

ELF R.E.  
D. EXPLOR.  
LABORATOIRE EXPLORATION

WELLEN

SONDAGE FRIGG N° 1 (25/1-1)  
(NORVEGE)

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

03-D-31 n° 2/633 R  
/ca

J.P. CASSAN - B. RENARD  
G. TCHIMICHKIAN

Janvier 1972

FICHE DE DIFFUSION

Réf. : 03-D-31 n° 2/633 R

Auteurs : J.P. CASSAN - B. RENARD -  
G. TCHIMICHKIAN

Titre : Sondage FRIGG n° 1 (25/1-1) (NORVEGE)  
Etude sédimentologique

Destinataires :

MM. R.G. LEVY	}	1
PERRODON		
Dpt Géologique Central		1
S.I.D.		1
DIV.II - EUROPE DU NORD		8

## S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
I - ETUDE DES MINERAUX LOURDS .....	1
II - ETUDE DES MINERAUX ARGILEUX .....	7
III - ANALYSE LITHOLOGIQUE .....	9
IV - ANALYSE GRANULOMETRIQUE .....	16
V - CONSIDERATIONS SEDIMENTOLOGIQUES .....	19

## I - ETUDE DES MINERAUX LOURDS (G. TCHIMICHKIAN)

On peut distinguer, dans les formations du sondage FRIGG 1, deux cortèges différents de minéraux lourds séparés par une zone de transition :

- le premier cortège correspond aux terrains situés entre 4560 et 2220 m ; le passage intermédiaire se trouve entre 2220 et 2050 m et,
- le second cortège englobe les terrains allant de 2050 à 500 m.

Ces deux cortèges montrent une évolution progressive du bas vers le haut dans le sens de l'enrichissement en minéraux métamorphiques aux dépens des minéraux titanifères et résistants.

Dans le premier cortège (4560 et 2990 m), les minéraux métamorphiques sont essentiellement représentés par le grenat et la staurotide, auxquels s'ajoutent, au sommet, des teneurs faibles en chloritoïde et chromite, mais de toute façon les titanifères et les résistants sont prédominants. L'apatite y fait pratiquement défaut, mais des teneurs faibles en hornblende sont constantes. L'évolution progressive de ce cortège est particulièrement régulière, ce qui semble correspondre à la progression de l'érosion de la couverture vers le socle métamorphique.

Dans le second cortège (2050 à 500 m), parmi les minéraux métamorphiques en plus du grenat et de la staurotide, on trouve du disthène. En outre, les minéraux verts (épidotes et amphiboles) prennent, avec l'évolution progressive vers le haut, une importance capitale aux dépens des minéraux résistants et titanifères. Enfin, il faut signaler la présence constante d'apatite, mais en teneurs très faibles. Dans ce cortège, l'évolution est très brusque aux alentours de 1800 m. (Il faut en fait signaler qu'entre 1900 et 1650 m, il n'y a pratiquement pas de minéraux lourds, du fait de la nature franchement argileuse des terrains, il est donc difficile, de ce fait, de donner la cote 1800 m. comme limite réelle). Ce changement brusque peut être interprété comme une phase orogénique majeure qui a fait rajeunir les reliefs, surtout au Sud.

Dans le passage intermédiaire (2220 à 2050 m), le chloritoïde et la chromite disparaissent, mais il n'y a pas encore de disthène. Les teneurs en minéraux verts sont néanmoins appréciables. Il semble que ce passage puisse correspondre à une phase orogénique mineure.

.../...

1 - Description des minéraux lourds entre 500 et 4560 m

L'ensemble des terrains traversés par le sondage présente des variations notables dans la composition des minéraux lourds.

Ces changements permettent d'individualiser neuf zones, dont certaines sont assez voisines et ne se distinguent surtout que par des variations quantitatives.

Dans ce qui suit, nous en donnerons une brève description.

a - Zone n° 1 (500 à 1000 m \*)

Le groupe des titanifères est peu développé (16,5 %). On y remarque la présence du sphène.

Les résistants (zircon, tourmaline) sont particulièrement réduits (8,5 %). La monazite n'a pas été constatée.

Les teneurs en apatite sont très faibles, mais constantes (1,5 %).

Les métamorphiques acides (disthène, staurotide, grenat) sont assez bien représentés (16,5 %). Le rapport staurotide-disthène est égal à 2,25. Le grenat ne constitue qu. 10 %.

Les minéraux verts (métamorphiques basiques : épidote, zoisite, actinote, trémolite, hornblende) constituent la partie prédominante de la fraction lourde (54,5 %).

Par ailleurs, il faut signaler la présence régulière de magnétite (2 %) et un peu d'angite, mais ce dernier minéral ne se rencontre qu'au sommet de la formation.

La zone n° 1 est donc essentiellement caractérisée par la prédominance de minéraux verts, par le cortège varié des métamorphiques acides et par la présence d'apatite, de sphène et de la magnétite.

.../...

---

\* Les cotes de ces zones gardent un certain caractère approximatif.

b - Zone n° 2 (1000 à 1800 (?) m)

La composition des minéraux lourds de cette zone est plus ou moins voisine de celles de la zone n° 1. Cependant, les minéraux verts sont en légère régression : 44,5 %. Par contre, la somme de titanifères et des résistants progresse : 43 %. Les minéraux métamorphiques acides sont bien représentés, mais le rapport staurotide-disthène est nettement plus élevé : 3,6, et d'une façon générale, le grenat y est plus abondant.

Par ailleurs, il y a toujours des teneurs faibles en apatite (1,5 %); le sphène devient sporadique et la magnétite disparaît.

