - montmorillonite, les interstratifiés chlorite - montmorillonite et chlorite - vermiculite et la montmorillonite\*.

### Kaolinite

La kaolinite est présente dans une grande partie de la série, en association généralement avec la chlorite (pl. 2-a à e). Elle est très bien cristallisée dans la carotte n° 1 du sondage TOR.

### Chlorite

La chlorite est de composition variable selon les formations. Dans toute la partie sus-jacente à la craie, la chlorite est normale par ses pics et sa résistance au chauffage à 550°C (pic 001). Par contre, au-dessous de la craie et jusqu'aux grès de la carotte n° 1, la chlorite est anormale : le pic 003 est peu visible, collé au pic 002 de l'illite ; le pic 004 se distingue très mal du pic 002 de la kaolinite ; quant au pic 001, il est plus ou moins masqué par les interstratifiés et la montmorillonite (cf. pl. 2-a, 2-b). Sous l'action d'un chauffage à 550°C, le pic 001 résiste mal et disparaît presque ; il y a même passage à une sorte de vermiculite ou chlorite - vermiculite\*\* (17/11-1). Ce minéral peut être interprété comme une altération de chlorites normales.

La chlorite la mieux cristallisée apparaît dans la carotte n° 1 du sondage TOR (pl. 2-f). Dans le même sondage, de 2320 à 2405 m, les chlorites deviennent gonflantes (pl. 2-g) et passent aux interstratifiés chlorite - montmorillonite.

### Illite

Le pic 001 de l'illite est accolé à celui des interstratifiés et de la montmorillonite ; on ne voit souvent que la pente côté grands angles. Cette illite représente souvent de très petits micas altérés.

.../...

---

\* On se reportera utilement aux figures 2\_a à f du rapport qui vient d'être cité.

\*\* Voir également planche 1-c du rapport D-50-P n° 6-1894 R sur Hollviken n° 2

Interstratifiés illite - montmorillonite

Ces interstratifiés sont irréguliers ; dans certains niveaux ils sont accolés au pic 001 de l'illite, dans d'autres ils s'étendent en dégradé jusqu'au pic 001 de la chlorite. On les distingue souvent mal de la montmorillonite (pl. 2-b).

Interstratifiés chlorite - montmorillonite

Ce minéral, rencontré dans l'ensemble argilo-gréseux du sondage TOR entre 2390 et 2740 m ainsi que dans le niveau équivalent du sondage 17/11-1 est assez proche d'une chlorite magnésienne mais elle renferme des feuillets gonflants dont la distance interréticulaire diminue au chauffage. Ces interstratifiés sont mélangés à une chlorite magnésienne (voir pl. 2-h).

Montmorillonite

On trouve de la montmorillonite abondante à plusieurs niveaux, en particulier dans l'ensemble crayeux, dans les argiles dites radioactives et dans les grès argileux sous-jacents (carotte latérale à 2350 m dans TOR, pl. 2-c, d, e).

.../...

## II - ZONATION MINÉRALOGIQUE ÉTABLIE DANS LE SONDAGE 17/11-1

(voir pl. 3-4 et fig. 1 ci-après)

Pour faciliter la comparaison avec les sondages précédemment étudiés, la même notation des zones a été conservée. Nous y avons ajouté d'autres zones ou sous-zones en cas de nécessité.

### Zone I - 560 à 3330 pieds

Cette zone comprend la série tertiaire jusqu'à la craie. On peut la diviser en trois sous-zones.

- Sous-zone I-o : 560 à 1370 pieds - Argile quartzeuse à orthoclases et plagioclases ; la teneur en quartz est de 20 à 30 % ; la calcite est souvent présente jusqu'à 22 % de la roche. Le cortège de minéraux argileux est formé de kaolinite (10 à 15 %), de chlorite (10 à 15 %), d'illite (35 à 45 %) et de montmorillonite (30 à 40 %).
- Sous-zone I-a : 1370 à 2880 pieds - Argile légèrement quartzeuse (teneur inférieure à celle de la zone I-o et diminuant vers le bas). Les feldspaths diminuent également vers le bas. La calcite n'existe qu'à de rares niveaux.

Les minéraux argileux sont les mêmes que dans la zone I-o mais leurs proportions changent : la kaolinite augmente, la chlorite diminue (de 19 à 8 %), l'illite également diminue. La montmorillonite se maintient autour de 40 %.

- Sous-zone I-b : 2880 à 3330 pieds - Argile très peu quartzeuse (3 à 12 % de quartz), calcaire surtout au sommet (0 à 17 % de calcite).

Le cortège des minéraux argileux est à montmorillonite fortement dominante, associée à de l'illite et de la kaolinite ; la chlorite a disparu.

.../...

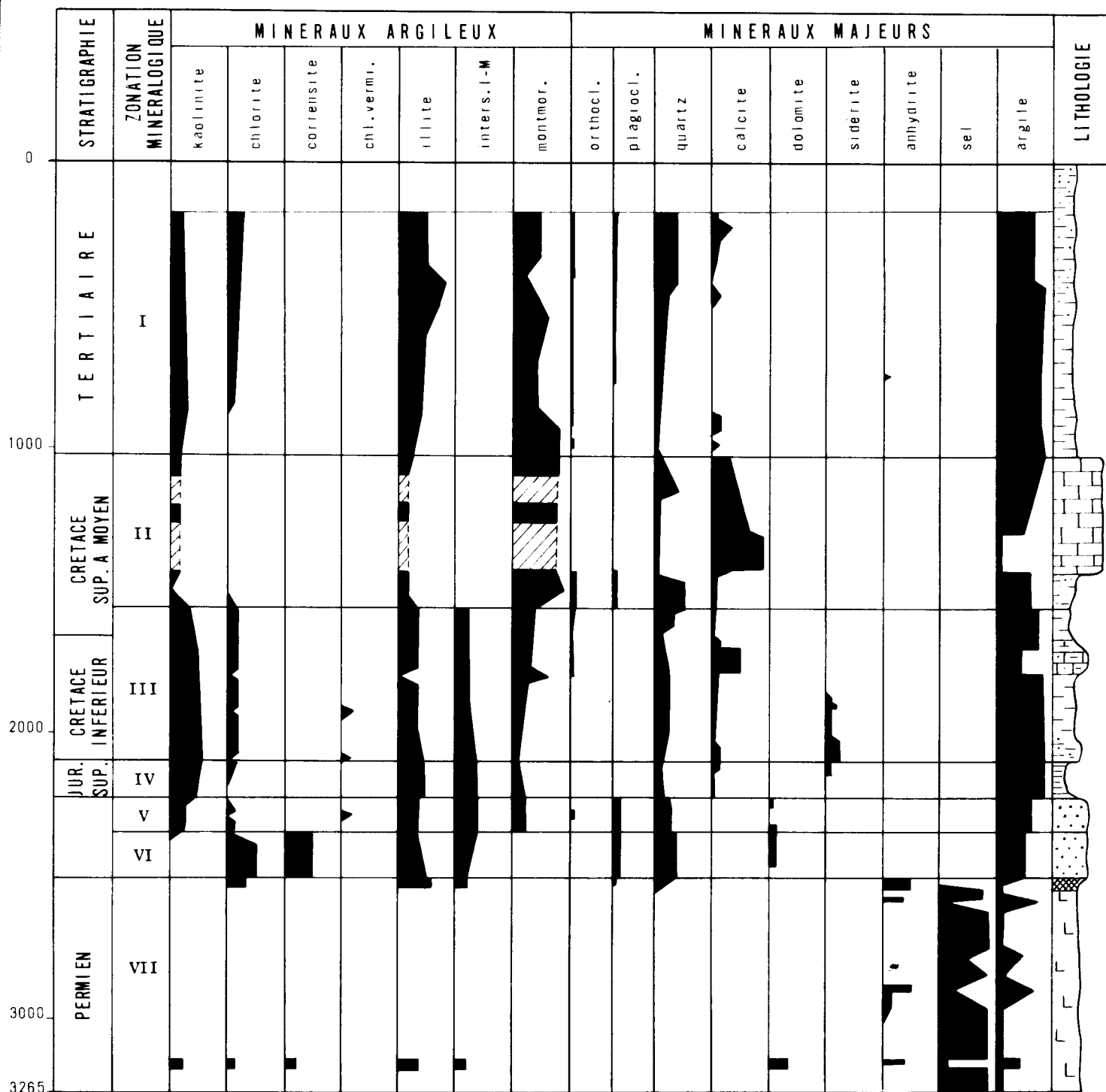


Fig.1 Schéma montrant l'évolution verticale des cortèges de minéraux majeurs et argileux dans le sondage 17-11-1.

Zone II - 3330 à 5120 pieds

Cette zone est caractérisée par une forte proportion de calcite (craie) ; l'association de minéraux argileux est la même que dans la sous-zone I-b, sauf à la base qui contient de la chlorite. Il est possible de distinguer deux sous-zones :

- Sous-zone II-a : 3330 à 4750 pieds, à calcite dominante sauf à la partie supérieure, de 3330 à 3840 pieds où le quartz est abondant, celui-ci étant sous forme de silex.
- Sous-zone II-c : 4750 à 5120 pieds, à argile dominante et quartz assez abondant (25 % environ) avec présence de feldspaths.

Zone III - 5120 à 6900 pieds

Cette zone est principalement caractérisée par la présence d'interstratifiés illite - montmorillonite et de chlorite ainsi que par une diminution de la teneur en montmorillonite ; les teneurs en kaolinite sont sensiblement constantes. La chlorite est mal cristallisée et résiste mal au chauffage à 550°C (voir fig. 1).

Dans l'ensemble, cette zone est argileuse et elle renferme des teneurs variables en carbonates et quartz, ce qui permet une subdivision en six sous-zones.

- Sous-zone III-o : 5120 à 5495 pieds, argileuse à teneur en quartz diminuant de haut en bas de 20 à 10 % et à calcite présente seulement à l'état de traces.
- Sous-zone III-a : 5495 à 5575 pieds, formant transition à la sous-zone suivante.
- Sous-zone III-b : 5575 à 5840 pieds à calcite assez abondante 23 à 10 %, décroissante vers le bas et quartz peu abondant (8 à 15 %) accompagné de traces de feldspaths.
- Sous-zone III-c : 5840 à 6120 pieds, à calcite peu abondante (3 à 6 %), quartz légèrement plus abondant que dans III-b avec traces de feldspaths.

.../...

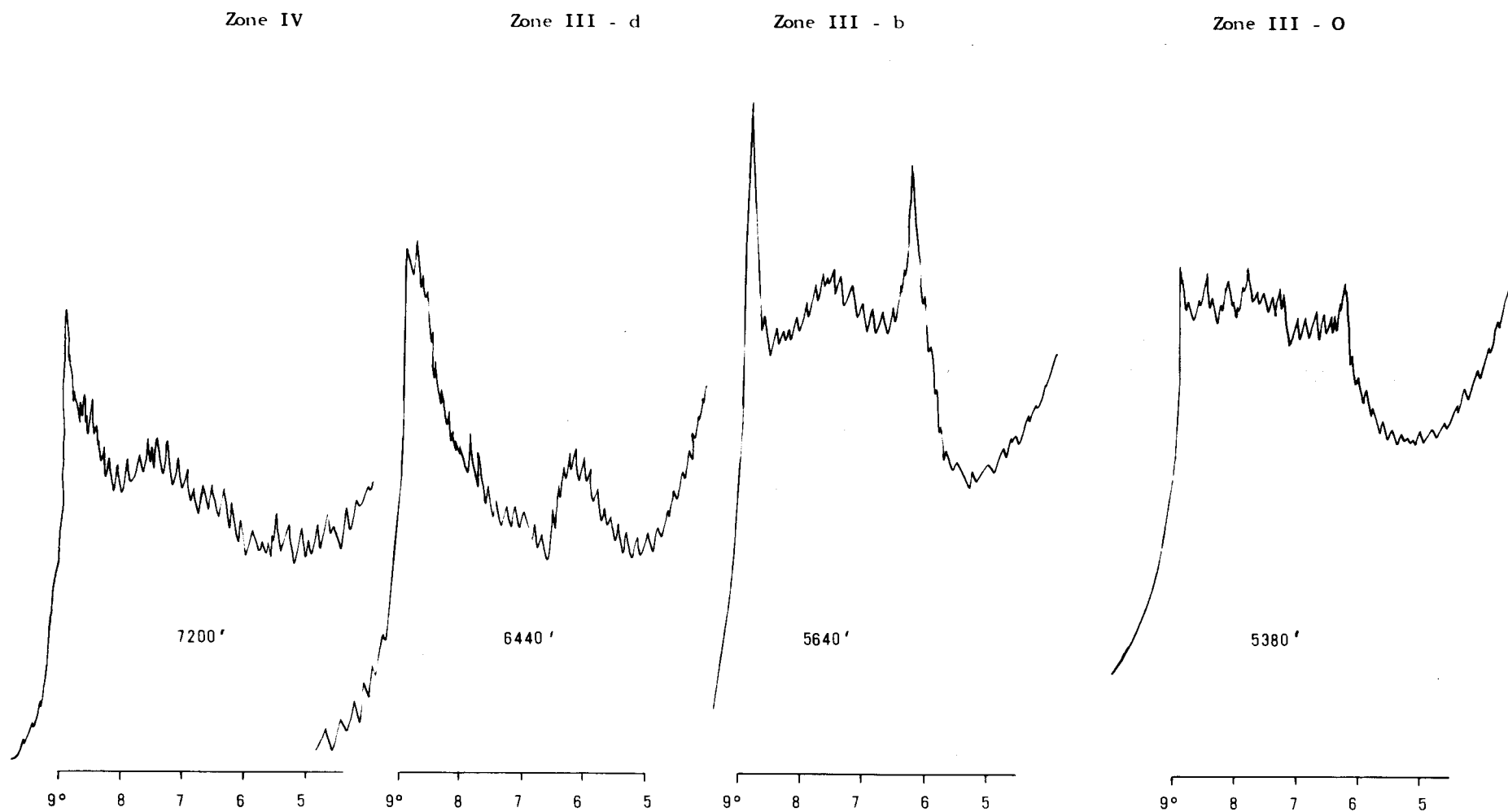


Fig.2 : Sondage 17/11-1 - Portions de diagrammes de diffraction X de minéraux argileux.

- Sous-zone III-d : 6120 à 6650 pieds, à calcite et sidérite ; la teneur en quartz est la même que dans la sous-zone précédente et les feldspaths sont pratiquement absents.

Les diagrammes de minéraux argileux montrent une diminution de l'ensemble interstratifiés + montmorillonite (cf. fig. 2, cote 6440') et une chlorite mal cristallisée passant à une chlorite - vermiculite qui résiste mal au chauffage.

- Sous-zone III-e : 6650 à 6900 pieds, à sidérite et calcite plus abondantes et teneur en quartz moins forte que dans la sous-zone III-d.

Les minéraux argileux sont semblables à ceux de la sous-zone III-d.

#### Zone IV - 6900 à 7280 pieds

Cette zone est caractérisée par la disparition de la sidérite, alors que la calcite subsiste, par une faible teneur en quartz (10 à 14 %) et une absence de feldspaths. Les minéraux argileux sont : la kaolinite (22 à 33 %), l'illite (28 à 40 %), la montmorillonite et les interstratifiés illite - montmorillonite (35 à 50 % ensemble). La chlorite n'existe qu'à la partie supérieure.

#### Zone V - 7280 à 7710 pieds

Cette formation est moins argileuse que la zone IV avec une teneur en quartz de 10 à 20 % et la présence de feldspaths surtout plagioclases. Les carbonates sont peu abondants, la calcite devient très rare et il apparaît de la dolomite.

Le cortège des minéraux argileux est assez voisin de celui de la zone III ; on y rencontre à un niveau de la chlorite - vermiculite.

#### Zone VI - 7710 à 8250 pieds

Cette zone est plus quartzreuse et plus feldspathique que la précédente ; elle est aussi plus dolomitique : la dolomite y est le seul carbonate représenté.

.../...

