

DEDICACES

A mon défunt Papa Ibrahima VOYEL!

Je n'oublierai jamais tous les sacrifices que vous avez endurés pour ma réussite et le bien être de tes enfants. Puisse ce modeste travail t'apporter quelques allégresses dans l'au-delà en témoignage de ma reconnaissance. Trouve ici l'expression de mes sentiments de haut respect!

Qu'Allah t'accueille dans son Paradis!!!

Je rends grâce à **Allah le tout Puissant le tout Miséricordieux et son Prophète Mohamed (PSL).**

Je dédie ce travail :

A ma Mère **Nafissatou Aïdara** qui a guidé mes pas et qui m'a comblé de bonheur et d'affection. Merci pour l'éducation exemplaire que vous nous avez inculquée. Veuillez recevoir ici l'expression de mon attachement et de ma profonde gratitude. Que Dieu vous laisse parmi nous et vous accorde une longue vie ;

A ma grand-mère **Fatoumata Binetou Camara** pour ses conseils et ses prières ;

A mon grand frère **Mamour VOYEL** et son épouse **Mme Voyel Awa Ba**, je vous témoigne toute ma gratitude ;

A mes frères et sœurs **Yacine, Souleymane, Abdou Aziz, Dié, Serigne, Katy, Saliou Séne, Cheikh Mbacké Dakar, Benjamin, Seyni Guéye, Wahab Dieye** ;

A mes neveux et nièces **Serigne Fallou Aïdara, Baye Cheikh Aïdara, Ndeye Awa Aïdara, Abdou Khadre, Ndeye Maty Touré et Ndeye Anta Voyel** ;

A la famille **DIOP** des Parcelles Assainies Dakar particulièrement à **Khadidiatou Diop** qui n'ont ménagé aucun effort pour rendre agréable mon séjour. Merci pour tout, qu'Allah vous paie ;

A la famille **VOYEL** et **SENE** à Tivaouane particulièrement à **Ibrahima et Fatou** pour leur accueil chaleureux durant mon stage ;

A mes vénérés Oncles et Pères : **Tonton Cherif Dieng, Tons Pape Diouf, Papa Seyni Voyel, Papa Elimane Séne, Tons Modou Gueye** ;

A mes amis de **sunu kogne émergent**, de **San Mames** : **Ousmane Fall, Lamine Touré**;

A tous mes amis promotionnaires **Moustapha Fall, Sokhna Badiane, Djibrila Diallo, PMG, Ame, ndey khady, Ludovic, Mansour.**

REMERCIEMENTS

Il est d'usage qu'un auteur exprime sa gratitude à ceux qui l'ont aidé à rédiger son oeuvre. S'agissant, dans le cas présent, d'un mémoire de master de Géosciences de troisième cycle, je me dois de remercier ceux qui m'ont soutenu dans mes recherches bibliographiques, dans mes travaux de terrain et autres activités dont l'unique résultat se trouve être ce mémoire.

Du fond du cœur je dis merci à :

- **M. Raphael SARR, Professeur titulaire au département de Géologie UCAD**, je suis particulièrement honoré de votre présence en qualité de président du jury et je vous exprime ma profonde gratitude. Vous êtes un monument dans le domaine de la géologie ;
- **M. El hadji SOW, Professeur titulaire au département de Géologie UCAD**, le choix de votre personne en tant que directeur de recherche a été motivé par votre réputation d'encadreur modèle. Votre sollicitude, votre courtoisie, et votre modestie nous laissent le souvenir d'un maître pour qui nous ne pouvons avoir que de l'admiration. Je vous en suis reconnaissante.
- J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur **M. Cheikh Abdoul Kader FOFANA Maître-assistant** qui a bien voulu participer à ce jury.
- **M. Khalifa KANE l'ingénieur**, mon parrain : votre générosité et votre ouverture font de vous une personne très agréable à côtoyer.
- J'exprime ma profonde gratitude à **Dr Fatou DIOP NGOM** pour ses conseils, sa disponibilité, sa rigueur qui m'ont été d'un apport précieux.

J'exprime sans limite mes francs remerciements au personnel de la **Subdivision, Prospection Géologie et Sondage** du service des mines de Taïba particulièrement à :

- **M. Daouda BODIANG** pour m'avoir proposé ce sujet et prodiguer des conseils tout au long de mon stage ;

A **Faly FAYE, Mbaye NDIAYE** et surtout **Papa Amadou NDOUR**, qui m'a beaucoup aidé dans la documentation et l'accès à la base de données, ainsi que toute l'équipe de sondage.

Vos illuminations et éclaircissements m'ont été d'un grand apport. Je vous ai beaucoup sollicité. Je vous souhaite une harmonie familiale et carrières accomplies.

Je dois remercier l'ensemble de mes enseignants du primaire au supérieur particulièrement à ceux du Master Environnements Sédimentaires de la FST. **Ainsi que tous les professeurs du Département de Géologie.**

Résumé

Le panneau de Tobène est le prolongement au Sud-Est des gisements de Ndomor Diop et de Keur Mor Fall avec lesquels il constitue « les phosphates de Taïba ».

L'étude chimique et granulométrique de quelques sondages effectués dans le secteur de Tobène Sud a permis dégager quelques caractéristiques de ces phosphates.

Les observations faites sur la composition chimique de ces couches phosphatées conduisent à retenir qu'ils sont appauvris surtout en P_2O_5 au profit de la silice (SiO_2) au Sud du secteur d'étude. Ces caractéristiques en font des phosphates dont l'exploitation n'est pas rentable dans cet endroit.

Par ailleurs, l'étude géochimique a permis la localisation des zones les plus marquées par la présence en P_2O_5 dont le Nord, Nord-Ouest et Nord-Est du secteur d'étude.

Ces échantillons présentent des distributions granulométriques variables en relation avec la nature et la taille des éléments figurés qui composent les différents litho-faciès.

L'étude granulochimique montre que la tranche granulométrique 25-25000 μm est la meilleure classe pour avoir une bonne teneur de P_2O_5 alors que la tranche 40-12000 μm est beaucoup plus Siliceux.