La zone n° 2 est caractérisée encore par des teneurs fortes en minéraux verts qui s'équilibrent avec la somme des résistants et titanifères. Le grenat prédomine nettement dans le groupe des métamorphiques acides et la magnétite disparaît.

c - Zone n° 3 (1800 (?) à 2050 m)

Bien que la composition qualitative de la zone 3 soit semblable à celle de la zone 2, les teneurs en divers groupes de minéraux y changent profondément. C'est ainsi que les groupes de titanifères et des résistants deviennent largement prédominants : 64 %. C'est surtout les teneurs en résistants qui subissent la plus grande progression, passant de 14,5 % (de la zone 2) à 32 %. Le groupe des métamorphiques acides progresse aussi notablement : de 20,5 % (zone 2) à 30,5 % et cela surtout à l'avantage du grenat. On notera la faiblesse des teneurs en disthène et le rapport staurotide-disthène extrêmement fort : 16 : 1. Enfin, le groupe de minéraux verts accuse une chute importante : 6 % (au lieu de 44,5 % de la zone 2), tandis que l'apatite est réduite à l'état de traces et que le sphène fait défaut. Cependant, des teneurs faibles en monazite apparaissent.

En définitive, la zone 3 est caractérisée par une large prédominance de minéraux titanifères et résistants, par la nette progression du groupe de métamorphiques acides (surtout grenat et aussi staurotide) et par la forte réduction des minéraux verts.

.../...

d - Zone n° 4 (2050 à 2220 m)

Dans cette zone, prédominent encore les minéraux titanifères et résistants : 60 %. Le groupe des métamorphiques acides régresse dans l'ensemble : 25,5 % (contre 30,5 % de la zone 3). Cette régression se fait surtout aux dépens de la staurotide et du disthène, ce dernier faisant d'ailleurs défaut. Par contre, les teneurs en grenat restent soutenues. Enfin, les minéraux verts progressent légèrement : 12,5 % (6,0 % dans la zone 3). L'apatite n'existe qu'à l'état de traces, mais on trouve un peu de monazite.

Dans l'ensemble, la zone n° 4 est caractérisée par la prédominance des minéraux titanifères et résistants, par des teneurs soutenues en métamorphiques acides (grenat, staurotide) et par des teneurs non négligeables en minéraux verts. On y notera aussi l'absence du disthène.

e - Zone n° 5 (2220 à 2800 m)

Dans la zone n° 5, les teneurs en minéraux titanifères et résistants d'une part, et en minéraux du groupe métamorphique acide d'autre part, sont plus ou moins équilibrées : 54,5 % pour les premiers et 41 % pour les seconds. Il faut noter que le grenat à lui seul constitue 34 %, que les teneurs en staurotide sont de l'ordre de 6 % et que le disthène fait défaut ; mais, par contre, apparaît le chloritoïde (+ 1,0). Les minéraux verts sont moins abondants (surtout l'épidote) et ne représentent plus que 3 %. Enfin, on y trouve un peu de chromite. Les teneurs en apatite et monazite sont faibles.

Cette zone est donc caractérisée essentiellement par des teneurs fortes en grenat et staurotide, par la présence de chloritoïde et de chromite et par des teneurs très réduites en minéraux verts.

f - Zone n° 6 (2800 à 3400 m)

Dans la zone n° 6, l'ensemble des minéraux titanifères et résistants représente les deux tiers de la population, le tiers restant étant constitué par le grenat (avec staurotide). Par rapport à la zone précédente (n° 5), la staurotide est nettement en régression, le chloritoïde ne se rencontre plus que sous forme de traces, la chromite et l'apatite font défaut. Enfin, les teneurs en minéraux verts (pratiquement sans épidote) sont très faibles.

La zone n° 6 est donc une zone essentiellement caractérisée par les minéraux titanifères, par les minéraux résistants et par le grenat.

.../...

g - Zone n° 7 (3400 à 4000 m)

Par sa composition la zone n° 7 est très voisine de celle de la zone 6. On y remarque la progression de l'ensemble des minéraux titanifères et résistants qui arrivent à constituer les trois quarts de la composition. Le grenat (avec staurotide très réduite) ne représente que le quart. Les traces de chloritoïde disparaissent, l'apatite fait défaut et les teneurs en minéraux verts (hornblende seulement) ne dépassent guère 1,5 %.

La zone n° 7 est, par conséquent, caractérisée par une nette prédominance des minéraux titanifères et résistants, avec du grenat au second plan.

h - Zone n° 8 (4000 à 4260 m)

La Zone n° 8 se distingue fort peu de la zone précédente. On y remarque une légère progression de la somme des titanifères et des résistants (77 % contre 74,5 %) et une légère diminution des teneurs en grenat (18 % contre 21,5 %).

i - Zone n° 9 (4260 à 4560 m)

Dans cette dernière zone, les minéraux titanifères et résistants deviennent absolument prédominants : 85 %. Les teneurs en grenat (14 %) et en staurotide (1 %) sont fortement réduites. Les minéraux verts n'existent que sous forme de traces.

2 - Conclusions et corrélations

L'étude des minéraux lourds du sondage FRIGG 1 permet d'aboutir à un certain nombre de conclusions.

- a - En premier lieu, l'existence de deux cortèges minéralogiques bien distincts : le premier qui caractérise les formations secondaires, allant du Jurassique jusqu'au sommet du Crétacé et empiétant peut être sur le Paléocène ; et le second qui embrasse l'Oligocène et le Néogène. Un certain passage entre les deux (2200 à 2050 m) reste à préciser. Le premier cortège évolue progressivement de la base vers le sommet, dans le sens de l'enrichissement des minéraux métamorphiques ; le second évolue dans le sens de l'enrichissement en minéraux verts.

.../...



b - A un niveau d'observation inférieur, la présence de deux cortèges différents et leur caractère évolutif permettent d'établir une zonation minéralogique assez serrée (9 zones), mais dont les limites ne doivent pas être considérées comme absolues. On peut noter, à la base de la série, une nette reprise de sédimentation vers 4250 m et la fin du premier cycle vers 2220 m. Après une zone de passage des réajustements, débute le second cycle (2050 m) qui marque une nette reprise de sédimentation entre 1900 et 1650 m.

c - Sources d'apports :

- L'origine du matériel du premier cortège (base) pourrait être recherchée au Nord Ouest et à l'Ouest, dans la chaîne Calédonienne avec sa couverture, l'évolution de ce cortège s'expliquant par la progression de l'érosion tendant à atteindre de plus en plus le socle cristallin.