Le cortège des minéraux argileux est très particulier : la kaolinite disparaît ainsi que la montmorillonite. La chlorite devient très abondante ; elle est accompagnée d'interstratifié chlorite - montmorillonite. L'illite et les interstratifiés irréguliers illite - montmorillonite forment le reste de la fraction argileuse.

Zone VII - 8250 à 10720 pieds

Cet ensemble correspond à une grande partie du Zechstein. Il peut être divisé en deux sous-zones :

- Sous-zone VII-a : 8250 à 8360 pieds à anhydrite.
- Sous-zone VII-b : 8360 à 10720 pieds à halite avec niveaux à anhydrite notamment vers 8530 pieds, 9100 pieds, 10340 à 10420 pieds, avec également de la dolomite.

Les minéraux argileux sont peu représentatifs : kaolinite, chlorite, illite, interstratifiés illite - montmorillonite et chlorite - montmorillonite.

.../...

### III - ZONATION MINÉRALOGIQUE ÉTABLIE DANS LE SONDAGE TOR

La zonation a été rendue plus facile que pour 17/11-1 grâce à la présence de carottes et de carottes latérales dont l'analyse permet de mieux saisir la part des retombées polluant les déblais voisins.

Les zones établies sont les suivantes (voir pl. 3, 5 et fig. 3).

#### Zone I - 470 à 1170 m

Comme pour le sondage 17/11-1, cette zone comprend la série tertiaire jusqu'à la craie. On peut la diviser en trois sous-zones.

- Sous-zone I-o : 470 à 540 m - Argile quartzeuse feldspathique à orthoclases et plagioclases. Les minéraux argileux dominants sont : l'illite dominante (40 à 50 %), la montmorillonite (30 %), la kaolinite (15 à 20 %), la chlorite (10 %).

- Sous-zone I-a : 540 à 1050 m - Argile légèrement quartzeuse (quartz : 10 à 15 %, diminuant vers le bas), feldspathique par places. La calcite existe surtout dans le niveau 590-680 m.

Les minéraux argileux sont les mêmes que dans l'ensemble sus-jacent, mais les pourcentages sont différents : montmorillonite (40 à 45 %), illite (25 à 30 %), kaolinite (25 %), chlorite (5 %).

- Sous-zone I-b : 1050 à 1170 m - Argile très peu quartzeuse (4 à 9 % de quartz) avec des traces de feldspaths. La calcite est rare mais presque partout présente.

Le cortège des minéraux argileux est à montmorillonite fortement dominante (60 à 75 %), la chlorite est absente ; l'illite et la kaolinite se partagent les 25 à 30 % restants.

#### Zone II - 1170 à 1590 m

Cette zone est caractérisée par la présence de forts pourcentages de montmorillonite et/ou de calcite. Il est possible d'y distinguer trois sous-zones.

.../...

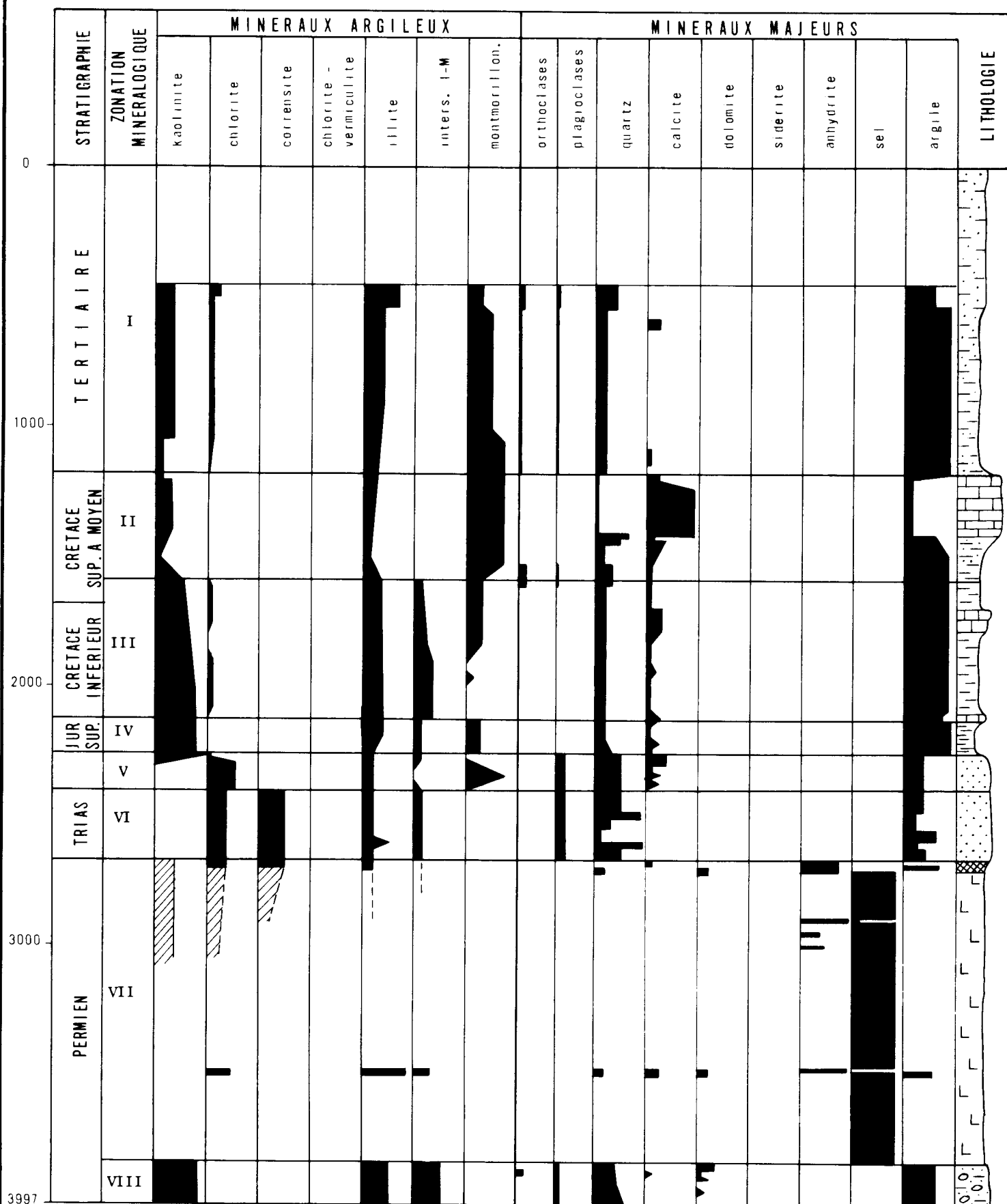


Fig. 3 : Schema montrant l'évolution verticale des cortèges de minéraux majeurs et argileux dans le sondage TOR.

- Sous-zone II-a : 1170 à 1410 m - C'est un ensemble carbonaté formé de craie. Les minéraux argileux sont les mêmes que dans le niveau sus-jacent avec des pourcentages voisins : montmorillonite (60 %), kaolinite (20 %), illite (20 %).
- Sous-zone II-b : 1410 à 1520 m - C'est un niveau argilo-sableux carbonaté ; le quartz est surtout abondant de 1410 à 1440 m. La calcite décroît vers le bas. Les minéraux argileux sont encore semblables à ceux de la sous-zone sus-jacente.
- Sous-zone II-c : 1520 à 1590 m - Ce niveau est argileux avec quartz (15 à 18 %) et feldspaths ; la calcite diminue de haut en bas. Les minéraux argileux évoluent : la montmorillonite diminue vers le bas de 80 à 25 % ; la kaolinite augmente et la chlorite apparaît.

### Zone III - 1590 à 2125 m

Les caractères les plus importants de cette zone concernent les minéraux argileux : présence d'interstratifiés illite - montmorillonite à côté de la montmorillonite ; présence de chlorite mal cristallisée et résistant mal au chauffage.

Les minéraux majeurs sont le quartz (10 à 15 %) et la calcite dont les variations permettent de définir des coupures délimitant trois sous-zones.

- Sous-zone III-o-a : 1590 à 1700 m - Niveau très pauvre en calcite. La fraction argileuse est formée de kaolinite (30 à 35 %), de montmorillonite (20 %), d'illite (20 à 25 %), d'interstratifiés illite - montmorillonite (15 à 20 %) et de chlorite (5 %). La base de ce niveau renferme peut-être un équivalent de la zone III-a, mal individualisée.
- Sous-zone III-b : 1700 à 1780 m - Ce niveau est caractérisé par sa teneur en calcite supérieure à celle des niveaux encaissants (8 à 9 %). La fraction argileuse ne montre pas de variation par rapport à la sous-zone III-o-a.
- Sous-zone III-c-d : 1780 à 2095 m - Cet ensemble ne peut pas être subdivisé ici car il est très homogène, pauvre en calcite (5 % environ) et en quartz (12 à 16 %). Les minéraux argileux varient très graduellement : on note vers le bas une augmentation de la kaolinite (30 → 50%) et une disparition de la montmorillonite (cf. fig. 4) se traduisant sur les diagrammes par un amincissement du pic illite + interstratifiés + montmorillonite ; la chlorite est rare et peu visible.
- Sous-zone III-e : 2095 à 2125 m - Cette sous-zone est caractérisée par une teneur en calcite assez forte (10 à 17 %).

.../...

Zone IV - 2125 à 2265 m

Cette zone est caractérisée par l'absence de chlorite et l'abondance de la kaolinite. La calcite est en pourcentages très variables. La montmorillonite est également très variable, tantôt absente, tantôt très abondante (cf. fig. 4).

Zone V - 2265 à 2400 m

Cet ensemble est formé de grès argilo-carbonaté à calcite. Les feldspaths sont très abondants (15 à 49 %), plagioclases en presque totalité ; le quartz varie de 20 à 35 % dans les carottes. La calcite varie de 5 à 26 %.

Les minéraux argileux sont : la kaolinite, présente surtout à la partie supérieure (carotte n° 1), au-dessous absente dans les carottes latérales, la chlorite très abondante (20 à 50 %), en partie gonflante dans le niveau 2315 à 2405 m, l'illite ne dépassant pas 25 %, les interstratifiés illite - montmorillonite peu abondants (10 à 20 %), la montmorillonite qui apparaît entre 2320 et 2400 m. La phase argileuse est donc très hétérogène.

Zone VI - 2400 à 2670 m

Les minéraux majeurs sont les mêmes que dans l'ensemble sus-jacent avec un niveau plus argileux vers 2580 m. On remarque que la calcite est absente dans les carottes latérales, rare dans les déblais (retombées ?). Les minéraux argileux sont la chlorite et les interstratifiés chlorite - montmorillonite (50 à 90 % ensemble), l'illite (20 à 25 %), les interstratifiés illite - montmorillonite (10 à 15 %). La kaolinite est absente des carottes latérales ; elle n'existe donc plus qu'à l'état de retombées.

Zone VII - 2670 à 3835 m

Cet ensemble correspond au Zechstein. Il peut être divisé en deux sous-zones.

- Sous-zone VII-a : 2670 à 2710 m - Niveau à anhydrite.

.../...

Zone IV

Zone III (d ?)

Zone III (c ?)

Zone III - 0

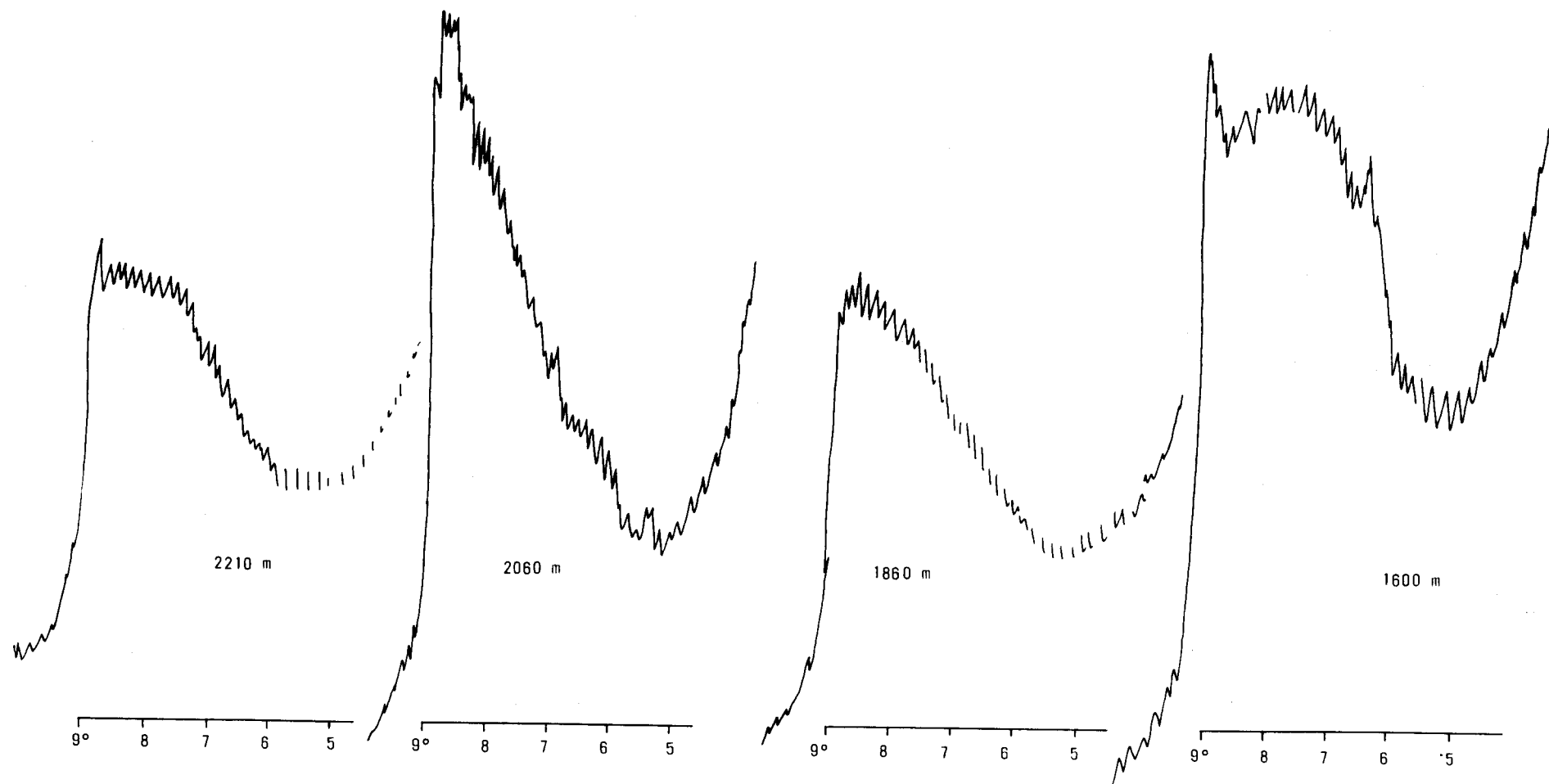


Fig. 4 : Sondage TOR - Portions de diagrammes de diffraction X de minéraux argileux.

- Sous-zone VII-b : 2710 à 3835 m - Ensemble salifère entrecoupé de niveaux argileux, dolomitiques et anhydritiques. On y rencontre aussi du gypse, de la calcite, de la kiéserite et autres sels indéterminés.

Les minéraux argileux sont la chlorite, l'illite, les interstratifiés chlorite - montmorillonite au sommet, illite - montmorillonite au-dessous (cf. carottes latérales).

Zone VIII - 3835 3997 m

Ce niveau est un conglomérat, dolomitique au sommet, non dolomitique à la partie inférieure. Les minéraux argileux sont : kaolinite (50 à 70 %), illite (30 %), interstratifiés illite - montmorillonite (15 à 20 %).

.../...

#### IV - COMPARAISON ENTRE LES ZONATIONS MINÉRALOGIQUES DES SONDAGES ETUDIÉS

##### A - Comparaison entre les sondages 17/11-1 et TOR

La comparaison entre les séries traversées dans les deux sondages est facile à certains niveaux, difficile à d'autres. Les différentes zones vont être passées en revue (voir pl. 3).

