

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	6
I.1- SITUATION GEOGRAPHIQUE	7
I.2- CONTEXTE GEOLOGIQUE	7
CHAPITRE II : ETUDE DE QUELQUES SONDAGES DE TOBENE	14
II.1-METHODE D'ETUDE	15
II.2-ETUDE LITHOLOGIQUE, CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE DES SONDAGES	17
II.3-CORRELATIONS ENTRE LES SONDAGES	41
CHAPITRE III : SYNTHESE SUR LES PHOSPHATES FERALEUX	50
III.1- ORIGINE DU « FERAL » ET FORMATION DE PHOSPHATES FERALEUX	51
III.2 - LOCALISATION DU PHENOMENE DE FERALLITISATION	52
III.3 - COMPARAISON DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE ENTRE PHOSPHATE FERALEUX ET PHOSPHATE NON FERALEUX	56
CONCLUSION GENERALE	58
BIBLIOGRAPHIE	59
LISTE DES FIGURES	61
LISTE DES TABLEAUX	63
TABLE DES MATIERES	64
ANNEXES	66
RESUME	71

INTRODUCTION

Le gisement de Tobène, tout comme les autres gisements phosphatés de Taïba (Ndomor Diop, et Keur Mor Fall), présente des anomalies de couche dont des niveaux silico-ferrallitiques, et des couches argileuses qui proviennent d'une altération. En effet ces couches sont très enrichies en oxydes de fer et d'aluminium, qui sous l'action des circulations d'eau de la nappe, sont libérés puis redistribués à travers le minerai phosphaté. Ainsi on trouve par endroits, dans la couche phosphatée, des teneurs en oxydes de fer et d'aluminium (désignés sous le terme de « feral ») souvent très élevées. Ces fortes teneurs ont largement contribué à la formation d'un faciès phosphaté ferallitisé appelé phosphate féraleux, qui pose d'énormes problèmes d'exploitation et de traitement.

Ces problèmes posés par les phosphates féraleux sont aujourd'hui plus que d'actualité aux Industries Chimiques du Sénégal (I.C.S), dont l'un des principaux soucis est de trouver des solutions à ces difficultés. D'ailleurs, à cet effet, un programme de recherche a été initié en vue d'une caractérisation sédimentologique et géochimique des différents faciès du panneau de Tobène.

C'est dans ce cadre et celui d'une collaboration entre le Département de géologie de l'université Cheikh Anta Diop de Dakar et les ICS, qu'une étude de la géochimie, de la granulométrie, et de la localisation de ces phosphates féraleux de Tobène nous a été confiée.

L'étude s'articulera principalement autour de trois chapitres :

- ❖ Chapitre I : Présentation de la zone d'étude.
- ❖ Chapitre II : Etude lithologique, chimique et granulométrique de quelques sondages de Tobène.
- ❖ Chapitre III : Synthèse sur les phosphates féraleux.

Au terme de cette étude nous essayerons de dégager des perspectives en vue d'une meilleure connaissance des phosphates féraleux, et d'une meilleure prise en charge des problèmes.

CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1- SITUATION GEOGRAPHIQUE

2- CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1- Généralités

2.2- Géologie locale

2.3- Particularités géologiques du panneau de Tobène

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

I.1) SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le panneau de Tobène fait partie du vaste gisement phosphaté de Taïba qui se trouve dans la partie occidentale du bassin sénégalo-mauritanien, dans la région administrative de Thiès, plus précisément au Nord-Est, entre Tivaouane et M'boro (**figure 1**). Il est limité au Nord et à l'Ouest par les dunes littorales, au Sud par les affleurements cuirassés du plateau de Thiès ; la limite Est étant imprécise. Le panneau de Tobène occupe l'extrémité sud est du site de Taïba.

Sur le plan morphologique la zone est relativement plate, avec quelques irrégularités (dépressions et élévations) caractéristiques d'une zone particulière : les Niayes (vaste dépression comprise entre les dunes littorales et les dunes rouges, et qui longe la côte nord de Dakar à Saint Louis).

Le climat est de type soudano sahélien, soumis de manière fréquente à l'influence littorale en l'occurrence les alizés maritimes. Ainsi les températures sont relativement basses, et oscillent entre 35°C et 23°C (P. Ndour 1999).

Le réseau hydrographique est rudimentaire avec des cours d'eau éphémères engendrés par les eaux pluviales dont le cumul annuel est estimé en moyenne à 400 mm.

La saison des pluies qui ne dure que trois mois entretient une végétation de type savane arborée.

Le site de Taïba est en exploitation depuis les années 50, et aujourd'hui seul le panneau de Tobène est exploité, les autres (Keur Mor Fall et Ndomor Diop) étant déjà « épuisés ».

I.2) CONTEXTE GEOLOGIQUE

I-2-1) Généralités

La géologie du gisement phosphaté de Taïba se rattache à celle du bassin côtier sénégalo-mauritanien auquel il appartient.

La couverture sédimentaire de ce bassin s'est déposée durant le Mésozoïque et le Cénozoïque. Elle est constituée de dépôts transgressifs avec principalement deux phases de sédimentation. La première phase correspondant à une sédimentation marine s'est effectuée pendant la transgression Paléocène, et a affecté l'ensemble du bassin. Cette phase s'est poursuivie jusqu'à l'Eocène moyen, période pendant laquelle la mer a commencé à se retirer, mais avec une sédimentation qui reste localement marine jusqu'à la fin de l'oligocène voire même le miocène inférieur. A ces dépôts marins, succèdent des sédiments détritiques datés globalement miopliocène.

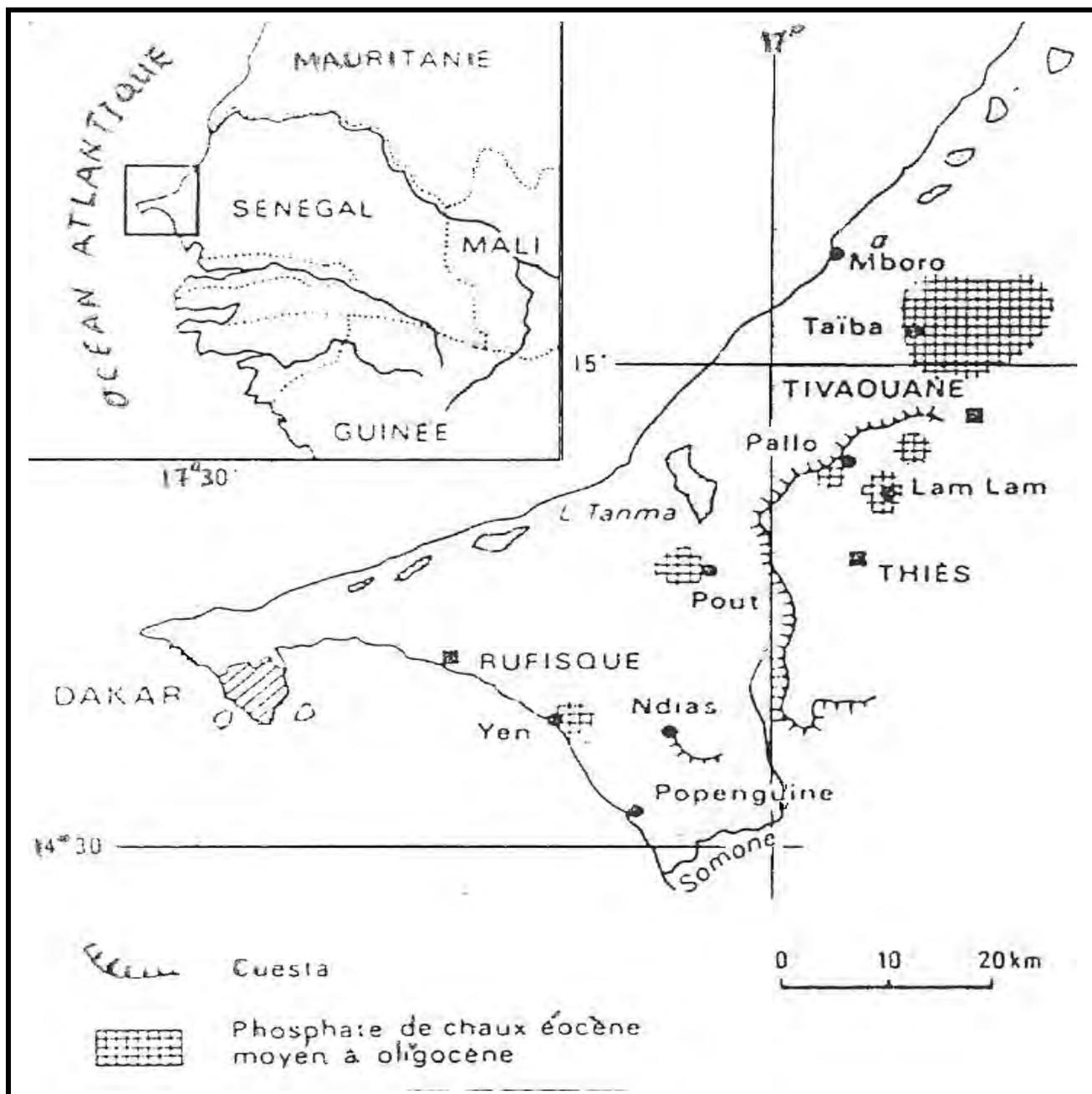


Figure 1 : Situation du gîte phosphaté de Taïba (Flicoteaux 1982)

Les sédiments d'âge mésozoïque terminal (crétacé supérieur) et paléogène sont affleurants dans la partie occidentale du bassin (Sénégal occidental, et Guinée Bissau). Ailleurs affleurent des dépôts plus récents tels que des sédiments mio-pliocène détritiques appelés « continental terminal » (Pannatier, 1995 ; Flicoteaux et Médus, 1974 ; Tessier et al, 1975), et des sédiments quaternaires (Flicoteaux, 1982).

En ce qui concerne l'Ouest du Sénégal une synthèse des données géologiques a permis d'établir une carte de localisation des différents affleurements (**figure 2**).

Sur le plan tectonique le bassin est d'une structure assez irrégulière avec des couches plongeant vers l'Ouest.

I.2.2) La géologie locale du gisement de Taïba

Les dépôts phosphatés du gisement de Taïba se sont essentiellement mis en place pendant la transgression éocène.

La couche phosphatée proprement dite est datée du Lutétien (Eocène moyen). Elle s'organise en panneaux, et est majoritairement formée de sédiments phosphatés et de sédiments argileux. Par endroits, elle est recouverte par des sédiments détritiques d'âge Oligocène à Miocène. L'ensemble est recouvert par une épaisse couverture sableuse quaternaire.

1-2-2-a) Aperçu sur la genèse des phosphates

Les processus qui ont abouti à la formation des phosphates se sont déroulés dans une mer peu profonde, agitée et riche en organismes vivants. Parallèlement à la phosphatogenèse il y a eu un dépôt de calcaires, de marnes, et de sables argileux.

Selon des auteurs (Atger, 1970 ; Menor, 1975 ; Flicoteaux et al, 1977 ; Lucas et al, 1979 ; Flicoteaux, 1982), le dépôt a subi des transformations telles que les processus de lessivage des calcaires phosphatés, les phénomènes de dissolution / recristallisation et d'altération qui ont conduit respectivement à la formation d'une apatite décarbonatée, de faciès argilo phosphatés, et d'altérites sablo argileux. Dans la partie supérieure de la série phosphatée la dernière phase de ces transformations a donné naissance à des roches telles que les phosphates d'alumine et les phosphates aluminocalciques.

La structure de la couche phosphatée est profondément affectée par le poids des fortes accumulations de sables quaternaires.

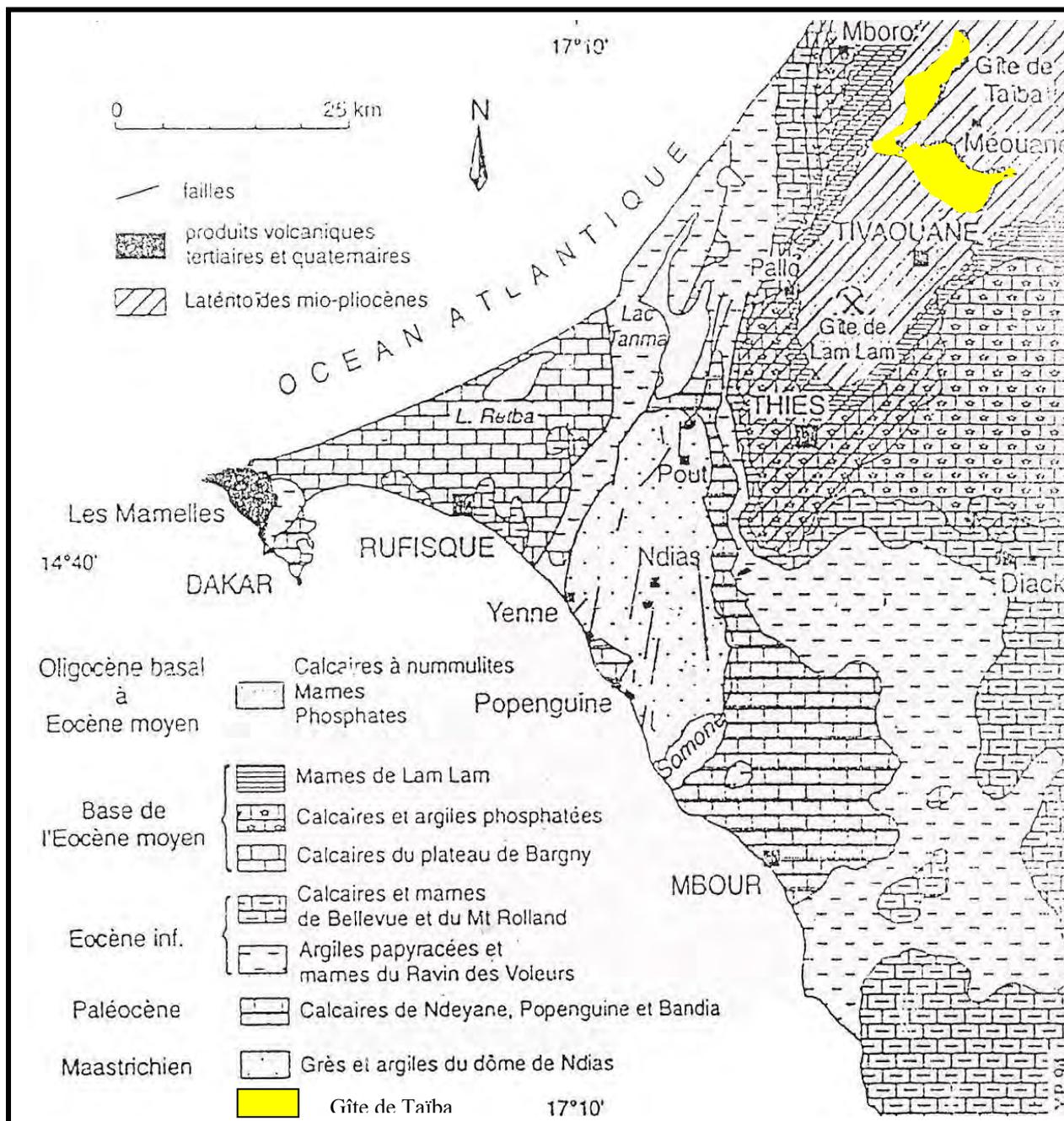


Figure 2 : Synthèse cartographique des données géologiques concernant l'Ouest du Sénégal. La couverture sableuse a été ignorée (Flicoteaux, 1982, modifié).

I-2-2-b) Litho stratigraphie de la série phosphatée de Taïba

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur la litho stratigraphie du gisement phosphaté de Taïba : Slansky (1962), Monciardini (1966), Boujo (1973), et Flicoteaux (1982). Mais une étude plus récente réalisée par Samb (1993) fait état de la succession lithologique suivante de bas en haut (**figure 3**) :

- Des marnes à atapulgites (argiles feuilletées du mur) dites « Marnes de Lam Lam » d'âge éocène inférieur
- Un dépôt phosphaté d'âge éocène moyen et d'épaisseur moyenne 7m, reposant en discordance angulaire sur les « Marnes de Lam Lam ». Il est divisé en deux membres :
 - un membre inférieur qualifié de minerais hétérogène, formé de phospharénites et de phosphalutites souvent associées à de nombreux blocs de silex parfois volumineux. Il débute par un niveau centimétrique de graviers vernissés, marron (faciès « nougat » de Boujo, 1972), par fois bréchiq ue et induré par de l'apatite en gros cristaux verdâtres. Il constitue entre la moitié et le tiers de la formation phosphatée.
 - un membre supérieur homogène, pratiquement dépourvu de silex, mais à intercalations d'argiles.
- Des argiles bariolées épaisses de 0 à 3m. Elles sont formées de montmorillonite et de kaolinite phosphatées. Elles sont intercalées de silex en plaquettes et de lits quartzeux. On y trouve également des mouchetures, et des concrétions ou lits plus ou moins continus de composés ferrugineux et alumino-phosphatés.
- Une couche altérée épaisse de 0 à 5m, d'âge Oligocène à Miocène, appelée niveau silico-ferallitique. Elle est formée de phosphates de chaux ou d'alumine mêlés à des silex à daucines, des inters lits d'argiles et de grés gris.
- Des sables consolidés et des grés plus ou moins indurés d'épaisseur 2 à 4m.
- Une couverture détritique très épaisse (10 à 30 m) incluant des sables meubles, des sables argileux et des lentilles de latérites d'âge quaternaire.

Outre ces principaux types lithologiques, certaines études (Pannatier, 1995 ; Kébé, 1999) attestent de l'existence de calcaires à la base de la couche phosphatée, au Nord du panneau de Keur Mor Fall.

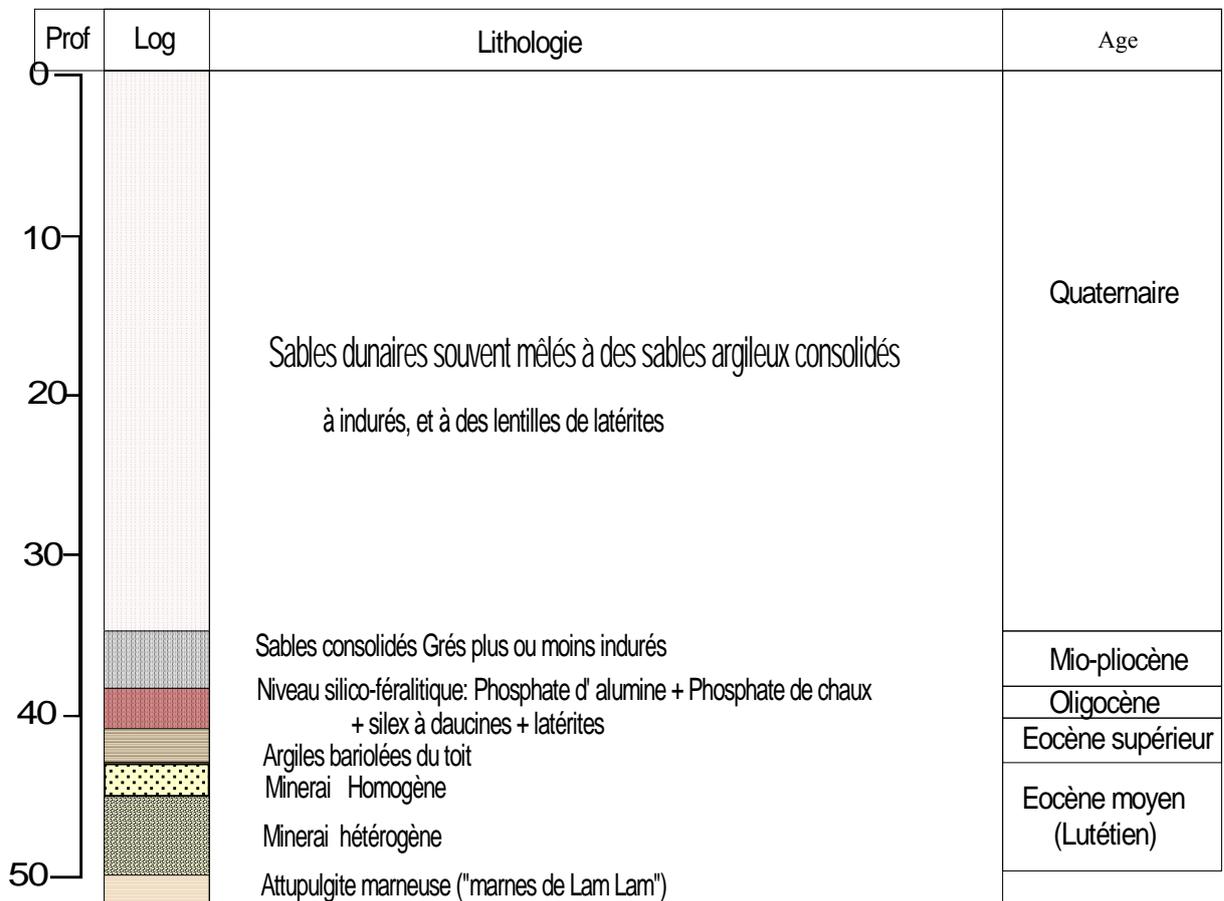


Figure 3 : Log synthétique du gisement phosphaté de Taïba (Samb, 1993)

I-2-3) Particularités géologiques du panneau de Tobène

Le panneau de Tobène présente dans l'ensemble une certaine monotonie du relief, sans vallonnements considérables.

Dans les couches qui recouvrent le minerai, on observe de manière sporadique des zones indurées qui ont fait l'objet d'études géologiques et géotechniques (Samb, 1995)

Le gisement présente aussi de nombreuses anomalies de couche dont les lentilles de sable, les bancs calcaires, les lits d'argiles, les encroûtements de « féral ».

Le phosphate hors couche est fréquent dans l'ensemble du panneau, avec des épaisseurs atteignant souvent 4m.

Le mur de la couche phosphatée présente un pendage généralisé SW-NE de l'ordre de 0.95%.

Les cotes évoluent de +20 m du côté Ouest à des valeurs négatives vers l'Est.

Le panneau présente également une piézométrie un peu particulière avec une aquifère bicouche qui montre un dôme piézométrique coté à 37 m et centré au Sud Ouest. La nappe est peu profonde (environ à 20m de profondeur), et l'écoulement des filets liquides se fait de manière radiale suivant un profil hyperbolique (Samb, 1995)

CHAPITRE II : ETUDE DE QUELQUES SONDAGES DE TOBENE

1-METHODE D'ETUDE

2-ETUDE LITHOLOGIQUE, CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE DES SONDAGES

3-CORRELATIONS ENTRE LES SONDAGES

ETUDE DE QUELQUES SONDAGES DE TOBENE

INTRODUCTION

Cette étude s'appuie essentiellement sur des résultats d'analyses de quelques carottes de sondages réalisés dans les différents secteurs de Tobène. Les analyses concernent la nature lithologique des sédiments, leur composition chimique, ainsi que leur aspect granulométrique.

