

Caractérisation géologique, géochimique des formations et aperçu hydrogéologique du périmètre de Lam Lam

2.1. Les Sondages de la grande exploration

Dans le cadre de l'exploration du périmètre de Lam Lam, une première phase de sondages a été élaborée. Cette phase suit la maille de prospection de 1000 m x 1000 m. Seuls 14 sondages ont donné des indices favorables. L'analyse de ces sondages a montré une zone potentielle dans la partie Nord du permis de recherche, plus précisément au Nord Est de la communauté rurale de Tivaouane. Cette zone fera alors objet d'une seconde phase avec une maille d'exploration de 500 m x 500 m. Cette seconde phase va nous édifier sur la continuité des indices de cette zone dont nous allons réaliser des coupes et sections de directions différentes (figure 11) pour mieux comprendre le gisement.

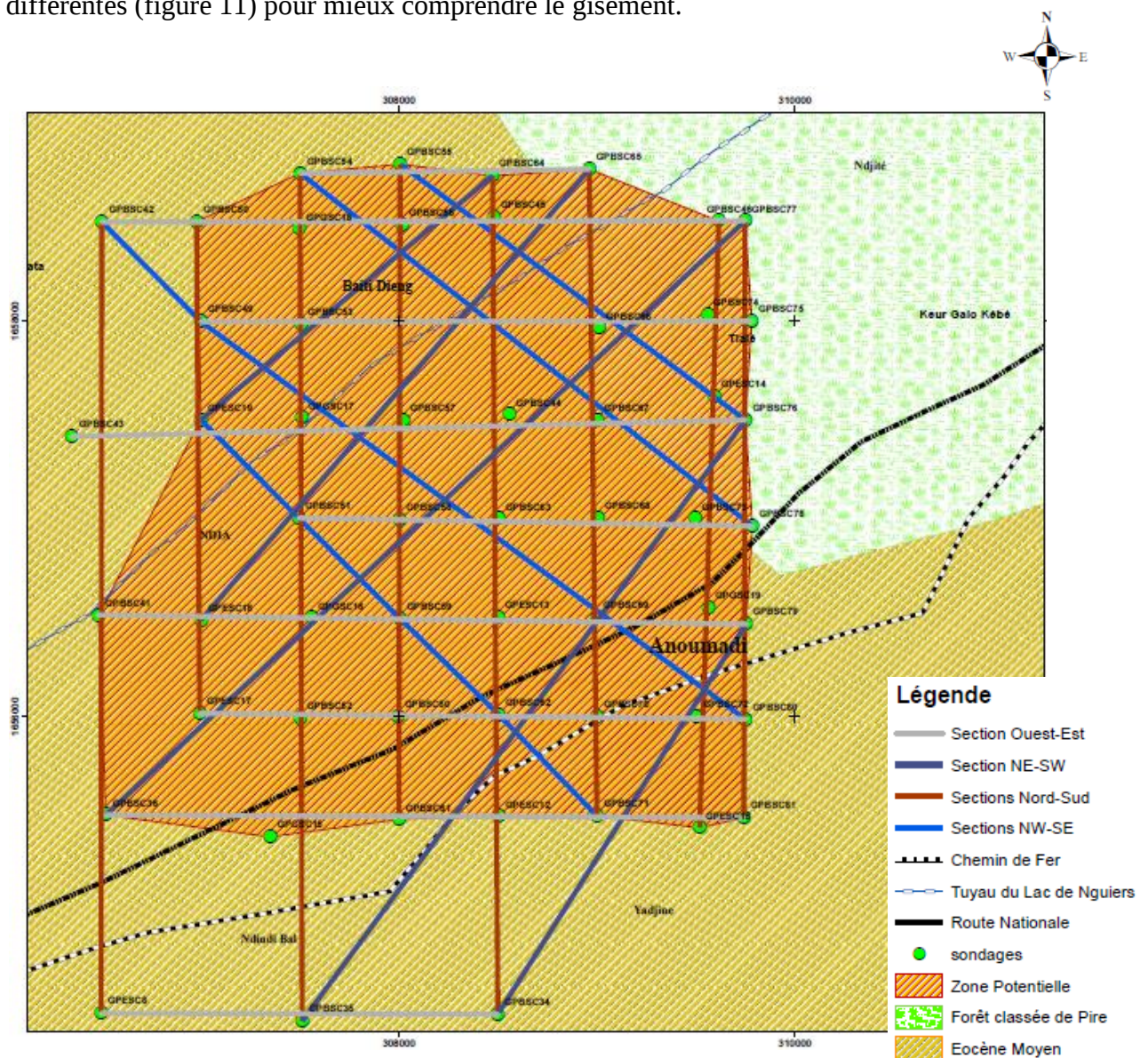
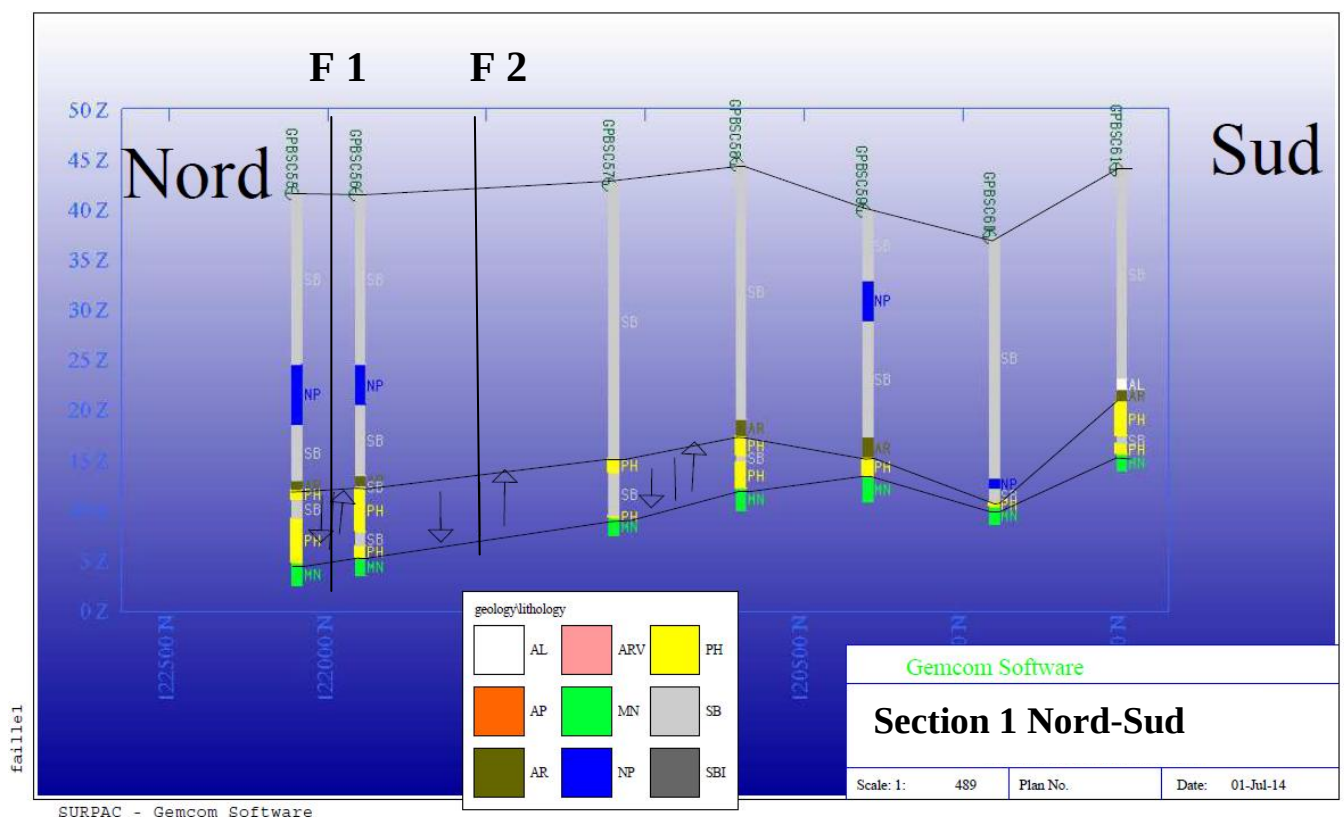


Figure 11 : Les directions des sections de la zone potentielle

2.2.Coupes et sections

La deuxième phase s'étend sur une grande superficie (2000 ha) et se localise sur la partie Nord-Est du permis de recherche. Cette zone est traversée par 55 sondages. L'analyse de ces sondages a montré une variation latérale et verticale des faciès. Ces variations sont illustrées à travers les sections.