##### Zone I

Elle est très comparable dans les deux sondages. On y retrouve la même succession verticale des associations de minéraux, avec des proportions semblables de ceux-ci ; toutefois, la sous-zone I-b est plus argileuse et moins calcaire dans le sondage TOR que dans le sondage 17/11-1. L'épaisseur est la plus grande à TOR.

##### Zone II

Cette zone montre quelques différences.

- Sous-zone II-a - Celle-ci est beaucoup plus épaisse dans 17/11-1 (425 m) où elle comprend un niveau supérieur de craie à silex (150 m) et un niveau inférieur de craie sans silex (275 m) que dans TOR où seul le niveau inférieur semble exister (240 m). Les minéraux argileux sont les mêmes dans les deux sondages.
- Sous-zone II-b - Elle paraît n'exister que dans le sondage TOR.
- Sous-zone II-c - Elle est très semblable dans les deux sondages, cependant, le quartz est un peu plus abondant dans le sondage 17/11-1.

##### Zone III

Cette zone pose quelques problèmes de corrélations car elle est très homogène dans le sondage TOR ; néanmoins, il est possible de corréler certains ensembles.

.../...

- Sous-zone III-o - Ce niveau argileux est très semblable dans les deux sondages.
- Sous-zone III-a - Elle n'est pas individualisée dans le sondage TOR. Elle pourrait être présente dans les derniers mètres de la sous-zone III-o. Dans le sondage 17/11-1 elle est mieux individualisée et forme passage à la sous-zone III-b.
- Sous-zone III-b - Ce niveau est le plus carbonaté de la zone III dans les deux sondages. La chlorite est plus abondante à 17/11-1 comme dans toute la zone III.
- Sous-zones III-c-d - On ne trouve pas dans la série traversée dans le sondage TOR les subdivisions adoptées pour 17/11-1 ; en particulier la sidérite présente dans 17/11-1 (sous-zone III-d) est remplacée par de la calcite dans TOR. Cependant l'évolution des diagrammes de minéraux argileux dans la sous-zone III-d est sensiblement la même (cf. figures dans le texte).
- Sous-zone III-e - Elle est caractérisée dans les deux sondages par l'abondance relative des carbonates : calcite + sidérite à 17/11-1, calcite seule à TOR.

#### Zone IV

La zone IV est la zone des argiles "radioactives" faciles à corrélérer d'un sondage à l'autre. Minéralogiquement elles ont une teneur en montmorillonite plus forte que les argiles de la zone III et très peu ou pas de chlorite par rapport aux zones III et surtout V (cf. pl. 2-c à e).

#### Zones V et VI

Cet ensemble est surtout caractérisé par les minéraux majeurs : quartz et plagioclases abondants. La comparaison entre les deux sondages montre une meilleure corrélation pour la zone VI que pour la zone V.

#### Zone V

Les minéraux majeurs sont très semblables en ce qui concerne le quartz et les feldspaths, moins en ce qui concerne les carbonates : calcite à TOR, calcite + dolomite à 17/11-1. Les minéraux argileux sont différents : forte teneur en chlorite et en montmorillonite dans TOR, faibles teneurs dans 17/11-1, présence de chlorite gonflante à TOR seulement.

.../...

### Zone VI

Les minéraux majeurs et argileux sont très comparables ; la seule importante distinction est relative aux carbonates : absence probable des carbonates à TOR, présence de dolomite à 17/11-1. L'épaisseur est plus importante à TOR où se situe vers la base un niveau plus argileux.

### Zone VII

La zone VII est très ressemblante dans les deux sondages et l'on peut y suivre plusieurs repères :

- Sous-zone VII-a à anhydrite.
- Repère à anhydrite : 2895 m à TOR - 2765 m à 17/11-1.
- Repère à anhydrite  
dolomite et argile } 3470 m à TOR - 3150 m à 17/11-1.

### Zone VIII

Cette zone n'existe que dans le sondage TOR, 17/11-1 ayant été arrêté dans le Zechstein.

B - Comparaison entre 17/11-1, TOR, ODIN, AMBERJACK et HOLLVIKEN n° 2  
 (voir pl. 3 et figures 5 à 12 dans le texte).

La comparaison des séries traversées par ces sondages montre une grande ressemblance en ce qui concerne les zones I et II-a, de grandes différences au-dessous. Les épaisseurs des différentes zones sont données dans un tableau.

.../...

Zone I (figure 6)

Elle est très comparable sauf en ce qui concerne HOLLVIKEN n° 2 où cette zone n'existe pas ou n'a pas été étudiée. La distinction des sous-zones I-o et I-a n'est pas possible en dehors de TOR et 17/11-1. L'épaisseur de l'ensemble augmente d'Est en Ouest.

Zone II (figure 7)

Il faut envisager séparément les différentes sous-zones :

- Sous-zone II-a - Elle correspond partout à la craie massive ; son épaisseur minimum est à TOR et elle augmente vers l'Ouest comme vers l'Est. 17/11-1 se distingue par le développement d'un niveau à silex (quartz abondant).
- Sous-zone II-b - Elle n'existe qu'à ODIN et TOR où elle est très comparable.
- Sous-zone II-c - Elle est présente dans tous les sondages excepté HOLLVIKEN n° 2 où on trouve seulement un grès glauconieux. Les épaisseurs sont très variables : le minimum est à AMBERJACK (12 m), le maximum à ODIN (130 m).

Zone III (figure 8)

C'est à ce niveau que l'on note les plus grandes différences d'un sondage à l'autre. L'épaisseur totale est beaucoup plus grande à TOR et 17/11-1 qu'à ODIN et AMBERJACK ce qui permet de penser qu'un axe haut existait alors de ODIN à AMBERJACK à l'Est duquel se développait un bassin subsident.

- Sous-zone III-o - Ce niveau est présent dans les seuls sondages TOR et 17/11-1.
- Sous-zone III-a - Elle est bien caractérisée dans les sondages ODIN et 17/11-1, mal caractérisée à AMBERJACK où elle ne se distingue pas de la suivante et à TOR où elle peut exister à la base de la sous-zone III-o.
- Sous-zone III-b - Cette sous-zone carbonatée est présente partout ; bien délimitée dans les sondages TOR et 17/11-1, elle l'est moins bien à AMBERJACK et ODIN où les faciès carbonatés vont jusqu'aux argiles radioactives.

.../...

AMBERJACK

ODIN

TOR

17/11-1

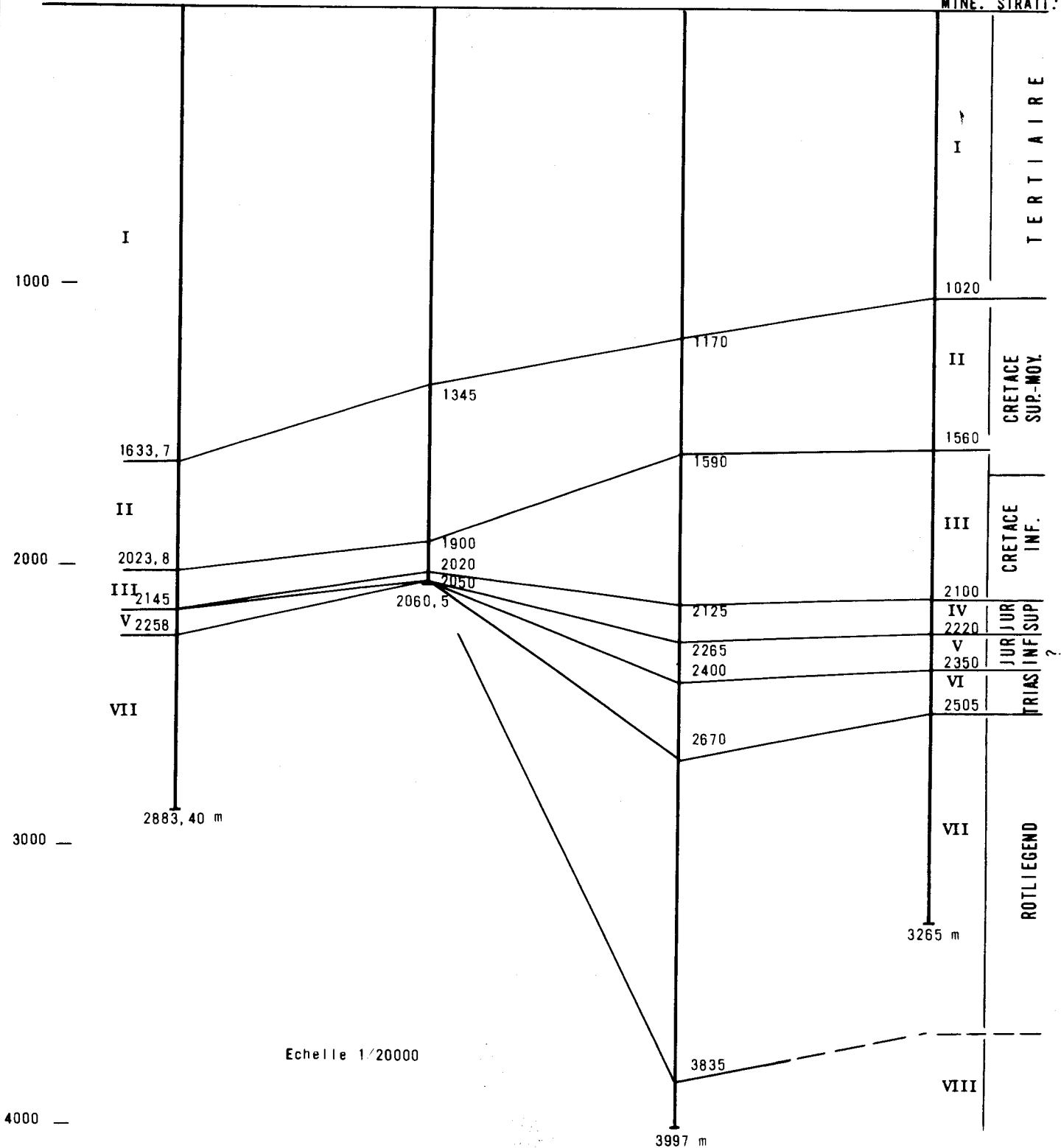
ZONES  
MINÉRALOGIQUESZONES  
MINE. STRATIG.

Fig. 5 : Schéma des corrélations proposées à l'aide des minéraux argileux et majeurs dans les sondages AMBERJACK, ODIN, TOR et 17/11-1.

W

AMBERJACK

ODIN

TOR

17 / II - I

E

ZONE I

1633,70 m

1345 m

1170 m

1020 m

I

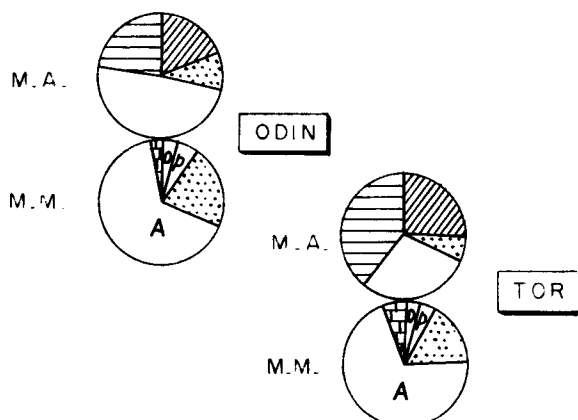
## LEGENDE

## M.M MINERAUX MAJEURS

|  |             |
|--|-------------|
|  | Quartz      |
|  | Argile      |
|  | Calcite     |
|  | Dolomite    |
|  | Siderite    |
|  | Orthoclase  |
|  | Plagioclase |

## M.A MINERAUX ARGILEUX

|  |                                          |
|--|------------------------------------------|
|  | Kaolinite                                |
|  | Chlorite                                 |
|  | Illite                                   |
|  | Montmorillonite                          |
|  | Interstratifiés Illite - Montmorillonite |
|  | Attapulgite                              |
|  | Interstratifiés I.M et C.M               |
|  | Interstratifiés C.M                      |
|  | Montmorillonite + Interstratifiés I.M    |
|  | Chlorite - Vermiculite                   |



← Epaisseur croissante

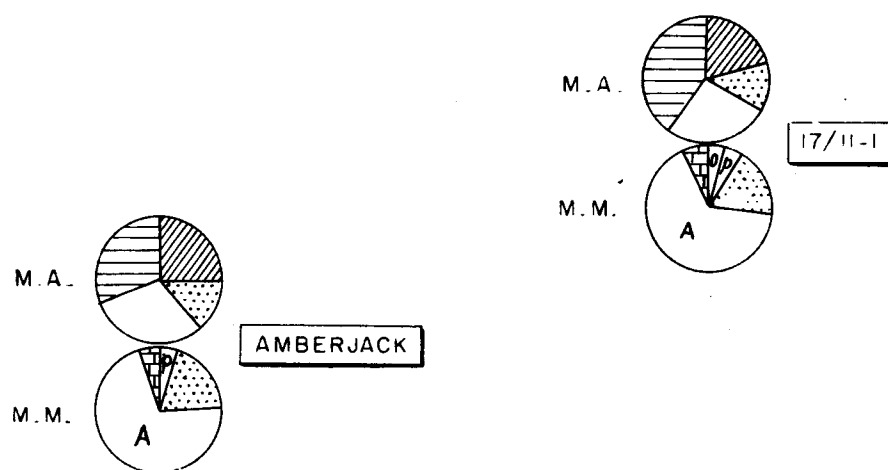
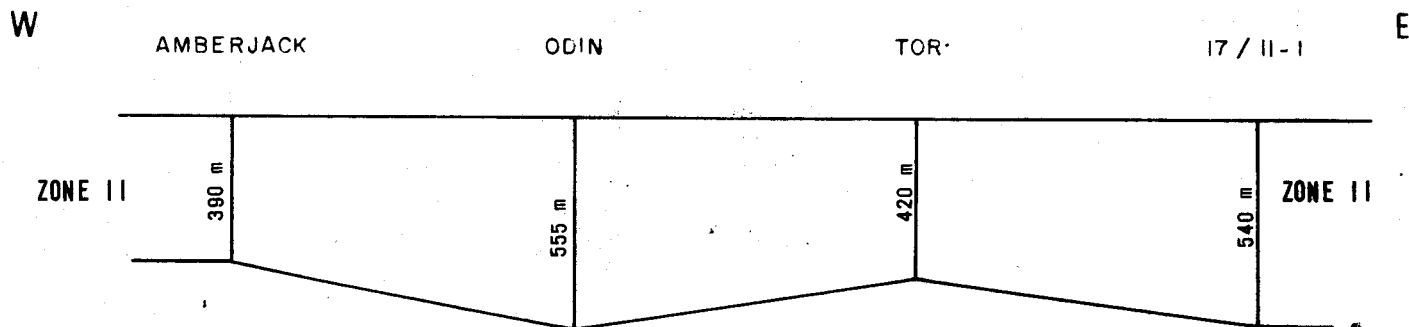


Fig.6 : Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone I dans les sondages étudiés.