- Le matériel détritique du second cortège (sommet) proviendrait probablement, et en partie, d'une direction générale Sud, en liaison avec l'orogénèse alpine qui a rajeuni les reliefs. L'origine de diverses coupures dans ce cycle évolutif peut correspondre à des phases tectoniques successives.

d - Au point de vue des corrélations avec les sondages de l'off-shore Norvégien déjà étudiés, on constate qu'il y a une différence nette de composition de minéraux lourds en ce qui concerne les terrains allant du Jurassique au Paléocène (FRIGG = résistants et titanifères largement prédominants ; grenat (et staurotide) au second plan, absence d'apatite ; off-shore norvégien = grenat largement prédominant, présence d'apatite).

Par contre, pour l'Oligocène et pour le Néogène, le second cortège de FRIGG est semblable à celui des sondages précédemment étudiés dans l'off-shore norvégien.

.../...

## II - ETUDE DES MINERAUX ARGILEUX (B. RENARD)

Bien que les résultats commentés ci-après de l'analyse des minéraux argileux soient directement utilisables, il convient de se rappeler deux faits :

- les analyses ont été essentiellement réalisées sur déblais de forage : ces derniers se sont d'ailleurs révélés être de qualité acceptable.
- il s'agit de l'inventaire du contenu argileux des séries rencontrées par le premier forage sur la structure.

Les résultats de cette étude, se rapportant aux problèmes de sédimentogenèse, peuvent être rangés dans 3 rubriques (cf. Pl.1).

- 1 - Un découpage de la série en zones argileuses peut être réalisé. L'emplacement de ces coupures est déterminé par :

- des variations qualitatives dans la composition de la phase argileuse : les limites placées ont alors tendance à apparaître comme des coupures majeures.
- des variations quantitatives dans les proportions du mélange d'espèces argileuses et nous avons alors souvent tendance à regarder ces coupures comme d'importance secondaire.

Ce découpage est de toute façon suffisamment net pour ne pas nécessiter de description particulière et il est évident que l'intérêt de ce résultat consiste dans la comparaison de cette "zonation" avec celle qui est obtenue par d'autres méthodes (lithologie, micropaléontologie, palynologie, etc...)

- 2 - Il y a deux façons de commenter la signification des grands ensembles argileux rencontrés.

- a - Les espèces classiquement présentes étant toujours la kaolinite, l'illite, la montmorillonite et/ou l'interstratifié illite-montmorillonite, il est significatif de rencontrer un cycle chloriteux dans la moitié inférieure du sondage, et un cycle tertiaire dans lequel cette chlorite est absente.

La limite entre ces 2 cycles reste pour nous délicate à placer : en effet, les deux niveaux les plus détritiques très riches en kaolinite (caractérisant un milieu plus acide) du Paléocène ne renferment pas de chlorite sauf peut-être à leur base. S'il est relativement simple de mettre cette absence sur le compte du détritisme pour le niveau le plus inférieur puisqu'il est "enfermé" dans des niveaux chloriteux, il est plus délicat de faire le même pas pour le niveau supérieur.

.../...

En dehors de cette question de limite supérieure de la chlorite dont la solution ne peut se trouver que dans l'étude de niveaux équivalents dans d'autres sondages de la structure, étude débouchant sur des problèmes complémentaires de corrélations, une interprétation limitée à un simple parallèle entre lithologie et mélanges argileux serait beaucoup trop simpliste, l'étude des mélanges argileux donnant ici une nette idée sur les variations d'apports des matériaux hérités.

- b - Un ensemble tertiaire riche en montmorillonite est supporté par un ensemble à base d'interstratifiés Illite-Montmorillonite. La présence de cet IM pourrait s'expliquer, soit par un effet de diagénèse-profondeur, soit plus simplement encore par une variation lithologique et stratigraphique importante, mais deux faits viennent perturber ce schéma :
- la présence d'IM dans les niveaux détritiques du Paléocène (à leur base surtout).
  - la présence de montmorillonite, en faible quantité cependant, dans le Crétacé Supérieur.
- . Cet IM est-il détritique et hérité des niveaux ayant alimenté ce Paléocène, ou bien cet IM est-il déjà diagénétique, mais alors pourquoi serait-il localisé aux niveaux de haute énergie ?
- . La montmorillonite est-elle une pollution ou bien est-elle un "témoin" des faciès crayeux ? La seconde solution est plus probable, ce minéral étant classiquement présent dans de tels faciès, bien que de fortes présomptions aillent dans les sens cités. Une réponse nette à ces deux questions ne peut pour l'instant être donnée à la vue de ces analyses sur ce seul sondage.
- 3 - Des problèmes apparemment annexes peuvent être soulevés d'après l'observation du log argileux de FRIGG n° 1.
- a - La présence notée d'attapulгите en tête du sondage est-elle liée à un faciès sédimentologique et cette espèce est-elle latéralement constante ?
- b - Des variations quantitatives de teneur en kaolinite, par exemple dans le Crétacé Supérieur, sont-elles liées au détritisme et donc des témoins possibles d'évolution latérales vers des faciès réservoirs ? Nous savons, et ceci est vrai au niveau du Paléocène, que cette espèce est fréquente dans les réservoirs gréseux pétrolifères.

En conclusion, des informations sont déjà obtenues, mais des problèmes sont soulevés; ces derniers pourront être solutionnés avec des analyses sur d'autres sondages voisins. Par ailleurs, les aspects diagénétiques pourront être ainsi plus complètement examinés.

### III - ANALYSE LITHOLOGIQUE (R. LAJOUS)

Elle a permis de reconnaître, de bas en haut de la série, les ensembles suivants (cf. PL 2) :

#### 4570 - 4557 m

Grès beige, fir, moyen, à grains subanguleux, assez bien classé, à rares micas et débris de roches granito-gneissiques, pyrite, quelques minéraux, matière organique, ciment mixte argileux (kaolinite) et quartzeux (nourrissage en quartz secondaire) vers le sommet niveaux fins, bien classés, micacés, à ciment argilo-dolomitique.