L'étude tentera de suivre le comportement des éléments chimique et la distribution granulométrique dans les différents faciès définis pour chaque sondage. Elle essaiera également d'établir des rapports, d'une part entre la composition chimique des sédiments et leur granulométrie, et d'autre part entre les différents éléments chimiques, en particulier le comportement des autres oxydes vis-à-vis du « feral ».

L'étude concerne des sondages choisis dans les différents secteurs du panneau de Tobène (**voir figure 5**).

II-1 METHODES D'ETUDE

L'essentiel des informations concernant la couche phosphatée étant connues grâce aux différentes analyses effectuées sur les carottes de sondage. Ces analyses portent sur la lithologie, la granulométrie et la composition chimique.

II-1-1 Analyse lithologique

Elle consiste à couper les carottes, puis à faire une description lithologique détaillée des différents faciès prélevés. Les caractéristiques pétrographiques des couches sont en même temps dégagées.

La description lithologique est faite de manière macroscopique à l'aide d'une loupe et de l'acide chlorhydrique. Elle permet de déterminer certains caractères tels que la nature et l'épaisseur des roches, leur couleur, leurs éléments constitutifs, ainsi que leur degré d'altération.

Ensuite un log stratigraphique est dressé pour chaque sondage.

II-1-2 Analyse granulométrique

Elle est faite sur des échantillons de masse donnée, prélevés dans chaque niveau retenu. Elle permet de déterminer la répartition de taille des sédiments dans les niveaux pris en compte.

En effet le poids initial de chaque échantillon est relevé. Les échantillons sont par la suite trempés dans de l'eau pendant 30mn environ pour le débouillage, puis lavés à travers une colonne de 3 tamis de mailles décroissantes : 25000 μm , 800 μm , et 25 μm . Le refus de chaque tamis est séché puis pesé, de même pour les sédiments non retenus (diamètre < 25 μm), puis on détermine les pourcentage. Généralement on regroupe les refus de 800 μm et de 25 μm en une

seule classe nommée alimentions ; les refus du tamis supérieur (25000 μm) formant une classe appelée rejets, et les sédiments de taille inférieure à 25 μm portant le nom de schlamms.

II-1-3 Analyse chimique

Elle est généralement faite sur les particules de taille comprise entre 25 μm et 25000 μm .

Cependant les schlamms et les rejets peuvent faire l'objet d'une analyse chimique. Elle consiste à donner les teneurs en éléments chimiques des sédiments phosphatés.

En effet après que chaque échantillon ait été soumis à l'analyse granulométrique on porte les alimentations à une température de 800 °C pour éliminer la matière organique. Ensuite elles subissent un dosage chimique qui donne les teneurs en éléments chimiques, exprimées en pourcentages pondéraux d'oxydes. Les éléments chimiques sont divisés en deux catégories : les éléments chimiques majeurs (P_2O_5 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2) et les éléments en traces (TiO_2 , MgO , K_2O , terres rares...).

Les majeurs les plus abondants sont : P_2O_5 , CaO , SiO_2 , les autres Al_2O_3 , Fe_2O_3 sont généralement faiblement représentés et ils sont regroupés sous le terme de « féral ».

Remarque : Définition du terme « feral »

Le nom « feral » est un terme utilisé à l'usine pour désigner la teneur en oxydes de fer, et d'aluminium contenue dans les sédiments. Selon la valeur de cette teneur, les sédiments sont qualifiés de féraux, ou non. En ce qui concerne les phosphates un certain nombre de paramètres sont utilisés pour qualifier un minerai.

Dans un premier temps les gens on a recouru au paramètre **K** qui représente le rapport de la teneur en CaO , sur la teneur en P_2O_5 (% CaO / % P_2O_5). Ainsi tout phosphate présentant un rapport $K < 1,30$ a été considéré comme féraux. En effet on considère qu'une bonne partie du P_2O_5 est remplacée par Al_2O_3 , et ou par Fe_2O_3 .

C'est à l'issue d'études faites sur le phénomène en tant que tel (le « feral ») qu'un nouveau paramètre noté **f** est introduit pour caractériser les minerais phosphatés de Taïba. **f** représente le rapport $100 \varphi / \Theta$; où φ est la somme (% Al_2O_3 + Fe_2O_3), et Θ la teneur en P_2O_5 . Ses valeurs permettent actuellement de distinguer trois types minerais :

- un très bon minerai, si $f < 5$
- un bon minerai, si $20 > f > 5$
- un minerai dit féraux, si $f > 20$

II- 2) ETUDE LITHOLOGIQUE, CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE DES SONDAGES

Les sondages étudiés concernent les différents secteurs du panneau de Tobène ; comme le montre la carte de la figure 4.

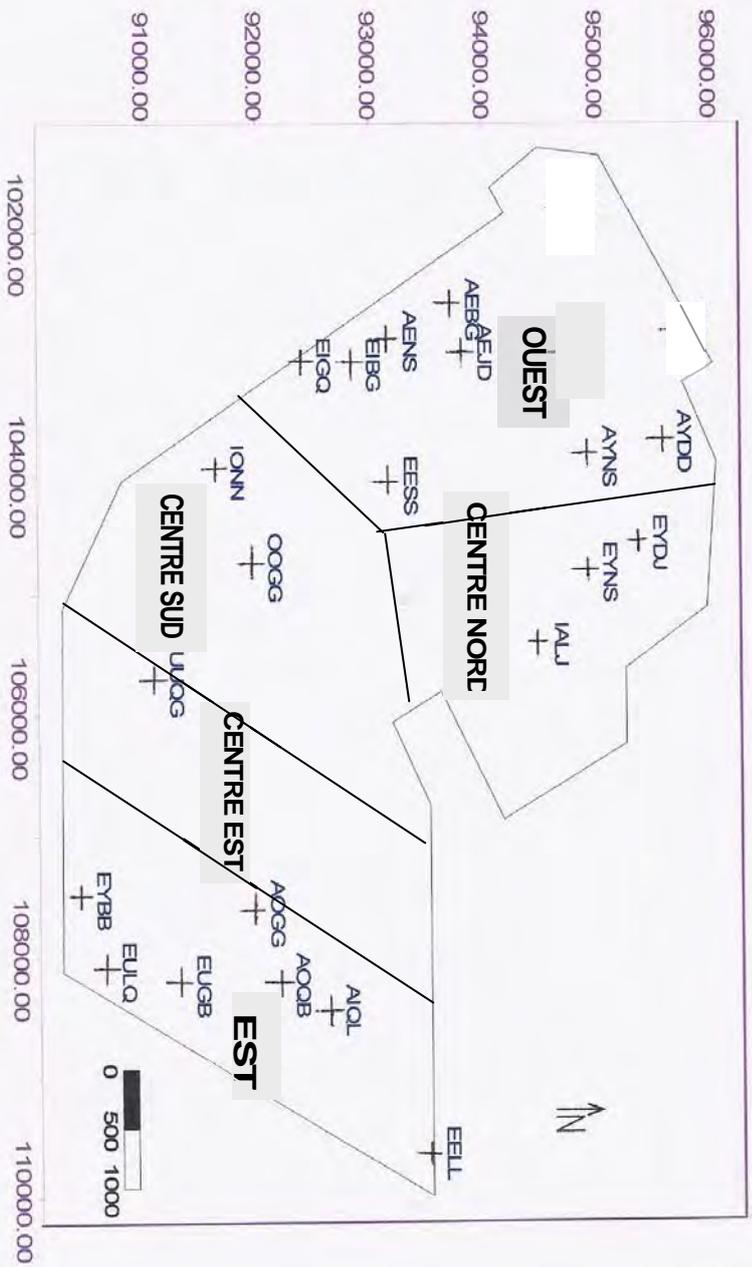


Figure 4

Carte de localisation des sondages d'études

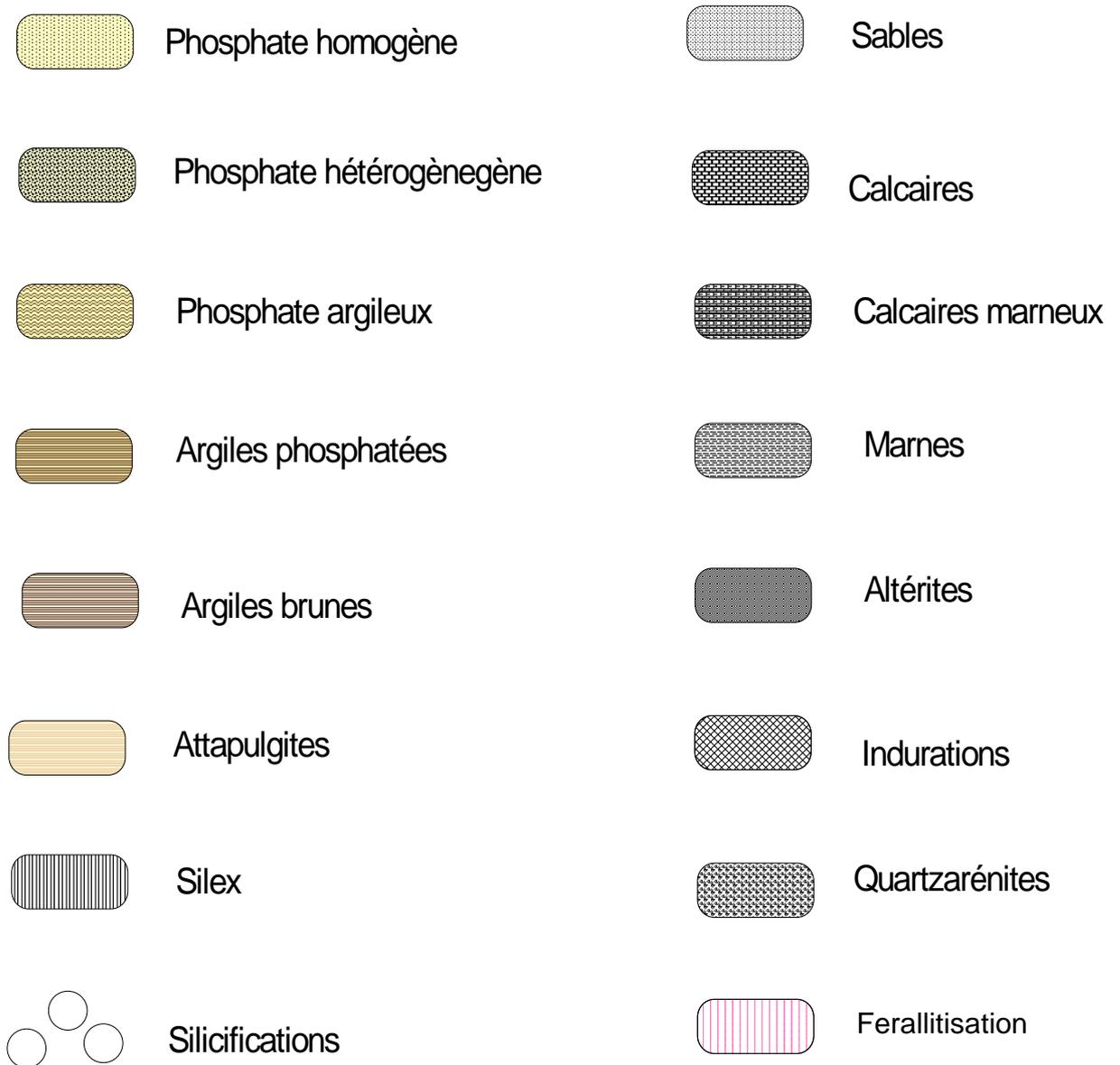


Figure 5 : Légende lithologique du gisement phosphaté de Tobène

1) Secteur Ouest

1.a) Sondage 2E2S EESS (figure 6)

Lithologie : La couche utile est de faible épaisseur (environ 2 m) et comprend deux niveaux :

- Le premier niveau vient juste en dessous du toit argileux et correspond à du minerai homogène. Il comporte néanmoins de rares blocs de silex.
- Le second niveau, plus important, repose directement sur le mur et forme un minerai hétérogène. Sa base comporte beaucoup de galets de quartz.

En hors couche nous avons sur les argiles brunes, du minerai qu'on peut qualifier d'hétérogène, car les silex et les argiles y sont abondants. Sur ce dernier reposent des argiles phosphatées.

Chimie : Le minerai homogène est moins féralléux que les autres niveaux phosphatés.

Les niveaux à oxydes de fer et d'aluminium ou « férallé » important voient leur teneur en CaO et en P₂O₅ diminuer, alors que leur teneur en SiO₂ ne varie pas de manière constante.

Granulométrie : On remarque une diminution considérable des rejets dans les niveaux férallisés (sauf là où les silex sont importants) ; et même dans les endroits à forte teneur en « férallé » (7.3 %) il y a une absence quasi-totale de ces rejets. La fraction fine quant à elle s'affirme au fur et à mesure que le phosphate est féralléux. Cependant quelque soit l'importance de ces sables la tranche granulométrique analysée (alimentation) reste toujours prépondérante.

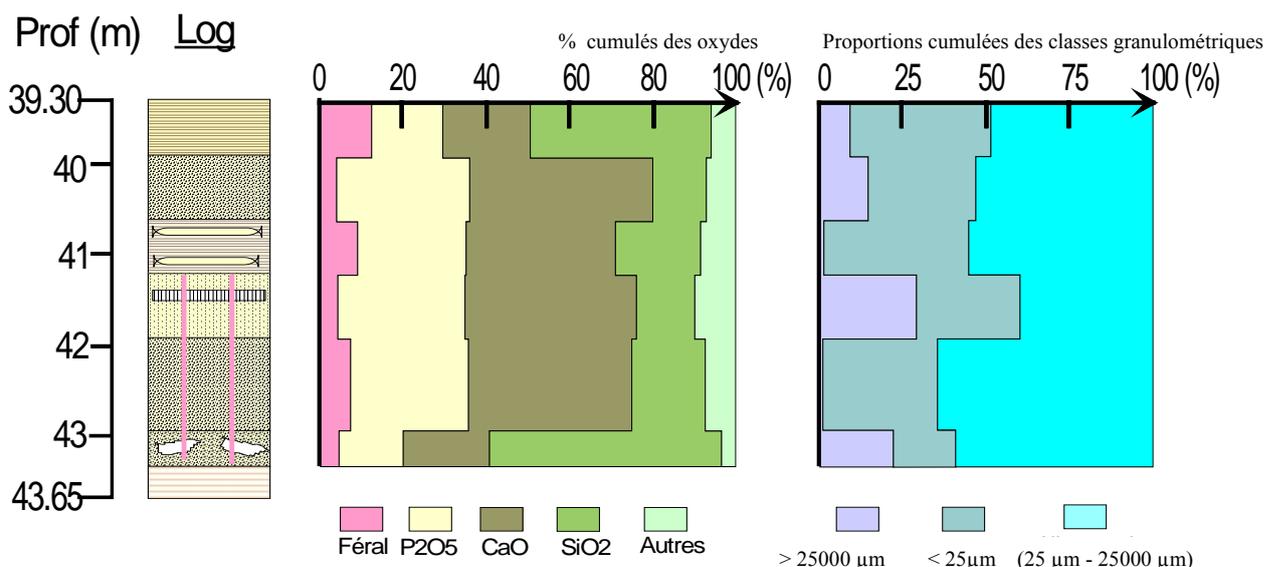


Figure 6 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S EESS

1.b) Sondage 2E2S AENS (figure 7)

Lithologie : Ce sondage montre une couche utile (comprise entre les argiles brunes du toit et les attapulgites du mur) de faible épaisseur (2m) formée comme précédemment de deux niveaux correspondant:

- vers le sommet à des phosphates homogènes ou minerais homogènes avec très peu d'argile et de silex.
- vers la base à des phosphates très argileux mêlés à de nombreux blocs et galets de silex, qu'on qualifie de minerais hétérogènes.

Ces deux niveaux sont séparés par un important banc de silex. Des silex on trouve également sur les attapulgites du mur, formant de véritables bancs.

Hors de la couche utile, on note l'existence d'un minerai (hors couche) argilo phosphaté, altérée qui repose directement sur le minerai homogène.

Chimie : La teneur en « feral » dans les niveaux phosphatés est souvent plus élevée que dans les autres faciès. La forte teneur en « féral » dans les couches phosphatées s'accompagne d'une diminution des teneurs en P_2O_5 et en CaO. La silice représente en moyenne 50% des oxydes dans ces couches phosphatées. Dans les autres faciès sa teneur est plus importante.

Granulométrie : Nous constatons globalement une forte prépondérance des rejets par rapport aux schlamms qui ne se rencontrent que dans les niveaux phosphatés, avec des proportions qui augmentent suivant l'importance de la ferallitisation.

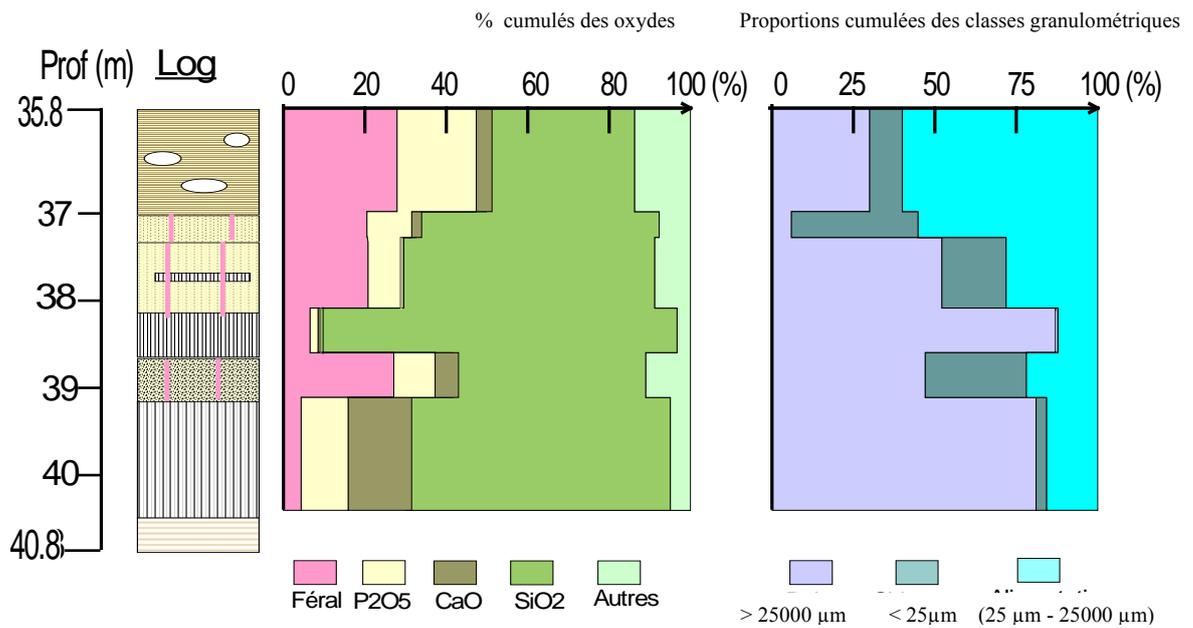


Figure 7 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S AENS

1.c) Sondage 2E2S AEBG (figure 8)

Lithologie : Ce sondage traverse un minéral épais de 7.5 m environ, principalement formé de deux types de faciès phosphatés :

- des phosphates homogènes situés juste au dessus d'une couche silico-ferrallitique (vers le sommet), avec trois sous faciès que sont du haut vers le bas : un minerais féraléux et siliceux, un minéral argileux et siliceux et un minéral siliceux et féraléux.
- un minéral hétérogène qui commence la série et qui renferme quelques ensablements.

Les argiles du toit ne sont pas représentées

Chimie : Nous constatons que le minéral est globalement féraléux ; mais avec des degrés de ferrallitisation différents selon les faciès. Au sommet où se rencontre du minéral homogène la teneur en « feral » atteint 20%, alors que dans le minéral hétérogène cette teneur ne dépasse guère 4%. Et même au sein du minéral homogène cette teneur varie selon qu'on ait des phosphates argileux ou non. Cependant quelque soit l'importance du « feral », l'ensemble formé par le CaO et le P₂O₅ reste dominant sur tout autre oxyde, sauf au niveau du minéral hétérogène où la silice est prépondérante du fait de la présence de sables.

Granulométrie : Elle révèle que l'importance des éléments dont la taille est supérieure à 25000µm augmente avec la diminution de la teneur en « feral » dans les faciès. La fraction fine quant à elle ne varie pas en fonction des teneurs en « feral », mais plutôt en fonction de la nature

des faciès (par exemple ici nous avons du phosphate argileux moins féralléux, mais plus riche en éléments fins que le phosphate non argileux).

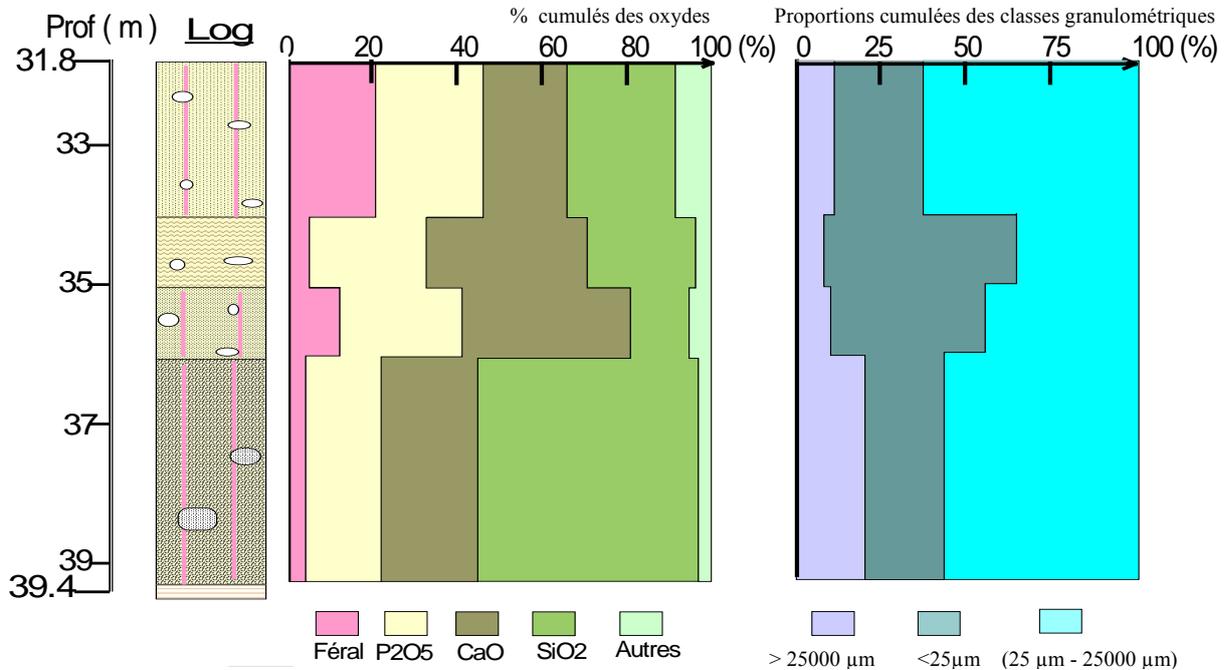


Figure 8 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S AEBG

1.d) Sondage 2E2S EIGQ (figure 9)

Lithologie : Ce sondage montre l'existence d'une couche productive présentant plusieurs faciès phosphatés.