Les marnes constituent le mur de la couche phosphatée. Ainsi, les sondages se limitent à ces marnes et ont des profondeurs comprises entre 24,4 m et 40 m. Cette différence d'altitude de la marne montre déjà la présence de failles qui est d'ailleurs témoigné à travers les sections. Ces sections ont été réalisées suivant les directions Nord-Sud, Ouest-Est, NE-SW et dans la direction NW-SE. L'analyse des sections (sections N°1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 ci-dessous) montre l'existence de cinq failles qui traversent notre zone. Ces failles ont des directions sécantes ou conjuguées.



AL : Phosphate d'alumine

MN : Marne

AP : Argile phosphatée

NP : Nappe

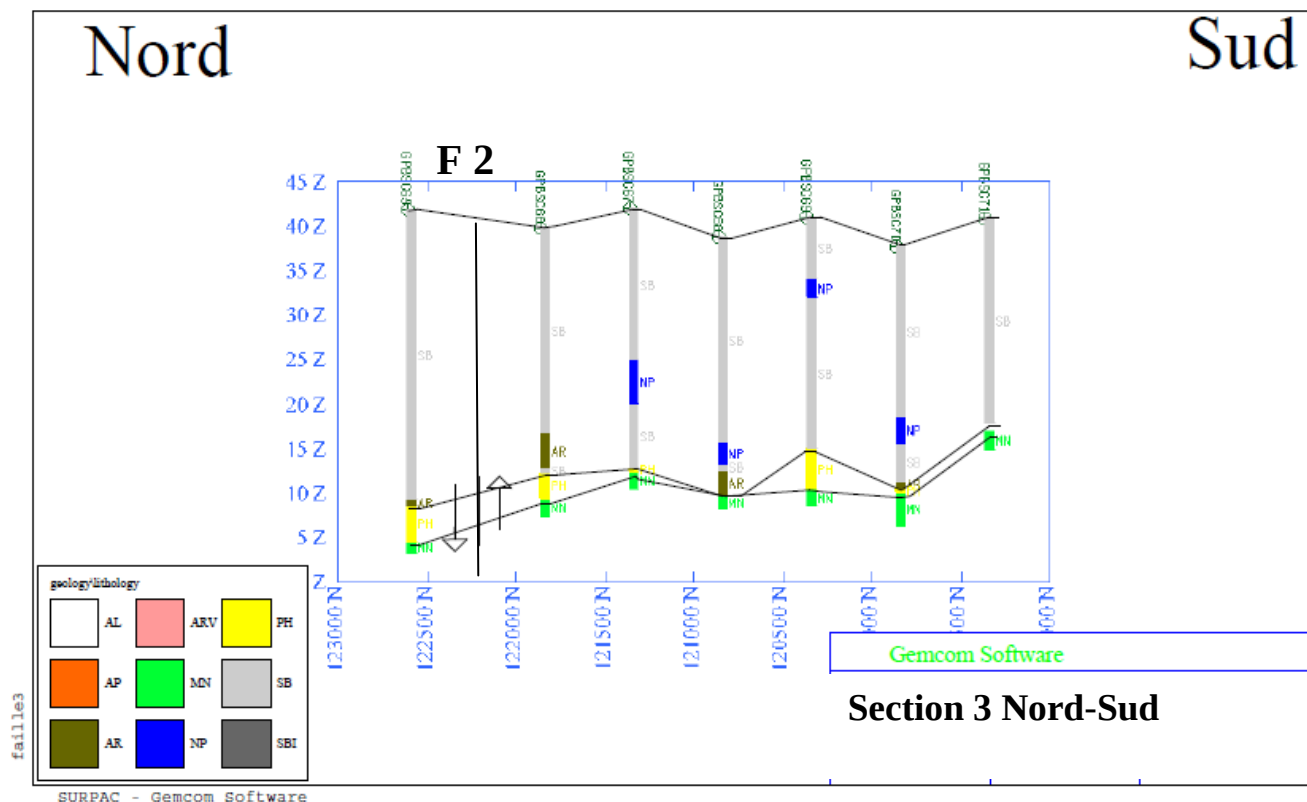
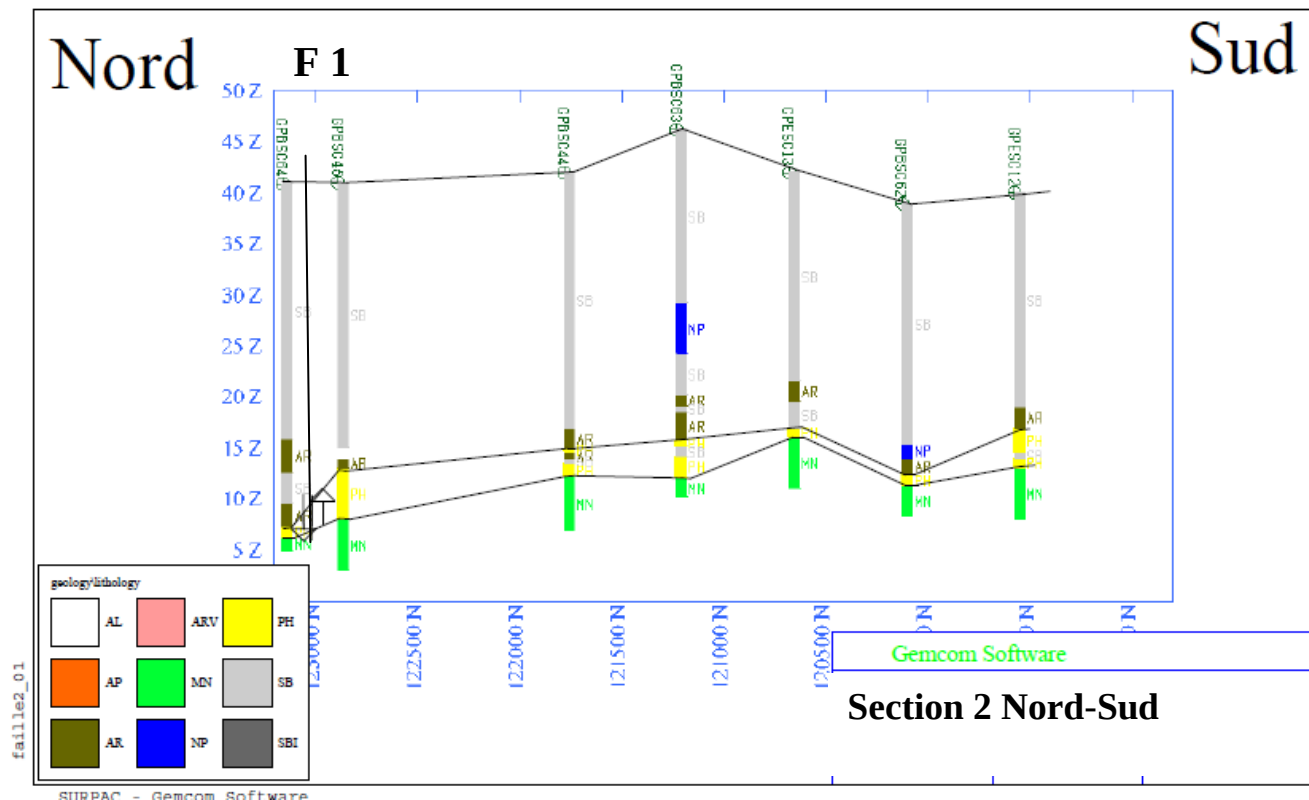
AR : Argile