Mots clés : Tobène, Phosphate, Ndomor Diop, Keur Mor Fall, géochimie, granulochimique

INTRODUCTION GENERALE

L'exploitation du minerai de phosphate de Taïba est pénible par endroit à cause de la distribution aléatoire des faciès phosphatés, de l'existence de poche des sables (Silice), du Féral qui sont perçus comme des facteurs qui perturbent le bon déroulement de l'extraction du minerai ennuis dans la séparation des particules carbonatées de celles des phosphates qui doivent être concentrées et épurées pour fabriquer les engrais chimiques. Pour pallier à ces difficultés il est utile de faire une étude détaillée de la distribution verticale comme horizontale de la couche phosphatée et l'enjeu de la silice (SiO_2) en vue de proposer des cartes qui prennent en compte l'ensemble de ses paramètres et qui délimitent les zones, les horizons les plus favorables à l'exploitation. Ce travail contribuera à mieux orienter l'exploitant minier pour une meilleure mise en valeur du gisement. Ainsi les caractéristiques géochimiques et granulométriques les plus pertinentes du gisement feront l'objet d'une étude détaillée.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre mémoire qui a pour thème : « **APPUI AU SUIVI GEOLOGIQUE DE L'EXPLOITATION DU PHOSPHATE DE TOBENE SUD : ENJEU DU PARAMETRE SILICE ET EFFETS DE LA GRANULOMETRIE SUR LES PARAMETRES P_2O_5 , Féral et SiO_2** ».

Pour ce faire, nous avons adopté un protocole d'étude qui se résume en trois chapitres qui sont :

Chapitre 1 : Présentation du gisement de phosphate de Taïba (Cadre géographique et géologique du gisement)

Chapitre 2 : Analyse du comportement de la silice dans le gisement de Tobène Sud

Chapitre 3 : Caractéristiques granulochimiques de la couche phosphatée de Tobène Sud

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DES ICS ET DU

GISEMENT DE PHOSPHATE DE TAIBA : CADRES

GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE DU GISEMENT

1.1 PRESENTATION DES I.C.S

1.1.1 Historique des ICS

La compagnie Sénégalaise des phosphates de Taïba (CSPT) a été créée en 1957. Le phosphate exploité par la CSPT était orienté vers l'exportation dès 1960. En 1976 la société des industries chimiques du Sénégal a vu le jour. Ce n'est qu'en 1984 avec le démarrage de la première unité de fabrication d'acide phosphorique des ICS, qu'une part croissante du minerai est transformée localement. En 1996, le groupe des ICS, né de la fusion-absorption des ICS et de la CSPT, achève une intégration verticale de la filière, à l'image de tous les concurrents des ICS, à travers le monde. Cette intégration, allant de l'extraction du minerai à la valorisation en engrais phosphaté assure à l'entreprise une grande souplesse dans la politique et la vente. En 1999 se fut la mise en œuvre d'une politique d'investissement pour le doublement de la production d'acide et l'ouverture d'une nouvelle mine à TOBENE. En 2001 on assiste au démarrage de la deuxième unité de production d'acide phosphorique et 2003 fut la date de démarrage de l'exploitation de la mine de TOBENE. Le 2 Février 2006 on note une réglementation préventive, la convention d'actionnaires Etats du Sénégal fut signée le 16 Juillet 2007. En 2008 c'est l'année du concordat et de la recapitalisation.

1.1.2 Profil des ICS

Les Industries Chimiques du Sénégal (ICS) sont le fruit de la coopération Sud-Sud notamment de la rencontre entre les besoins importants de l'Inde en acide phosphorique pour la fabrication d'engrais, et la disponibilité au Sénégal d'une mine de phosphate de grande qualité.

C'est le plus grand complexe industriel du Sénégal produisant :

- Du phosphate marchand à partir de la mine de Taïba, distante de quelque 100 km de Dakar ;
- De l'acide phosphorique (P_2O_5), grâce à deux usines contigües, situées à Darou, à proximité de la mine ;
- Des engrais, dans une usine située à Mbao (18 km de Dakar).

Le complexe industriel des ICS inclut également :

- La commercialisation de ses produits et la fabrication de produits phytosanitaires, avec sa filiale SENCHIM ;
- Le transport ferroviaire, avec sa filiale SEFIC,
- La logistique (terminal et portique portuaire, sea-lines pour l'ammoniac et l'acide)
- L'approvisionnement en eau (forage de MEKHE) et la production d'énergie.

Au niveau du site minier, le gisement de phosphate de Taïba a été découpé en trois (03) panneaux d'exploitation d'étendues et de géométries variables (Figure 1).