- sous les argiles du toit il y a du phosphate de chaux homogène.
- ensuite vient une couche constituée de phosphate de chaux brunâtre plus ou moins homogène, mais argileux et peu altéré vers la base.
- en fin à la base nous avons une importante couche d'argiles phosphatées associées à des altérites phosphatés, formant ainsi un minerai très composite dont une bonne partie n'est pas propre à l'exploitation.

Outre la couche productive, on note des phosphates rosâtres hétérogènes situés au dessus des argiles du toit (minerai hors couche).

Chimie : L'analyse chimique des différents faciès rencontrés donne de faibles teneurs en « féral » qui atteignent rarement les 5%. Pour l'ensemble de la couche productive la ferralitisation est quasi inexistante, excepté le minerai hétérogène altéré et le minerai hors couche. La silicification est également très réduite, et cela s'est manifesté sur le plan lithologique par l'absence de bancs de silex. Par conséquent la proportion de s oxydes de calcium et de phosphore augment considérablement

Granulométrie : Elle semble plus dépendre de la nature des sédiments que de leur composition chimique. Néanmoins on peut, dans les phosphates homogènes, observer que le pourcentage de la fraction fine augmente de manière faible avec la l'importance du « féral ».

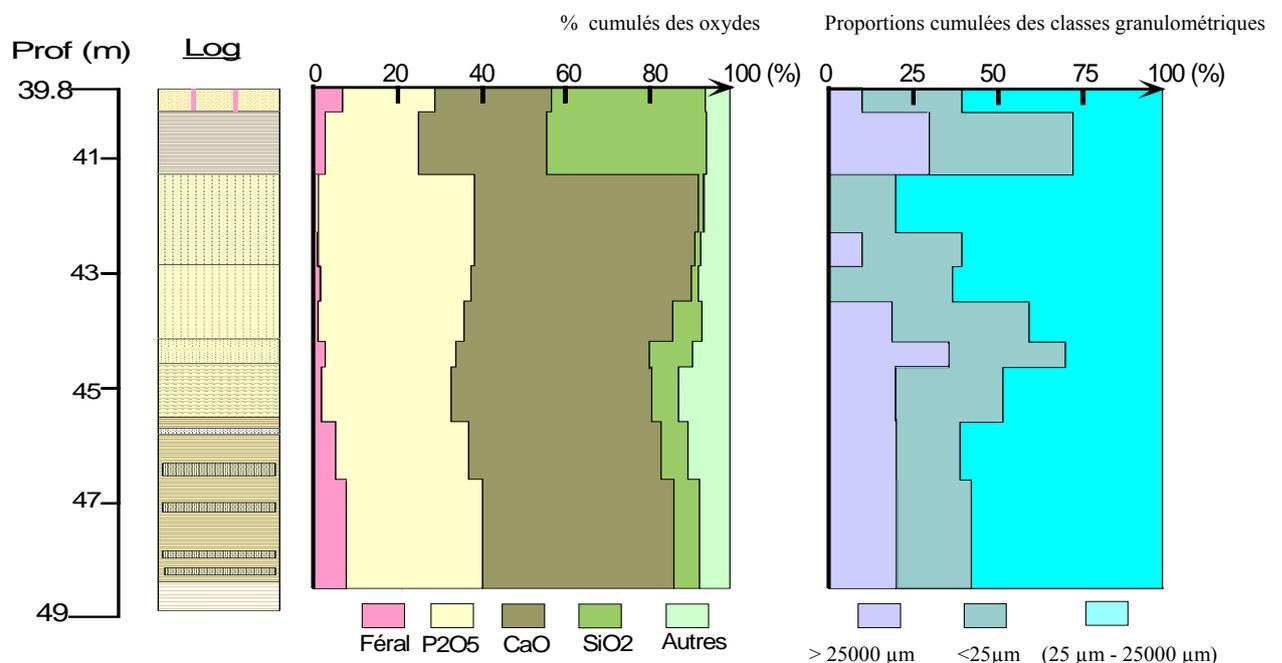


Figure 9 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S EIGQ

1.e) Sondage 2E2S EIBG (figure 10)

Lithologie : Ce sondage montre une séquence tronquée par rapport à la succession habituelle. En effet on note l'absence des argiles du toit, et l'existence d'un minerai hors couche qui repose directement sur la couche utile. Cette dernière a une épaisseur d'environ 3.5 m, et est formée :

- de phosphate hétérogène légèrement argileux vers le sommet, et à silex abondant vers la base.
- d'une importante soupape de sables phosphatés qui s'intercale dans le minerai hétérogène.

Chimie : Les teneurs en « féral » mesurées dans les différents faciès sont toujours supérieures à 3%, et les plus faibles valeurs de f sont obtenues dans les phosphates argileux. Dans le minerai hors couche la teneur en « feral » dépasse 15%.

La silicification est également très importante dans le faciès féraleux, ce qui réduit ainsi les valeurs de P₂O₅ et de CaO dans ces mêmes faciès. Par contre dans le minerai hétérogène argileux le pourcentage de ces oxydes dépasse 50%.

Granulométrie : La taille des particules semble plutôt influencée par la nature des sédiments que par composition chimique, du moment que les schlamms et les rejets abondent respectivement dans le minerai homogène à passages argileux, et dans le minerai hétérogène à silex abondants. Il y a également le fait que les alimentations (qui comprennent les particules de la taille des sables) sont abondantes dans les sables phosphatés.

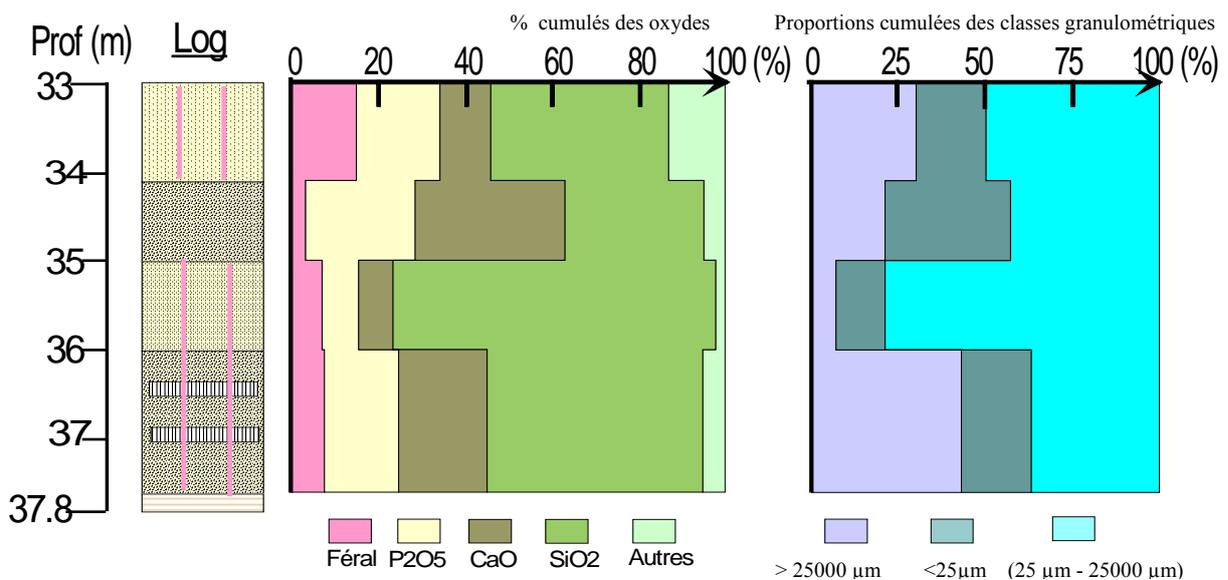


Figure 10 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S EIBG

1.f) Sondage 2E2S AEJD (figure 11)

Lithologie : Le minerai traversé par ce sondage est principalement formé de phosphate de chaux qui se présente sous différents faciès suivant le niveau considéré :

- au sommet on a du minerai hétérogène.
- Ensuite vient du phosphate de chaux argileux à silex très rares et par fois à lit d'argile.
- Puis il redevient hétérogène, et présente vers sa base un niveau bréchique constitué de quartzarénites et de silex.

- Sous cette brèche nous avons du phosphate de chaux altéré argileux et contenant des grains de quartz

Il n'y a ni argiles du toit, ni phosphates hors couche. L'épaisseur de la couche est de 6.30 m.

Chimie : Globalement la teneur en « feral » diminue progressivement, du sommet à la base, avec des valeurs comprises entre 11% (au sommet), et 1.3% (à la base). Le P_2O_5 , et CaO restent pratiquement majoritaires dans le minerai exceptés le sommet et les phosphates de chaux à galets d'apatite altérée (vers la base de la série), où la silice est prépondérante.

Granulométrie : Les schlamms sont peu représentatifs dans les faciès, avec des proportions plus importantes dans les niveaux féraux dépourvus de silex. Les rejets sont abondants dans les niveaux à silicification importante.

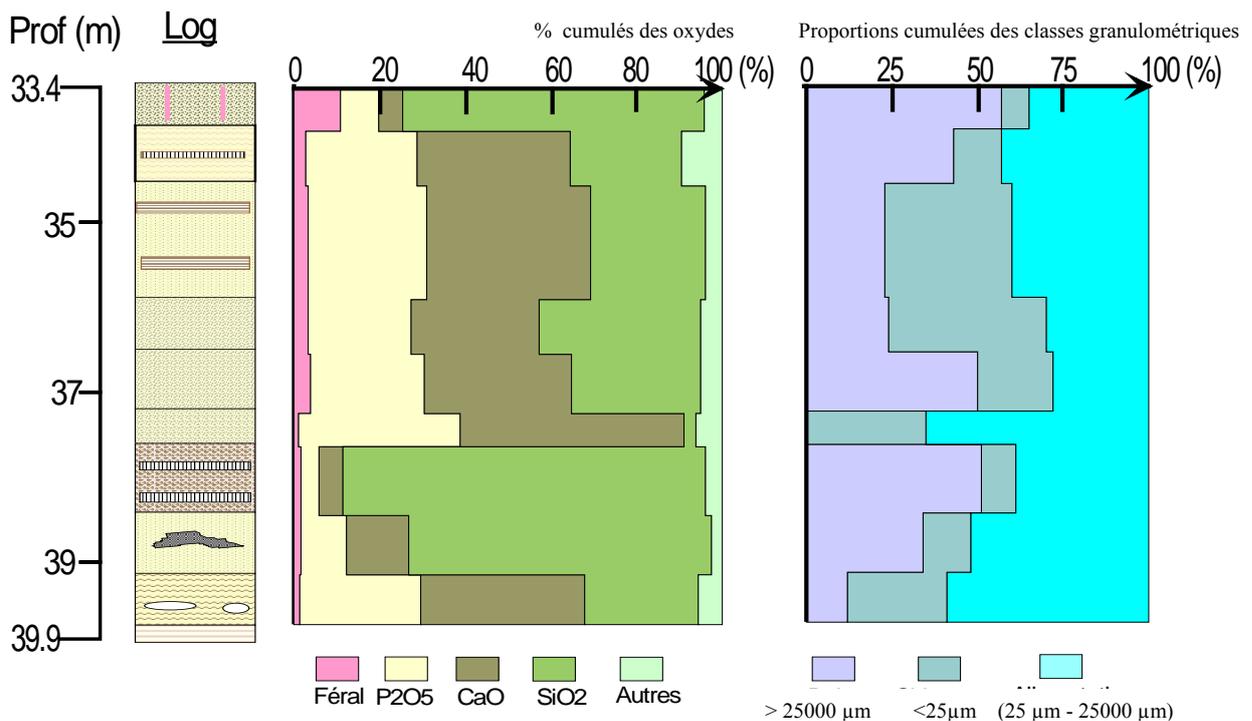


Figure 11 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S AEJD

1.g) Sondage 2EIS AYDD (figure 12)

Lithologie : La couche utile d'une épaisseur d'environ 6.8 m est entrecoupée de lits d'argile, de bancs de quartzarénites peu phosphatés, et de bancs silex. Comme faciès phosphatés nous avons essentiellement du sommet à la base :

- du phosphate de chaux pulvérulent,
- des argiles phosphatées, passant à du phosphate de chaux argileux,
- du mimeraï homogène avec de rares lits d'argiles grises,
- des argiles très phosphatées,
- du phosphate hétérogène (entrecoupé de banc de quartzarénites phosphatées) qui termine la couche phosphatée.

Ce sondage présente une particularité liée à la présence d'une importante couche de phosphate alumineux située au dessus des argiles du toit. Cette dernière renferme d'importantes indurations et de nombreux silexites à daucines.

Chimie : L'analyse chimique des différents faciès trouvés témoigne de l'absence de phosphate féraléux dans la couche utile, par contre dans les phosphates alumineux la ferralitisaiton est très importante avec des teneurs en « feral » dépassant des fois 35%.

Dans les phosphates de chaux le CaO l'emporte sur le P₂O₅ et sur tout autre oxyde, alors que dans les phosphates hétérogène c'est le SiO₂ qui prime (73.4%).

Granulométrie : Le rapport granulométrique indique une importance des rejets dans couche phosphatée, surtout dans les niveaux où la ferralitisaiton s'est plus faiblement réalisée et/ou à silex et indurations fréquents. La fraction fine est très réduite; en certains endroits même, sa proportion est négligeable par rapport à celle des alimentations et des rejets.

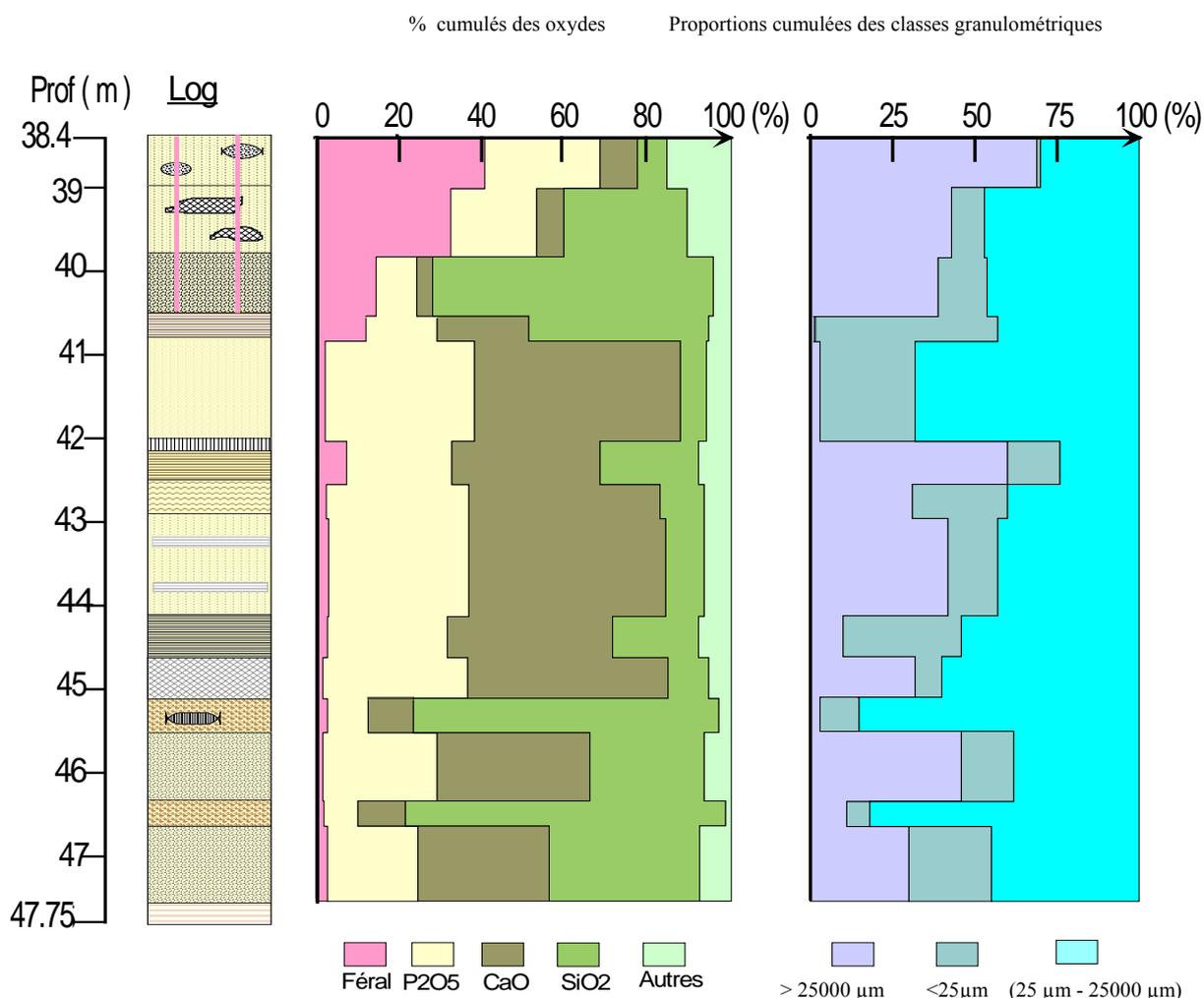


Figure 12 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E1S AYDD

1.h) Sondage 2E1S AYNS (figure 13)

Lithologie : La couche phosphatée est d'une épaisseur de 8.4 m .Elle est formée des faciès suivants :

- un minerai hétérogène retrouvé au sommet, vers la base, ainsi qu'en pleine couche,
- une microphosphatite argileuse et altérée, localisée vers le sommet,
- des phosphates argileux passant à des argiles phosphatées,
- des calcaires et marno-calcaires phosphatés situés à la base.

En plus de la couche utile il existe un important minerai hors couche formé essentiellement de phosphates argileux.

Chimie : D'importantes teneurs en « féral » sont obtenues dans le phosphate hors couche (7%), la microphosphatite (9.3%), et dans les phosphates argileux (41.6%).

Dans le minerai hétérogène et les phosphates calciteux, le « feral » n'est présent que sous forme de traces (2.3%). La silice suit le même comportement que le « feral ». Ainsi l'ensemble P₂O₅ et CaO a des teneurs importantes dans ces faciès, avec la prépondérance du CaO surtout dans les niveaux calciteux.

Granulométrie : L'aspect massif des phosphates calciteux et des marno-calcaires phosphatés fait que les rejets sont plus représentatifs dans ces faciès. Par contre dans la microphosphatite et les phosphates argileux hors couche ils sont considérablement réduits (voire absents) en faveur des schlamms.

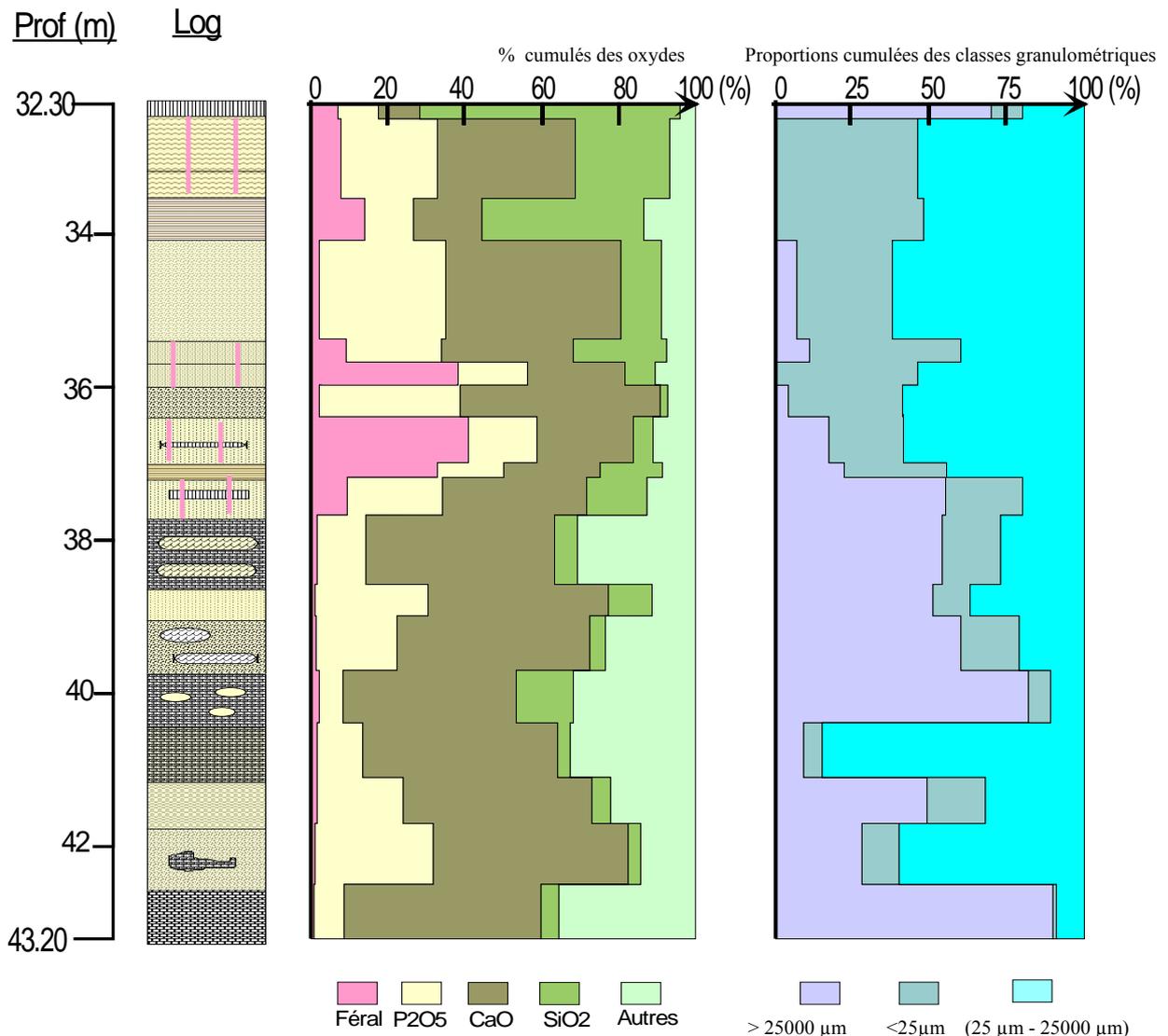


Figure 13 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E1S AYNs

2) Secteur Centre Sud

2.a) Sondage 2E2S IONN (figure 14)

Lithologie : Ce sondage montre une série phosphatée très composite. En effet nous avons :

- au sommet des grés rognonneux très phosphatés,
- fait suite un niveau de phosphate hétérogène,
- ensuite vient une importante couche formée de phosphates argileux et des phosphates altérés,
- du phosphate altéré par fois ferrugineux,
- la série d'une épaisseur de 6.5 m se termine par minerais hétérogènes.