#### 4557 - 4446 m

Argiles tendres, feuilletées, de teintes gris, gris vert, gris beige, faiblement dolomitiques, micacées, finement pyriteuses, à fine pigmentation de matière charbonneuse.

#### 4446 - 4280 m

Argiles tendres, feuilletées, de teintes panachées : gris clair, gris foncé brunâtre, beiges à léger ton saumoné, carbonatées ou non, très finement sableuses, micacées, très pyriteuses, à débris charbonneux. Fréquentes et minces passées de dolomite beige foncé, calcarifère.

#### 4280 - 4200 m

Argiles feuilletées, noires et brunes, carbonatées ou non, très finement sableuses, micacées, très pyriteuses, à nombreux débris de matière charbonneuse, principalement dans les éléments noirs.

#### 4200 - 4100 m

Argiles feuilletées, gris foncé, gris beige foncé, à taches plus sombres, peu silteuses, finement micacées, pyriteuses, à fine pigmentation de matière organique, minces passées de calcaire beige brunâtre, dolomitique, finement pyriteux. Débris d'organismes pyritisés et microfaune pélagique.

.../...

4100 - 4020 m

Argiles feuilletées, de teintes panachées : gris foncé noirâtre, gris verdâtre, gris beige, gris brun, certaines tachetées, carbonatées ou non, finement micacées et pyriteuses, à microdébris de matière charbonneuse, très rares petits grains verts chloriteux, rare microfaune pélagique, minces passées de dolomite beige micritique à traces de sulfates.

4020 - 3818 m

Marnes de teinte beige et grise prédominante, avec passées de teinte gris foncé verdâtre ou brune à partir de 3880 m, micacées, très pyriteuses, à rare microfaune pélagique, minces passées de calcaire beige grumeleux, dolomitique, argileux, pyriteux, à micro-laminations horizontales, plus ou moins importantes d'argile sombre. Ces passées carbonatées deviennent prédominantes au sommet à partir de 3837 m environ et terminent la série.

3818 - 3692 m

Marnes beiges tendres, très finement sableuses et micacées, à fines mouchetures de matière charbonneuse, petits grains verts glauconieux assez fréquents, passées d'argiles panachées gris, gris beige ou gris vert, faiblement carbonatées, très finement sableuses et micacées, à fines mouchetures de matière charbonneuse. Pyrite abondante. Microfaune pélagique assez fréquente, plus particulièrement dans les marnes. Bancs de calcaires dolomitiques micritiques, beiges ou gris beige, plus ou moins micacés, alternant avec des niveaux de siltstone beige brun dolomitique, à grains verts glauconieux ou chloriteux, débris d'organismes et microfaune pélagique.

Ces niveaux se situent de 3818 à 3808 m et vers le sommet entre 3716 et 3698 m.

3692 - 3580 m

Argiles gris à gris foncé, assez carbonatées, micacées, peu silteuses, pyriteuses, à rares petits grains verts glauconieux ou chloriteux, par endroits microdébris ligniteux. Niveaux métriques de calcaires dolomitiques gris, gris beige ou beiges plus ou moins silteux, à microfaune plus ou moins recristallisée. Cotes des principaux bancs : 3691, 3687, 3659, 3656 et entre 3649 et 3644, 3602 m.

.../...

3580 - 3308 m

Argiles gris foncé à gris verdâtre, plus ou moins carbonatées, silteuses, micacées, pyriteuses, très rares petits grains verts chloriteux. Minces passées de dolomite calcarigère, fine, gris beige ou beige brunâtre, rares à la base, devenant plus fréquentes vers le sommet de la série (3405 m environ). Rares niveaux de calcaires grisâtres à aspect crayeux, à microfaune pélagique en particulier vers 3339 et 3315 m.

3308 - 2988 m

Argiles gris foncé à gris foncé verdâtre, silteuses, à très finement sableuses, micacées, pyriteuses, à minces niveaux ou enclaves de dolomite beige foncé à brune, calcarifère, à micro-inclusions de pyrite et de matière charbonneuse, passant par endroits à une argile dolomitique à partir de 3141 m. Petits grains verts chloriteux.

L'ensemble se termine par des argiles ou marnes à teintes panachées : marron, marron rougeâtre, violacées, beiges .

Débris d'Inocérames, foraminifères pélagiques, petits Rotalidés.

2988 - 2825 m

Argiles gris foncé ou gris foncé brunâtre, tendres, par endroits gonflantes, faiblement carbonatées (dolomitiques) passant par endroits à des marnes silteuses à très finement sableuses, micacées, à rares petits grains verts chloriteux, très fine pigmentation ou microdébris de matière charbonneuse, pyrite abondante finement disséminée. Rares petits lamel-libranches, tubulures pyritisées, traces d'oxydation vers 2845 et 2925 m.

Bancs de calcaires beiges à faciès crayeux, silteux ou sableux, à débris d'organismes et microfaune pélagique assez abondante, bonne porosité. Ces principaux bancs se situent aux cotes suivantes : 2988-2985 m, 2925-2924 m, 2882-2879,50 m.

2825 - 2673 m

Alternances de niveaux de calcaire crayeux blanchâtre à crème, dolomitique, plus ou moins riche en microfaune pélagique et débris d'Inocérames.

- de marnes ou argiles carbonatées, gris, gris foncé ou gris verdâtre, très peu silteuses, finement et faiblement micacées, très pyriteuses (pyrite, marcassite), à fine pigmentation de matière charbonneuse et même microfaune plus ou moins développée.

**Petits** grains verts de glauconie plus ou moins chloritisés, traces de silicifications épigénisant la microfaune. Inclusions de sidérite.

Vers le haut de la série (2712 m), on note la présence de niveaux d'épaisseur variable, de dolomite grise microsparitique à sparitique, pyriteuse, de sables et grès hétérométriques gris, argilo-quartzeux, carbonatés, ou carbonatés et anhydritiques.