## LEGENDE

### M.M MINERAUX MAJEURS

|  |             |
|--|-------------|
|  | Quartz      |
|  | Argile      |
|  | Calcite     |
|  | Dolomite    |
|  | Sidérite    |
|  | Orthoclase  |
|  | Plagioclase |

### M.A MINERAUX ARGILEUX

|  |                                          |
|--|------------------------------------------|
|  | Kaolinite                                |
|  | Chlorite                                 |
|  | Illite                                   |
|  | Montmorillonite                          |
|  | Interstratifiés Illite - Montmorillonite |
|  | Attapulgit                               |
|  | Interstratifiés I.M et C.M               |
|  | Interstratifiés C.M                      |
|  | Montmorillonite + Interstratifiés I.M    |
|  | Chlorite - Vermiculite                   |

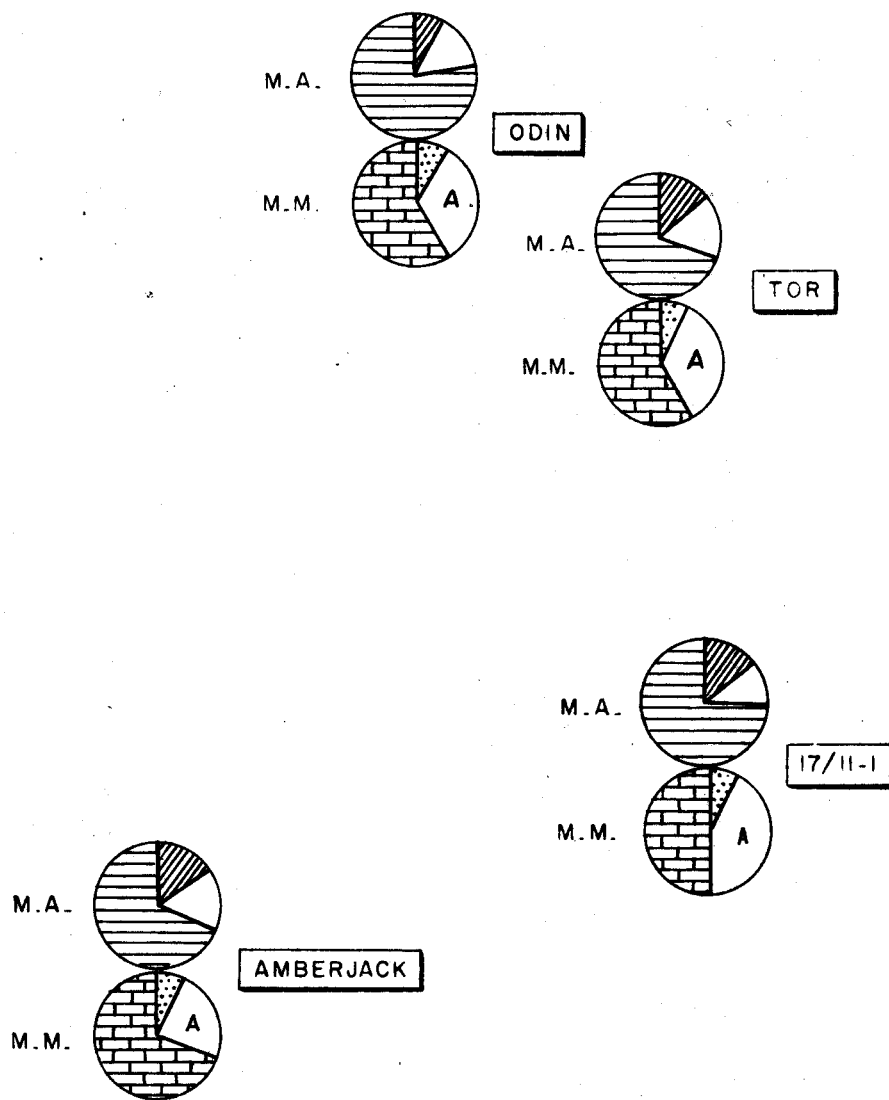


Fig.7 : Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone II dans les sondages étudiés.

- Sous-zones III-c à e - Cet ensemble argileux ne peut être subdivisé complètement que dans le sondage 17/11-1 ; en particulier, la coupure 1865 m à l'apparition de la sidérite n'a pas été retrouvée à TOR où ce minéral est absent\*, ni à ODIN et AMBERJACK où les niveaux argileux sont absents. La sous-zone III-e est distincte à TOR et 17/11-1 : c'est un niveau plus carbonaté. En ce qui concerne HOLLVIKEN, aucune subdivision ne peut être établie. Cependant, on note que les minéraux argileux sont assez comparables à ceux de certains niveaux de la zone III dans le sondage 17/11-1 mais avec exagération de la chlorite et des interstratifiés chlorite - vermiculite.

#### Zone IV

La zone IV est celle des "argiles radioactives" qui existent dans tous les sondages excepté HOLLVIKEN n° 2 mais avec des épaisseurs variables et une composition minéralogique variable également, malgré des caractéristiques communes : à ODIN la montmorillonite domine et la chlorite est absente ; à AMBERJACK et 17/11-1 ce sont les interstratifiés illite - montmorillonite qui dominent ; à TOR la montmorillonite est variable en pourcentage et la chlorite est absente ; de la chlorite peut exister au sommet à 17/11-1 (retombées ?). Les planches 2-c à e et les figures 2 et 4 dans le texte montrent ces différents aspects minéralogiques.

#### Zone V

La zone V existe à AMBERJACK, TOR, 17/11-1 et HOLLVIKEN mais avec de fortes variations latérales. Dans le sondage AMBERJACK, l'abondance de la kaolinite marque davantage d'analogies avec la zone V d'HOLLVIKEN n° 2 qu'avec celle de TOR. Cependant, nous pensons que ces niveaux sont équivalents ; en particulier ils sont feldspathiques à plagioclases et de la dolomite se trouve à AMBERJACK comme à 17/11-1. Enfin la zone V dans le sondage AMBERJACK ne peut pas être équivalente à la zone VI de TOR ou 17/11-1.

#### Zone VI

Cette zone existe dans les sondages TOR et 17/11-1 ; elle est peut-être équivalente au Trias inférieur de HOLLVIKEN n° 2 (Buntsandstein). Ces niveaux sont caractérisés par la présence en forts pourcentages d'interstratifiés chlorite - montmorillonite associés à de la chlorite.

Il est remarquable que la fraction détritique grossière de la zone V soit très semblable à celle de la zone VI alors que la fraction argileuse est très différente.

.../...

---

\* Cependant comme nous l'avons décrit plus haut, évolution verticale des diagrammes de minéraux argileux très semblable dans la sous-zone III-d.

W

AMBERJACK

ODIN

TOR

17 / II - I

E

ZONE III

121

120

535 m

540 m

III

## LEGENDE

## M.M MINERAUX MAJEURS

|  |             |
|--|-------------|
|  | Quartz      |
|  | Argile      |
|  | Calcite     |
|  | Dolomite    |
|  | Sidérite    |
|  | Orthoclase  |
|  | Plagioclase |

## M.A MINERAUX ARGILEUX

|  |                                        |
|--|----------------------------------------|
|  | Kaolinite                              |
|  | Chlorite                               |
|  | Illite                                 |
|  | Montmorillonite                        |
|  | Interstrati s Illite - Montmorillonite |
|  | Attapulgite                            |
|  | Interstrati s I.M et C.M               |
|  | Interstrati s C.M                      |
|  | Montmorillonite + Interstrati s I.M    |
|  | Chlorite - Vermiculite                 |

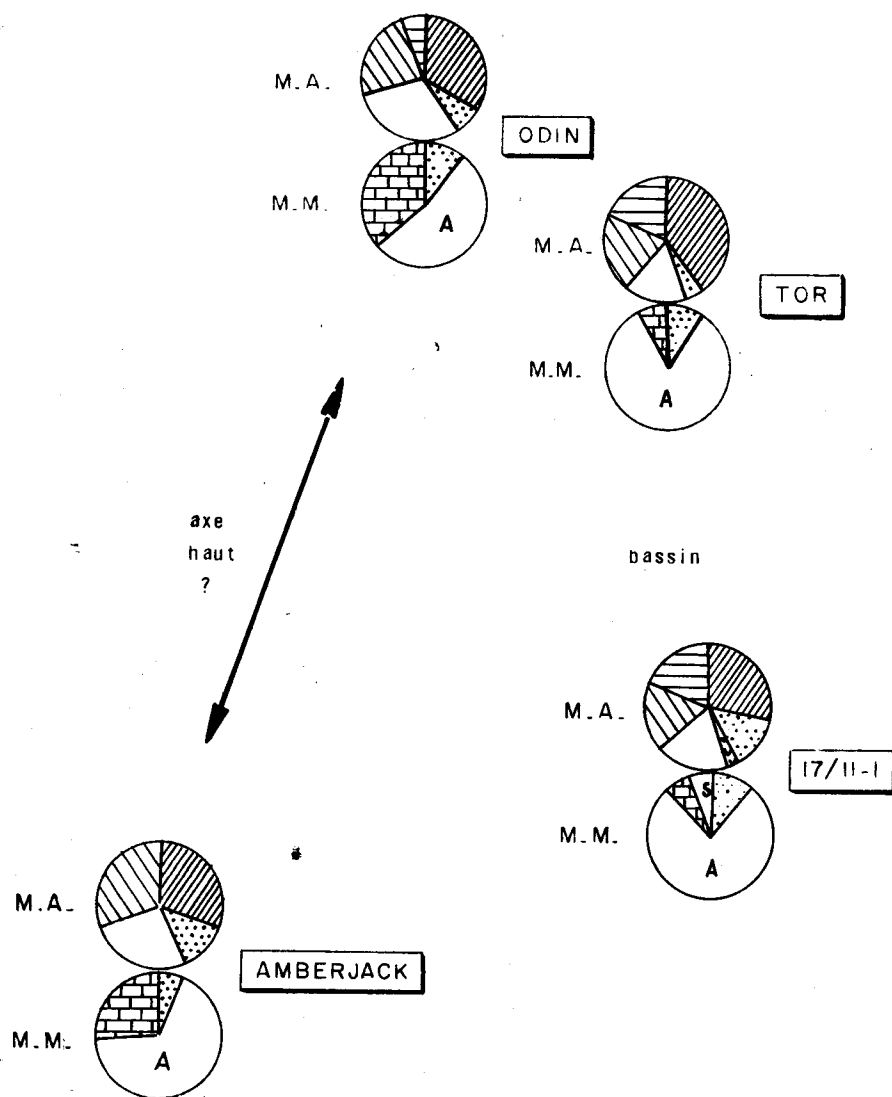
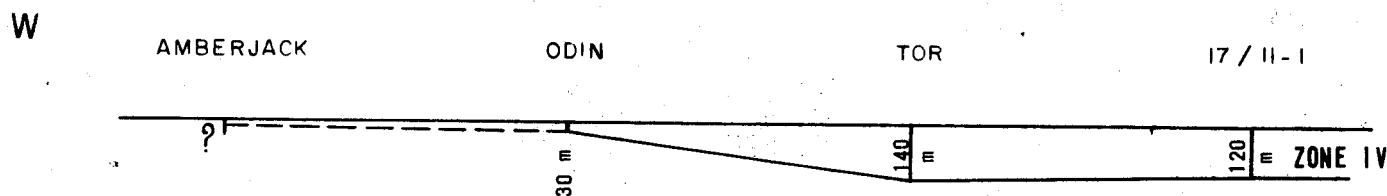


Fig.8 : Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone III dans les sondages étudiés.



N.B. : D'après la lithologie et le gamma-ray, les argiles radioactives existent à Amberjack bien qu'elles n'y soient pas individualisées minéralogiquement, les minéraux argileux étant peu différents de ceux de la zone III.

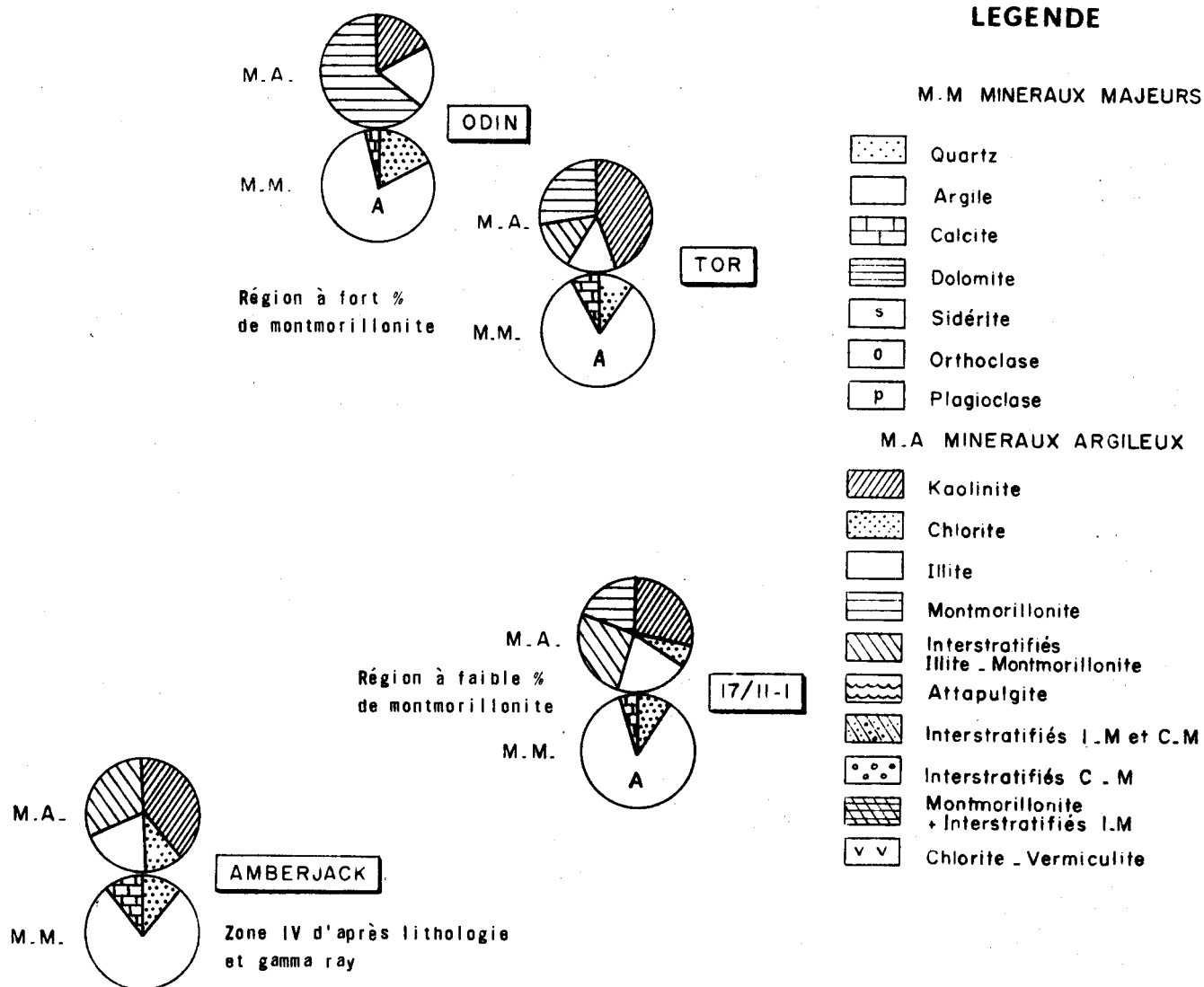


Fig.9 : Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone IV dans les sondages étudiés.

Zone VII

L'ensemble salifère de TOR et 17/11-1 se retrouve dans le sondage AMBERJACK mais sans que l'on puisse y distinguer des niveaux repères puisqu'il s'agit d'un dôme de sel.

Zone VIII

Cette zone, attribuée au Rotliegend dans le sondage TOR, n'a pas été traversée par les autres sondages.

.../...