Chimie : Trois niveaux de phosphates féraléux sont repérés sur ce sondage. Il s'agit du minerais hétérogènes situés au sommet (5.2% de « feral »), d'une partie des phosphates argileux situés en pleine couche (5.7% de « feral »), et du phosphate de chaux mi-induré (minerais hétérogènes) localisés au voisinage du mur (5.8% de « feral »). Dans ces niveaux féraléux, nous constatons une baisse des teneurs en P_2O_5 et en CaO. Par contre la teneur en SiO_2 augmente en raison de l'importance des accidents siliceux (silex) notés dans ces niveaux.

Granulométrie : L'analyse granulométrique révèle une prépondérance des rejets dans les phosphates féraléux à bancs de silex et à indurations importantes. Les schlamms et l'alimentation sont alors réduits dans ces faciès. Dans les autres faciès c'est l'alimentation qui est plus importante.

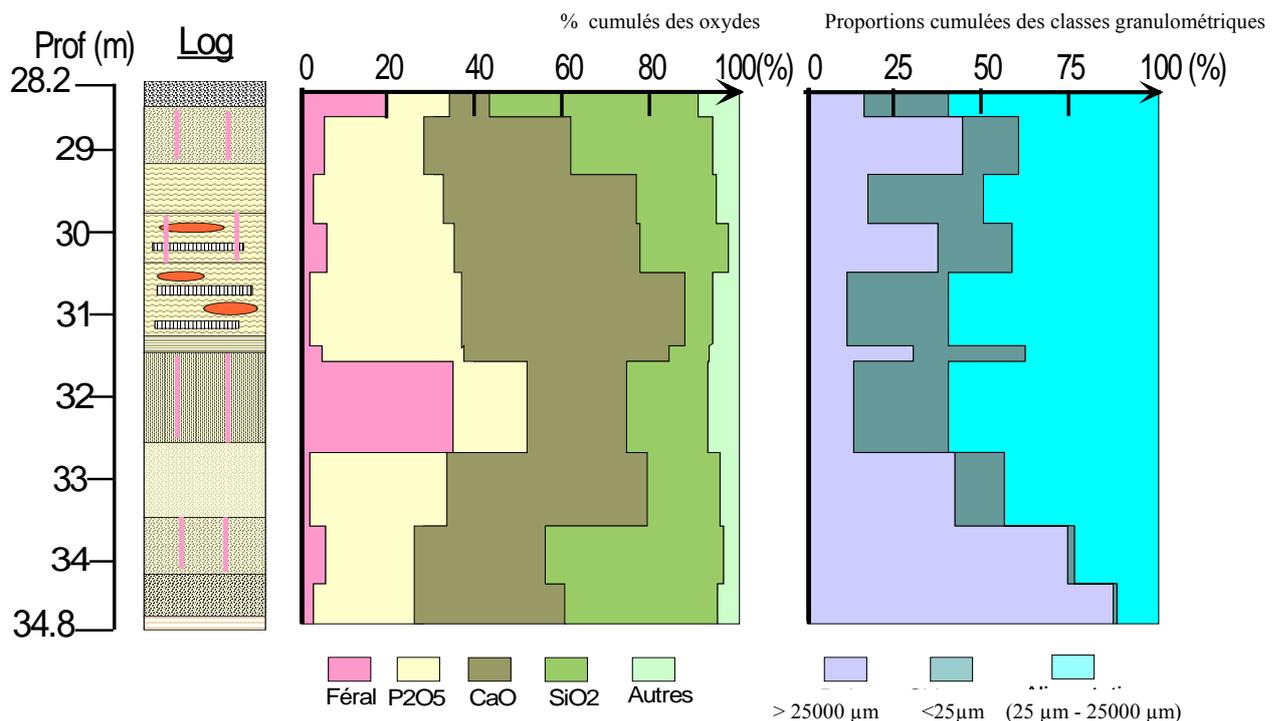


Figure 14 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S IONN

3) Secteur Centre Est

3.a) Sondage 2E2S UUQG (figure 15)

Lithologie : ici nous avons une couche utile d'une puissance de 6.4 m, presque entièrement faite de phosphate hétérogène. Néanmoins d'autres faciès existent mais sont faiblement représentés ; il s'agit de phosphate argileux et de phosphate homogène.

Outre la couche productive, il existe un minerai hors couche hétérogène.

Chimie : Globalement la ferralitisaiton n'y est pas très importante, cependant dans le minerai homogène situé en pleine couche et dans les phosphates indurés à bancs de silex (au sommet), d'importantes valeurs de f (9,84) sont signalées. Ainsi se distinguent deux niveaux de phosphate féraleux dans lesquels les teneurs en silice sont largement plus importantes que dans les autres niveaux. L'ensemble CaO et P₂O₅ (avec prépondérance du CaO) voit sa proportion diminuer dans les niveaux féraleux.

Granulométrie : Les rejets diminuent dans les faciès à « feral » important sauf dans le phosphate induré où ils représentent plus de 50% des grains. Concernant la fraction fine, mises à part les zones indurées dans lesquelles elle est faiblement représentée, sa proportion est peu variable dans les autres faciès (12% en moyenne).

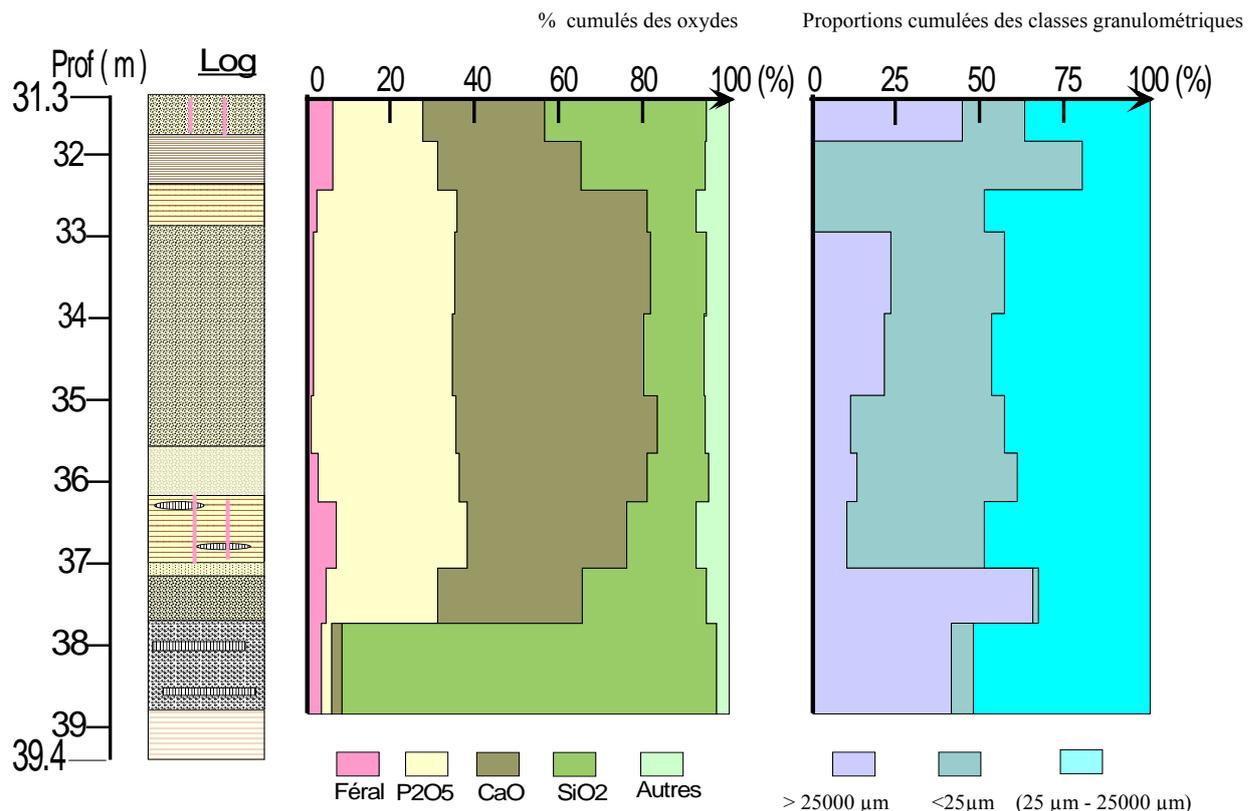


Figure 15 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S UUQG

4) Secteur Centre Nord

4. a) Sondage 2E1S EYNS (figure 16)

Lithologie : Ce sondage montre une couche phosphatée épaisse de 7.6 m avec principalement trois faciès:

- du phosphate homogène, ubiquiste,
- du phosphate argileux au sommet et en pleine couche,
- du minerai hétérogène à la base.

Chimie : Le « féral » est inégalement représenté dans ces trois faciès. En effet dans le minerai homogène localisé à base, les oxydes de fer et d'aluminium représentent un très faible pourcentage, comparés aux autres oxydes (SiO_2 , CaO , P_2O_5). Par contre dans les phosphates argileux et dans la partie supérieure du minerai hétérogène le « féral » est très représentatif. Dans ces deux faciès on trouve des teneurs en féral par fois voisines, voire supérieures à celle rencontrée dans les argiles du toit (13.3%).

Granulométrie : Nous constatons une diminution des rejets avec l'importance de la ferralitisaiton, sauf pour le minerai hétérogène où le faciès féralieux renfermant du silex contient

plus de rejets que le faciès non féral. La fraction fine quant à elle se comporte différemment, autrement dit elle augmente avec l'importance du « féral », exception faite dans le minerai hétérogène

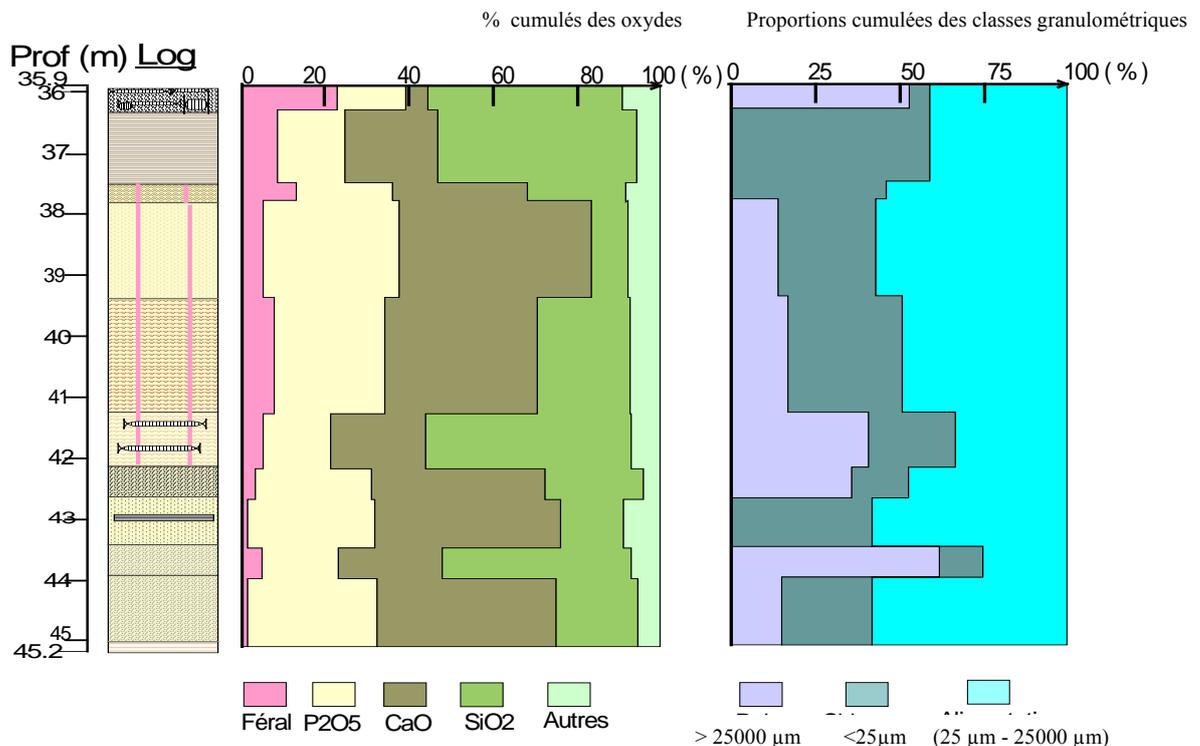


Figure 16 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E1S EYNS

5) Secteur Est

5.a) Sondage 3E2S AOQB (figure 17)

Lithologie : La couche utile d'une épaisseur de 5 m est très composite. En effet elle présente :

- au sommet, du minerai homogène renfermant des passages argileux et des débris de silex,
- vers la base, du minerai hétérogène avec de nombreux galets et nodules indurés,
- et du phosphate peu argileux à la base.

En outre, nous avons un puissant minerai hors couche formée essentiellement de phosphate de chaux associé à de légers passages quartzeux et à de rares galets et bancs indurés. Celui ci repose sur des argiles brunes (entrecoupées par de faibles bancs de silex et de phosphate) qui le séparent de la couche utile.

Chimie : Du phosphate féral on n'en trouve que dans le minerai hors couche, tous les autres faciès phosphatés ne présentant que de très faibles teneurs en « féral ». Les teneurs en silice de la

couche utile sont variables (avec un maximum de 19.20%) mais restent toujours faibles par rapport à celles de l'ensemble P_2O_5 et CaO (minimum 38.8%).

Granulométrie: Nous constatons une faible fréquence des particules de taille supérieure à $25000\mu m$ qui d'ailleurs sont absentes à certains niveaux du minerai hors couche. La proportion des schlamms est variable d'un faciès à l'autre, et parfois au sein d'un même faciès : les faciès phosphatés les plus riches en « feral » étant plus pauvres en particules fines que les faciès phosphatés les moins riches en « feral ».

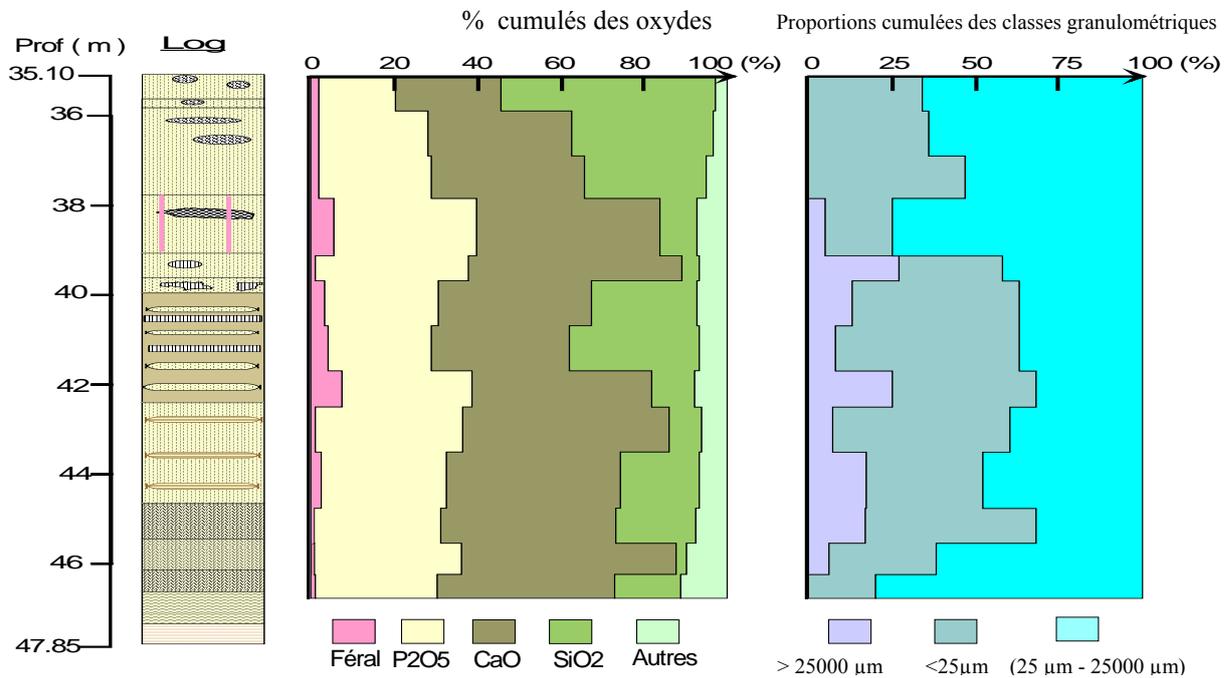


Figure 17: Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S AOQB

5.b) Sondage 3E2S EUGB (figure 18)

Lithologie: La couche utile est d'une épaisseur de 6.5 m. Comme faciès phosphatés on note :

- au sommet, un minerai homogène majoritaire, présentant quelques indurations et un faible passage de phosphate hétérogène.
- un faible niveau de phosphate hétérogène plus ou moins altéré et qui forme la base de la couche phosphatée.

Le minerai hors couche est presque entièrement hétérogène.

Chimie : Les faciès phosphatés sont très enrichis en P₂O₅ et CaO, abstraction faite à l'altérite argilo phosphatée à débris de silex (minerais hétérogènes situés à la base) qui est plutôt caractérisée par une forte présence de la silice (80.50%), et à degré moindre, du « feral »(11.90%). A part ce faciès, on a également du « feral » en plus faible proportion dans le phosphate hors couche en association avec de la silice en grande quantité.

Granulométrie : Les rejets sont peu fréquents, en effet on les rencontre seulement dans le minerai hors couche et dans l'altérite argilo phosphatée (donc dans les phosphates hétérogènes), avec une proportion moyenne de 40%. Les schlamms existent dans toute la couche phosphatée, avec des proportions modestes par rapport aux éléments de taille moyenne (alimentation).

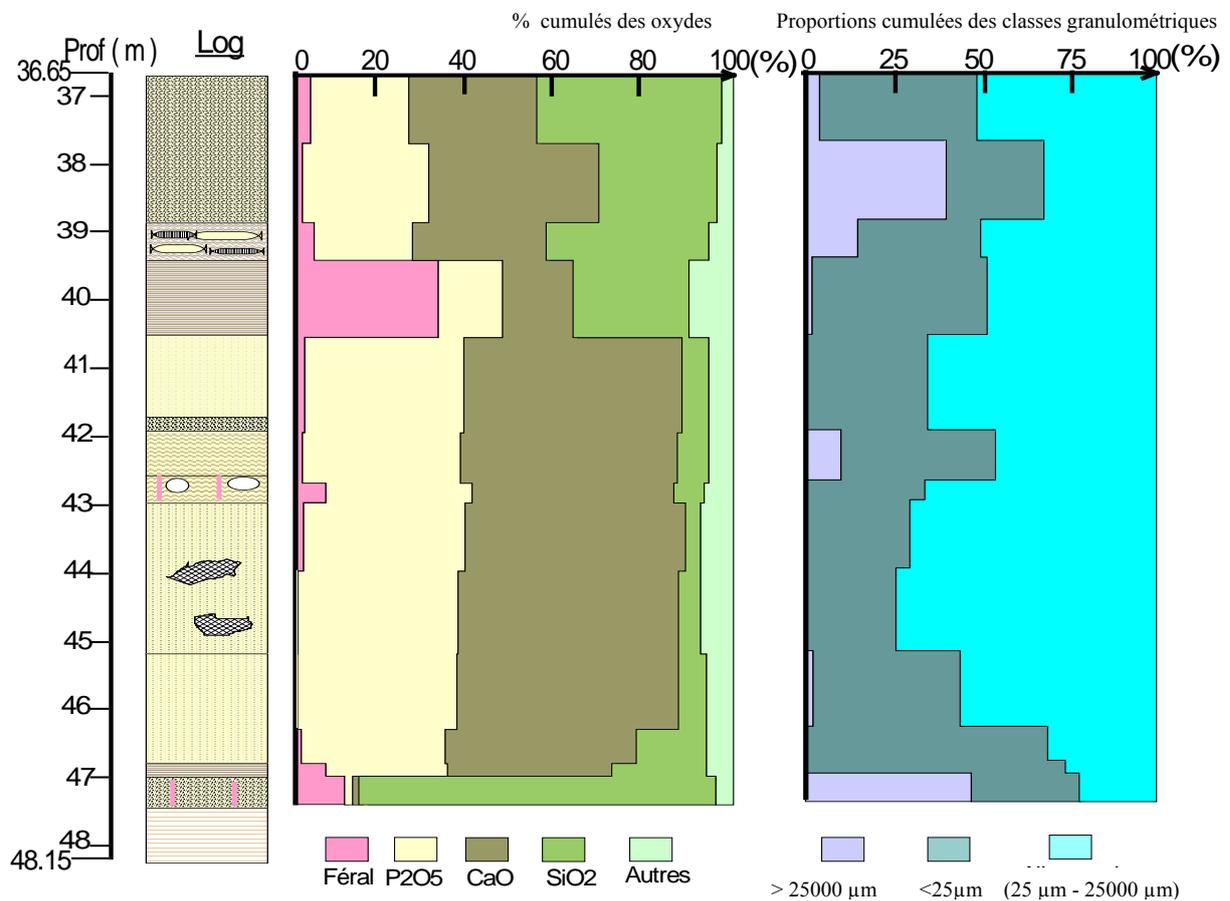


Figure 18 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EUGB

5.c) Sondage 3E2S EELL (figure 19)

Lithologie : Ce sondage montre une couche phosphatée épaisse de 6.4 m, avec :

- un minéral homogène au sommet,
- des phosphates hétérogènes à la base.

Il n'y existe pas de minéral hors couche.

Chimie : Le « feral » et la silice sont présents sous forme de traces dans le minéral homogène qui est plutôt marqué par une forte teneur en P_2O_5 , et surtout en CaO. Dans le minéral hétérogène par contre, nous avons de fortes teneurs en « feral » et en silice, alors que les proportions du P_2O_5 et du CaO ont considérablement baissé.

Granulométrie : Les rejets sont plus importants dans le minéral hétérogène où l'on déclare des galets de silex. Les schlamms par contre, gardent pratiquement la même proportion (en moyenne 43%) dans l'ensemble du minéral.