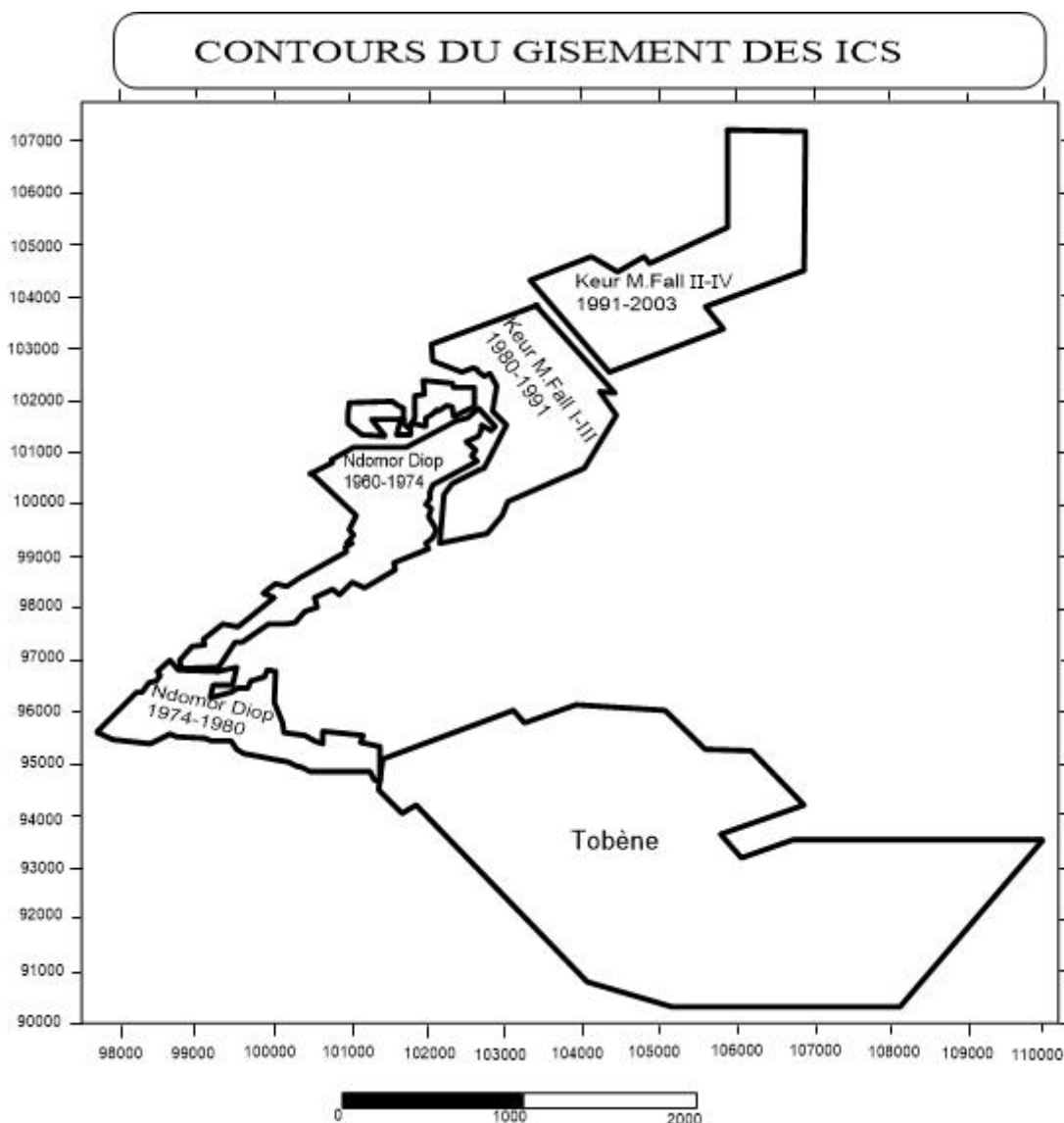


Figure 1: Carte de localisation des panneaux du gisement de Taïba (service de géologie d'exploration et d'exploitation des ics)

- ❖ Le panneau de Ndomor Diop déjà exploité qui couvre une superficie de 4,8 km² et situé à l'Est de la concession : subdivisé en Ndomor Diop (1960-1974) et Ndomor Diop (1974-1980).
- ❖ Le panneau de Keur Mor Fall couvrant une superficie de 6,3 km² déjà exploité, et situé plus au Nord par rapport au panneau de Ndomor Diop : subdivisé en panneau I-III (1980-1991) et le panneau II-IV (1991-2003).
- ❖ Le panneau de Tobène, au Sud de la concession, actuellement en exploitation depuis 2003.