La série se termine par un niveau de calcaire blanchâtre bioclastique à bryozoaires, débris coquilliers, microfaune pélagique.

#### 2673 - 2592 m

Argiles gris foncé ou gris verdâtre, tendres, silteuses, micacées, avec niveaux de calcaires gris ou beige dolomitiques, plus ou moins sableux, passant localement à un grès fin, à petits grains chloriteux, peu micacé, à microfaune pélagique et débris algaires. Traces de phosphates.

Niveaux de sables ou grès, mal classés, (fins, moyens, grossiers) à grains translucides, subanguleux à émoussés, souvent craquelés, avec fraction fine à très fine éclatiforme. Rares micas (muscovite-chlorite), feldspaths altérés, débris de roches granito-gneissiques, inclusions de sidérite, petits "nids" de kaolinite, ciment argileux (chlorite), localement faible quartzitisation.

#### 2592 - 2512 m

Argiles gris foncé, teinte prédominante, passées à léger ton verdâtre, peu ou non silteuses, peu micacées, micropyriteuses, à microdébris ligniteux. Petits niveaux de dolomite micritique beige, gris beige ou beige brunâtre. Traces de petits foraminifères pélagiques.

#### 2512 - 2389 m

Alternances irrégulières de niveaux argileux et gréseux.

- Argiles gris foncé à gris foncé brunâtre, à ton verdâtre, tendres, peu ou non silteuses, micacées, micropyriteuses, à microdébris ligniteux, micro-inclusions de sidérite, petits grains verts glauconieux, plus ou moins chloritisés. Ces argiles s'accompagnent jusqu'à 2445 m environ d'éléments de teinte marron violacé, avec traces de dolomite beige micritique. Traces de débris d'organismes.

.../...

- Grès ou sables gris à beiges, fins à moyens, avec rares grossiers disséminés, grains translucides ou faiblement dépolis, rares grains oxydés ou fumés, morphoscopie subanguleuse à émoussée (grains éclatés par endroits) avec fraction très fine anguleuse et éclatiforme. Quelques feldspaths altérés, micas (muscovite-chlorite), quelques débris de roches granito-gneissiques, inclusions de sidérite, grains verts de glauconie détritique, plus ou moins chloritisée, grains de pyrite, minéraux sombres. Le ciment des grès est argileux, constitué en majeure partie de kaolinite mal cristallisée, localement faible quartzitisation. Traces de foraminifères pélagiques remaniés.

#### 2389 - 2195 m

Sables incolores ou grisâtres, mal classés, caractérisés par une prédominance de grains fins avec fraction moyenne à grossière disséminée, plus ou moins importante, grains translucides avec quelques dépolis dans les plus grossiers. Quelques grains oxydés, fumés ou pyritisés. Morphoscopie subanguleuse à émoussée, quelques feldspaths altérés, débris de roches granito-gneissiques, quelques micas (muscovite-chlorite), petits "nids" de kaolinite, grains verts de glauconie souvent chloritisée, inclusions carbonatées (dolomite), localement ciment rare argilo-dolomitique.

Vers le haut de la série, on note la présence de passées gréseuses fines à moyennes à ciment argilo-quartzueux ou carbonaté (jusqu'à 2350 m environ). La série se termine par des niveaux à tufs (2215-2200 m) avec laminations d'argiles tendres beiges à brunes ou gris verdâtre, micacées pyriteuses.

#### 2195 - 2144 m

Sables grisâtres ou incolores, assez bien classés, deux phases assez distinctes : Grains mats lutrés et arrondis et grains limpides à contours irréguliers ou aplatis. Quelques grains oxydés ou pyritisés, quelques feldspaths, nombreux débris de roches granito-gneissiques, quelques roches volcaniques. Niveaux de tufs volcaniques au toit de la série 2149-2146 m.

#### 2144 - 2115 m

Argiles brunes, silteuses, peu micacées, finement pyriteuses, à microdébris ligniteux, niveaux de grès fin gris clair, calcaréo-dolomitique, micacé, à rares grains verts glauconieux ou chloriteux. Traces de sulfates et d'éléments tuffoïdes.

.../...



2115 - 2018 m

Argiles tendres, panachées (kaki, beige verdâtre, gris bleuté), peu micacées, finement pyriteuses, à plaquettes de calcite ou dolomite blanche, petits niveaux de grès gris clair, micacé, pyriteux, à grains chloriteux, ciment carbonaté ou argilo-carbonaté (kaolinite). Au-dessus de 2100 m, la série passe à des argiles gris brunâtre, plastiques, à niveaux de sables très fins à fins, grisâtres, à lits ligniteux avec passées de grès identiques à ceux décrits ci-dessus. Au-dessus de 2066 m, les sables deviennent prédominants : sables très fins à fins, à grains translucides, subanguleux à émoussés, micacés, plus ou moins argileux, à petits feldspaths altérés, quelques grains verts de glauconie, inclusions et sphérolites de sidérite, pyrite fréquente. Éléments d'argile vert pâle ou bleu verdâtre, pyritisée. Niveaux à lignite.

2018 - 1838 m

Sables gris beige plus ou moins foncé ou grisâtres, à classement médiocre, débutant par des phases fines, devenant à partir de 1941 m fins moyens avec grossiers disséminés, grains translucides émoussés, avec quelques subanguleux, traces de grains oxydés. Quelques feldspaths altérés, grandes lamelles de micas (muscovite-chlorite), débris de roches granito-gneissiques, petits grains verts chloriteux et glauconieux, inclusions sidéritiques, petits grains de pyrite et petits minéraux sombres. Quelques niveaux argileux à lignite. Minces passées de grès gris, fin, moyen, à classement assez bon, à ciment carbonaté ou de grès très fin argileux, plus particulièrement vers le sommet de la série.

1838 - 1747 m

Argiles gris foncé brunâtre, avec passées de teinte gris bleu ou gris vert, certains éléments vert bleuâtre très foncé, tendres, gonflantes par endroits, finement micacées, pyriteuses, à très pyriteuses par endroits, très fine pigmentation de matière organique.