W

AMBERJACK

ODIN

TOR

17 / II - I

E

Zone V

113

0

135

130

Zone V

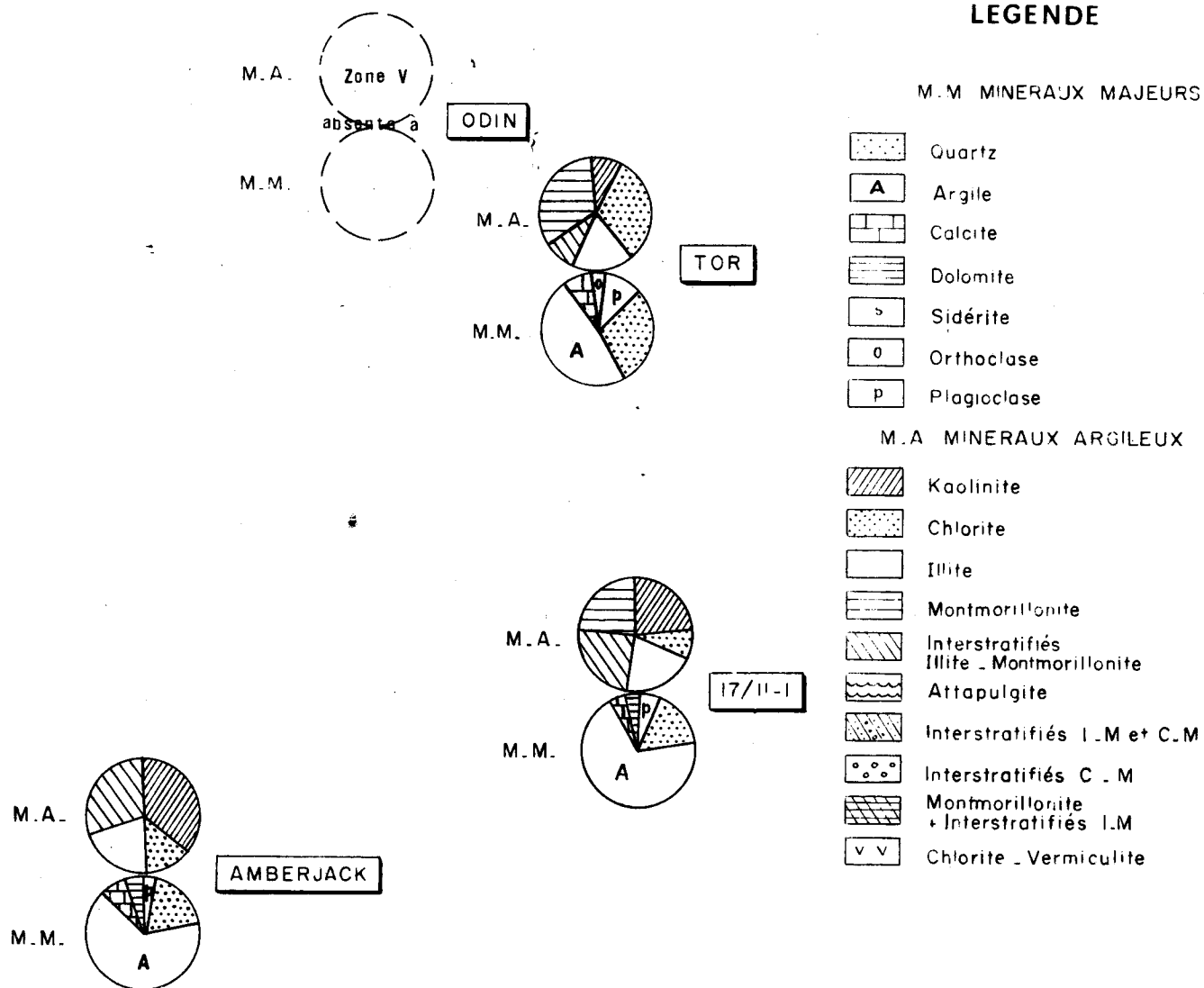
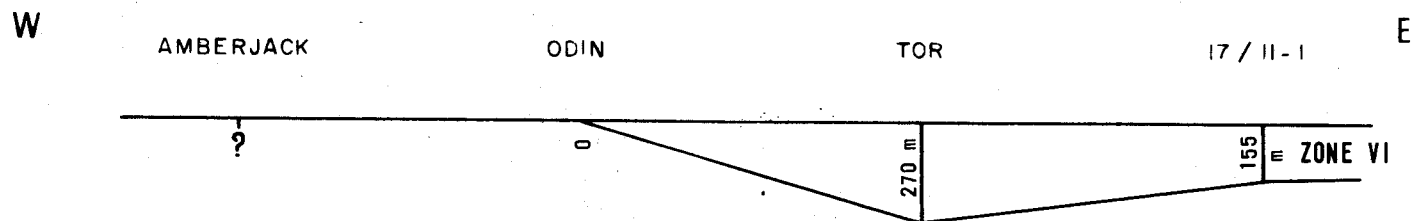


Fig.10 : Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone V dans les sondages étudiés.



## LEGENDE

### M.M MINERAUX MAJEURS

- Quartz
- Argile
- Calcite
- Dolomite
- Sidérite
- Orthoclase
- Plagioclase

### M.A MINERAUX ARGILEUX

- Kaolinite
- Chlorite
- Illite
- Montmorillonite
- Interstratifiés Illite - Montmorillonite
- Attapulgite
- Interstratifiés I.M et C.M
- Interstratifiés C.M
- Montmorillonite + Interstratifiés I.M
- Chlorite - Vermiculite

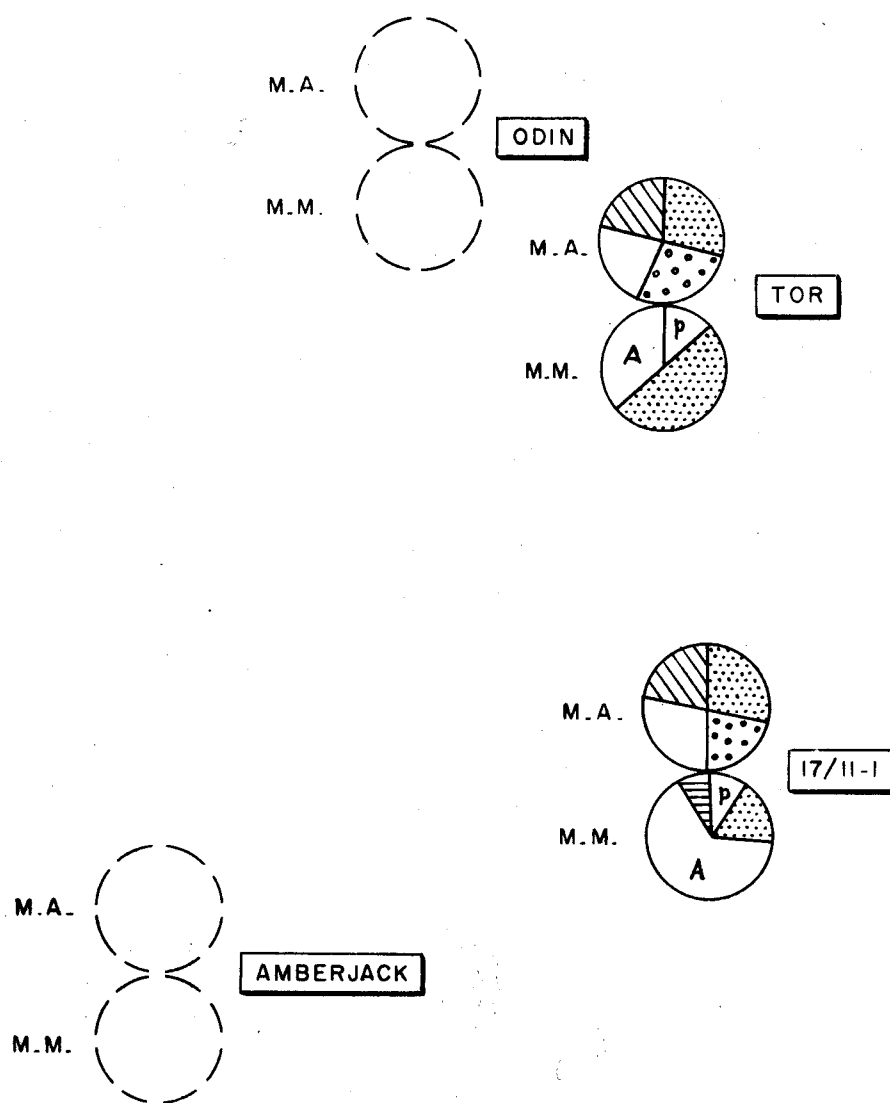


Fig.11 : Epaisseurs et cortèges minéralogiques de la zone VI dans les sondages étudiés.

| Zonation | AMBERJACK                                   | ODIN                                   | TOR                                                                                        | 17/11-1                                                                             | HOLLVIKEN n° 2                                    |
|----------|---------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| I        | 585,2 m 1960'<br>o - a<br>1472 m<br>b 5360' | 360 m<br>o - a<br>1200 m<br>b 1345 m   | 470 m<br>o<br>540 m<br>a<br>1050 m<br>b 1170 m                                             | 170 m<br>o<br>a<br>b 1020 m                                                         |                                                   |
| II       | a<br>6600'<br>b<br>c<br>2023,8 m 6660'      | a<br>1655 m<br>b<br>1770 m<br>c 1900 m | a<br>1410 m<br>b<br>1520 m<br>c 1590 m                                                     | a<br>1445 m<br>b<br>c 1560 m                                                        | 231 m<br>a<br>1136 m<br>b<br>1190 m<br>c ? 1245 m |
| III      | 2023,8 m<br>a<br>b<br>2145 m 7040'          | 1900 m<br>a<br>1925 m<br>b<br>2020 m ? | o<br>vers 1700 m<br>a<br>1700 m<br>b<br>1780 m<br>c<br>1980 m ?<br>d<br>2095 m<br>e 2125 m | o<br>1660 m<br>a<br>1700 m<br>b<br>1780 m<br>c<br>1865 m<br>d<br>2025 m<br>e 2100 m | ?<br>1245 m<br>a<br>b<br>1274 m                   |
| IV       | 2145 m 7040'                                | 2050 m                                 | 2265 m                                                                                     | 2220 m                                                                              |                                                   |
| V        | 2258 m 7410'                                |                                        | 2400 m                                                                                     | 2350 m                                                                              | 1274 m<br>1500 m                                  |
| VI       |                                             |                                        | 2670 m                                                                                     | 2505 m                                                                              | 1919 m                                            |
| VII      | 2258 m 7410'<br>a<br>b<br>2883 m 9460'      |                                        | a<br>2710 m<br>b 3835 m                                                                    | a<br>2535 m<br>b 3265 m                                                             |                                                   |
| VIII     |                                             |                                        | 3997 m                                                                                     |                                                                                     |                                                   |

Figure 12 - Tableau schématisant la zonation minéralogique dans les sondages AMBERJACK, ODIN, TOR, 17/11-1 et HOLLVIKEN n° 2

## V - REMARQUES PALEOGEOGRAPHIQUES

Une confrontation des résultats minéralogiques, pétrographiques et stratigraphiques a été effectuée. Elle a abouti à un certain nombre de constatations intéressantes.

### 1 - Relation entre la zonation minéralogique et la stratigraphie

L'étude stratigraphique est encore en cours mais une comparaison avec les données actuellement disponibles montre que les coupures minéralogiques importantes sont sensiblement chronostratigraphiques : la coupure zone II - zone III est, soit à la base, soit dans l'Albien\*. La coupure zone III - zone IV est la base du Crétacé inférieur. La zone IV correspond au Jurassique supérieur et peut-être moyen.

La zone VI serait d'âge triasique à TOR, mais pas à 17/11-1. Les zones VII et VIII appartiennent au Permien.

### 2 - Relation entre la zonation minéralogique et les paléo-climats (voir fig. 13)

Etant donné que la présente étude embrasse plus de 200 millions d'années, il nous a paru utile d'envisager l'influence d'une évolution des climats au cours de cette longue période. L'histoire des climats ayant régné sur la région étudiée est assez bien connue (STRAKHOV, IRVING, LOTZE ...). Elle nous apprend qu'au Permo-Trias régnait un climat aride tropical (latitude 15 à 25° environ). Au Jurassique, le climat devait être tempéré humide, puis plus aride. Au Crétacé, la région s'est trouvée à une latitude d'environ 40° avec un climat de type méditerranéen se refroidissant peu à peu. A l'Eocène, la température était plus élevée qu'au Crétacé, puis elle est allée en se refroidissant jusqu'au Quaternaire.

.../...

---

\* la limite zone II - zone III est basée sur l'évolution des minéraux argileux, l'évolution des minéraux majeurs (calcite) est chronostratigraphique.

Dans la mesure où aux mêmes climats correspondent les mêmes associations de minéraux argileux que de nos jours, ce qu'on connaît de la répartition climatique actuelle des minéraux pourrait aider à expliquer la présence de tel ou tel cortège de minéraux argileux hérités du continent à une certaine époque, en ne perdant pas de vue que, à l'intérieur de chaque zone climatique, des variations locales des cortèges de minéraux argileux sont possibles, par exemple kaolinite dominante ou montmorillonite dominante. L'ensemble des données est représenté sur le tableau figure 4. La comparaison des cortèges de minéraux observés avec les cortèges probables d'après le climat supposé (CAMEZ, MILLOT) montre une assez bonne concordance. Il ne faut pas oublier que les argiles héritées proviennent de sols qui peuvent être très anciens et donc s'être formés sous un climat différent de celui qui a régné pendant le dépôt (théorie de la biostasie et de la rhexistasie de ERHARD).

- Permien - Pendant le dépôt du Rotliegend, le climat a dû être tropical, d'où la teneur importante en kaolinite et l'absence de chlorite ; de plus, ces argiles ont pu provenir de paléosols tropicaux humides du Carbonifère par exemple. L'érosion intense a limité l'altération chimique (feldspaths plagioclases).  
Au Zechstein le climat était plus aride et les minéraux dominants sont la chlorite et l'illite. La couleur rouge domine.
- Trias - Les minéraux argileux sont ceux que l'on rencontre souvent dans les dépôts triasiques de l'Europe : chlorite et interstratifiés chlorite - montmorillonite ; ce dernier est presque inconnu dans les sols et sédiments actuels. Les feldspaths plagioclases abondants montrent que l'altération chimique n'a pas été très poussée et que les **matériaux** détritiques d'origine étaient dépourvus d'orthose. La couleur rouge domine.
- Jurassique inférieur - Pour autant que la zone V appartienne bien au Jurassique inférieur dans tous les sondages, on constate que les minéraux argileux y sont variés ce qui s'accorde assez bien avec l'idée d'un climat tempéré et celle d'apports variés à partir de sols ou de sédiments plus anciens. On constate la même abondance de feldspaths plagioclases que dans le Trias, montrant une origine commune du matériel détritique avec remaniement du Trias possible (chlorite abondante à TOR).
- Jurassique supérieur - Les sédiments de cette période sont très argileux et la couleur sombre y domine (argiles noires radioactives). Ils peuvent être un produit de l'érosion de sols noirs à montmorillonite, en climat tempéré chaud sur sédiments anciens. Les chlorites ont complètement disparu par altération.

.../...

| Epoques                      | Zones | Latitudes | Climats                                                  | Sols                              | Minéraux argileux probables                                                 | Minéraux argileux observés                                   |
|------------------------------|-------|-----------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Néogène                      | I a-a | 58 - 59   | froid                                                    | podzols                           | illite + chlorite<br>inter. + montmorillonite<br>vermiculite                | <u>illite</u> , montmorillonite,<br>kaolinite, chlorite      |
| Oligocène                    |       |           | à<br>tempéré                                             |                                   |                                                                             |                                                              |
| Eocène                       | I b   | 45        | tempéré                                                  | terres brunes<br>méditerranéennes | kaolinite, montmorillonite<br>illite )<br>chlorite ) dans sol peu<br>évolué | <u>Montmorillonite</u> , illite,<br>kaolinite                |
| Paléocène                    |       |           | chaud<br>tempéré                                         |                                   |                                                                             |                                                              |
| Crétacé supérieur<br>à moyen | II    |           | tempéré<br>chaud se<br>refroidissant                     | à                                 | - dito -                                                                    | - dito -                                                     |
| Crétacé inférieur            | III   | 40        | chaud et sec                                             |                                   | sol peu lessivé<br>illite, montmorillonite<br>parfois chlorite              | kaolinite, chlorite<br>illite, inter, montmorillonite        |
| Jurassique supérieur         | IV    |           | tempéré chaud<br>et plus sec que<br>Jurassique inférieur | steppes<br>méridionales           | montmorillonite dominante +<br>kaolinite                                    | <u>montmorillonite</u> ,<br>kaolinite, <u>inter</u> , illite |
| Jurassique inférieur         | V     |           | tempéré                                                  |                                   | illite, chlorite,<br>montmorillonite                                        | chlorite, kaolinite, inter,<br>montmorillonite               |
| Trias                        | VI    | 25        | aride                                                    | terres rouges                     | illite, chlorite, parfois kaolinite<br>sols peu lessivés                    | <u>chlorite + C.M.</u> + inter                               |
| Permien                      | VII   | 15        | aride                                                    | sol aride                         | illite, chlorite                                                            | chlorite, <u>illite</u> , inter                              |
|                              | VIII  |           | tropical                                                 | sol tropical                      | kaolinite, illite,<br>montmorillonite                                       | <u>kaolinite</u> , illite, inter                             |

Figure 13 - Tableau montrant l'évolution verticale des climats et des minéraux argileux dans la région étudiée depuis le Permien jusqu'à l'époque actuelle

- Crétacé inférieur - Les minéraux argileux diffèrent surtout de ceux du Jurassique supérieur par la présence de chlorite et la diminution des teneurs en montmorillonite ce qui pourrait s'expliquer par un caractère moins poussé qu'au Jurassique des altérations chimiques sous un climat chaud et sec (couleur grise ou beige). Les chlorites paraissent cependant nettement altérées. Les feldspaths sont des orthoses et des plagioclases, ce qui montre que les matériaux d'origine étaient différents de ceux du Trias - Jurassique inférieur à plagioclases.
- Crétacé moyen et supérieur - Le caractère principal est la richesse en montmorillonite, même dans l'Albien. Au Sénonien, la sédimentation est chimique et la fraction argileuse n'est qu'une très petite partie de la roche ; son origine ne nous paraît pas différente de celle de l'Albien, c'est-à-dire qu'elle serait détritique par héritage du continent sous un climat tempéré chaud peu différent de celui du Jurassique supérieur (couleur grise souvent foncée).
- Eocène - A l'Eocène, se produit un réchauffement du climat. Les minéraux argileux sont cependant les mêmes qu'au Crétacé supérieur ce qui montre une origine commune.
- Oligocène à Pliocène - Les minéraux argileux évoluent : la kaolinite devient abondante ainsi que l'illite ; la chlorite apparaît. La kaolinite est sans doute héritée des sols formés pendant l'Eocène à climat chaud. Le climat s'étant refroidi et les apports renouvelés, on voit la kaolinite diminuer, la chlorite et l'illite augmenter ; la phase argileuse tend vers la composition actuelle des argiles déposées dans la région étudiée : illite et chlorite dominantes, kaolinite et montmorillonite accessoires (GRIFFIN et GOLDBERG, BISCAÏE).