1.1.3 Organigramme des ICS

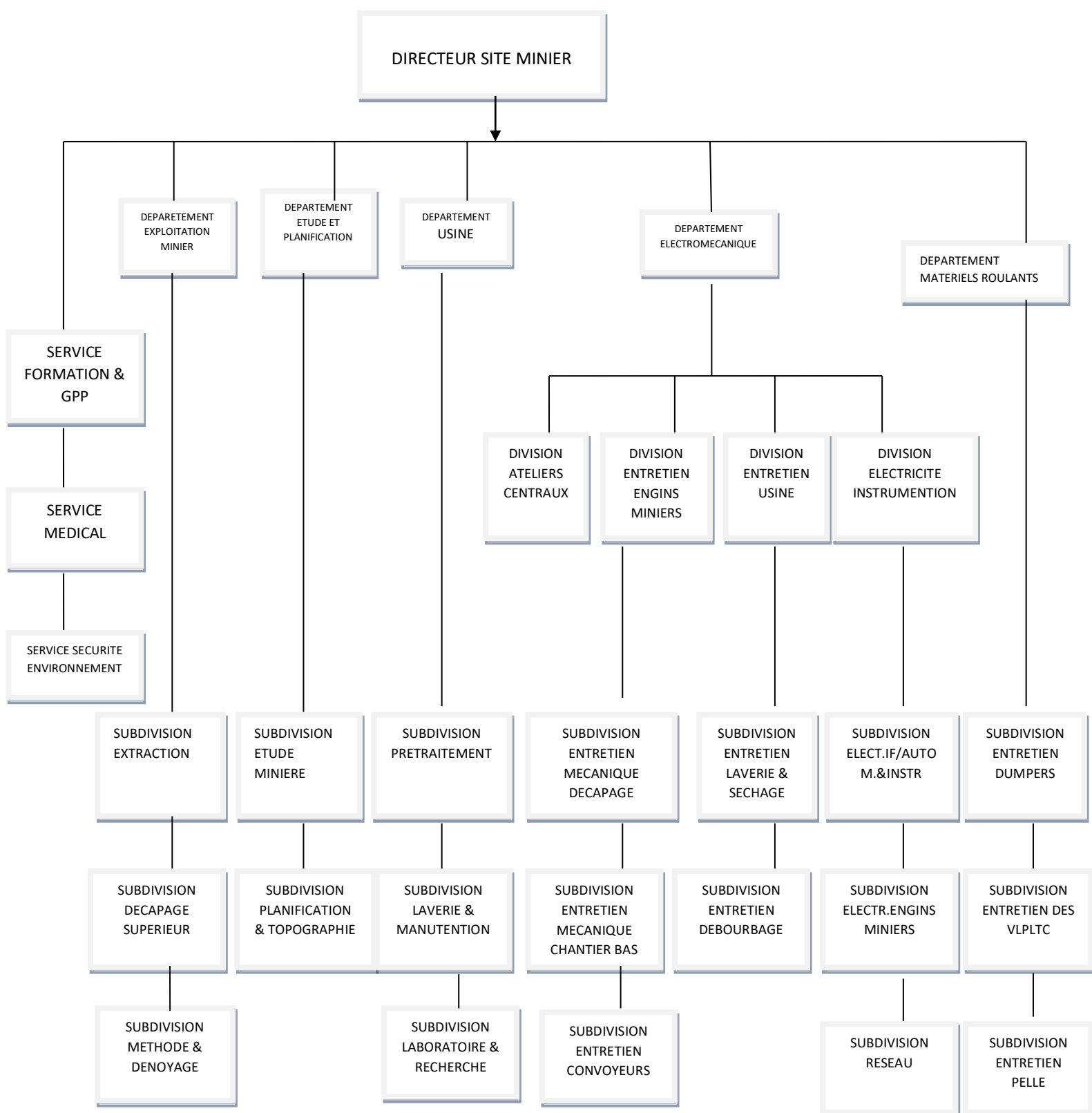


Figure 2 : Organigramme des ICS

1.2 CADRE GEOGRAPHIQUE

1.2.1 Situation géographique

Le gisement de phosphate de Taïba est situé dans le département de Tivaouane appartenant à la région administrative de Thiès. Il se localise plus précisément dans la commune de Darou Khoudoss entre Mboro et Tivaouane, à environ 80 km au Nord-Est de Dakar. Il occupe une vaste zone triangulaire longue de 22 km et large de 10 km, située entre 15° et 15°10' de latitude Nord et 16° 43' et 16°51 de longitude Ouest (figure 3).

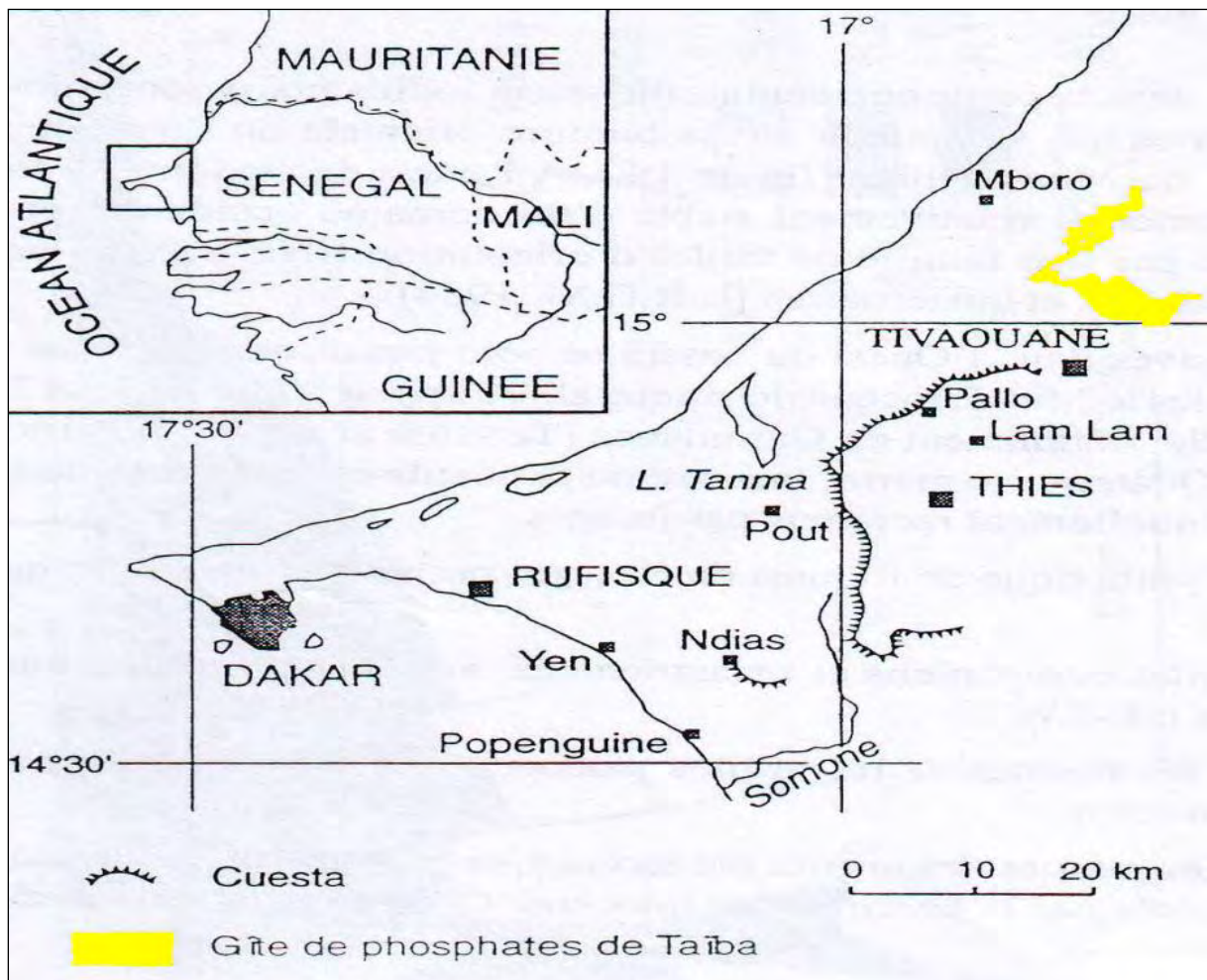


Figure 3 : Situation géographique du gisement phosphate de Taïba (FLICOTEAUX, 1982)

1.2.2 Contexte géomorphologie

Le vaste manteau de sables qui recouvre et commande l'aspect du paysage dans la région des Niayes résulte de la juxtaposition de plusieurs systèmes dunaires marquant l'évolution morpho-climatique du Quaternaire (Figure 4).