PH : Phosphate de chaux

ARV : Argile volcanique

SB : Sable

SBI : Sable induré



AL : Phosphate d'alumine MN : Marne

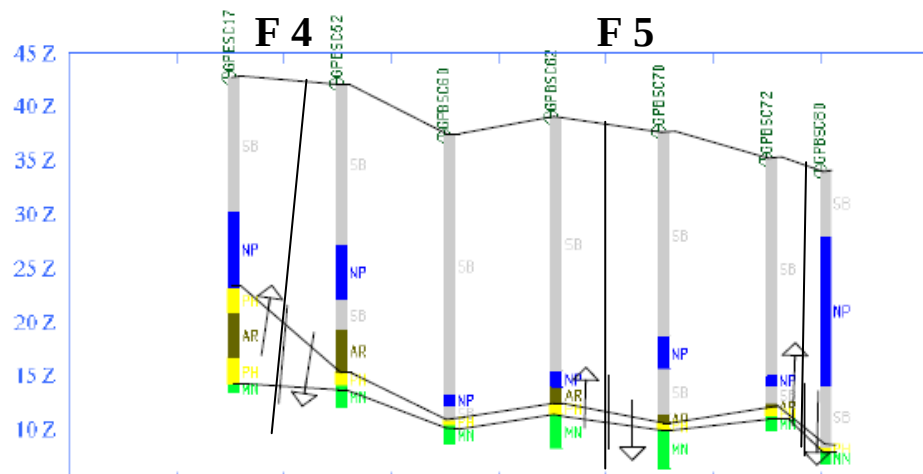
AP : Argile phosphatée NP : Nappe

AR : Argile PH : Phosphate de chaux