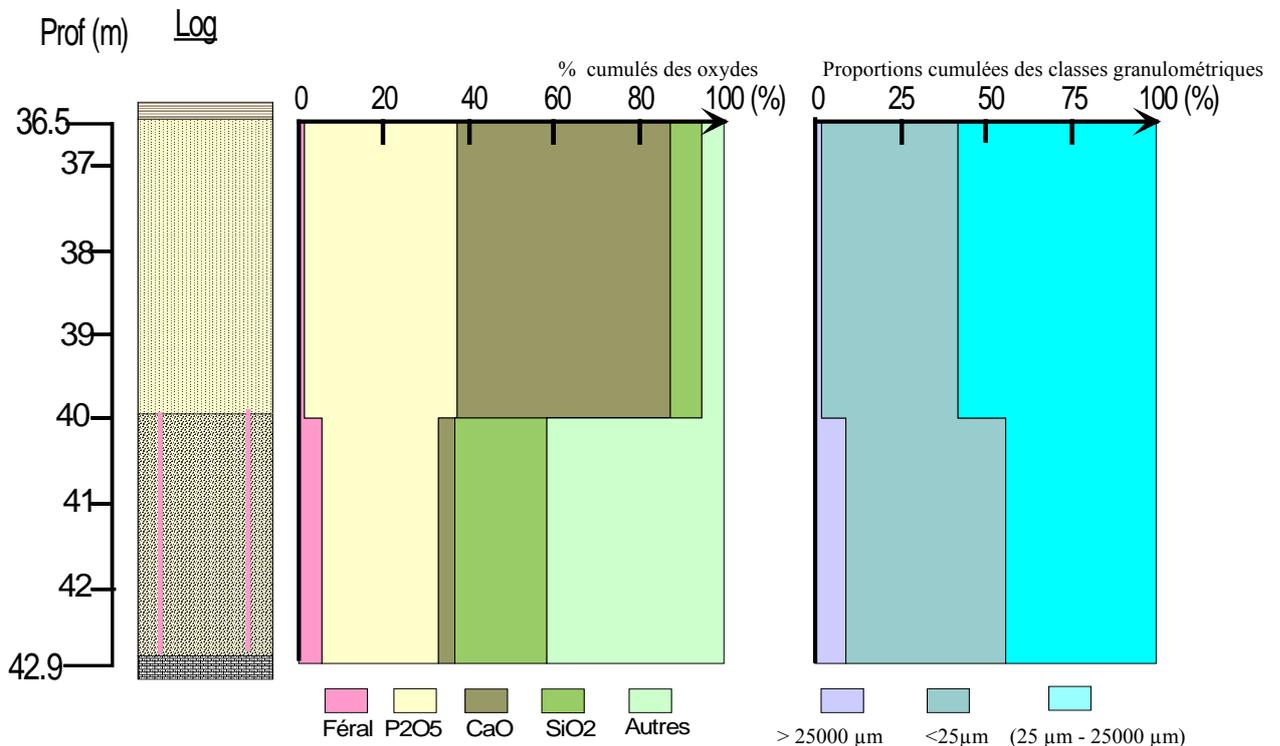


Figure 19 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EELL

5.d) Sondage 3E2S EULQ (figure 20)

Lithologie : Le minerai traversé par ce sondage est presque entièrement hétérogène avec divers faciès, entre autres des sédiments phosphatés généralement altérés ou présentant des indurations. Un très faible passage de phosphate homogène est noté au sein du minerai hétérogène. L'épaisseur de la couche est d'environ 4.5 m.

Chimie : Les teneurs en « feral » sont variables d'un faciès à l'autre avec des valeurs de f globalement élevées sauf au niveau du sommet, où f est d'environ 1.8. Les proportions de la silice sont très réduites et les valeurs les plus grandes sont obtenues dans les niveaux phosphatés les plus féraux. L'ensemble P_2O_5 et CaO garde une proportion supérieure à 50% partout dans le minerai.

Granulométrie : La fraction fine est plus importante dans le minerai féraux non induré, dans les parties indurées (vers le mur) elle est plutôt dominée par les rejets qui représentent environ 45% du global. L'alimentation est, partout dans le minerai, dominante.

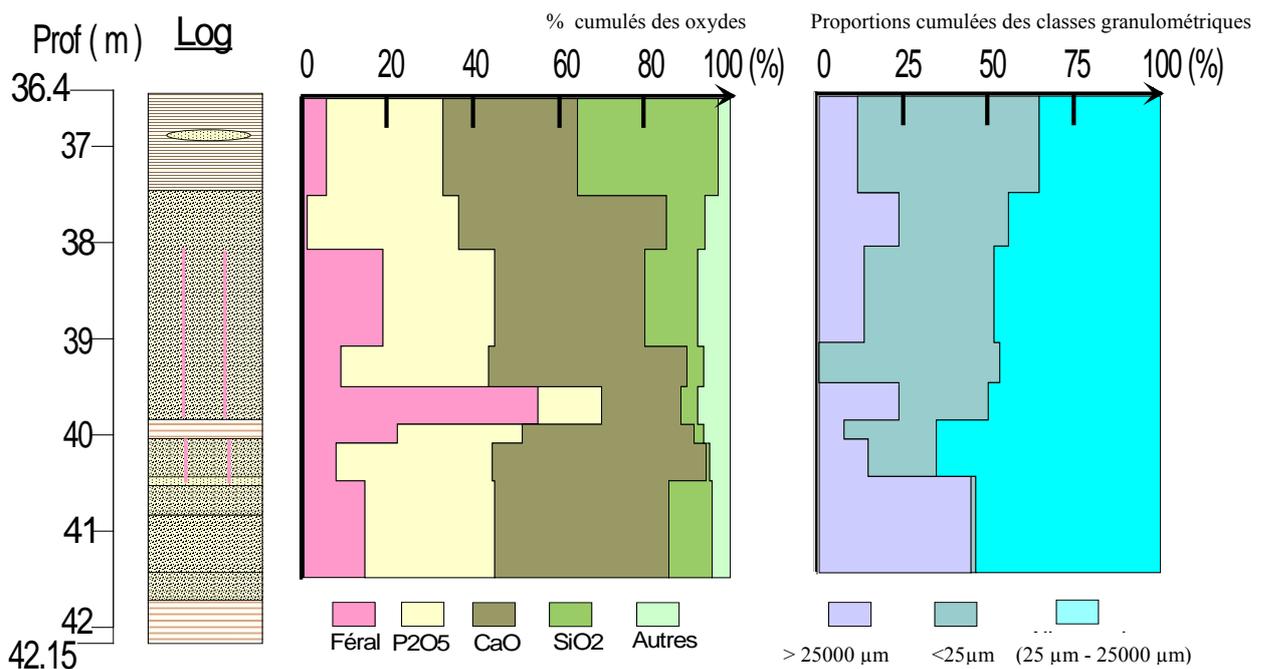


Figure 20 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EULQ

5.e) Sondage 3E2S AIQL (figure 21)

Lithologie : La couche utile a une épaisseur de 5 m et comprend du sommet à la base :

- un minerai homogène avec quelques rares silicifications,

- du phosphate de chaux peu argileux et à nombreux bancs et galets de silex formant ainsi un minerai hétérogène,
- du phosphate de chaux peu argileux mais cette fois ci dépourvu de silex.

A la base (sur l'attapulgite marneuse) il y a des calcaires marneux massifs. En plus, du minerai formé de phosphates de chaux et de microphosphatite est signalé sur les argiles du toit.

Chimie : Aucun niveau de phosphate féraléux n'est révélé dans la couche utile, par contre on a partout du minerai très enrichi en P_2O_5 et en CaO .

Les fortes teneurs en silice sont notées dans les niveaux renfermant des galets de silex. Ailleurs la silice est faiblement représentée, notamment dans le minerai hétérogène très pauvre en « feral ».

Granulométrie : La proportion des différentes tranches granulométriques varie suivant les faciès : les rejets sont plus abondants dans les faciès renfermant du silex que dans les phosphates argileux et dans la microphosphatite ; les schlamms vis versa.

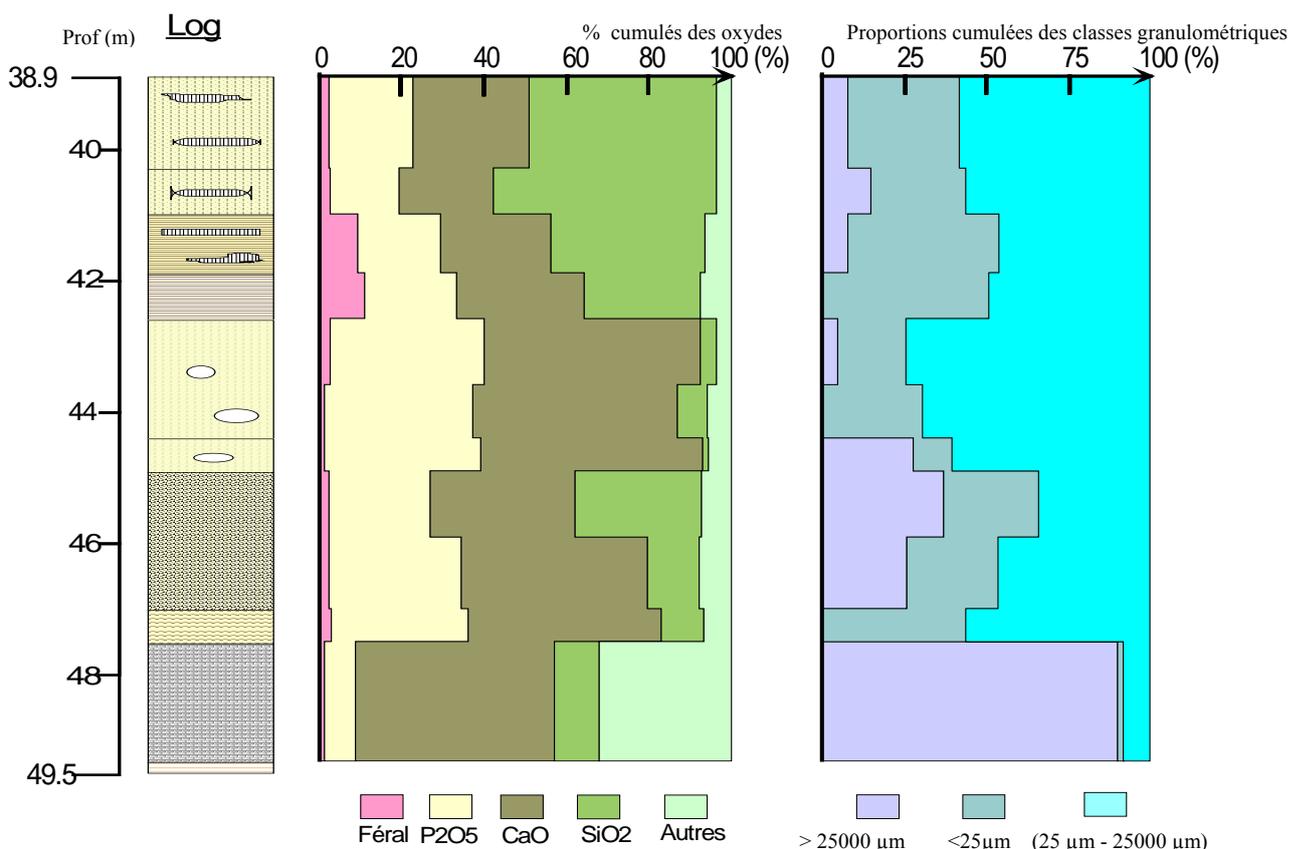


Figure 21 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S AIQL

5.f) Sondage 3E2S EYBB (figure 22)

Lithologie : Nous avons une couche utile épaisse de 4 m, formée par du minerai hétérogène argileux. D'ailleurs c'est le seul niveau phosphaté rencontré dans ce sondage.

Chimie : Le minerai, entièrement féraleux ($f=7.45$) est formé de phosphate enrichi en CaO. La teneur en silice comparée à celle de l'ensemble P_2O_5 et CaO, est relativement faible.

Granulométrie : Le minerai est en majorité formé d'éléments fins (plus de 44%) ; la proportion des rejets ne dépassant pas 10%.

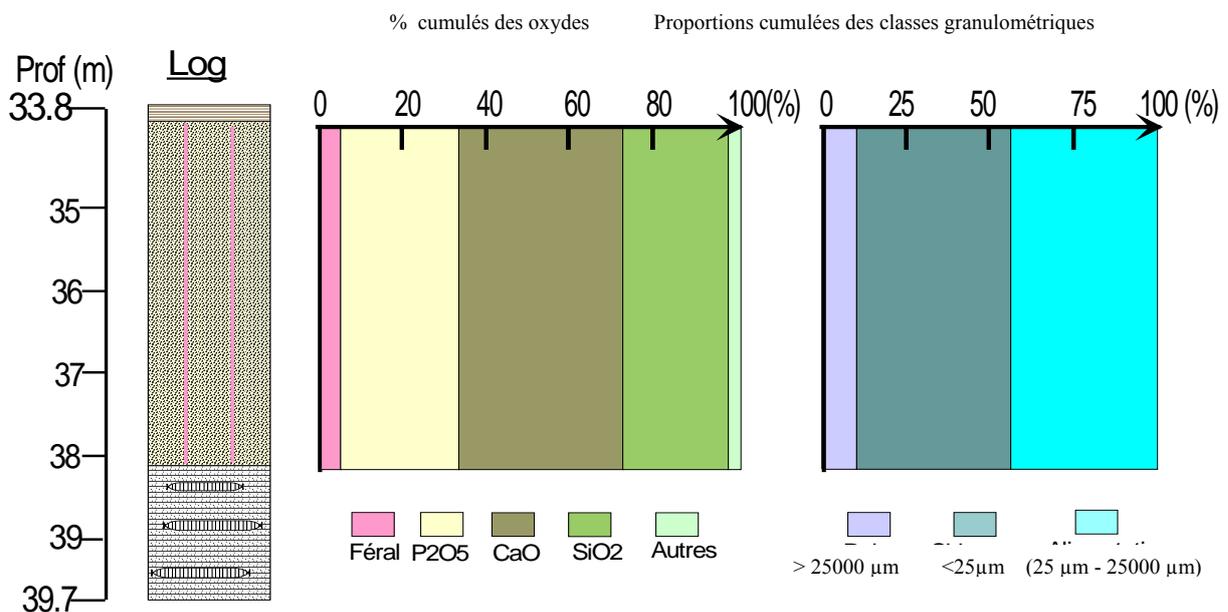


Figure 22 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EYBB

5.g) Sondage 3E2S AOGG (figure 23)

Lithologie : Ce sondage montre une couche utile d'une épaisseur de 5 m, avec principalement :

- du phosphate de chaux homogène au sommet,
- des argiles phosphatés passant à du phosphate très argileux,
- du phosphate de chaux peu argileux
- du minerai hétérogène, qui représente la base.

Outre cette couche utile, il y a du minerai hors couche très hétérogène, avec beaucoup de bancs et galets de silex à daucines.

Chimie : Le P_2O_5 et le CaO ont une proportion faible comparée à la teneur en silice dont la moyenne dépasse 50%. Le « ferral » est partout présent, avec une faible signature vers la base.

Granulométrie : Malgré l'importance des argiles, les rejets occupent une part non négligeable. Les schlamms sont également fréquents surtout dans les niveaux les plus ferrals, ce qui réduit la proportion de l'alimentation dans ces niveaux.

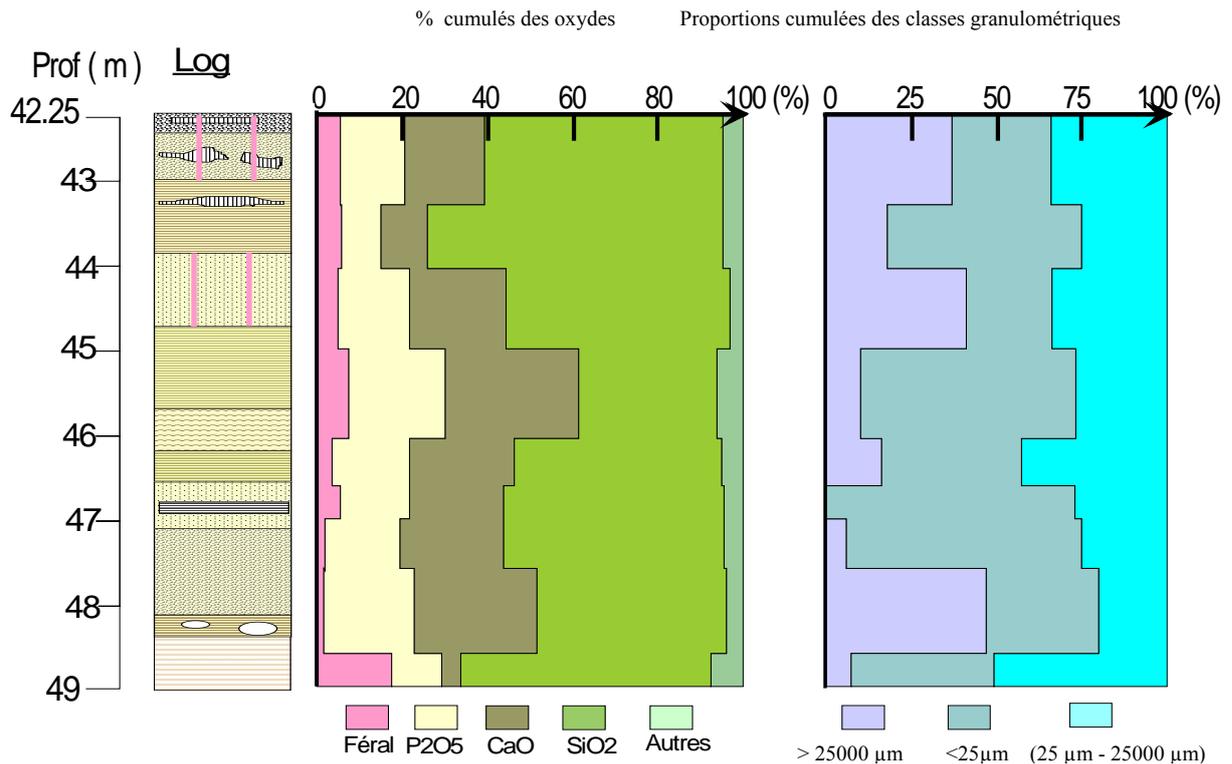


Figure 23 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S AOGG

II.3) CORRELATIONS ENTRE LES SONDAGES

Ces corrélations sont faites suivant sept (5) directions (voir **figure 24**). A travers ces corrélations nous essayerons de dégager l'aspect morphologique de la couche phosphatée (évolution d'épaisseur), de voir aussi l'évolution latérale des faciès ; ainsi le comportement des oxydes qui les composent.

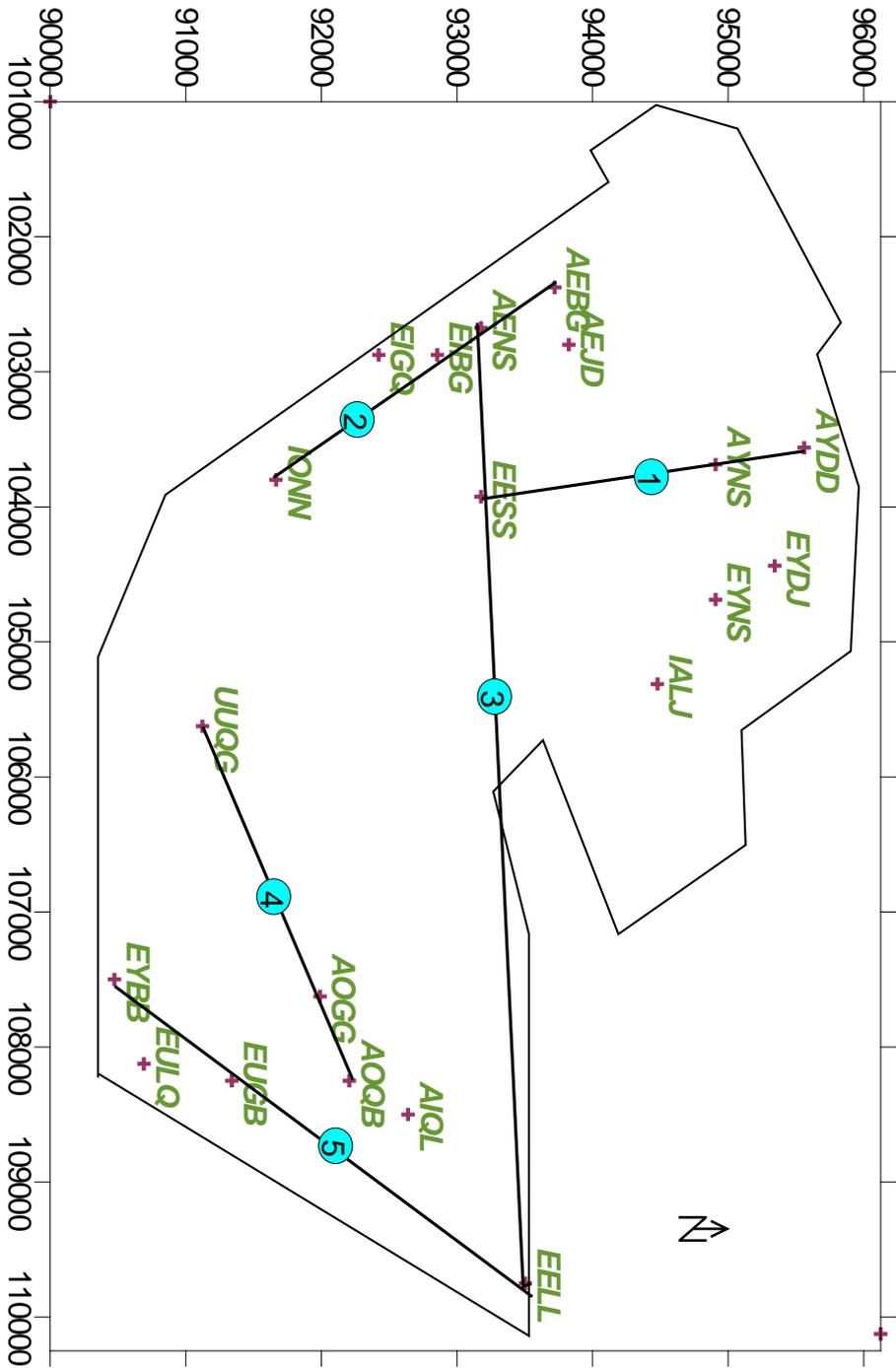


Figure 24: Les différentes directions de corrélation

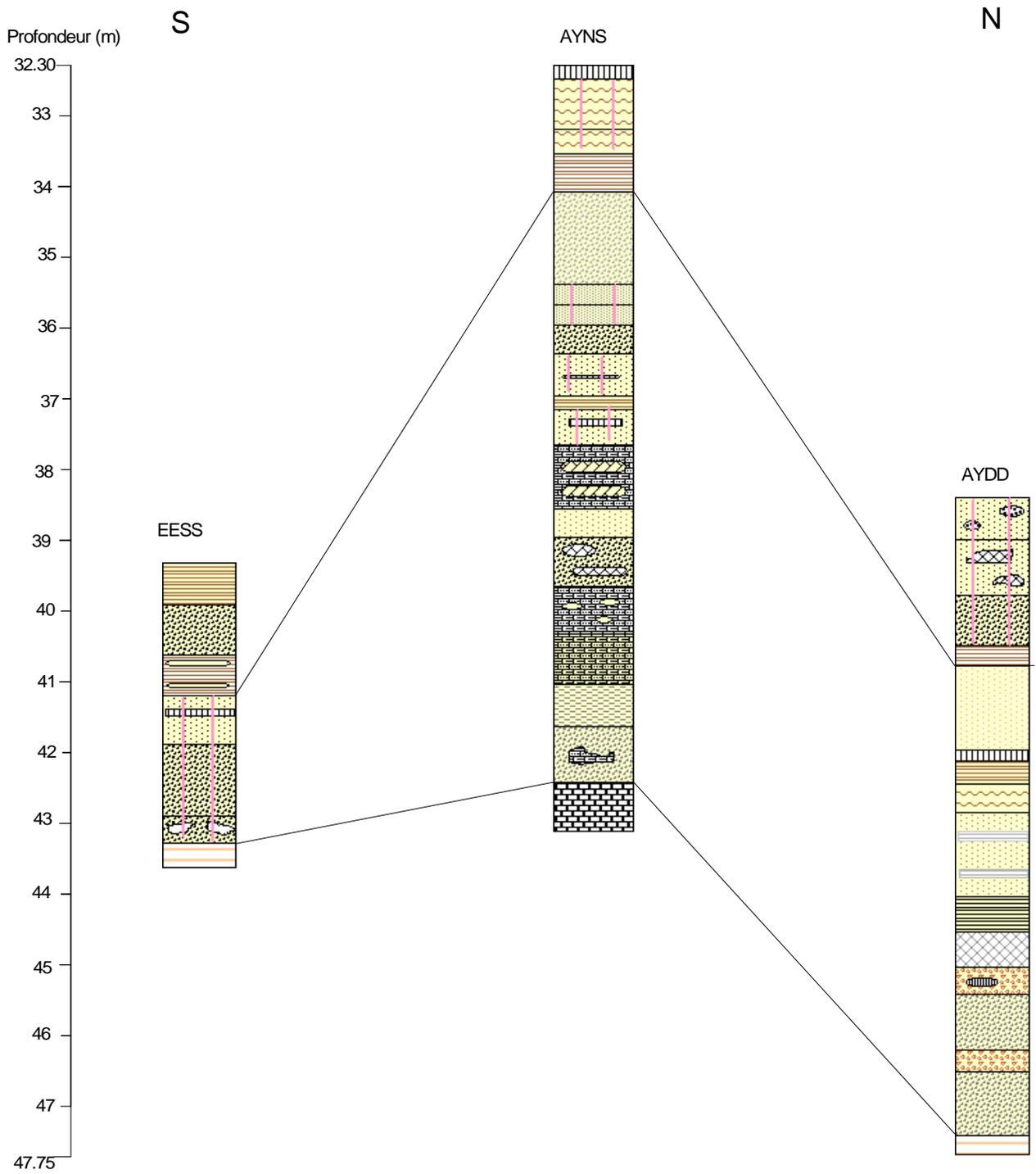


Figure 25 : Corrélation entre les sondages 2E2S EESS, 2E2S AYNS et 2E1S AYYD
 (direction 1 : Sud Nord ; secteur ouest)