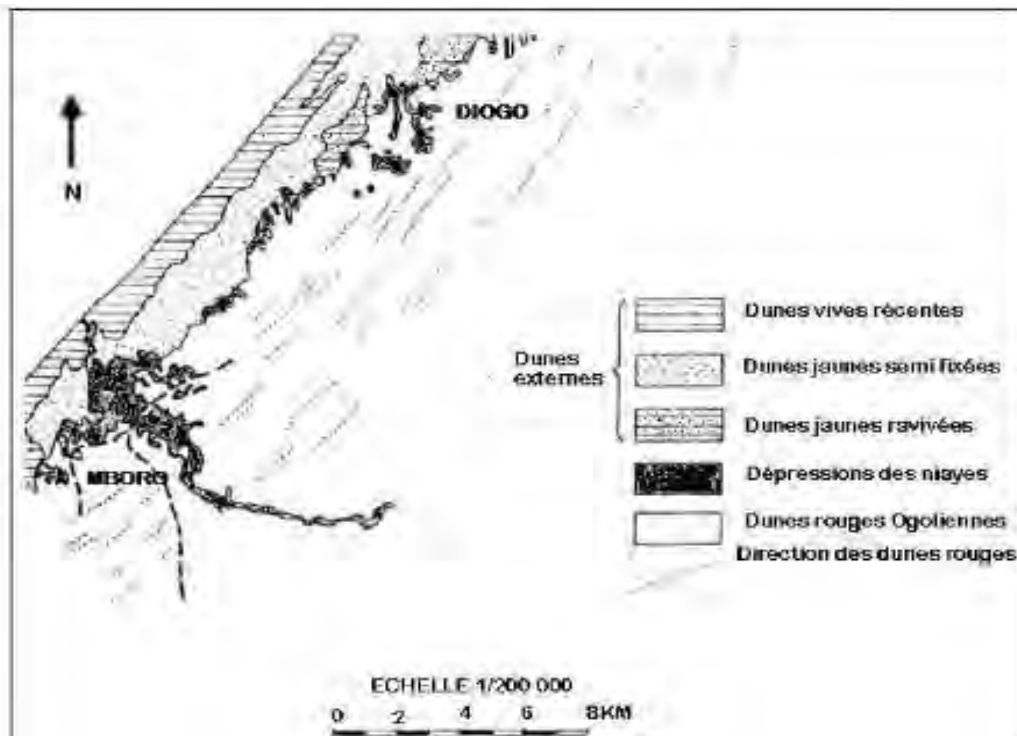


Figure 4: Schéma descriptif de la géomorphologie des Niayes (*Source* : BRGM 1986)

Deux systèmes dunaires principaux ont été individualisés dans l'espace et dans le temps (Figure 5) : le système dunaire littoral constitués par les dunes vives (dunes blanches) et les dunes semi-fixées (dunes jaunes) et le système dunaire continental formé par les dunes fixées (dunes rouges).

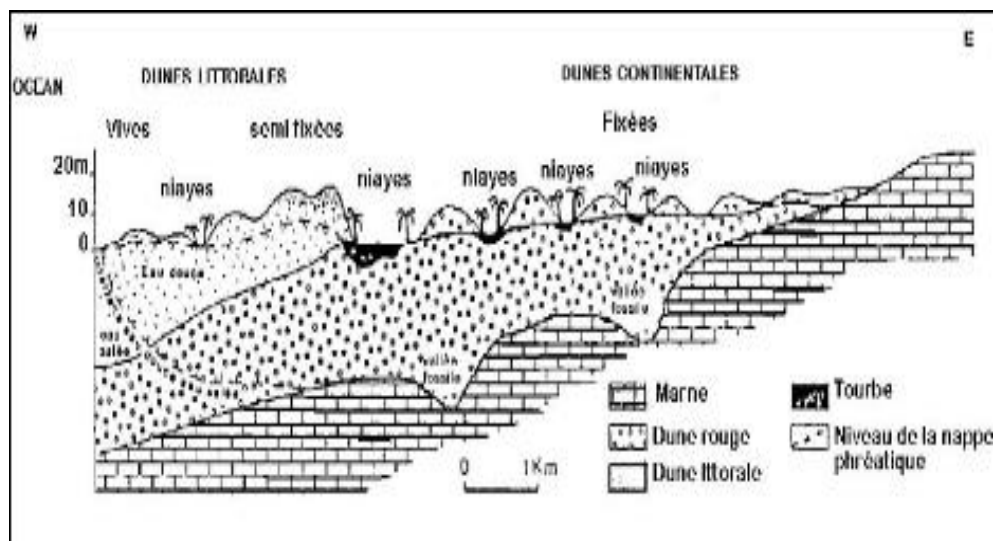


Figure 5 : Coupe schématique Ouest/Est de la zone des Niayes *Source* : PEZERIL ET AL (1986)

A l'interface de ce système apparaissent les *niayes* qui sont des dépressions interdunaires constituant un réseau de cuvettes morcelées et de chenaux qui découpent le système des dunes Ogoliennes.

1.2.3 Sols et Végétations

C'est une flore assez variée composée d'espèces guinéennes, soudaniennes et sahéliennes. Leur mise en place obéit à la disposition des unités morphopédologiques. C'est ainsi qu'on peut distinguer :

1.2.3.1 Les sols minéraux bruts

Malgré leurs aptitudes agropastorales faibles, ces sols supportent une végétation discontinue et irrégulière d'arbustes peu exigeant en matières organiques. Citons entre autres *Aphania senegalensis*, *Calotropis procera*, *Casuarina equisetifolia* (projet de fixation des dunes blanches sur 300 m de large le long de la côte).

1.2.3.2 Les sols peu évolués

Très sensibles à l'érosion éolienne qui affaiblit leurs aptitudes agronomiques, on remarque sur ces dunes jaunes une végétation constituée d'arbustes, des plantes buissonnantes et d'herbes annuelles vivaces : *Maytenus senegalensis*, *Cenchrus bifforus*, *Acacia albida*, *Anacardium occidentale*...