Éléments de dolomie beige à beige verdâtre, tendre, plus ou moins argileuse.

A noter au départ de la série, des traces d'argile brune à léger ton rougeâtre.

.../...

1747 - 1340 m

Argiles tendres, gris foncé brunâtre, teintes plus sombres à la base, très peu micacées, pyriteuses, à fine pigmentation charbonneuse, traces de petits grains verts chloriteux, petits niveaux de dolomite calcaire beige et gris beige plus ou moins argileuse et de calcaire dolomitique gris pyriteux, traces de sidérite. Tubes d'annelides, ostracodes.

1340 - 1223 m

Argiles gris verdâtre, par endroits à taches gris vert sombre, en pâte ou gonflantes, faiblement carbonatées (dolomitiques) peu silteuses, micro-miacées, très micropyriteuses, à petits grains verts de glauconie ou de chlorite. Quelques éléments de dolomie calcaire microsparitique, beige, gris beige ou beige verdâtre, peu silteuse, pyriteuse. Tubes d'annelides, foraminifères (Rotalidés).

1223 - 1127 m

Argiles tendres brunes, silteuses, à très finement sableuses, très micacées, très pyriteuses, à petits grains verts de glauconie ou de chlorite, débris charbonneux microscopiques, micro-inclusions de sidérite. Tubes d'annelides, foraminifères (Rotalidés).

1127 - 732 m

Argiles plastiques brunes, très silteuses à finement sableuses, très micacées (muscovite, biotite, chlorite), très glauconieuses ou chloriteuses, quelques feldspaths, traces de sidérite, débris ligniteux jusqu'à 920 m. Zone riche en spicules d'éponges siliceux entre 1120 et 990 m, foraminifères (Rotalidés).

732 - 490 m

Sables hétérométriques grisâtres, à grains dépolis ou blanc laiteux, translucides dans les fractions fines, émoussés, souvent à contours irréguliers mamelonnés, rares grains arrondis, ou teintés en vert, rose, gris, débris de roches granito-gneissiques, siliceuses. Quelques grains verts de glauconie et chlorite, quelques inclusions de pyrite.

Quelques passées argileuses avec débris ligniteux.

Abondantes coquilles entières ou brisées, principalement bivalves, gastéropodes, bryozoaires, annélides.

.../...

IV - ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Comme cela est fait chaque fois que la qualité de l'échantillonnage le permet, des analyses granulométriques ont été effectuées sur les niveaux les plus gréseux, essentiellement compris ici entre 500 et 1250 mètres, entre 1918 et 2575 mètres, ainsi que vers 2700 mètres.

1 - Tamisages

Dans le tableau ci-dessous, ne figurent que l'identification de la (ou des population(s) à telle ou telle loi de distribution statistique, les valeurs de l'écart-type et de la moyenne, ainsi que le milieu de dépôt qu'évoquent de telles répartitions granulométriques.

Cote : mètres :	Lois de (*) répartition :	Ecart- type :	Moyenne (Phi) :	Milieu de dépôt évoqué :
505	I $\neq$ 99 % G	1,40	1,05	littoral à affinité continentale
510	"	1,40	1,05	
610	"	1,40	1,90	" "
640	"	1,40	2,20	" "
690 )	I = 70 % G ou AR	0,25	0	} très littoral
740 )	II = 30 % AR	1,37	2,70	
790 )	I = 5 % ?	0,34	3,50	} littoral plus profond
840 )	II = 95 % G	:	:	
890 )	I = 2 % G	0,75	1,90	} moins littoral
940 )				
990 )	II = 98 % G	0,50	3,70	} encore plus profond
1040 )	:	:	:	
1100 )	I = 2 % G	0,75	1,90	} idem
1150 )				
1190 )	II = 98 %	0,72	3,80	} ci-dessus
1240 )	:	:	:	
1918	I = 40 % AR	0,24	0,10	} littoral
	II = 60 % G/AR	1,18	2,70	
1924 )	I = 20 % AR	0,27	0,10	} encore littoral
1933 )	II = 72 % G	1,35	2,66	
:	:	:	:	:

(\*) F = distribution gaussienne  
 R = " de Rosin Ramler  
 AR = " " " complémentaire à 100

.../...

Cote mètres	Lois de répartition	Ecart- type	Moyenne (Phi)	Milieu de dépôt évoqué
1951	I = 5 % AR II = 87 % G	0,40 1,32	0,10 3,40	moins littoral
1975	# I = 5 % AR II = 95 % G	0,36 1,00	- 0,10 3,70	assez littoral avec influence continentale (marais maritime)
1987				
1999				
2010				
2040	I = 2 % AR II = 83 % G	0,35 1,00	0,20 3,70	
2060				
2090	I = 60 % AR II = 31 % R	0,65 0,96	2,70 3,85	
2106	I = 83 % AR II = 15 % R	0,58 0,53	2,50 3,50	
2118	I = 4 % AR II = 96 % G	0,21 0,95	0,33 2,85	
2210	I = 67 % AR II = 33 % AR	0,16 1,50	- 0,85 2,15	littoral
2235	I = 5 % AR II = 95 % AR	0,34 1,10	0,10 2,85	moins littoral
2255	I = 45 % AR II = 53 % G	0,20 1,27	- 0,85 2,66	
2295	I = 50 % AR II = 50 % G	0,12 1,80	- 0,30 2,60	
2313				
2350				
2390				
2440	I = 20 % AR II = 75 % G	0,32 1,20	0,10 2,65	dépôt de pente
2498				
2535	I = 10 % AR II = 88 % G	0,30 1,20	0,10 2,70	
2700	I = 45 % AR II = 55 % G	0,37 1,20	0 2,40	
2710	I = 60 % AR II = 40 % G	0,42 1,20	- 0,10 2,30	

## 2 - Coefficient de forme des particules

Deux analyses complémentaires du coefficient de forme des particules sur les niveaux carottés à 1815 et 1902,50 mètres mettent nettement en évidence que le sédiment est d'origine continentale suffisamment rapprochée, pour que les particules n'aient pas pu être refaçonnées par leur milieu de dépôt littoral.