ARV : Argile volcanique SB : Sable SBI : Sable induré

Ouest

Est

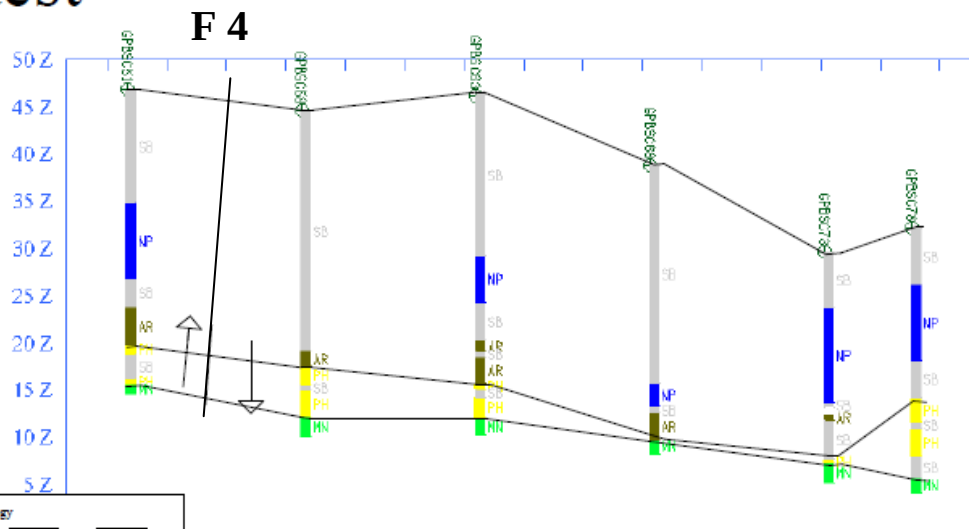


Gemcom Software
Section 4 Ouest-Est

SURPAC - Gemcom Software

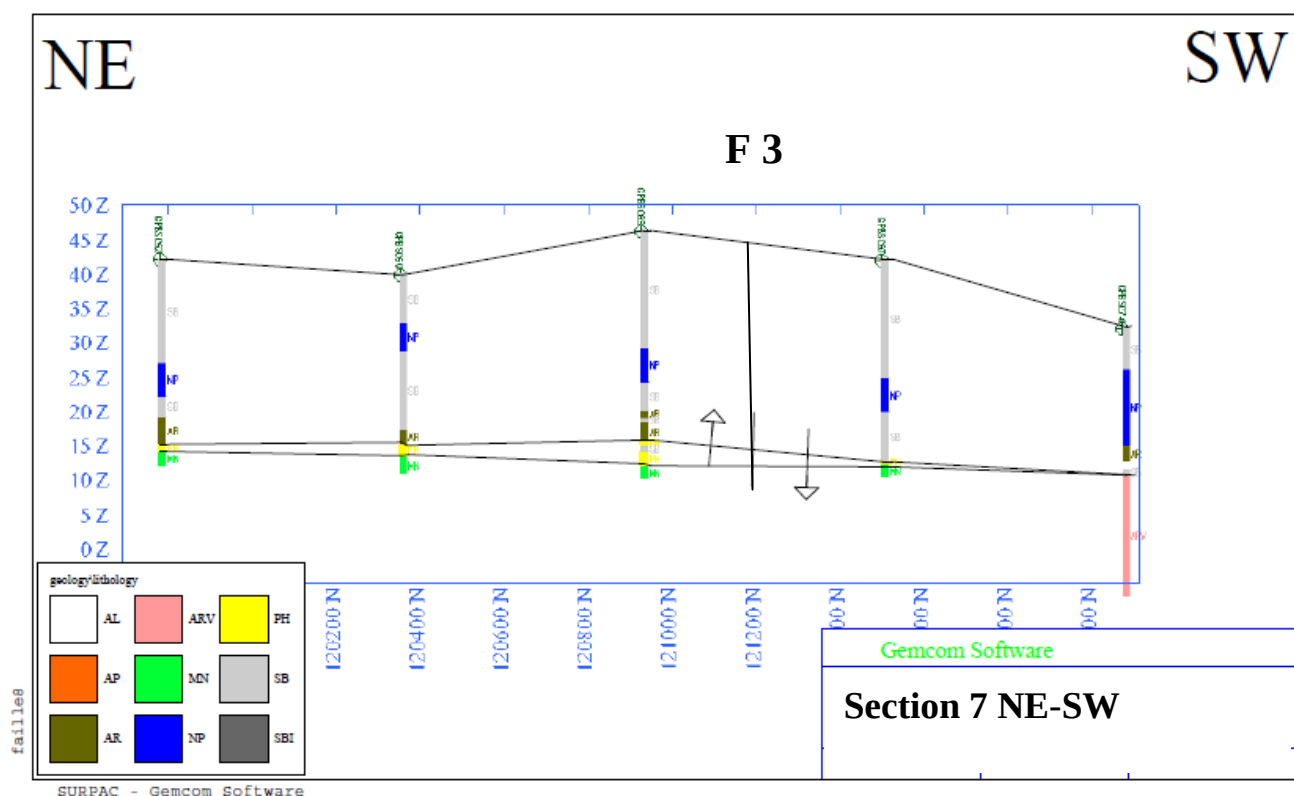
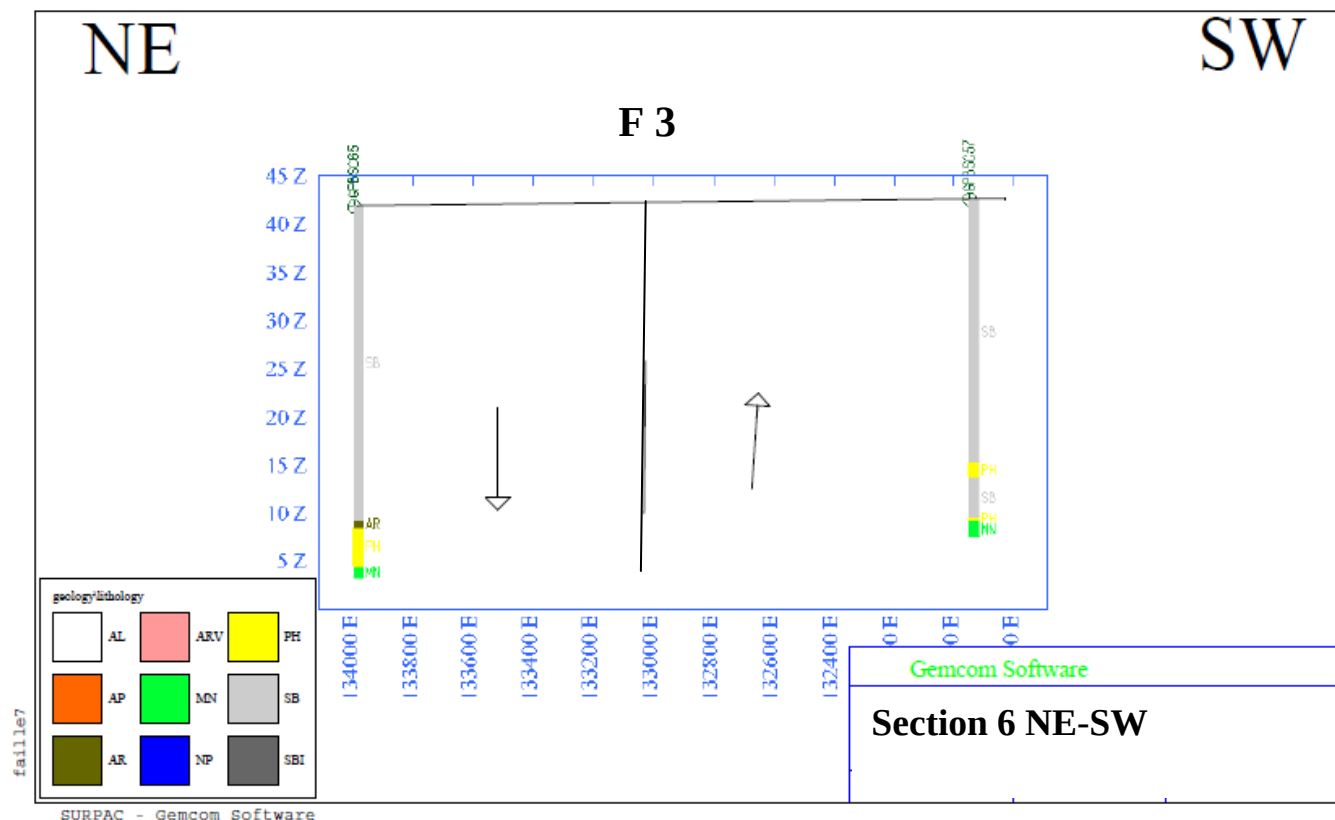
Ouest