1.2.3.3 Les sols humifères

Ce type de sol se développe au niveau des dépressions inondables en saison des pluies. Ce sont des sols argileux très riches en matières organiques et propices aux cultures maraichères et légumières. La végétation se caractérise par « une diversité biologique avec de nombreuses espèces de la région phytogéographique de la forêt dense » (Diaw et al., 1993). On y rencontre *Acacia radiana*, *Prosopis africana*, *Fagara scanthoxyloïdes*

1.2.3.4 Les sols organiques

C'est le type de sol le plus étendu, avec des capacités agropastorales moyennes. Ainsi il porte une végétation à plantes herbacées annuelles dominantes. On y rencontre *Ficus capensis*, *Sporobolus robustus*, *Imperata cylindrica* ...

1.2.4 Climats et pluviométrie

Située en bordure du littoral océanique, la ville de Mboro bénéficie dans son ensemble d'un climat particulier très différent du reste du Sénégal à la même latitude. Ce climat est commandé par deux cellules anticycloniques permanentes (Accores au Nord et Sainte-Hélène dans l'hémisphère sud), et par une cellule anticyclonique saisonnière (Maghrébine au Nord-

Est ou Harmattan). Ce climat est donc entièrement dominé par une circulation d'alizés. Le climat est principalement caractérisé par deux saisons fortes contrastées :

- Une saison sèche et fraîche de Novembre à Mai ;
- Une saison des pluies chaude et humide de Juin à Octobre.

Quant à la pluviométrie elle varie au fil des années. Les données météorologiques de 2018 de la région de Thiès acquises au niveau de l'ANACIM sont représentées sur le diagramme ombrothermique (figure 6).

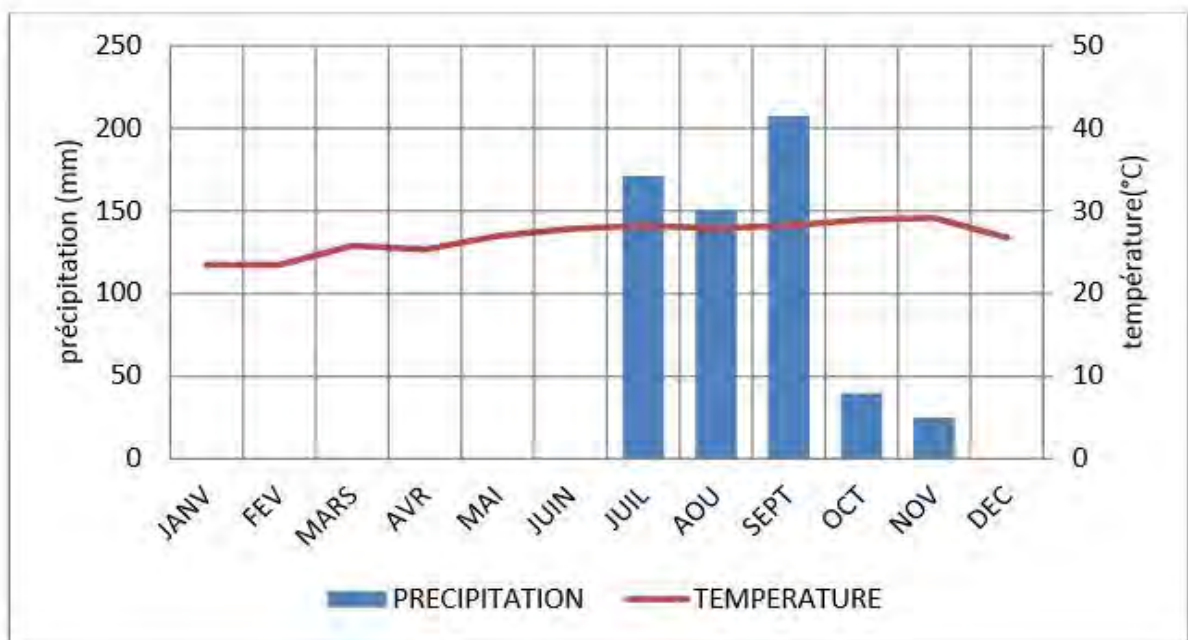


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la région de Thiès (ANACIM 2018)

1.3 CADRE GEOLOGIQUE

1.3.1 Situation du gisement de Taïba dans le contexte général du bassin méso-cénozoïque du Sénégal

Le gisement de phosphate de Taïba se trouve à l'Ouest du bassin sénégalo-mauritanien qui est un bassin de marge passive ouest africaine. Ce large bassin s'étend de la Mauritanie au Nord où il se raccorde au Précambrien de la dorsale Réguibat, au Sud à la Guinée-Bissau. A l'Est, il s'appuie sur les sédiments métamorphisés et plissés d'âge infracambrien- paléozoïque inférieur des Mauritanides (Mban, 2000). Enfin à l'Ouest, il s'ouvre sur l'Océan Atlantique (figure 7).