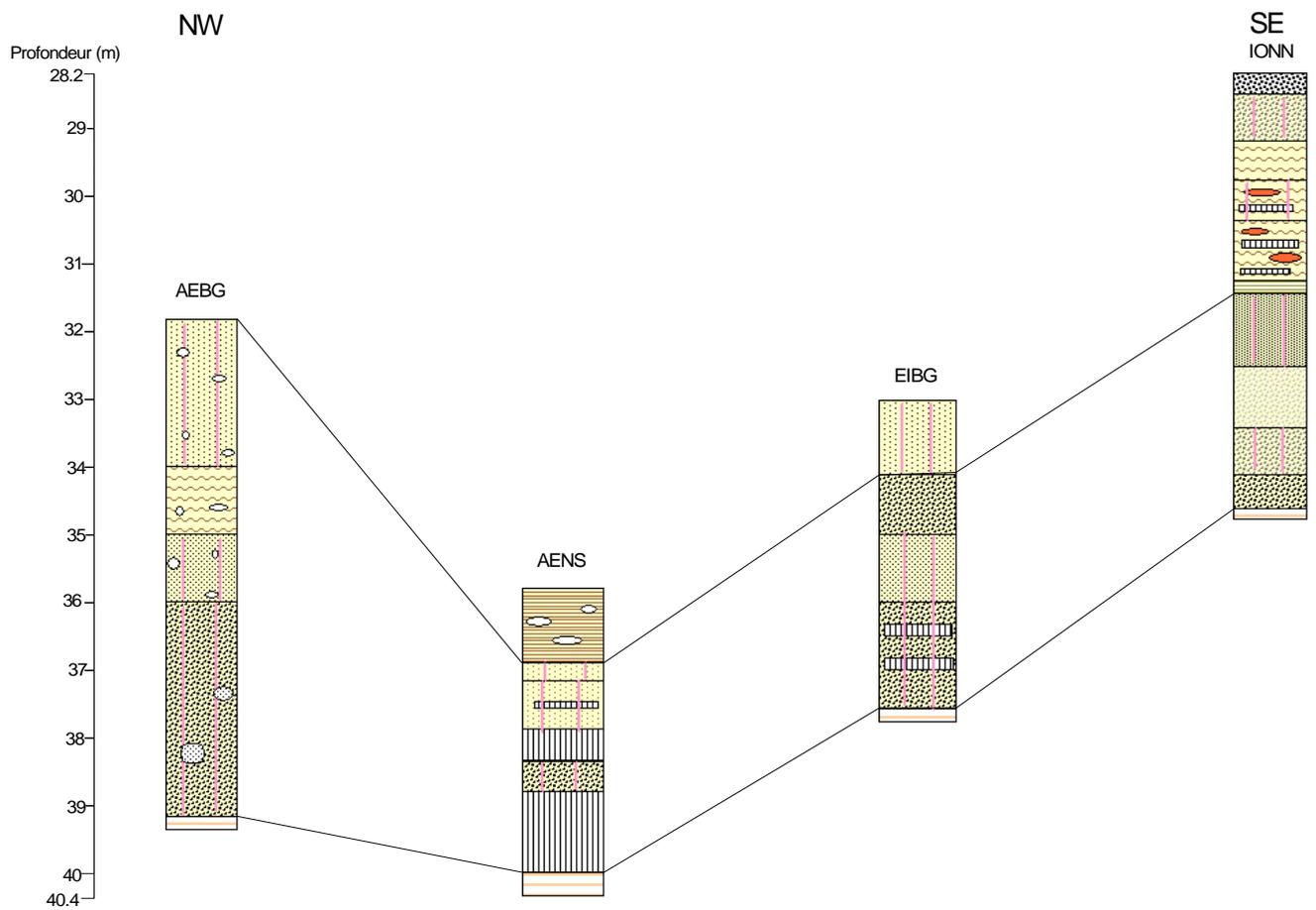


Figure 26 : Corrélation entre les sondages 2E2S AEBG, 2E2S AENS, 2E2S EIGB et 2E2S IONN
 (direction 2 : NW SE ; secteurs ouest et centre sud)

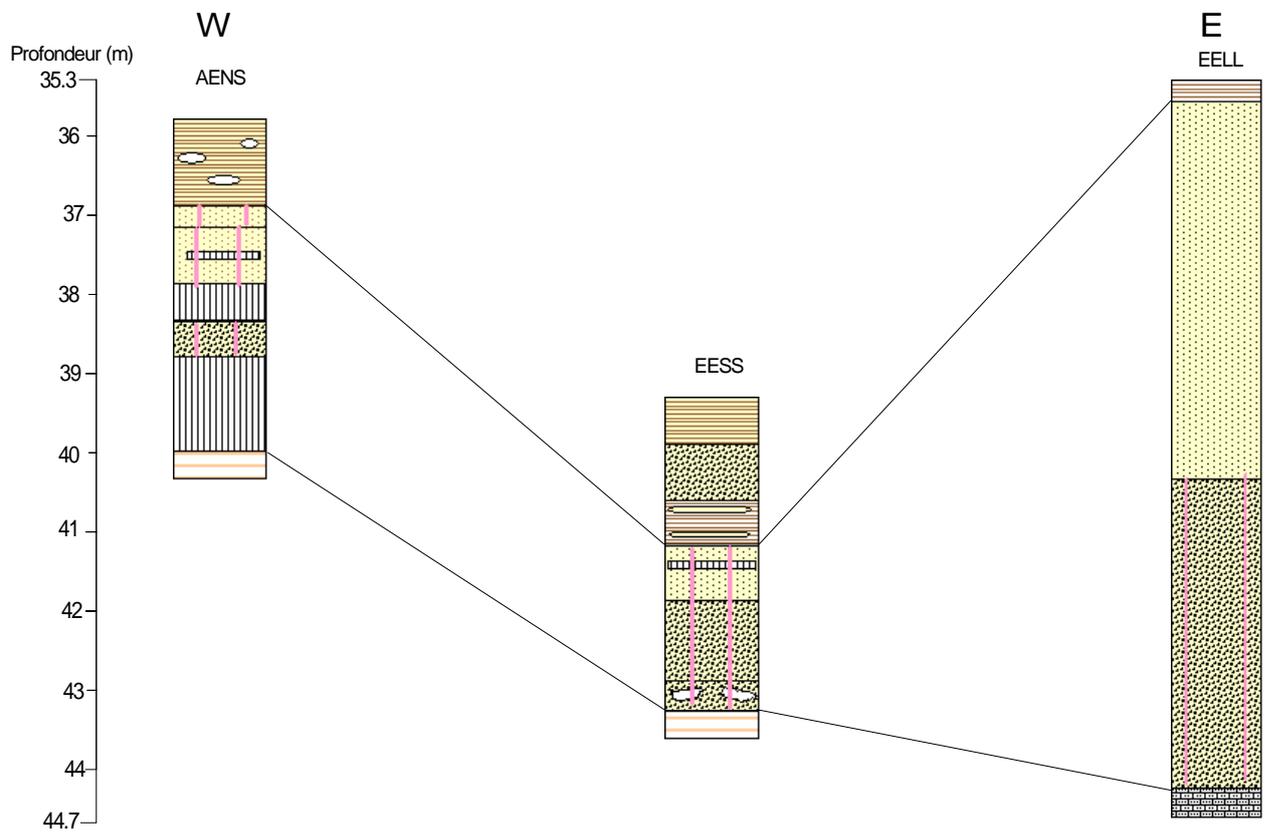


Figure 27 : Corrélation entre les sondages 2E2S AENS, 2E2S EESS et 3E2S EELL
 (direction 3 : Ouest Est : secteurs ouest, centres et est)

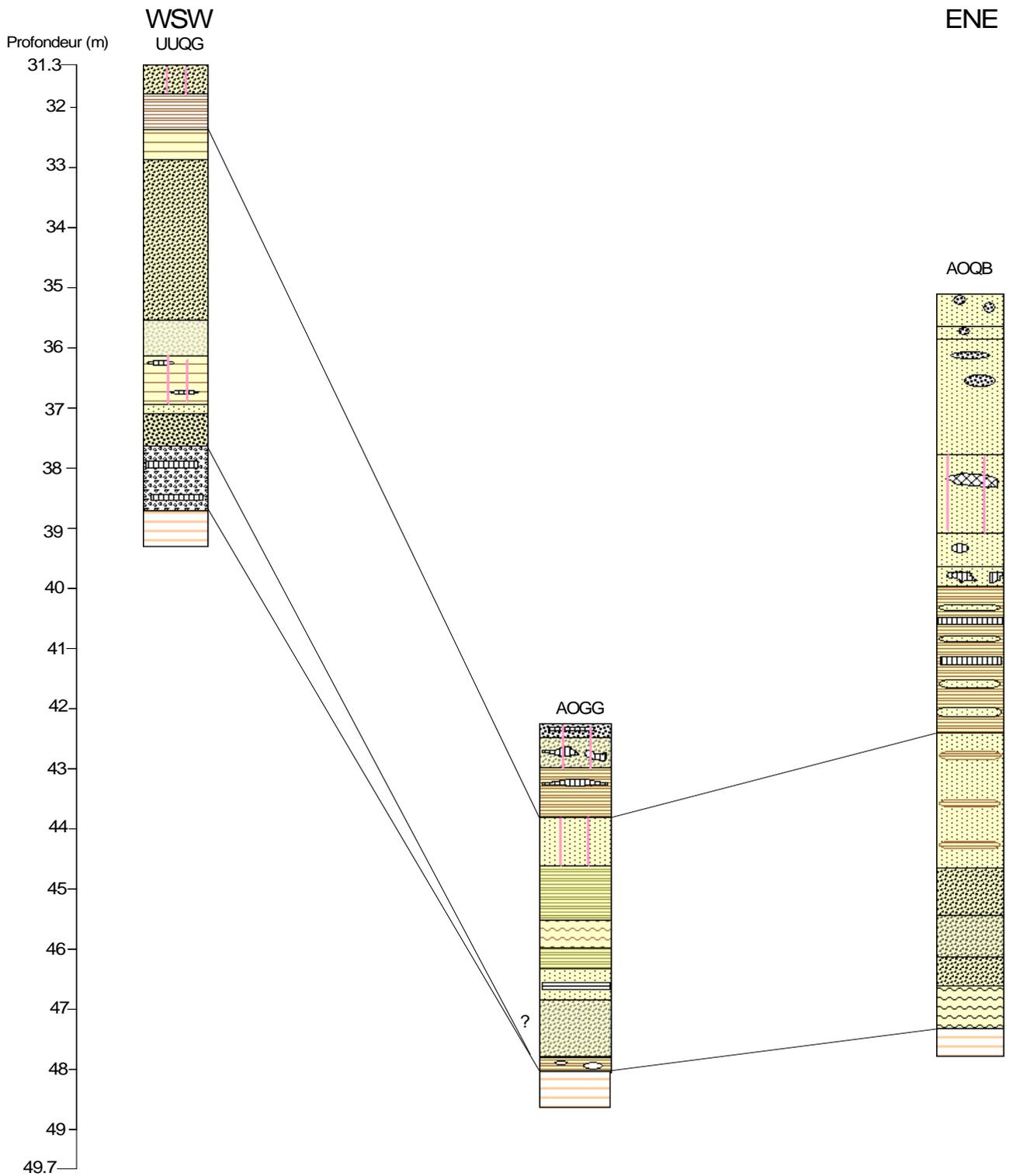


Figure 28 : Corrélation entre les sondages 2E2S UUQG, 3E2S AOGG et 3E2S AOQB
 (direction 4 :WSW ENE ; secteurs centre est et est)

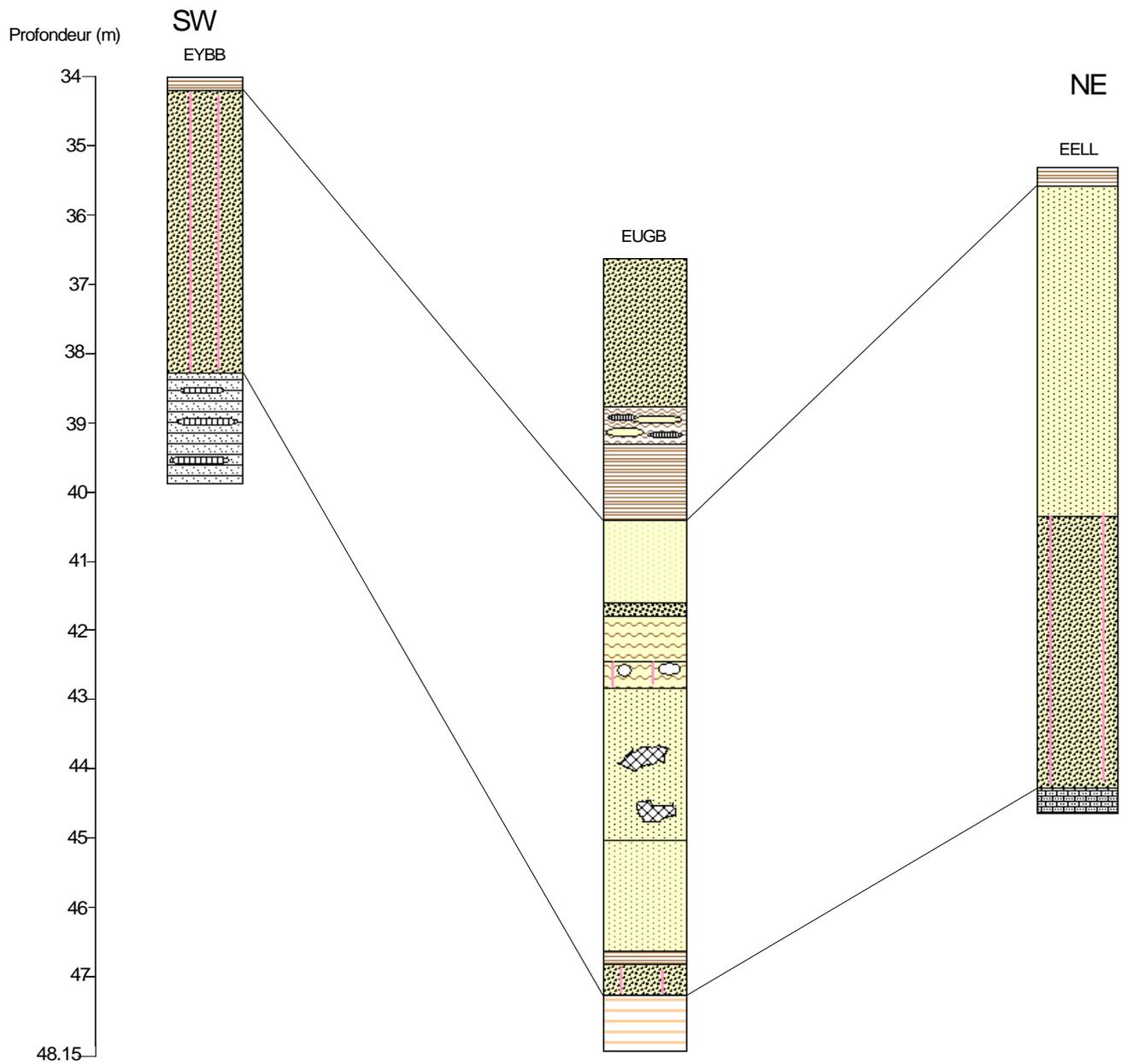


Figure 29 : Corrélation entre les sondages 3E2S EYBB, 3E2S EUGB et 3E2S EELL
(direction 5 :SW NE ; secteur est)

Les différentes corrélations réalisées montrent :

➤ Des variations de l'aspect morphologique de la couche phosphatée quelque soit la direction considérée.

En effet, nous constatons que d'un sondage à l'autre, la côte du toit est très variable (entre 28m et 34m). Le mur également n'est pas constant, sa profondeur varie entre 39m et 47m. Par endroit on note un resserrement ou un écartement du toit et du mur qui se traduit respectivement par un amincissement ou un épaissement de la couche phosphatée.

On constate globalement :

▪ Dans le secteur Ouest du panneau surtout dans sa partie Nord une couche phosphatée d'épaisseur moyenne toujours plus importante. Dans la partie Sud de ce même secteur on note un soulèvement progressif du mur et du toit en direction du secteur Centre Sud ; dans cette partie le minerai garde pratiquement la même épaisseur. Cependant, sont observés çà et là, quelques endroits où la couche est déprimée (au voisinage du sondage 2E2S AENS).

▪ Dans la partie Sud des secteurs Centre Sud et centre Est le minerai n'est pas profond et son épaisseur est moins importante que dans le secteur Ouest ; en raison d'un mur qui est trop soulevé. Cette situation est également notée en certains endroits du secteur Centre Nord au voisinage du sondage 2E1S EYDJ.

▪ Dans le secteur Est (district 3E2S) on assiste à un enfoncement et épaissement progressifs de la couche suivant la direction Sud Nord.

▪ L'évolution de l'épaisseur de la couche phosphatée suivant la direction 3 indique un minerai abondant dans les secteurs Ouest et Est, par contre dans les secteurs centres il a une faible puissance.

➤ Des variations latérales de faciès.

En effet d'un sondage formé uniquement de phosphate homogène on peut passer à un autre constitué par du minerai hétérogène ou composite. On peut même parfois assister à une calcification (formation de bancs de calcaire) ou une silicification (formation de silex) de la couche.

➤ Des variations sont également notées dans la teneur en éléments majeurs. Ainsi le « feral » qui varie de la même manière que le SiO_2 , est beaucoup plus représenté dans le secteur Est que dans les autres secteurs. Le CaO est plus abondant dans la partie calciteuse située dans le secteur Ouest (district 1E1S).

CONCLUSION

L'exploitation des rapports de sondage nous a permis de constater globalement que :

- sur le plan lithologique, la série phosphatée de Tobène présente les mêmes faciès que celles déjà définies dans les autres panneaux du gîte de Taïba. La succession des faciès aussi reste pratiquement la même.
- sur le plan géochimique, les analyses ont montré la prépondérance des oxydes, tels que P_2O_5 , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , et Fe_2O_3 dans les phosphates. Ces oxydes portent le nom de majeurs. Fe_2O_3 et Al_2O_3 sont les majeurs les moins abondants dans les faciès, ils varient de la même manière que SiO_2 . Concernant les autres majeurs, nous avons constaté un antagonisme entre CaO et P_2O_5 d'une part et SiO_2 d'autre part. De ces analyses nous avons pu percevoir une corrélation négative entre le « feral » et le P_2O_5 .
- concernant la granulométrie, la distribution dépend d'une part de la nature des faciès, et d'autre part de leur composition chimique.
- il y a des variations latérales de faciès, ainsi que des variations de la composition chimique et granulométrique des sédiments.

CHAPITRE III : SYNTHESE SUR LES PHOSPHATES FERALEUX

1- ORIGINE DU « FERAL » ET FORMATION DE PHOSPHATES FERALEUX

2- LOCALISATION DU PHENOMENE DE FERALLITISATION

**3- COMPARAISON DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE ENTRE PHOSPHATE
FERALEUX ET PHOSPHATE NON FERALEUX**

SYNTHESE SUR LES PHOSPHATES FERALEUX

INTRODUCTION

La ferallitisation de la couche phosphatée (formation de phosphates féraux, c'est-à-dire de phosphates très enrichis en oxydes de fer et d'aluminium) n'est pas synchrone au dépôt des sédiments phosphatés. Dans certains cas elle est intervenue secondairement et de manière sporadique lors de la diagenèse, dans d'autres elle s'est réalisée tardivement et de manière localisée.

1) ORIGINE DU « FERAL » ET FORMATION DE PHOSPHATES FERALEUX

La ferallitisation est un phénomène dont le principal précurseur est l'altération superficielle. Elle correspond à la formation de phosphates aluminocalciques avec une forte concentration en oxydes de fer. On l'observe plus fréquemment au voisinage des passages sableux sous l'affaissement de la couche phosphatée surtout lorsque ont disparu les argiles bariolées, et en bordure du gisement.