.../...

V - CONSIDERATIONS SEDIMENTOLOGIQUES (J.P. CASSAN)

La planche 2 au 1/4000e rend compte de l'ensemble de ces considérations qui appellent tout de même quelques commentaires. En effet, une fois replacés dans leur contexte stratigraphique, les résultats des analyses sédimentologiques mettent en évidence certaines notions déjà connues en zone norvégienne, mais également des éléments un peu nouveaux ou, en tous cas, que l'on peut préciser davantage dans ce sondage.

ELEMENTS DEJA CONNUS

Ils sont au nombre de trois :

- 1 - La série de FRIGG n° 1 comprend trois des grands cycles sédimentaires définis jusqu'ici dans la série norvégienne :
  - un cycle Jurassique à la base
  - un cycle régressif Crétacé moyen à Paléocène
  - un cycle régressif Tertiaire moyen à supérieur
  
- 2 - La craie apparaît comme un faciès de transition entre les niveaux à milieux de dépôt plus profonds du Crétacé moyen et les dépôts gréseux littoraux du Paléocène. Elle est, en effet, ici intercalée dans des argiles, des silts ou des grès.
  
- 3 - L'origine du matériel gréseux Eocène ou Paléocène, d'après les résultats d'analyses de minéraux lourds (et conformément aux résultats d'études précédentes), paraît avoir varié :
  - Nord, Nord-Ouest ou Ouest pour les niveaux situés au-dessous de 2040 mètres.
  - Sud ou Sud-Ouest, après rajeunissement probable du relief, pour les niveaux situés au-dessus de 2040 mètres.

N.B. : Ces données sont à rapprocher des travaux récents de géologues et géophysiciens anglo-saxons et français, qui admettent que la séparation des plaques continentales nord-atlantique et nord-européenne s'est effectuée vers 60-70 millions d'années, c'est-à-dire, grosso-modo, au toit du Paléocène. Nous verrons par la suite, avec l'étude d'autres sondages, l'incidence possible de pareilles considérations sur la sédimentation de la plate-forme norvégienne.

.../...

ELEMENTS PLUS NOUVEAUX

Ils portent évidemment sur les grès du Tertiaire inférieur qui, par leur puissance, d'une part, et par la prise de carottes, d'autre part, ont permis une analyse fine. On peut en considérer divers aspects :

1 - En granulométrie : les analyses ont révélé, nous l'avons déjà vu précédemment, une évolution verticale assez nette des sables de base du Tertiaire traduisant une évolution dynamique marquée :

- dépôts littoraux : de 1840 à 1990 mètres
- chenal de marée et dépôts de marais maritime  
(après une petite zone incertaine) : de 2020 à 2198 mètres
- dépôts littoraux à nouveau : de 2198 à 2242 mètres
- dépôts de pente : de 2242 à 2380 mètres ; d'où :

1ère interprétation :

Si l'on ne considère que cette seule source d'information, on est conduit à voir, au-dessus d'un Crétacé et d'un Danien, la poursuite du comblement du bassin par développement normal d'un cycle sédimentaire régressif avec dépôts de pente, puis dépôts littoraux, passant ensuite à des chenaux de marée et marais maritimes. Une dernière émission de dépôts littoraux peut témoigner d'une ultime poussée détritique, avec légère subsidence.

2 - En lithologie : l'analyse lithologique détaillée a révélé, pour sa part, l'existence de tufs volcaniques vers 2200-2215 mètres ainsi que vers 2145 mètres. Ces tufs sont connus dans tout le bassin de la Mer du Nord dans une position analogue et traduisent, comme cela est admis d'une manière tout à fait classique, une certaine instabilité régionale ; d'où :

2ème interprétation :

On a bien jusqu'à 2215 mètres un développement d'un cycle sédimentaire régressif amorcé avec le Crétacé, puis le Damien, se traduisant par l'accumulation de dépôts de pente, puis littoraux.

Mais, avec l'émission des premiers tufs à 2215 mètres, se produit un mouvement (qui peut être de caractère épirogénique de faible ampleur), mouvement qui amène l'inondation de la zone étudiée sous un régime de lagunes et de marais maritimes (souvenons nous de la présence des *Coscinodiscus* sp, espèces fréquemment rencontrées dans des milieux lagonaires), suivi par un nouvel apport à caractère littoral.

.../...

( Le schéma initial se complique donc un peu par l'intervention d'un  
 ( contre-coup tectonique manifesté par une large émission de tufs, puisque ces  
 ( tufs sont en effet connus au Danemark, ainsi que dans les régions les plus  
 ( méridionales de la Mer du Nord.

### 3 - En minéralogie :

La contribution de l'analyse des minéraux lourds à cette étude est importante, puisqu'elle a permis de mettre en lumière une nouvelle distribution des sources d'apports à la cote 2040 mètres, l'essentiel de la sédimentation cessant de provenir du Nord, du Nord-Ouest ou de l'Ouest, pour prendre un caractère plus méridional, avec apparition de nouvelles espèces minérales, comme le disthène, ce qui traduit, par la même occasion, un certain rajeunissement des reliefs. Notons, au passage, qu'un changement similaire a été mis en évidence vers 2040 mètres dans le cortège argileux (cf. Pl. 1), puisque la chlorite, qui est un élément constant de la sédimentation jurassique, crétacée et paléocène, cesse d'être représentée à partir de ce niveau. La cote 2040 mètres représente donc le témoin d'un phénomène majeur ayant modifié la distribution des sources d'apports ; d'où :

### 3ème interprétation :

( On a bien jusqu'à 2215 mètres un développement d'un cycle sédimentaire  
 ( régressif amorcé avec le Crétacé, puis le Danien, se traduisant par l'accumu-  
 ( lation de dépôts de pente, puis littoraux.