Ainsi l'héritage des argiles permet d'expliquer l'évolution des minéraux argileux tout au long de la série étudiée, excepté en ce qui concerne la fraction argileuse du Trias.

### 3 - Relation entre les minéraux argileux et la lithologie

Une étude détaillée n'est possible que pour les carottes. En ce qui concerne les déblais, seule une vue d'ensemble par formation est possible.

.../...

### Vue d'ensemble

On constate une indépendance entre la lithologie et la nature des minéraux argileux, ce qu'illustrent bien les exemples des zones II, V et VI.

- Zone II - Les minéraux argileux sont les mêmes dans toute cette zone alors que la lithologie change puisqu'elle est de haut en bas :
  - argiles bariolées et tufs
  - craie
  - argile gréseuse.
- Zones V et VI - On constate ici un phénomène inverse à celui qui a affecté la zone II : à des minéraux majeurs très semblables dénotant une origine commune ou un remaniement, correspondent des minéraux argileux différents ; il s'agit, soit de minéraux variés dans la zone V, soit de chlorite et d'interstratifiés chlorite - montmorillonite dans la zone VI.

### Carotte n° 1 du sondage TOR

Cette carotte a fait l'objet d'une étude détaillée\*. Les minéraux argileux dominants sont la kaolinite au sommet, la chlorite à la partie inférieure. On ne constate pas de relation avec la lithologie car niveaux argileux et gréseux voisins renferment les mêmes proportions de chlorite et de kaolinite.

Les diagrammes de diffraction X (cf. pl. 2-f) montrent que les minéraux argileux sont bien cristallisés et si la chlorite est peu visible au microscope, la kaolinite forme des empilements de lamelles de taille remarquable (50 à 60 microns) ressemblant à de la leverrierite ou à de la dickite.

### 4 - Relation entre les minéraux argileux ou majeurs et le milieu de dépôt

Nous avons observé une relation entre les minéraux argileux ou majeurs et le milieu de dépôt dans la zone VI que l'on peut rapprocher du Trias à faciès germanique par la forte teneur en interstratifiés chlorite - montmorillonite en voie de transformation en chlorite magnésienne.

.../...

---

\* cf. Rapport D-50-B n° 9/113 R - Novembre 1968 - de L. YAPAUDJIAN

Un autre exemple concerne la zone III du sondage 17/11-1 où l'on trouve de la sidérite ; ce minéral indique un milieu marin réducteur. On ne le retrouve pas dans le sondage TOR.

Enfin, dans les zones V et VI, les carbonates différents selon les sondages (calcite à TOR, dolomite à 17/11-1) correspondent sans doute à une différence de milieu de dépôt, celui-ci étant plus confiné à 17/11-1 (cf. fig. 10).

#### 5 - Diagénèse des minéraux

Le type d'échantillonnage utilisé principalement (déblais) n'est pas favorable à l'étude de la diagénèse.

Nous n'avons observé une diagénèse possible que dans la carotte n° 1 du sondage TOR dans laquelle la phase argileuse est très bien cristallisée. L'observation en lame mince montre une matrice très hétérogène dans laquelle sont visibles de nombreux micas muscovite et biotites, des feldspaths très altérés, quelques chlorites et hydromicas et de beaux empilements de lamelles de kaolinite. Ceux-ci font penser à une recristallisation diagénétique.

.../...

# CONCLUSION

L'étude des minéraux majeurs et des minéraux argileux par diffractométrie de rayons X dans les sondages TOR et 17/11-1 a permis d'obtenir des résultats intéressants.

- ① Il a été possible de subdiviser la série en 8 zones, certaines elles-mêmes divisées en sous-zones, ceci sur la base, soit des minéraux argileux, soit des minéraux majeurs, soit des deux à la fois.

- ② Une comparaison de ces zones entre les sondages 17/11-1 et TOR a mis en évidence les faits suivants :

Les formations tertiaires (zone I) sont très semblables, de même que le crétacé supérieur (zone II-a).

Par contre, de nettes différences apparaissent au-dessous.

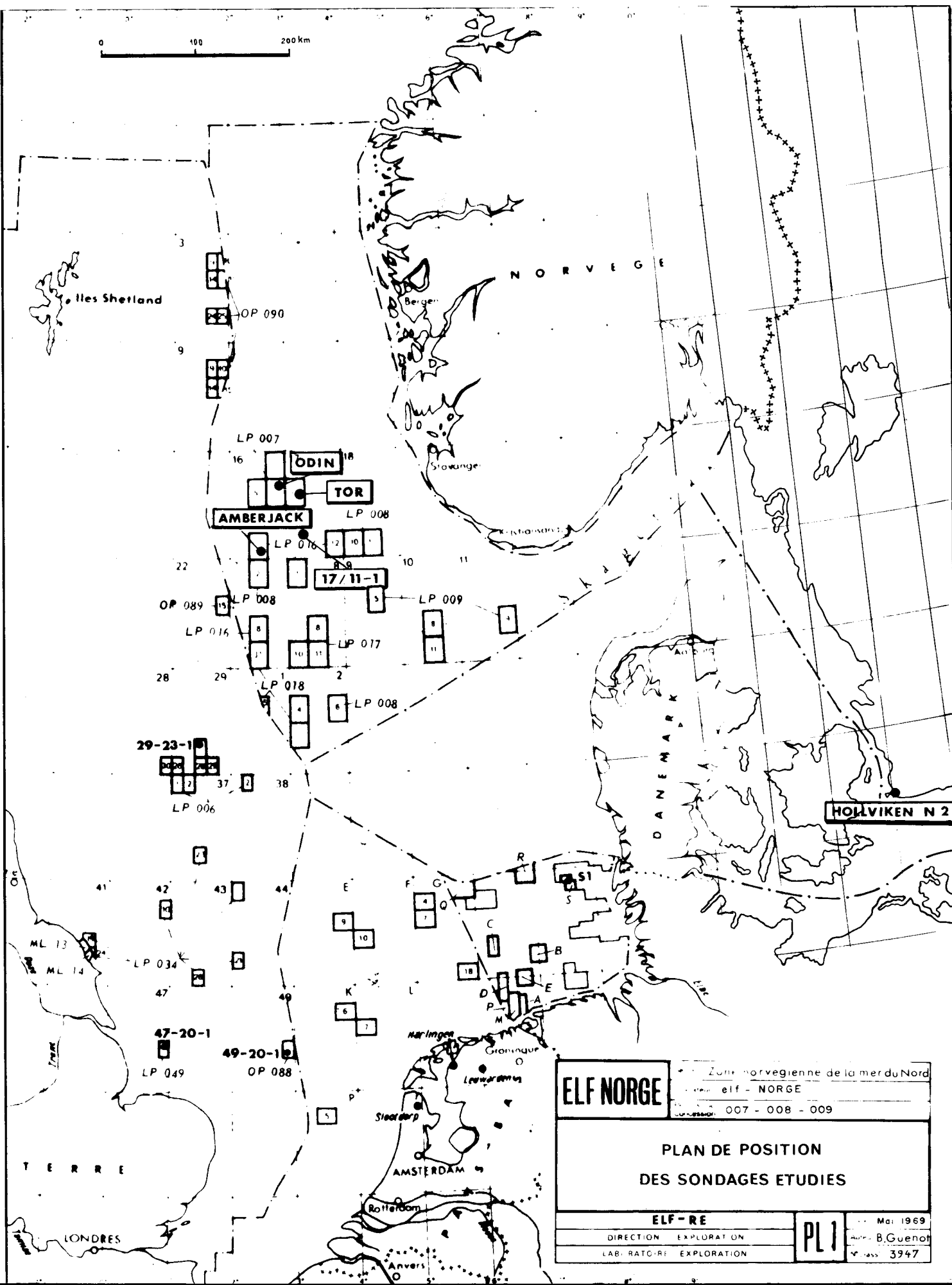
- Zone II-b, présente à TOR, absente à 17/11-1.
- Zone III, mieux différenciée à 17/11-1 par la variation de nature et de teneurs en calcite et en sidérite, et plus complète.
- Zone IV, plus riche en montmorillonite et sans chlorite à TOR.
- Zone V à cortège de minéraux argileux différent : peu de chlorite à 17/11-1, chlorite dominante en partie gonflante à TOR.

- ③ Un parallélisme entre ces séries et celles des sondages ODIN, AMBERJACK et HOLLVIKEN n° 2 a été possible. Il apparaît que les séries traversées à TOR et 17/11-1 sont beaucoup plus complètes que celles de ODIN et AMBERJACK où certaines zones manquent (zones V et VI à ODIN, zone VI à AMBERJACK). Il en est de même pour HOLLVIKEN n° 2 avec de plus grandes différences qui rendent certaines corrélations assez hypothétiques, notamment dans le Jurassique et le Trias.

.../...

- ④ Les grandes coupures nous ont paru sensiblement chronostratigraphiques à la suite d'une comparaison avec les premières données des analyses paléontologiques.
- ⑤ Nous avons constaté que, si l'on examinait l'évolution des minéraux argileux et majeurs dans son ensemble dans les sondages étudiés, l'influence des climats qui se sont succédé au cours de l'histoire des sédiments permettait une bonne compréhension de cette évolution. Ces climats ont pu varier d'un climat aride au Permien, vers un climat froid actuel en passant par des climats plus ou moins tropicaux et tempérés chauds. A côté de ce facteur de répartition des minéraux prépondérant en existent d'autres :
- Variation possible de la direction des apports, mais le nombre de sondages étudiés est encore trop faible pour bien la saisir.
  - Remaniements importants à certaines époques : zone V (Lias) à TOR pour ce qui est de la fraction argileuse et peut-être dans tous les sondages étudiés pour ce qui est de la fraction détritique plus grossière. Un remaniement des minéraux argileux est possible également dans la zone III-o de TOR et 17/11-1 qui appartient à l'Albien comme la zone II-c d'ODIN.
  - Changement des milieux de dépôt dans certains cas particuliers : cas du Trias à interstratifiés chlorite - montmorillonite.
  - Diagenèse dans les niveaux gréseux : zone V.

0 100 200 km



**ELF NORGE**

Zone norvégienne de la mer du Nord

elf - NORGE

007 - 008 - 009

**PLAN DE POSITION  
DES SONDAGES ETUDES**

**ELF-RE**

DIRECTION EXPLORATION

LABORATOIRE EXPLORATION

**PL 1**

Mai 1969

Aut. B. Guenot

N° 3947



Secteur Zone norvégienne de la Mer du Nord

Opérateur elf - NORGE

Permis de Concession 007 - 008 - 009

elf NORGE A/S

Diagramme de Diffraction X  
Sondage TOR : 1670 m.  
Crétacé inférieur

EN ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITES PETROLIERES

DIRECTION EXPLORATION

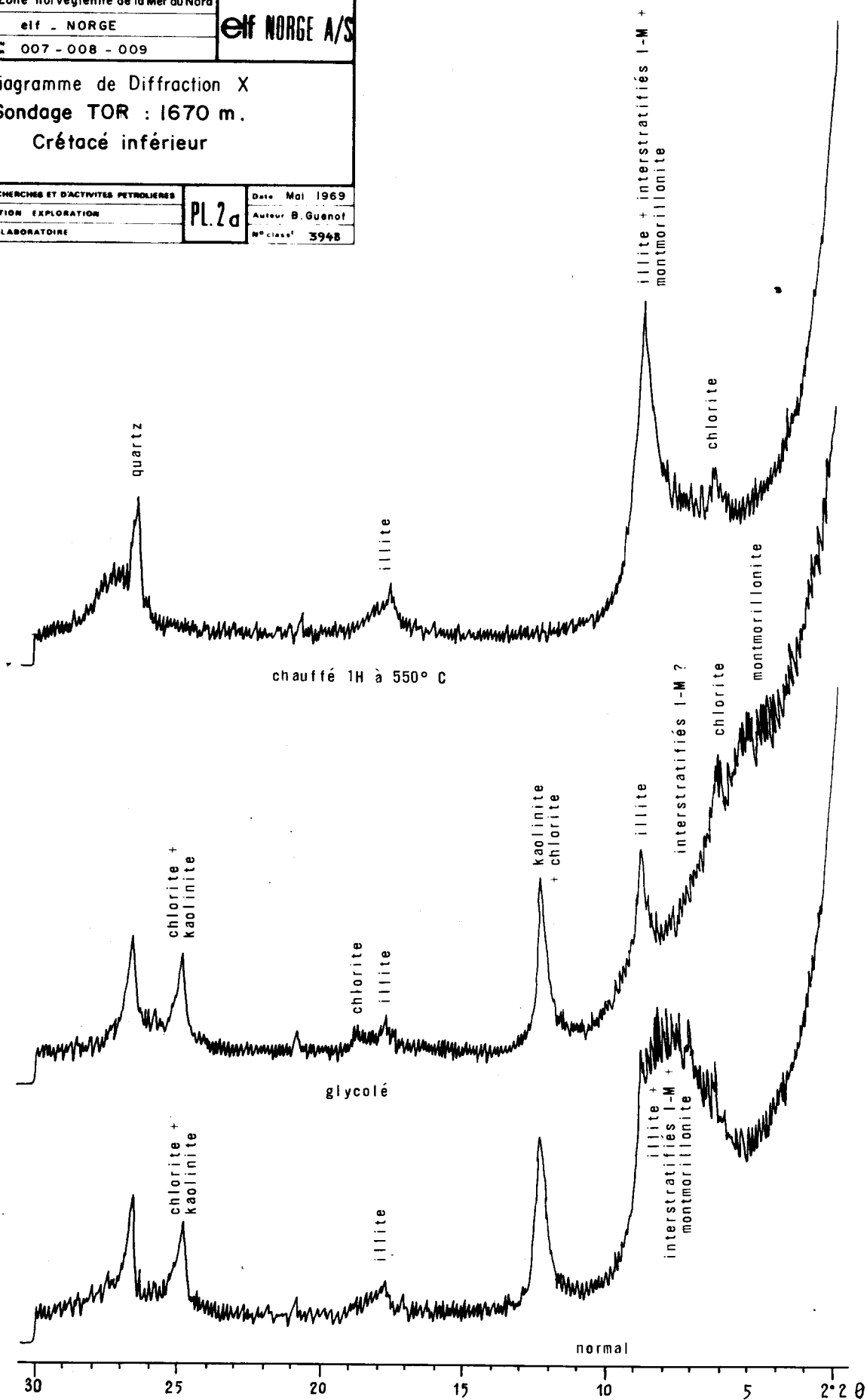
LABORATOIRE

PL.2a

Date Mai 1969

Auteur B. Guenot

N° classé 3948



|                                                        |                                            |                   |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------|
| elf                                                    | Secteur Zone norvégienne de la Mer du Nord | elf NORGE A/S     |
|                                                        | Opérateur elf - NORGE                      |                   |
|                                                        | Permis ou Concession 007 - 008 - 009       |                   |
| Diagramme de Diffraction X                             |                                            |                   |
| Sondage TOR : 2010 m.                                  |                                            |                   |
| CRETACE INFERIEUR                                      |                                            |                   |
| OW ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITES PETROLIERES | PL. 2b                                     | Date: Mai 1969    |
| DIRECTION EXPLORATION                                  |                                            | Auteur: B. Guenot |
| LABORATOIRE                                            |                                            | N° class: 3949    |