La disparition des argiles du toit est surtout liée à une altération de type continental consécutive à l'émersion des dépôts ; émersion résultant des mouvements tectoniques qui ont affecté la zone et qui ont occasionné d'importants changements morphologiques et structuraux des couches sédimentaires surtout au toit de la couche phosphatée (Atger, 1970).

L'altération des argiles bariolées libère leurs composants principaux : Al_2O_3 et Fe_2O_3 , qui sous l'effet des circulations d'eau (eau de gravité) de la nappe sont mis en solution et vont migrer à travers le profil.

Le « feral » peut également provenir du lessivage du niveau silico-ferrallitique (complexe résultant de l'altération et du remaniement d'un ancien niveau de phosphate de chaux) sus-jacent généralement riche en minéraux aluminés (augelite, wavellite) et en composés ferrugineux, lorsque celui-ci repose directement sur le minerai et surtout lorsqu'il y a communication entre les sables de couche et les sables de recouvrement.

Dans tous les cas le « feral » est pris dans des solutions qui percolent à travers les profils. Les circulations d'eaux provoquent en même temps la dissolution des grains phosphatés où le P_2O_5 et le CaO sont partiellement remplacés par le Al_2O_3 et le Fe_2O_3 . Lorsque ces derniers occupent une proportion importante dans les grains on commence à parler de phosphates féraux.

La percolation des solutions est souvent interrompue par des couches d'argiles, et dans de telles situations le « feral » se concentre à leur voisinage formant ainsi des encroûtements ou indurations.

A la lumière de ce qui précède nous pouvons estimer que la férallitisation dépend principalement des faciès, mais nous ne pouvons pas négliger l'influence de morphologie du terrain sur ce phénomène

2) LOCALISATION DU PHENOMENE DE FERALLITISATION

L'analyse des rapports de sondages, et des observations de terrain (fronts de taille, affleurements) ont montré que la ferallitisation ne s'est pas réalisée de manière uniforme, ni à l'échelle des couches, ni à l'échelle sectorielle, encore moins dans l'ensemble du panneau .En effet,

- à l'échelle du panneau, le secteur Est connaît une plus forte concentration en « feral » que les autres secteurs (voir **figure 30**). Cette partie du panneau présente en effet de légers vallonements au niveau desquels se font majoritairement les circulations d'eau, responsables de la collecte, du drainage, et de la concentration des oxydes, suivis de leur redistribution à travers le profil. Cette redistribution étant à l'origine de l'importance de la teneur en « féral » dans certains niveaux de la couche phosphatée. Cependant dans aucune direction on ne peut définir un gradient de l'intensité de la ferallitisation, à cause de la grande variabilité du phénomène dans le panneau.
- à l'échelle des couches, les niveaux ferallitisés se distinguent des autres par le fait qu'ils ont le plus souvent un aspect rouille, et induré. L'observation de ces niveaux a permis de comprendre que le terme de « feral » englobe plusieurs variétés de faciès, dont la latérite, les grès ferrugineux, et le phosphate d'alumine. Les sondages occultés montrent que le « feral » semble se concentrer préférentiellement au dessus des passages argileux ; cependant il existe des cas où on a une véritable ferallitisation en pleine couche phosphatée en l'absence de niveaux argileux considérables.
- à l'échelle de la roche, les analyses granulo-chimiques de quelques sondages ont permis de constater que la teneur en « feral » pour un global donné, est variable suivant les tranches granulométriques. La tendance générale notée est que le « feral » est beaucoup plus associé aux particules fines qu'aux fractions grossière et moyenne. Cette association entre le « feral » et les particules de plus en plus fines est confirmée par le fait qu'au sein même des schlamms

on note une élévation de la teneur en « féral » au fur et à mesure que la taille des grains diminue comme on le constate dans les **tableaux 1** et **2**, illustrés par les **figures 31**, et **32**. En effet sa forme crypto cristalline fait que son adhésion avec les schlamms soit beaucoup plus facile. Ainsi le minerai de phosphate féraleux est le plus souvent mêlé à une importante proportion de particules fines.

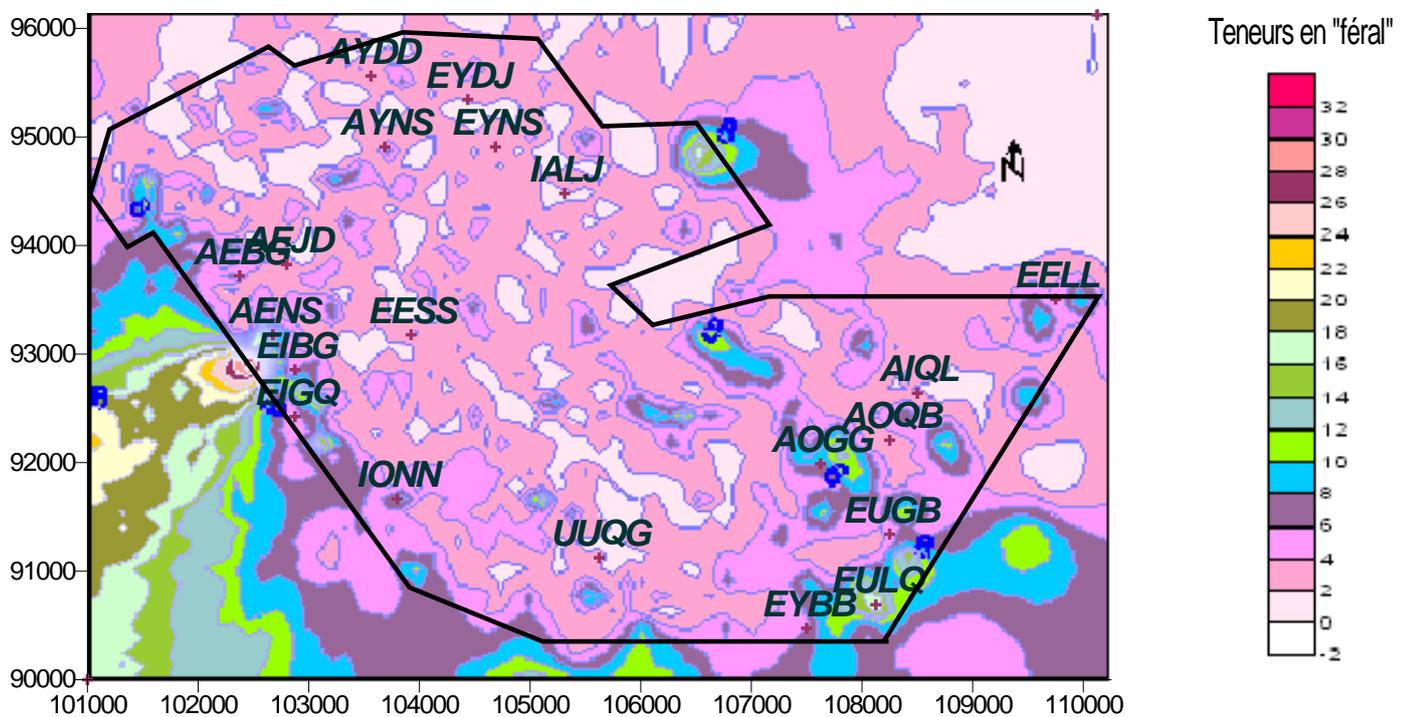


Figure 30 : Répartition du "féral" dans le panneau de Tobène

Fractions analysées	Proportions des éléments chimiques				
	P2O5	SiO2	Féral	CaO	Autres
-25µm (Global schlamms)	23,3	25	12	32,9	6,8
+10µ--25µ	27,4	18	9,3	38,1	7,2
-10µm	21,5	32,8	13,2	30,6	1,9

Tableau 1 : Rapport de l'analyse granulo-chimique des schlamms du sondage 2E1S EYDJ

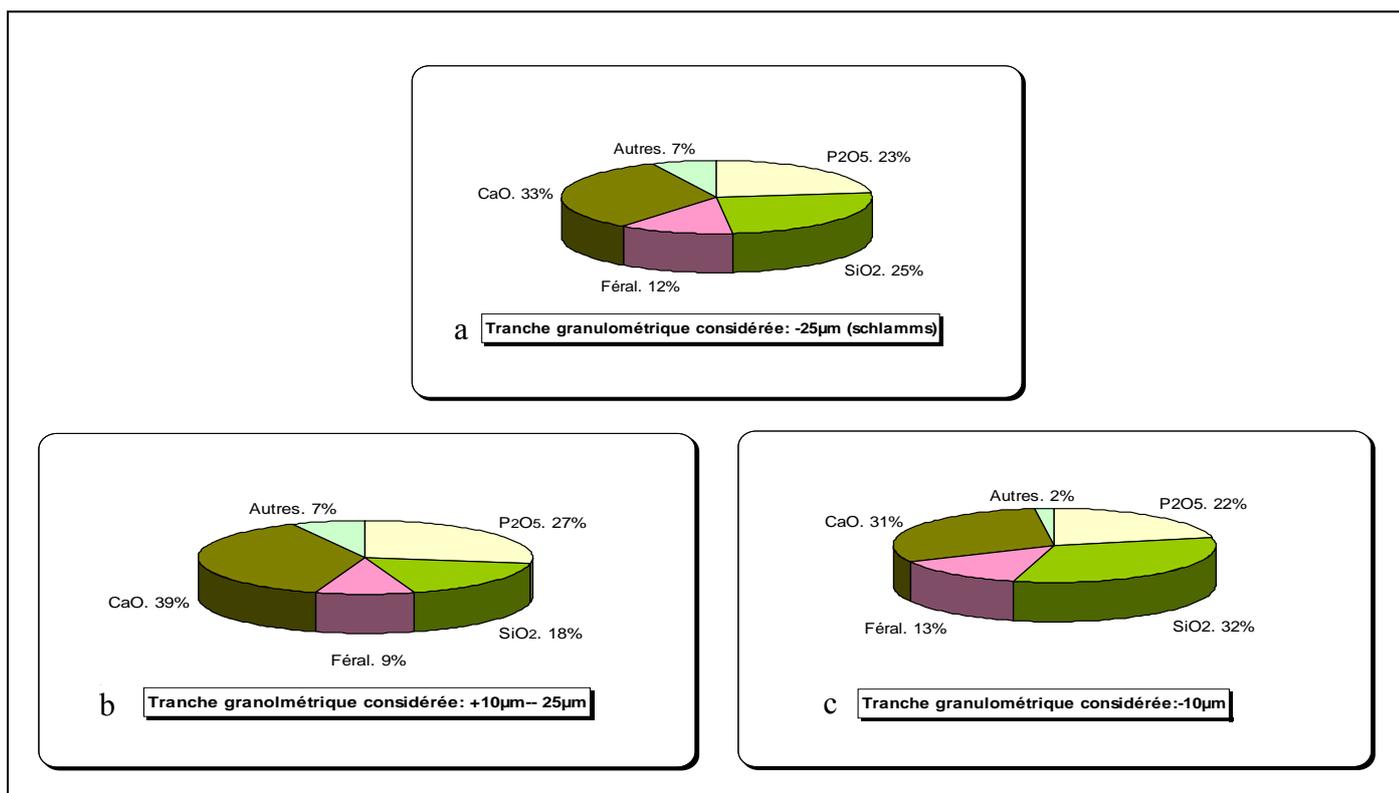


Figure 31 : Analyse granulo-chimique des schlamms d'un échantillon du sondage 2E1S EYDJ

Fractions analysées	Proportions des éléments chimiques				
	P2O5	SiO2	Féral	CaO	Autres
-25µm (Global schlamms)	25,67	18,07	9,64	33	13,62
+10µ--25µ	33,42	7,19	3,78	43,8	11,81
-10µm	32,4	22,63	12,16	29,39	3,42

Tableau 2 : Rapport de l'analyse granulo-chimique des schlamms du sondage 2E2S

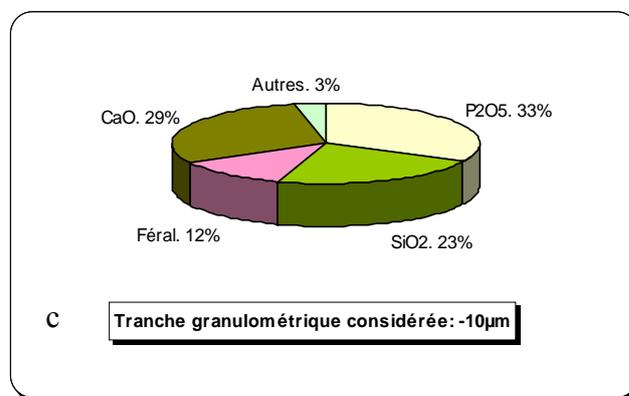
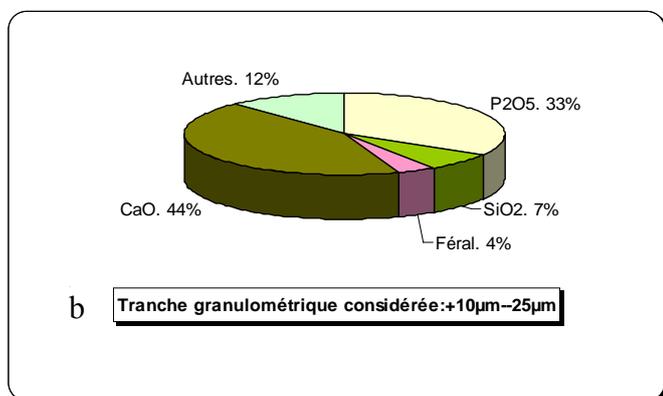
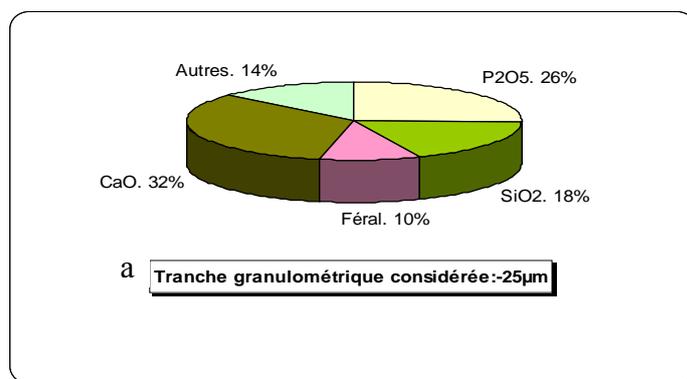


Figure 32: Analyse granulo-chimique des schlamms d'un échantillon du sondage 2E2S IALJ

3) COMPARAISON DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE ENTRE PHOSPHATE

FERALEUX ET PHOSPHATE NON FERALEUX : tableau 3 et tableau 4

	Composition granulométrique (%)			Composition chimique (%)		
	<25 μ	25 μ -25000 μ	>25000 μ	P ₂ O ₅ et CaO	SiO ₂	"Feral"
Phosphate homogène non féraleux 2E2S EIGQ (43.5 m – 44.2 m)	41	40	19	85	7	1.3
Phosphate homogène féraleux 2E2S AENS (37 m-37.3 m)	39	55	6	13.2	59	20.3

Tableau 3 : Comparaison de la composition granulométrique et chimique entre le phosphate homogène féraleux et le phosphate homogène non féraleux

	Composition granulométrique (%)			Composition chimique (%)		
	<25 μ	25 μ -25000 μ	>25000 μ	P ₂ O ₅ et CaO	SiO ₂	"Feral"
Phosphate hétérogène non féraleux 3E2S EULQ (37.4 m -37.9 m)	32	45	23	83.8	9	1.5
Phosphate hétérogène féraleux 3E2S EULQ (37.9 m - 38.9 m)	38	49	13	61.1	12.5	18.8

Tableau 4 : Comparaison de la composition granulométrique et chimique entre le phosphate hétérogène féraleux et le phosphate hétérogène non féraleux

- Sur le plan granulométrique on constate que les particules fines (diamètre inférieur à 25000 μ m) sont toujours plus abondantes dans le phosphate féraleux, qu'il s'agisse de phosphate homogène ou hétérogène. La **figure 33** montre bien cet état de fait.
- Sur le plan chimique on constate que les variations de la teneur des oxydes entre phosphate féraleux et phosphate non féraleux suivent la même logique aussi bien dans le minerai homogène que dans le minerai hétérogène. En effet l'existence de phosphate féraleux est toujours corroborée par l'augmentation de la teneur en SiO₂ et la baisse de l'ensemble P₂O₅ et CaO dans le même faciès (voir **figure 33**).

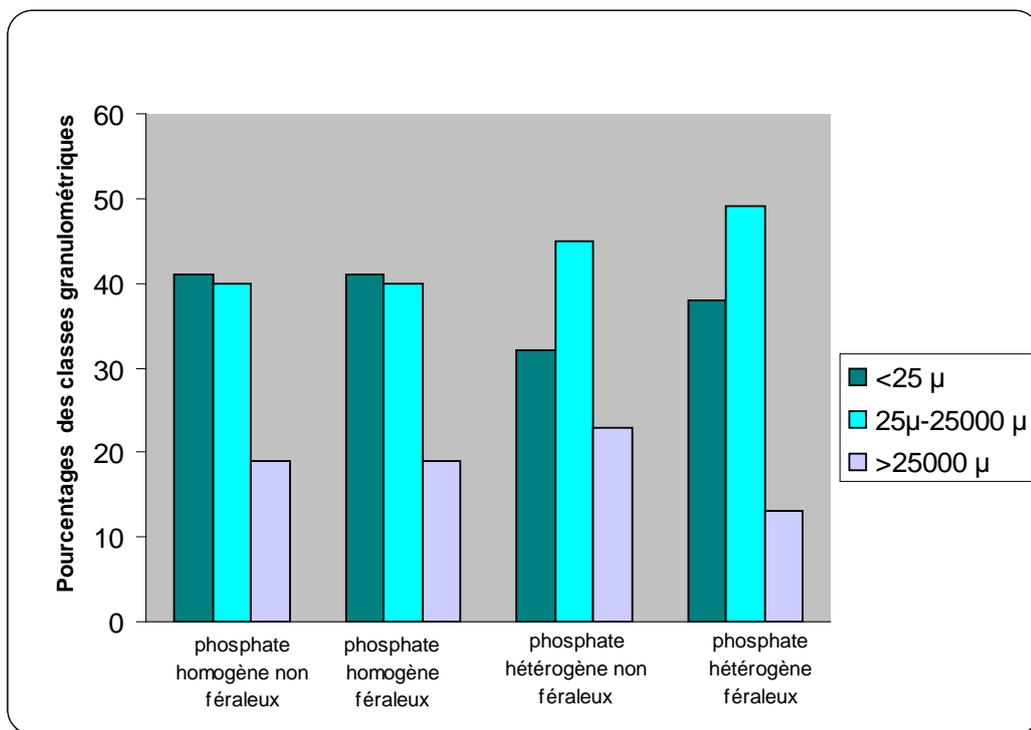


Figure 33 : Variations du pourcentage des classes granulométriques entre phosphates féràleux et non féràleux

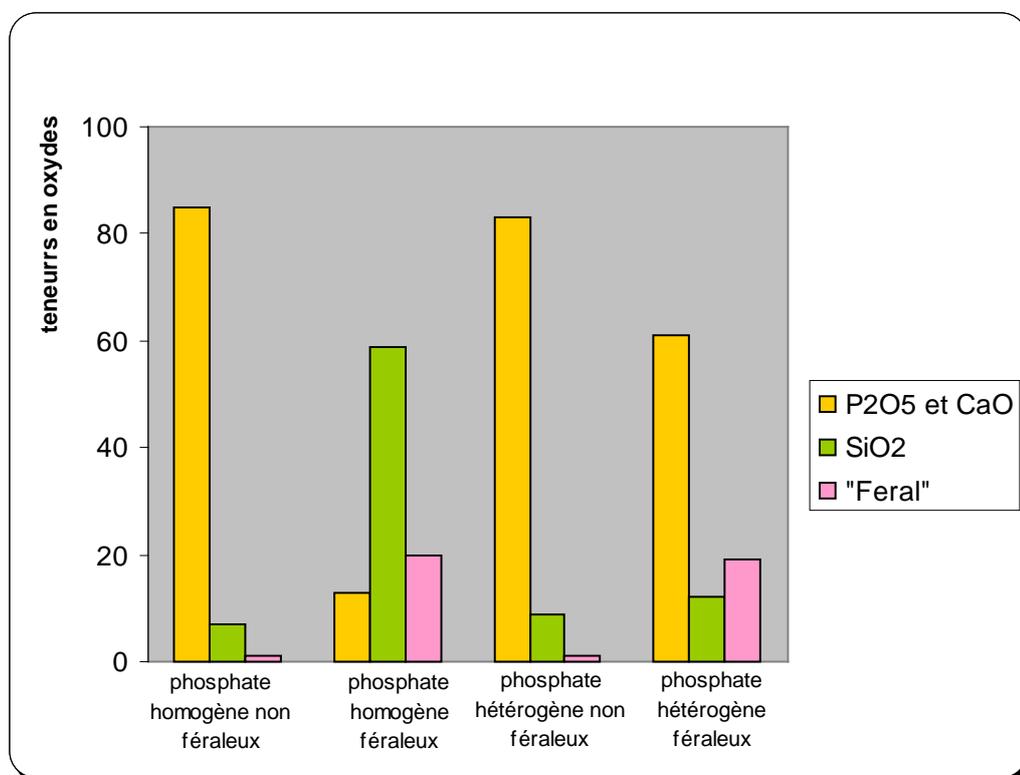


Figure 34 : variations de la teneur des oxydes entre phosphates féràleux et non féràleux

CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous venons de mener sur les phosphates feraléux de Tobène nous a amenés à retenir que :

- les processus responsables de la formation de tels phosphates ont intervenu postérieurement à la mise en place du minerai. Ces processus sont consécutifs à des phénomènes supergènes dominés par l'altération, suivis de phénomènes hydrogéologiques qui ont concentré le « feral » surtout au voisinage du sommet du minerai, dans les zones déprimées ou dépourvues d'argiles au toit. Lorsque ces phénomènes sont très accentués, la férallitisation peut même affecter les faciès localisés vers la base.
- Ils correspondent à un faciès dont la répartition tant sur le plan vertical que horizontal connaît d'importantes fluctuations dans l'ensemble du panneau. Cependant leur présence est beaucoup plus marquée dans la partie sommitale du minerai, et il sont plus fréquent dans secteur Est du panneau.
- Il s'agit de phosphates en général appauvris en P_2O_5 , et où le « feral », sous sa forme crypto cristalline, s'associe préférentiellement avec les particules les plus fines (diamètre inférieur à $25 \mu m$) au niveau desquelles il est le plus souvent accompagné de minéraux riches en SiO_2 . Donc ce sont des phosphates avec une bonne part de particules fines, par conséquent à faible rendement.