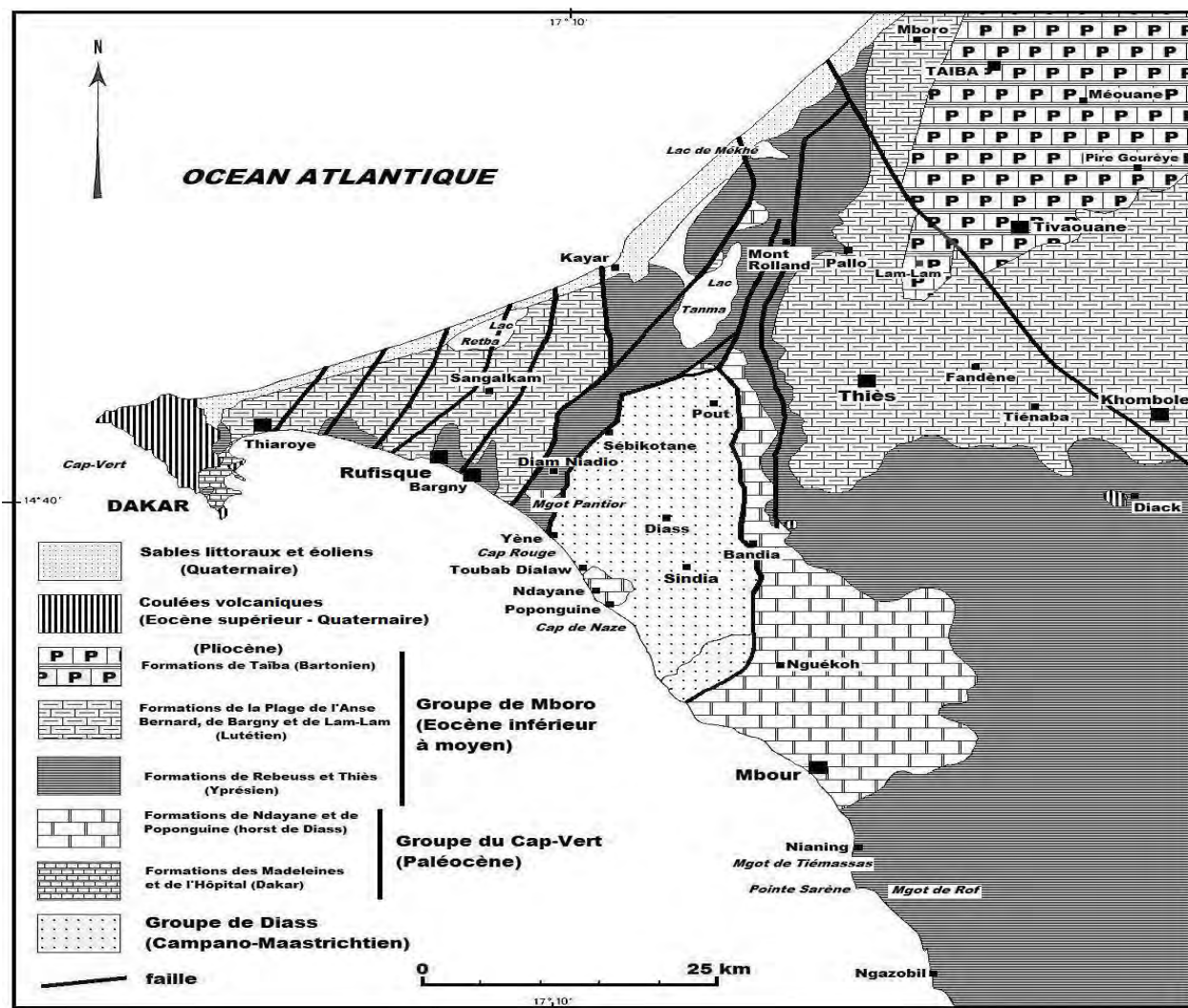


Figure 7 : Carte géologique du Cap-Vert et de Thiès (Roger *et al.*, 2009).

L'histoire géologique des formations du gisement de phosphate de Taïba se rattache donc à celle du bassin méso-cénozoïque sénégal-mauritanien. Les affleurements, dans la partie occidentale de ce bassin sont d'âge crétacé terminal (Campano-Maastrichtien : Khatib *et al.*, 1990 ; Sow, 1992) à Paléogène.

Certains sédiments sont recouverts par le Mio-Pliocène (Néogène) détritique et altéré (Flicoteaux et Medus, 1974; Tessier *et al.*, 1975 cité par Kébé, 1999) ou par le Quaternaire marin et par les ergs sableux.

Le premier découpage lithostratigraphique de l'Eocène moyen (« Lutétien » des anciens) a été proposé par Tessier (1952, 1954), se basant surtout sur les faciès lithologiques et les macrofaunes. Ainsi, à l'Est de Thiès, Tessier a distingué un « Lutétien inférieur » marin (non phosphaté), composé de 3 unités (de la base au sommet) :

- le calcaire de Khombole-Diarine, marneux, à entroques ou micritique et à fréquents *Echinolampas*,

- le calcaire « oolithique » de Touba-Toul, à amphistégines,
- les marnes et calcaires marneux de Thièpe-Lambaye, à mollusques et intercalations rognoneuses.

Pour cet auteur, dans la région plus occidentale de Thiès, le « Lutétien inférieur » devient marno-calcaire et s'enrichit en lentilles argileuses et surtout en phosphates de chaux.

Il distingue aussi un « Lutétien supérieur », caractérisé par l'empilement de deux formations, dont il sera parlé plus loin :

- les marnes de Lam Lam, à la base, formées de marnes et de calcaires à discocyclines,
- les lumachelles à grands nummulites, qui passent vers Lam Lam à des faciès enrichis en phosphates de chaux.

Cette distinction de l'Eocène moyen selon deux unités a servi de base au découpage de la carte géologique à 1/500 000 (BRGM, 1962).

Suite aux recherches impulsées par les travaux de prospection du phosphate, Flicoteaux (1975, 1980) a subdivisé l'Eocène moyen en quatre unités :

- à la base, la Formation des Calcaires à algues et argiles phosphatées de Pallo, dont l'âge a donné lieu à des controverses (Eocène inférieur ou moyen selon Flicoteaux et Lappartient, 1972), mais qui, finalement, a été définitivement attribuée à la base du Lutétien (biozone de foraminifères planctoniques P10, à *Hantkenina aragonensis*, déterminée par Flicoteaux (1975),
- au-dessus, les Marnes de Lam Lam (Flicoteaux et Lappartient, 1972 ; Brancart, 1977) qui passent latéralement aux argiles feuilletées de Taïba (Flicoteaux, 1980), (P10 pour Flicoteaux et Brancart, 1971),
- les Phosphates de chaux de Lam Lam et de Taïba, qui incluent des niveaux à *Nummulites gizehensis*,
- des Argiles bariolées et silex à daucines. Ces deux dernières unités phosphatées sont datées de la moitié supérieure de l'Eocène moyen (P12-P14) (Flicoteaux, 1980). Latéralement, ces faciès passent à des calcaires à Nummulites (dont *N. gizehensis*) qui constituent l'unité « Lutétien supérieur » de la carte géologique à 1/500 000 (BRGM, 1962).