Est



Gemcom Software
Section 5 Ouest-Est

SURPAC - Gemcom Software



AL : Phosphate d'alumine MN : Marne

AP : Argile phosphatée NP : Nappe

AR : Argile PH : Phosphate de chaux

ARV : Argile volcanique SB : Sable SBI : Sable induré

La faille F1 a une direction NNW-SSE (Figure 12). Elle traverse la partie Nord de notre secteur. Cette faille F1 contrôle l'essentiel du gisement dans la partie Nord du gisement et a causé le rabaissement de la couche phosphatée dans cette partie, d'où la protection du minerai (GPBSC50, GPBSC49, GPBSC53). Ces sondages montrent un rabaissement de la marne. Cette dernière constitue le mur de la couche de phosphate de chaux. Les potentiels importants s'observent ainsi dans cette partie de la zone avec une teneur élevée en P205 ($P_2O_5 > 28\%$). Le Feral est aussi très faible dans cette partie due à cette protection du minerai. Ce qui est d'ailleurs confirmé par les travaux de Tessier (1976) qui montrent le rôle important des failles dans le rabaissement de la couche phosphatée et de sa protection. Les niveaux phosphatés élevés présentent d'ailleurs des potentiels faibles (GPBSC46, GPBSC76) due à leur soumission à l'érosion. La faille F1 est sécante à la faille F2.