Ce travail que nous venons de présenter peut être amélioré, mais cela requiert des conditions telles qu'une restriction du cadre d'étude, et une mise en disposition de moyens de recherche. Il permettra ainsi, d'avoir des notions plus claires sur les phosphates feraléux, et par conséquent d'entreprendre une prise en charge plus efficace des problèmes découlant de ces derniers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ATGER M. (1970). Données sur la géologie du gisement de phosphate de Taïba et les gisements d'origine sédimentaire marine. Rapport interne C.S.P.T., 14p.

BICKOUNDOU A.C. (2000). Faciès phosphatés du site de Tobène centre : aspects litho stratigraphique, granulométrique et chimique. Mémoire DEA, UCAD, 66p.

BOUJO A. (1972). Etudes géologiques actualisées et prévisions de réserves. Rapport C.S.P.T., 10p.

FLICOTEAUX R. (1982). Genèse des phosphates alumineux du Sénégal occidental. Etapes et guides de l'altération. Strasbourg, Institut de géologie, Univ. Louis Pasteur de Strasbourg, Mémo. N°67, 229p.

FLICOTEAUX R. et MEDUS J. (1974). Existence d'une lacune entre les termes marins du Paléogène et du Néogène du Sénégal méridional démontrée par les microfaunes et les microflores. Trav. Lab. Scie. Terre, St Jérôme (Marseille) A, 2, (1980), 29p.

GUEYE K. (1993). Etude des phosphates féralieux dans les panneaux II et IV du gisement de Keur Mor FALL : Caractérisation et mécanisme de répartition. Mémo. Ing. Géol. IST. Université Cheikh Anta Diop de Dakar. N° d'ordre 0009.

KEBE M. (1999). Variabilité des litho faciès de transition en contexte calcaire. Exemple du Panneau de Keur Mor Fall (Taïba). Mémo. DEA, UCAD, 78p.

PANNATIER Y. (1995). Etude géologique et géostatistique du gîte de phosphate de Taïba (Sénégal). Thèse Doct. Univ. Lausanne, 209p.

SLANSKYM. (1962). Les problèmes du phosphate au Sénégal.

Rapport B.R.G.M, Dakar, 46 p.

TESSIER F. (1954). Carte géologique de l'A.O.F. au 1/200000, feuille Thiès Ouest. Gouvernement général de l'Afrique occidentale française. Dakar.

TESSIER F., FLICOTEAUX R., LAPPARTIENT J.6R., NAHON D., TRIAT J. M. (1975).

Réforme du concept de "Continental Terminal" dans les bassins côtiers de l'Ouest africain. 9è Congr. Inter. Sédim.; Nice, Thème I, p. 207-212.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation du gîte phosphaté de Taïba (Flicoteaux 1982).....	8
Figure 2 : Synthèse cartographique des données géologiques concernant l’Ouest du Sénégal. La couverture sableuse a été ignorée (Flicoteaux, 1982, modifié).....	10
Figure 3 : Log synthétique de gisement phosphaté de Taïba (Samb, 1993).....	12
Figure 4 : Carte de localisation des sondages d’études.....	18
Figure 5 : Légende lithologique du gisement phosphaté de Tobène.....	19
Figure 6 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S EESS.....	20
Figure 7 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S AENS.....	22
Figure 8 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S AEBG.....	23
Figure 9 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S EIGQ.....	24
Figure 10 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S EIBG.....	25
Figure 11 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S AEJD.....	26
Figure 12 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E1S AYDD.....	28
Figure 13 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E1S AYNS.....	29
Figure 14 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S IONN.....	31
Figure 15 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E2S UUQG.....	32
Figure 16 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 2E1S EYNS.....	33
Figure 17 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S AOQB.....	34
Figure 18 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EUGB.....	35
Figure 19 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EELL.....	36
Figure 20 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EULQ.....	37
Figure 21 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S AIQL.....	38
Figure 22 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S EYBB.....	39
Figure 23 : Analyse lithologique chimique et granulométrique du sondage 3E2S AOGG.....	40
Figure 24 : Les différentes directions de corrélation.....	42
Figure 25 : Corrélation entre les sondages 2E2S EESS, 2E2S AYNS et 2E1S AYYD (Direction 1 : Sud Nord ; secteur ouest).....	43
Figure 26 : Corrélation entre les sondages 2E2S AEBG, 2E2S AENS, 2E2S EIGB et 2E2S IONN (Direction 2 : NW SE ; secteurs ouest et centre sud).....	44
Figure 27 : Corrélation entre les sondages 2E2S AENS, 2E2S EESS et 3E2S EELL (Direction 3 : Ouest Est ; secteurs ouest, centres et est).....	45

Figure 28 : Corrélation entre les sondages 2E2S UUQG, 3E2S AOGG et 3E2S AOQB (Direction 4 : WSW ENE ; secteurs centre est et est).....	46
Figure 29 : Corrélation entre les sondages 3E2S EYBB, 3E2S EUGB et 3E2S EELL (Direction 5 : SW NE ; secteur est).....	47
Figure 30 : Répartition du « feral » dans le panneau de Tobène.....	53
Figure 31 : Analyse granulo-chimique des schlamms d'un échantillon du sondage 2E1S EYDJ.....	54
Figure 32 : Analyse granulo-chimique des schlamms d'un échantillon du sondage 2E2S IALJ.....	55
Figure 33 : Variations du pourcentage des classes granulométriques entre phosphates féraux et non féraux.....	56
Figure 34 : variations de la teneur des oxydes entre phosphates féraux et non féraux.....	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Rapport de l'analyse granulo-chimique des schlamms du sondage 2E1S EYDJ.	54
Tableau 2 : Rapport de l'analyse granulo-chimique des schlamms du sondage 2E2S.....	55
Tableau 3 : Comparaison de la composition granulométrique et chimique entre le phosphate homogène féraleux et le phosphate homogène non féraleux.....	56
Tableau 4 : Comparaison de la composition granulométrique et chimique entre le phosphate hétérogène féraleux et le phosphate hétérogène non féraleux.....	56

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	5
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	7
I.1- SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	7
I.2- CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	7
I-2-1. Généralités	7
I.2.2. Géologie locale du gisement de Taïba	9
a. Aperçu sur la genèse des phosphates.....	9
b. Litho stratigraphie de la série phosphatée de Taïba.....	11
I-2-3. Particularités géologiques du panneau de Tobène.....	11
CHAPITRE II : ETUDE DE QUELQUES SONDAGES DE TOBENE	14
II.1-METHODE D'ETUDE.....	15
II-1-1 Analyse lithologique	15
II-1-2 Analyse granulométrique.....	15
II-1-3 Analyse chimique.....	16
II.2-ETUDE LITHOLOGIQUE, CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE DES SONDAGES.....	17
II-2-1 Secteur Ouest.....	20
a. Sondage 2E2S EESS	
b. Sondage 2E2S AENS	
c. Sondage 2E2S AEBG	
d. Sondage 2E2S EIGQ	
e. Sondage 2E2S EIBG	
f. Sondage 2E2S AEJD	
g. Sondage 2E1S AYDD	
h. Sondage 2E1S AYNS	
II-2-2 Secteur Centre Sud.....	30
a. Sondage 2E2S IONN	
II-2-3 Secteur Centre Est.....	31
a. Sondage 2E2S UUQG	

II-2-4 Secteur Centre Nord.....	32
a. Sondage 2E1S EYNS	
II-2-5 Secteur Est.....	33
a. Sondage 3E2S AOQB	
b. Sondage 3E2S EUGB	
c. Sondage 3E2S EELL	
d. Sondage 3E2S EULQ	
e. Sondage 3E2S AIQL	
f. Sondage 3E2S EYBB	
g. Sondage 3E2S AOGG	
II.3-CORRELATIONS ENTRE LES SONDEGES.....	41
CHAPITRE III : SYNTHESE SUR LES PHOSPHATES FERALEUX.....	50
III.1- ORIGINE DU « FERAL » ET FORMATION DE PHOSPHATES FERALEUX.....	51
III.2 - LOCALISATION DU PHENOMENE DE FERALLITISATION.....	52
III.3 - COMPARAISON DE LA COMPOSITION CHIMIQUE ET GRANULOMETRIQUE ENTRE PHOSPHATE FERALEUX ET PHOSPHATE NON FERALEUX.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	58
BIBLIOGRAPHIE.....	58
LISTE DES FIGURES.....	61
LISTE DES TABLEAUX.....	63
TABLE DES MATIERES.....	64
ANNEXES.....	66
RESUME.....	71

ANNEXES

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
32.30 - 32.50	10	70	20	10.6	2.7	4.3	10.9	68.7
32.50 - 33.55	46	00	54	25.5	2	5.8	36.4	24.9
33.55 - 34.10	48	00	52	13	6.6	7.7	18	42.7
34.10 - 35.40	31	7	62	33.3	1.7	0.6	46.3	10.7
35.40 - 35.70	49	11	40	25.3	6.9	2.7	34.8	24.6
35.70 - 36.00	46	00	54	18.3	35.2	3.8	25.5	8
36.00 - 36.40	37	4	59	37.2	2	0.3	52.8	1.8
36.40 - 37.00	24	17	59	18.1	38.8	2.8	25.4	5.3
37.00 - 37.20	33	22	45	17.5	31.1	2.3	25.4	16.5
37.20 - 37.70	25	55	20	25.3	7.7	1.8	38.1	15.9
37.70 - 38.60	19	54	27	12.9	1.4	0.1	49.9	6.1
38.60 - 39.00	12	51	37	29.8	0.9	0.2	47.6	11.4
39.00 - 39.70	19	60	21	21.40	1	0.4	50.9	4.2
39.70 - 40.40	7	82	11	6.3	1.1	1	45.8	15
40.40 - 41.10	6	9	85	12	0.6	1	51.4	3.2
41.10 - 41.70	19	49	32	22.8	0.6	1.1	49.8	4.8
41.70 - 42.50	12	28	60	31.1	0.6	0.5	51.5	3.4
42.50 - 43.20	1	90	9	7.8	0.6	0.2	52.2	4.7

Tableau a : Résultats des analyses granulo-chimiques (en %) du sondage 2E1S AYNS

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
35.90 - 36.30	6	53	41	16.5	4.4	18.5	5.3	46.4
36.30 - 37.50	59	00	41	16	3.3	5.4	22.1	47.6
37.50 - 37.80	46	00	54	23.1	3	10.3	32.2	23.6
37.80 - 39.40	29	14	57	32.4	1.4	4	45.9	8.7
39.40 - 41.30	34	17	49	26.1	2.2	5.7	36.5	22.2
41.30 - 42.20	26	41	33	16.3	2.8	2.4	22.6	49.2
42.20 - 42.70	17	36	47	27.7	1.4	1.9	41.3	23.4
42.70 - 43.5	42	00	58	30.3	0.8	0.6	44.3	15
43.50 - 44.00	13	62	25	18.4	1.9	3	24.8	45.5
44.00 - 45.10	27	15	58	30.8	1.1	0.3	42.7	19.4

Tableau b : Résultats des analyses granulo-chimiques (en %) du sondage 2E1S EYNS

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
38.40 - 39.00	1	69	30	27.8	8.1	32.7	8.9	6.7
39.00 - 39.80	10	43	47	20.7	8.1	24.4	6.4	29.6
39.80 - 40.50	15	39	46	9.7	4.3	10.3	3.8	67.4
40.50 - 40.80	56	1	43	17.2	5.5	6.8	21.9	43
40.80 - 42.00	29	3	68	35.9	1	1.5	49.3	6.3
42.00 - 42.50	16	60	24	25.3	2.3	5.3	35.5	23.6
42.50 - 42.90	29	31	40	34.1	1.6	1.1	46	10.5
42.90 - 44.10	15	42	43	33.7	0.7	2.5	47.3	9.2
44.10 - 44.60	36	10	54	28.7	1.3	1.7	39.7	20.6
44.60 - 45.10	8	32	60	34.9	1	0.9	48	9.6
45.10 - 45.50	12	3	85	9.8	1.4	1.5	10.8	73.4
45.50 - 46.30	16	46	38	27.5	1.2	0.8	36.6	27.3
46.30 - 46.60	7	11	82	8.2	1.1	1.2	11.4	76.8
46.60 - 47.50	25	30	45	21.8	1.6	1.4	31.4	36.1

Tableau c : Résultats des analyses granulo-chimiques (en %) du sondage 2E1S AYDD

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
31.10 – 31.80	19	44	37	21.4	2.7	3.10	29	38.4
31.80 – 32.40	80	00	20	25	3.8	2	34.1	29.4
32.40 – 32.90	51	00	49	33.1	1.7	0.5	45.2	11.6
32.90 – 33.90	34	23	43	33.4	0.8	0.5	46.5	13.3
33.90 – 34.90	32	21	47	32.9	0.7	0.7	45.5	14.5
34.90 – 35.60	46	11	43	34.4	0.5	0.4	47.9	11.4
35.60 – 36.20	48	13	39	33.5	0.6	1.7	44.5	14.3
36.20 – 37.00	41	10	49	31.2	0.7	6.1	37.9	16.6
37.00 – 37.70	5	65	30	26.4	2	2.4	34.4	29.4
37.70 – 38.80	7	41	52	2.5	2.5	0.7	2.1	90.8

Tableau : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S UUGQ

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
39.30 – 39.90	38	8	54	17.2	4.4	7.9	21.2	43.6
39.90 – 40.60	29	13	58	32.1	2.3	1.5	44.1	12.9
40.60 – 41.20	39	1	60	26.2	3.5	5.5	36.1	20.4
41.20 – 41.90	28	26	46	30.6	1.4	2.9	41.2	14.1
41.90 – 42.90	31	1	68	28.3	2.70	4.6	39.3	17.8
42.90 – 43.30	17	20	63	15.5	2.5	2.1	20.8	55.9

Tableau d : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S EESS

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
35.80 – 37.00	10	30	60	19.1	6.2	21.4	3.8	36
37.00 – 37.30	39	6	55	10.7	5.4	14.9	2.5	59
37.30 – 38.10	20	52	28	7.9	11.5	9.1	0.6	62.1
38.10 – 38.60	1	87	12	1.9	5.6	1	0.1	87.9
38.60 – 39.10	31	47	22	10	18.9	8	5.7	46.7
39.10 – 40.40	3	81	16	11.4	2.5	1.7	15.5	65

Tableau e : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S AENS

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
31.80 – 34.00	26	11	63	25.7	3.6	16.8	19.8	25.6
34.00 – 35.00	56	8	36	27.8	4	0.7	38.2	25.7
35.00 – 36.00	47	10	43	29.1	9.7	2.2	39.7	14.4
36.00 – 39.20	23	20	57	18	2.5	1.4	22.8	52.2

Tableau f : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S AEBG

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
39.80 – 40.20	30	10	60	22.2	2.9	4.2	27.6	36.7
40.20 – 41.30	43	30	27	22.2	1.7	1.4	30.8	38.2
41.30 – 42.30	20	00	80	31.1	0.6	0.2	53.5	1.1
42.30 – 42.90	30	10	60	37.8	0.8	0.2	52.9	1.4

42.90 – 43.50	37	00	63	37.6	0.8	1	52.7	1.8
43.50 – 44.20	41	19	40	35.5	0.7	0.6	50	7
44.20 – 44.65	35	36	29	31.3	2.7	0.4	46.4	10.3
44.65 – 45.60	32	20	48	33.2	1.9	0.1	48	6.3
45.60 – 46.60	19	23	58	31.8	4.8	0.7	46.1	6.4
46.60 – 48.50	22	25	53	32.6	7.4	0.7	45.9	6.2

Tableau g : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S EIGQ

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
33.00 – 34.10	20	30	50	19.2	3.6	11.6	17.8	40.8
34.10 – 35.00	36	21	43	25.1	1.9	1.5	34.4	31.9
35.00 – 36.00	14	7	79	8.3	2.6	4.6	7.8	74.2
36.00 – 37.60	20	43	37	17.1	3.3	4.4	20.3	49.5

Tableau h : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S EIBG

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
33.40 – 33.90	8	57	35	9	2.3	8.7	5.5	70.4
33.90 – 34.55	14	43	43	25.9	1.4	1.5	35.8	29.6
34.55 – 35.90	37	23	40	27.6	1.9	1.4	38.2	26.9
35.90 – 36.50	46	24	30	23.9	1.2	2.5	29.8	37.7
36.50 – 37.20	22	50	28	26.6	1	3	34.2	30.1
37.20 – 37.60	35	00	65	37.8	0.6	0.4	52.1	2.8
37.60 – 38.40	10	51	39	4.3	1.3	0.5	5.6	84.4
38.40 – 39.10	14	34	52	10.5	1.2	0.5	14.6	70.6
39.10 – 39.70	29	12	59	28.1	0.7	0.6	38.2	26.4

Tableau i : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S AEJD

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
28.20 – 28.50	24	16	60	16.1	2.5	16.5	9.3	46.4
28.50 – 29.20	16	44	40	24.3	1.1	4.1	33	31.7
29.20 – 29.80	32	17	51	31.1	0.9	1.7	43.3	17.7
29.80 – 30.40	21	37	42	30.5	0.9	4.8	41.5	19.7
30.40 – 31.30	29	11	60	36	0.8	1	49.9	6.3
31.30 – 31.50	32	30	38	33.8	1.8	2.8	46.1	8.8
31.50 – 32.60	27	13	60	18.7	28.7	5.1	22.5	18.1
32.60 – 33.50	14	42	44	32.6	0.5	1.5	45	16.3
33.50 – 34.20	2	74	24	21.8	4.3	1.2	29.4	38
34.20 – 34.70	1	87	12	24.4	1.7	1.1	33.7	34

Tableau j : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 2E2S IONN

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
35.10 – 35.85	34	00	66	18.5	0.8	1.1	25.3	51.7
35.85 – 36.85	36	00	64	26.2	0.6	1.3	34.6	34
36.85 – 37.80	47	00	53	27	0.8	1.2	37	29.2
37.80 – 39.10	20	5	75	34.3	1.1	4.4	44.1	8.8
39.10 – 39.65	31	27	42	36.9	0.6	0.5	51.3	4.3

39.65 – 40.65	50	13	37	27.4	1.6	1.8	36.7	25.3
40.65 – 41.65	55	8	37	24.7	3.1	1.2	33.1	31.3
41.65 – 42.45	43	25	32	31.3	5.5	1.9	43.3	10.2
42.45 – 43.45	53	7	40	35.5	0.8	0.4	49.6	7.7
43.45 – 44.70	35	17	48	30.1	1.8	0.6	41.8	18.9
44.70 – 45.50	51	16	33	30.5	0.6	0.3	42.1	19.2
45.50 – 46.20	32	6	62	35.8	0.3	0.4	51.6	2.5
46.20 – 46.70	20	00	80	29.4	0.9	0.4	42.6	15.8

Tableau k : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S AOQB

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
34.00 – 38.10	46	10	44	27.9	4.2	0.8	38.9	25

Tableau l : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S EYBB

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
36.50 – 40.00	40	2	58	36	1.2	0.2	50	7.5
40.00 – 42.90	47	9	44	27.3	4.2	1.2	39.2	21.6

Tableau m : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S EELL

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
38.90 – 40.30	34	8	58	20.4	0.6	1.5	28.1	45.4
40.30 – 41.00	29	15	56	16.7	1.1	1.4	22.8	54.1
41.00 – 41.90	46	8	46	20	3.6	5.6	26.9	37.5
41.90 – 42.60	51	00	49	22.2	5.1	5.7	30.9	28.1
42.60 – 43.60	21	5	74	37.3	1.3	1.2	52.4	4
43.60 – 44.40	31	00	69	35.9	0.6	0.4	49.8	7.2
44.40 – 44.90	12	28	60	38.1	0.6	0.4	53.8	1.4
44.90 – 45.90	29	37	34	24.5	0.9	1.3	35.1	30.6
45.90 – 47.00	28	26	46	32.2	0.9	1.2	45.3	12.6
47.00 – 47.50	44	00	56	33.1	2.3	0.4	46.8	10.3
47.50 – 49.30	2	90	8	7.4	0.9	0.1	48.3	10.8

Tableau n : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S AIQL

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
36.65 – 37.65	45	4	51	22.1	2.4	1.2	29.9	41.6
37.65 – 38.80	28	40	32	28.4	1.1	0.6	39.3	26.5
38.80 – 39.35	35	15	50	22.3	2.8	1.8	31.2	36.8
39.35 – 40.45	50	2	48	14.5	29	3.5	17.2	26
40.45 – 41.85	35	00	65	36	1.3	0.9	50.2	6
41.85 – 42.60	44	10	46	35.7	1.5	0.6	49.9	7
42.60 – 42.90	34	00	66	33	6.1	1.1	46.5	6.8
42.90 – 43.90	30	00	70	36.6	2.2	0.4	50.8	3.4
43.90 – 45.10	26	00	74	36.3	0.9	0.4	50.8	5.1
45.10 – 46.20	42	2	56	36.2	0.6	0.4	50.9	6.3
46.20 – 46.70	69	00	31	32.6	1.3	0.8	44.2	16.1
46.70 – 46.90	74	00	26	27.6	5.2	2.4	38	21
46.90 – 47.37	31	47	22	1.8	11.3	0.6	2.5	80.5

Tableau o : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S EUGB

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
36.40 – 37.40	53	11	36	23.7	3.9	1.8	31.4	32.8
37.40 – 37.95	32	23	45	35.3	1.2	0.3	48.5	9
37.95 – 38.95	38	13	49	26.1	17.3	1.5	35	12.5
38.95 – 39.40	53	00	47	34.6	7.4	1.6	46.4	4
39.40 – 39.80	26	23	51	14.9	50.5	4.7	18.7	4
39.80 – 40.00	27	7	66	29.2	20.2	1.9	40.2	2.3
40.00 – 40.40	19	14	67	36.5	7.6	0.4	50	2
40.40 – 41.40	13	44	43	30.2	12.7	2	40.8	9.9

Tableau p : Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S EULQ

Profondeur (m)	Schlamms	Rejets	Alimentations	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
42.25 – 43.30	29	37	34	15.2	1.7	3.9	18.6	55.7
43.30 – 44.05	57	18	25	9.2	3.5	2.4	11	69.2
44.05 – 45.00	25	41	34	16.7	1.9	3.2	22.6	52.4
45.00 – 46.05	63	10	27	22.6	5.7	1.7	31.2	32.4
46.05 – 46.60	41	16	43	18	2.9	0.6	24.6	48.6
46.60 – 47.00	73	00	27	16.1	3.9	1.6	22	51.5
47.00 – 47.60	69	6	25	17.7	1.3	0.8	24.4	51.6
47.60 – 48.60	33	47	20	21.2	1	0.8	28.8	44.5
48.60 – 49.00	42	7	51	11.6	3.1	14.6	4.5	58.6

Tableau q: Résultats des analyses granulo-chimiques du sondage 3E2S AOGG