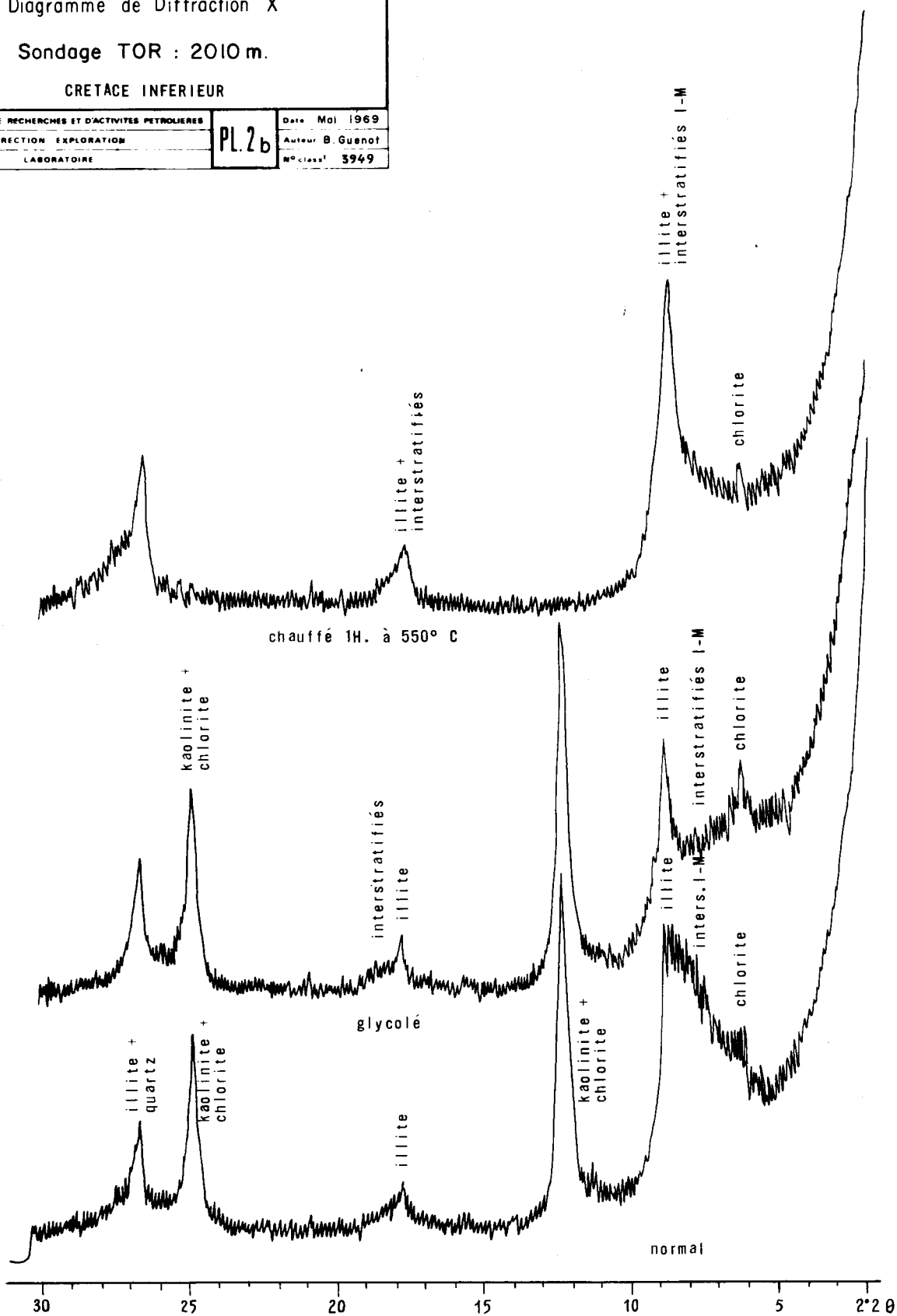
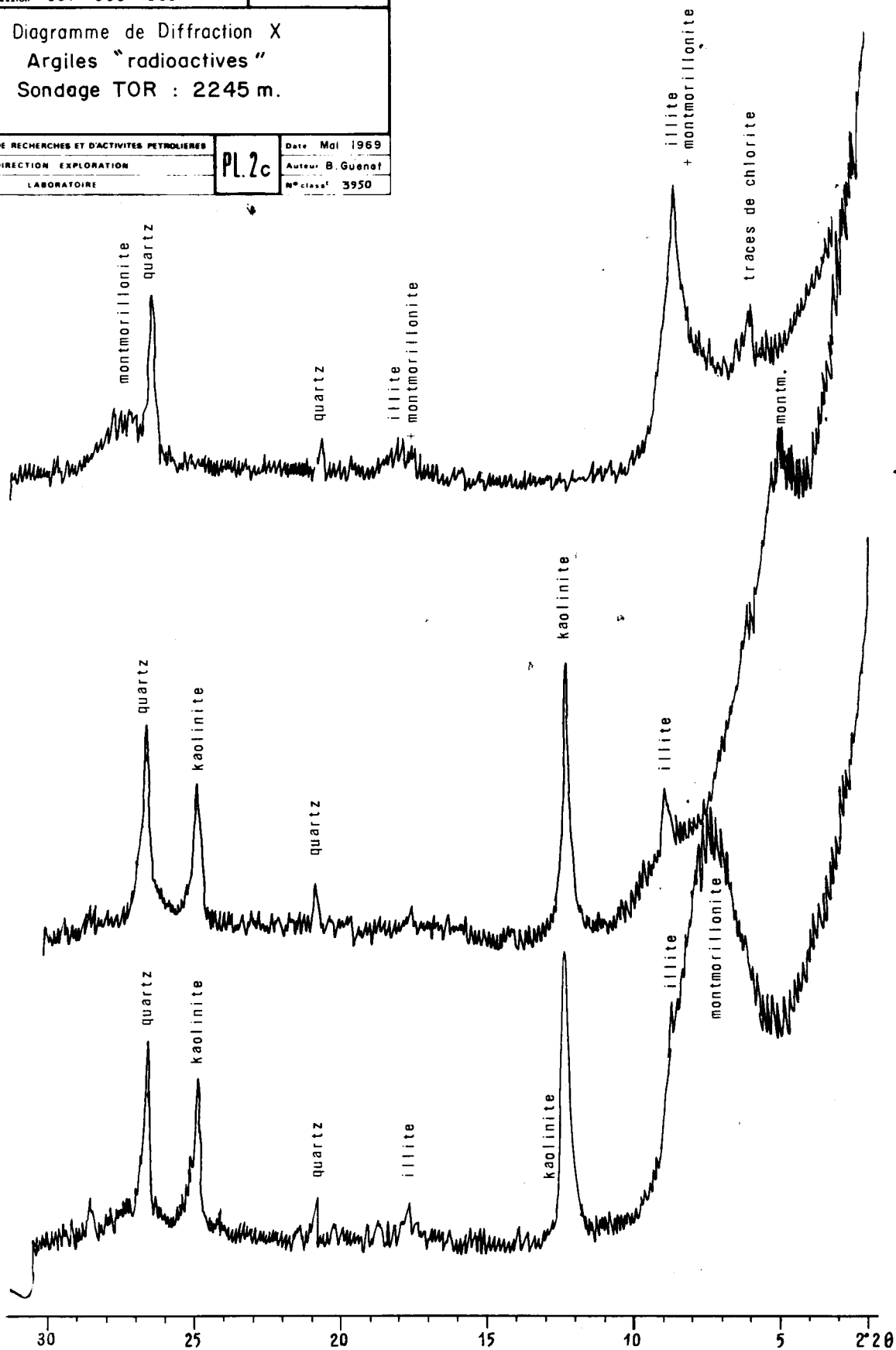
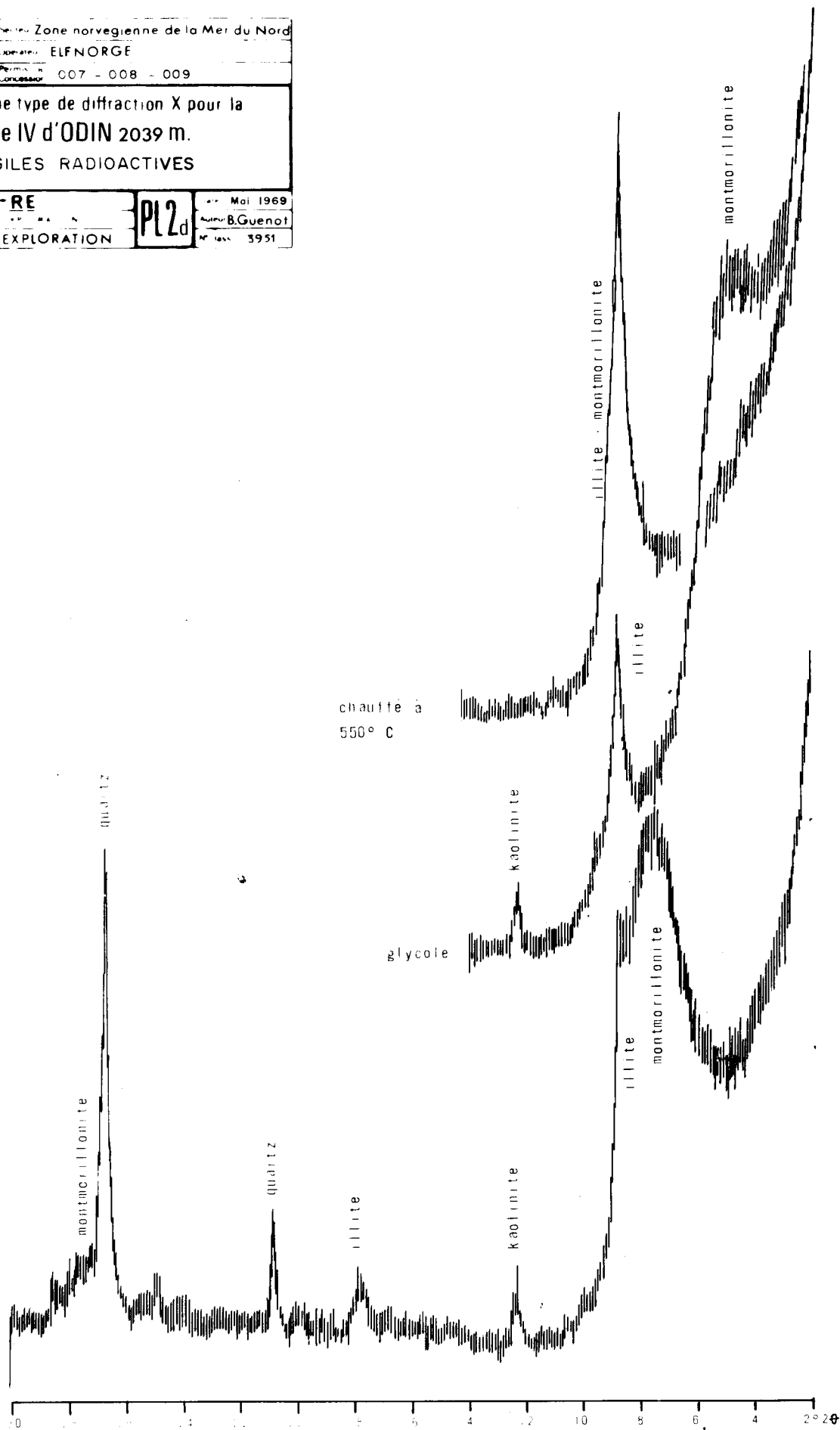


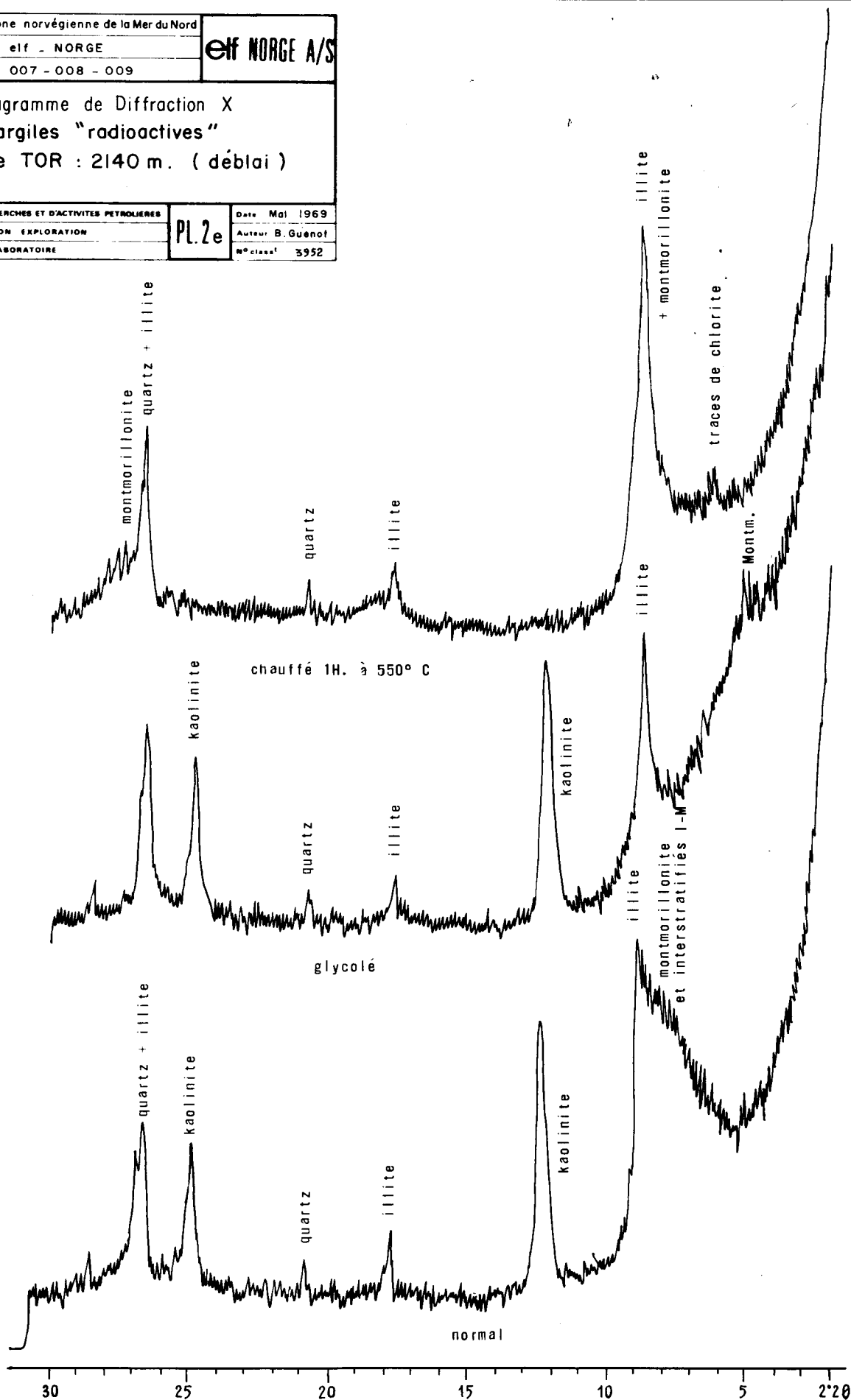
Diagramme de Diffraction X  
Argiles "radioactives"  
Sondage TOR : 2245 m.