Ce découpage a été ici simplifié, d'autant que ces unités n'affleurent pratiquement pas, les deux premières unités étant regroupées dans la **Formation de Lam Lam**, les deux dernières dans la **Formation de Taïba** (Sarr *et al.*, 2008).

1.3.2 Contexte géologique local du gisement

Les études lithostratigraphiques faites dans le gisement de phosphate de Taïba sont nombreuses, (Atger, 1970 ; Slansky, 1980 ; Samb, 1993 ; Dione, 2011). Toutes ces études ont révélé que le minerai exploité est constituée essentiellement de sédiments argilo-phosphatés, de phosphate de chaux et de phosphate aluminocalcique séparés par les argiles bariolées. Cet ensemble repose sur des argiles feuilletées ou attapulgitiques d'âge Yprésien-Lutétien (Diop, 2000). Ces différentes études ont permis d'établir de bas en haut la succession stratigraphique suivante (figure 8).

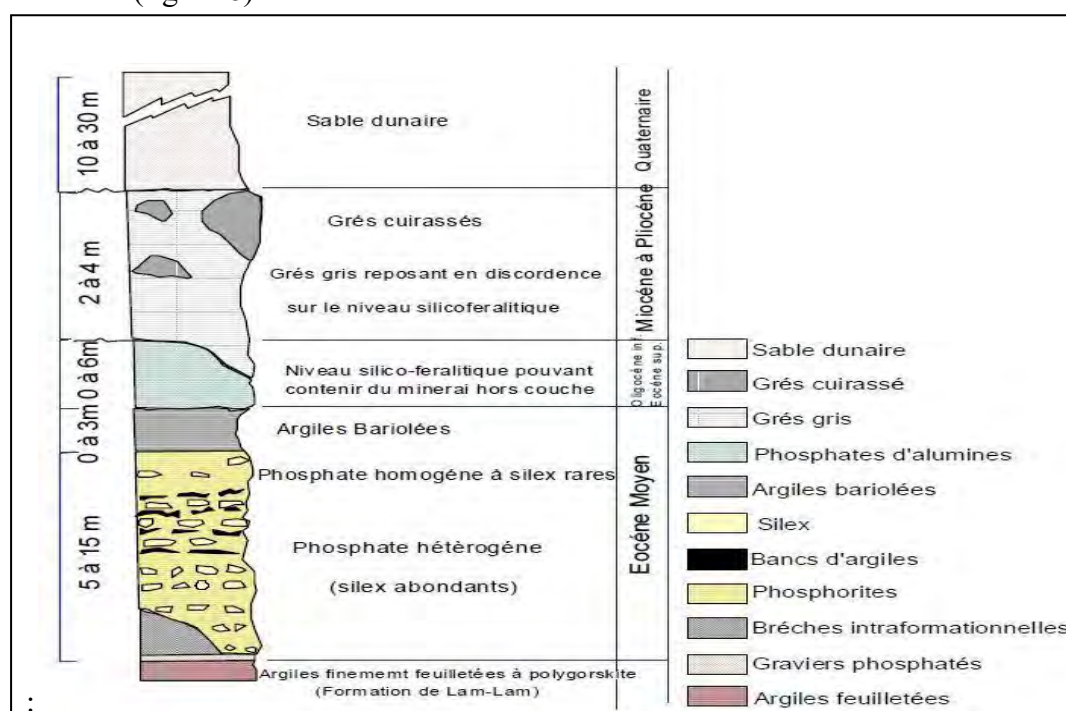


Figure 8 : Log synthétique du gisement phosphaté de Taïba (Samb, 1993).

- ❖ Les **argiles finement feuilletées à attapulgitiques** du mur datées du Lutétien qui correspondent stratigraphiquement aux marnes de Lam-Lam.
- ❖ Le **groupe phosphaté** daté aussi du Lutétien comprend deux niveaux séparés par des argiles bariolées parfois très épaisses :
 - ✓ Le **phosphate de chaux** subdivisé en deux couches avec une épaisseur maximale de 15 m (épaisseur moyenne 7 m) :
 - A la base, un minerai englobant du silex, des sables et quelques intercalations argileuses. C'est ce qui est habituellement appelé minerai hétérogène.
 - Au-dessus, un phosphate de chaux clair aux grains grossiers contenant par endroit des sables quartzeux dits sables de couches. C'est le minerai homogène.

- ✓ **Les argiles bariolées** : avec une épaisseur de 2 à 3 m sont grasses et de couleurs très variables, généralement **brunes**, rouges, verdâtres.

Elles contiennent essentiellement de la montmorillonite associée à des traces de kaolinite et correspondent au toit protecteur de la couche phosphatée.

Une contamination en phosphate alumino-calcique peut précéder le passage au niveau ferralitique

- ✓ **La formation silico-ferralitique** montre des lits centimétriques à décimétriques de phosphate alumino-calcique. Des silex à daucines en plaquettes sont complètement altérés en amas de silice blanche pulvérulente et des lits d'argiles y sont rencontrés. Son épaisseur varie de 0 à 5 m.
- ❖ **Les grès gris** : c'est une formation grès-argileuse altérée très irrégulière renfermant du phosphate alumino-calcique. Ils sont silicifiés et très ferruginisés par endroit ; ils constituent la base de la Formation du Saloum (Ex Continental-Terminal, Roger et al, 2009) et passent sans discontinuité aux sables dunaires du quaternaire.
- ❖ **Les sables dunaires** : rougeâtres, sont d'âge quaternaire à actuel et souvent d'origine éolienne. Ces sables recouvrent l'ensemble du gisement et leur puissance varie de 20 à 30 mètres. Leur faciès change d'un endroit à un autre et une couche noirâtre riche en matière organique.

Signalons par ailleurs que c'est dans la couche phosphatée qu'on rencontre les anomalies de couche à savoir les poches de sable, de calcaire ou les niveaux indurés ferralitiques que les miniers désignent habituellement comme « féral » qui constituent l'objet principal de notre étude.