( Mais, avec l'émission des premiers tufs à 2215 mètres, se produit un  
 ( mouvement (qui peut être de caractère épirogénique de faible ampleur), mouve-  
 ( ment qui amène l'inondation de la zone étudiée sous un régime de lagunes et  
 ( de marais maritimes (souvenons-nous de la présence des *Coscinodiscus* sp.,  
 ( espèces fréquemment rencontrées dans des milieux lagonaires).

( A ce moment (c'est-à-dire au niveau de la cote 2040-2015 mètres), se  
 ( produit l'évènement décisif : la région ou le continent Nord Atlantique cesse  
 ( d'être une source de la sédimentation détritique du Bassin(\*)

Doit-on rapprocher ce faisceau d'informations de l'interprétation récente de la séparation des plaques continentales nord-atlantique et nord-européenne à cette époque ? Cela est possible.

Le schéma initial s'est donc encore compliqué :

- d'abord, comme cela a été souligné précédemment, par l'intervention d'un contre-coup (ou d'un premier coup) tectonique, manifesté par l'émission de tufs (2215 mètres) et une évolution du milieu de dépôt.
- ensuite par un évènement décisif (2040-2015 mètres) : la nouvelle distribution des sources d'apports accompagnée d'une nouvelle évolution de milieu, puisque l'on passe du marécage à un milieu de nouveau littoral.

.../...

---

(\*) Les analyses des cortèges argileux et minéral constatent effectivement un changement net à 2040 mètres. En lithologie et granulométrie, ce serait plutôt vers 2015 mètres. Nous ne saurions trancher définitivement entre ces 2 cotes, puisqu'en l'absence de carottes, il peut toujours y avoir retombées ou remaniement.



4 - Conclusion

a) La série de FRIGG n° 1 représente 4 grands cycles sédimentaires qui sont de bas en haut :

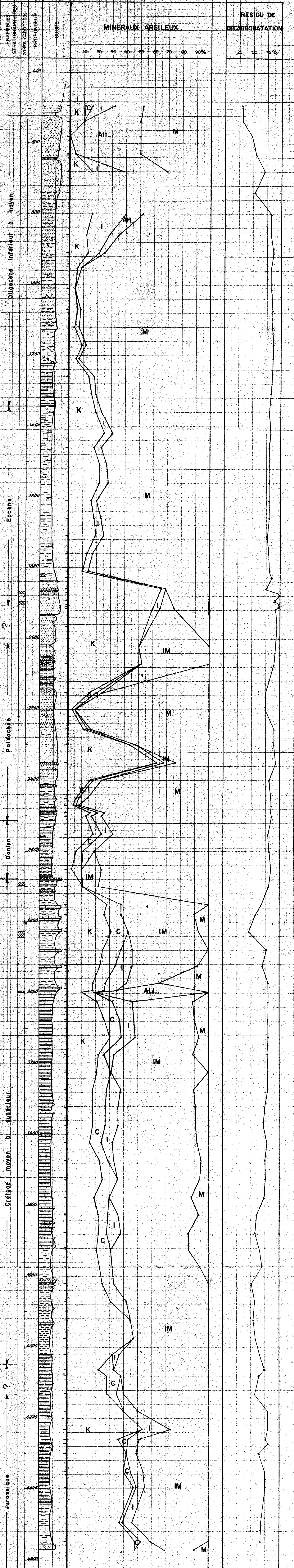
- un cycle Jurassique
- un cycle régressif Crétacé moyen à Paléocène, dans lequel la craie n'apparaît que comme un faciès de transition entre les dépôts plus profonds du Crétacé moyen et les grès littoraux du Paléocène et où les termes inférieurs peuvent être considérés comme roche-mère.
- un cycle transgressif Eocène.
- un cycle régressif Tertiaire moyen à supérieur, dans lequel là encore, les niveaux inférieurs pourraient être considérés comme roche-mère.

N.B. : Lorsque l'on a pu identifier des cycles sédimentaires régressifs, c'est-à-dire une suite sédimentaire tendant de bas en haut à abandonner des caractères marins (donc propices à l'accumulation de matière organique), pour subir des conditions de moins en moins marines, voire continentales, il est normal de rechercher et de trouver les roches-mères à la base de tels cycles.

b) Plus précisément au niveau des réservoirs, l'intégration de toutes les données a permis de dissocier, sédimentologiquement parlant, les niveaux réservoirs situés au-dessus de 2015-2040 mètres de ceux situés au-dessous de cette cote, avec les conséquences possibles que cela pourrait entraîner :

- possibilité de trends sédimentaires différents
- existence de sources d'apports différents (ce qui est reconnu)
- possibilité, s'il y avait véritablement discordance, de disparition latérale de certains niveaux situés sous cette discordance.

c) Il est possible de chercher un rapprochement entre les manifestations sédimentologiques observées à FRIGG n° 1, notamment l'émission de tufs (bien connus par ailleurs dans le bassin), la redistribution des sources d'apports et la modification du cortège détritique argileux et minéral, et les travaux récents de géologues et géophysiciens anglo-saxons et français qui admettent que la séparation des plaques continentales nord-atlantique et nord-européenne s'est effectuée vers 60-70 millions d'années, c'est-à-dire, grosso-modo, vers le toit du Paléocène.



- K Kaolinite
- C Chlorite
- I Illite
- Att Allevardite
- IM Montmorillonite
- ALL Allevardite
- M Montmorillonite

	Secteur NORVEGE Opérateur elf NORGE Permis ou Concession 2ème Attribution	<b>PETRONORD</b>
<b>FRIGG 25/1-1</b> <b>NATURE DES MINÉRAUX ARGILEUX</b> ANALYSES SUR DÉBLAIS NON DÉBOURBÉS		
ON ENTREPRISE DE RECHERCHES ET D'ACTIVITÉS PÉTROLIÈRES DIRECTION EXPLORATION LABORATOIRE		Echelle: 1/4 000 Date Janvier 1972 Auteur B. RENARD N° classé 6061