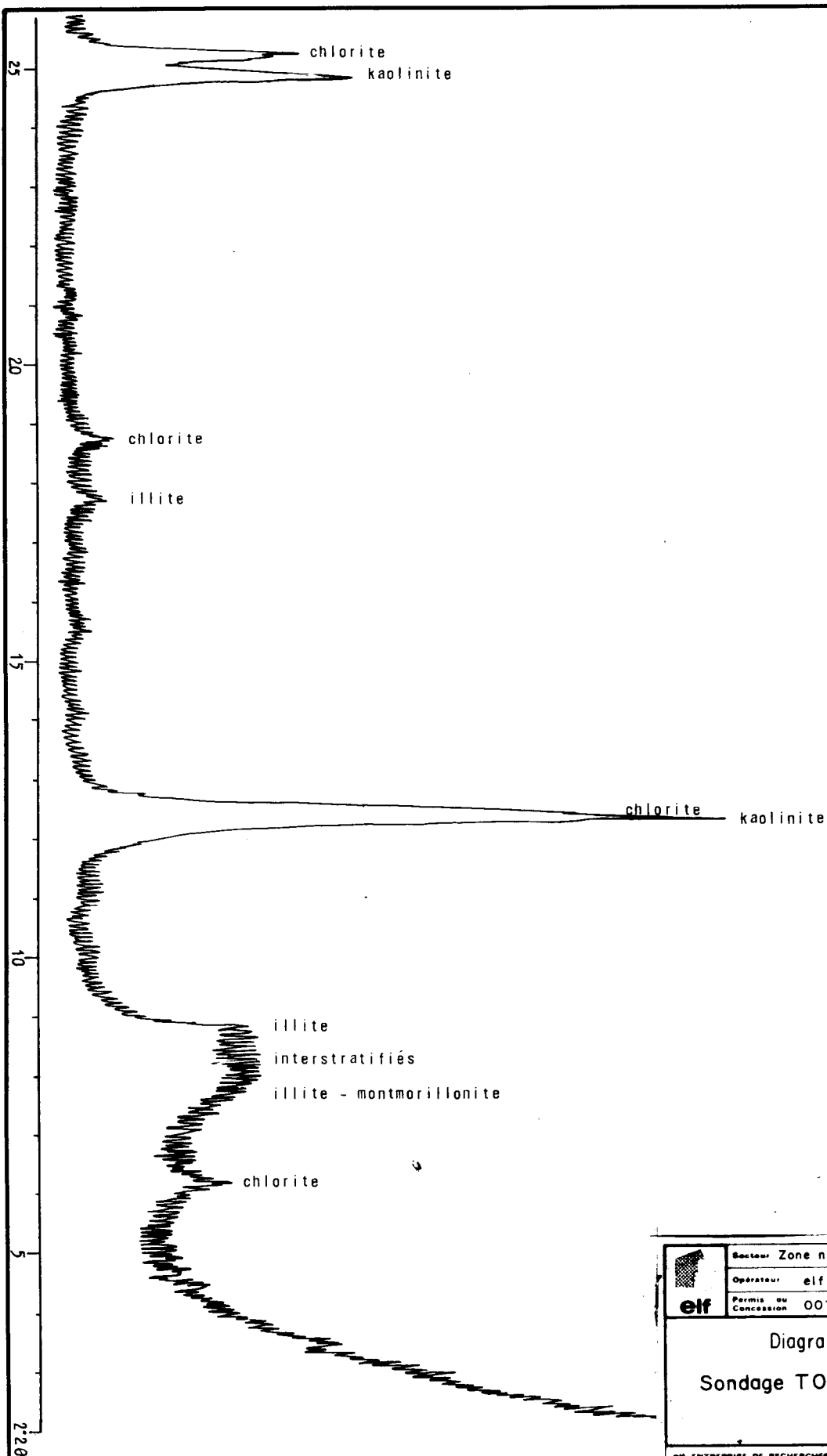


|                                                                                           |                                    |                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| ELF-NORGE                                                                                 | Zone norvegienne de la Mer du Nord |                   |
|                                                                                           | Opérateur: ELFNORGE                |                   |
|                                                                                           | Permis: 007 - 008 - 009            |                   |
| Diagramme type de diffraction X pour la<br>zone IV d'ODIN 2039 m.<br>ARGILES RADIOACTIVES |                                    |                   |
| ELF-RE                                                                                    | PL2d                               | Mai 1969          |
| LABORATOIRE EXPLORATION                                                                   |                                    | Auteur: B. Guenot |
|                                                                                           |                                    | N° 155 3951       |



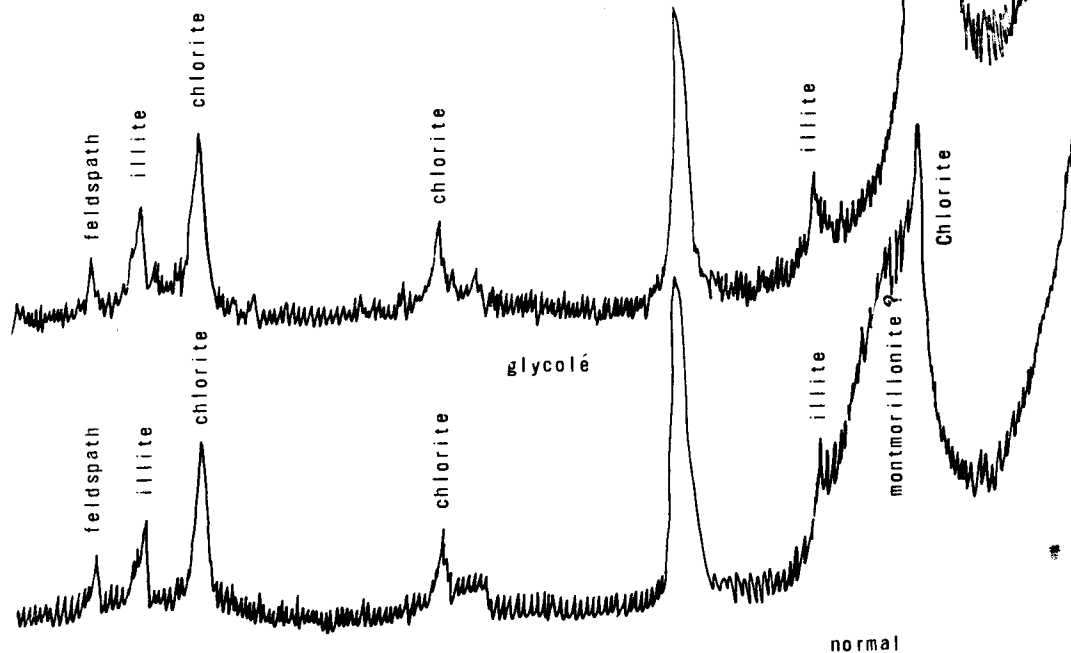
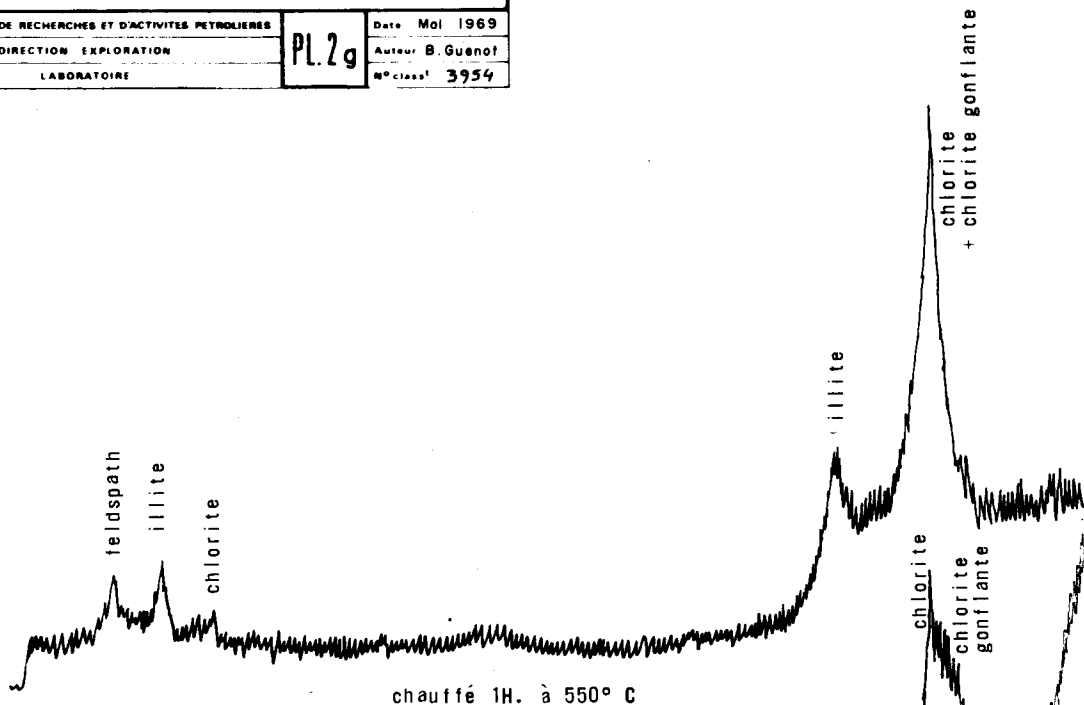
|                                                                                          |                                            |                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| elf                                                                                      | Secteur Zone norvégienne de la Mer du Nord | elf NORGE A/S    |
|                                                                                          | Opérateur elf - NORGE                      |                  |
|                                                                                          | Permis ou Concession 007 - 008 - 009       |                  |
| Diagramme de Diffraction X<br>argiles "radioactives"<br>Sondage TOR : 2140 m. ( déblai ) |                                            |                  |
| GW ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITES PETROLIERES                                   | PL. 2e                                     | Date Mai 1969    |
| DIRECTION EXPLORATION                                                                    |                                            | Auteur B. Guénot |
| LABORATOIRE                                                                              |                                            | N° classé 3952   |





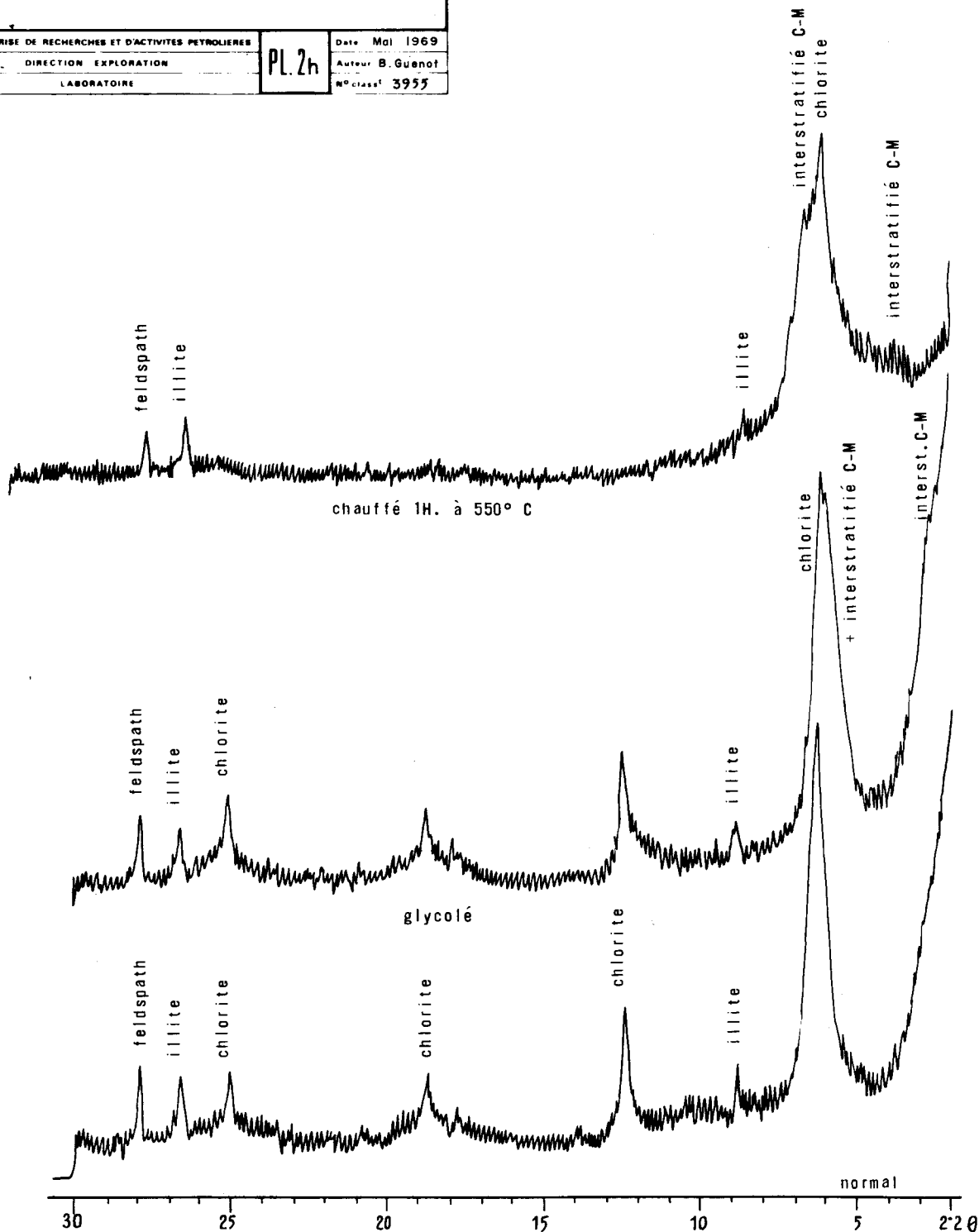
|                                                                                                |                                            |                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| elf                                                                                            | Secteur Zone norvégienne de la Mer du Nord | elf NORGE A/S                                      |
|                                                                                                | Opérateur elf - NORGE                      |                                                    |
|                                                                                                | Permis ou Concession 007 - 008 - 009       |                                                    |
| Diagramme de Diffraction X<br>Sondage TOR.carotte I - 2273,3m                                  |                                            |                                                    |
| ON ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITES PETROLIERES<br>DIRECTION EXPLORATION<br>LABORATOIRE |                                            | Date Mai 1969<br>Auteur B. Guenot<br>No class 3955 |

|                                                               |                                            |                  |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| elf                                                           | Secteur Zone norvégienne de la Mer du Nord | elf NORGE A/S    |
|                                                               | Opérateur elf - NORGE                      |                  |
|                                                               | Permis ou Concession 007 - 008 - 009       |                  |
| Diagramme de Diffraction X<br>Sondage TOR : 2397 m.<br>Lias ? |                                            |                  |
| OW ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITES PETROLIERES        |                                            | Date Mai 1969    |
| DIRECTION EXPLORATION                                         |                                            | Auteur B. Guenot |
| LABORATOIRE                                                   |                                            | N° classé 3954   |



30 25 20 15 10 5 2° 2θ

|                                                              |                                            |                  |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|
| elf                                                          | Secteur Zone norvégienne de la Mer du Nord | elf NORGE A/S    |
|                                                              | Opérateur elf - NORGE                      |                  |
|                                                              | Permis ou Concession 007 - 008 - 009       |                  |
| Diagramme de Diffraction X<br>Sondage TOR : 2635 m.<br>Trias |                                            |                  |
| ON ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITES PETROLIERES       | PL. 2h                                     | Date Mai 1969    |
| DIRECTION EXPLORATION                                        |                                            | Auteur B. Guenot |
| LABORATOIRE                                                  |                                            | N° classé 3955   |



W

E

AMBERJACK

ODIN

17/11-1

TOR (17/4-1)

HOLLVIKEN N°2