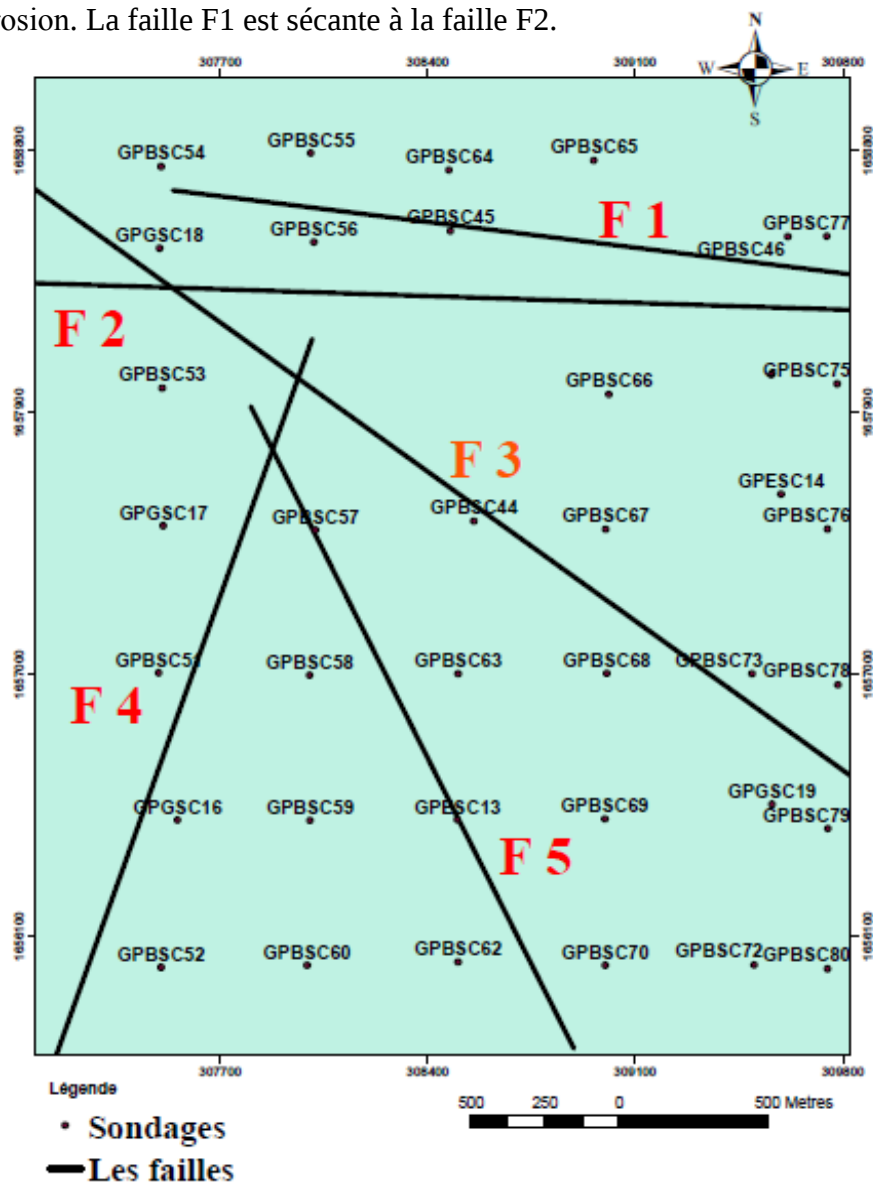


Figure 12 : Position des sondages et des failles de la zone potentielle du périmètre de Lam Lam

La faille F2 traverse la partie Nord du gisement. Cette faille a une direction N-E avec un rejet de 1 m. Elle contrôle avec la faille F1 l'essentiel de la minéralisation de la partie Nord. Les potentiels élevés de phosphate de chaux rencontrés dans les sondages GPBSC45, GPBSC55, GPBSC65 et GPBSC54 s'explique par le passage de cette faille F2 qui a causé le rabaissement de la couche d'où leur protection à l'altération. Ces failles F1 et F2 (figure 12) ont ainsi joué à l'affaissement et à la protection du minerai. Elles pourraient être contemporaines au volcanisme rencontré au sondage GPBSC74. Ce qui confirmerait les travaux de M.DIA (1982) selon lesquels le volcanisme de Thiès daté du Tertiaire est fissurale (basanite $12,0 \pm 1,5$ millions d'années). Faudra donc nous attendre lors de la troisième phase à trouver des débris volcaniques notamment dans la partie Nord-Est pouvant même recouper la couche phosphatée. De plus, ce volcanisme confirme la présence des failles dans ce secteur. La faille F2 est sécante aux failles F3, F4 et F5.

Ces trois failles se localisent principalement dans la partie Sud de la zone potentielle. Cependant, ces failles s'interceptent au Nord. Cette zone d'intersection est d'ailleurs caractérisée par des potentiels importants de 9 m de phosphate de chaux. Il devient ainsi facile de comprendre qu'il s'est produit un fossé suite aux jeux de failles. Ce fossé a constitué un milieu de stockage du minerai faiblement atteint par l'altération restée superficielle. Dans la partie Sud, la faille F3 de direction NW-SE (figure 12) avec un rejet de 2 m et la faille F 5 de direction N-S avec un rejet de 1 m ont causé un rabaissement de couche. Ce qui est marqué par une marne tardivement atteinte dans la partie Sud-Est. Cependant la faille F4 de direction NE-SW avec un rejet de 3 m a plutôt joué dans le soulèvement de couches notamment dans la partie occidentale de la zone potentielle. Ce qui est d'ailleurs marqué par une zone prédilection du phosphate d'alumine.

L'analyse de ces sections prouve l'existence des failles dans notre gisement. Ces failles sont de directions générales NE-SW. Le jeu de ces failles a surtout permis une différenciation de zones où la marne est relativement atteinte. En sus, le géo référencement des failles du plan minéral a montré la présence de la faille de Baiti Dieng passant dans la partie centrale de la zone potentielle. Cette faille pourrait être la faille principale des cinq failles ressorties dans nos sections.

Le gisement est aussi marqué par des biseautages de la couche phosphatée.

Ces biseautages s'observent notamment dans la partie Nord. Ces biseautages pourraient être dus à une lacune sédimentaire. En effet, à la fin du Tertiaire notamment au Miocène Inférieur, on assiste au retrait de la mer donc à une diminution des tests dans ce golfe Dakar, Thiès, Tivaouane et en Casamance (Samb, 2007) occasionnant la diminution de la

sédimentation phosphatée à certains endroits. Il en résulte la formation des biseautages sous l'action de l'érosion et à l'altération avec l'arrivée des dépôts continentaux. Cependant ce retrait ne s'est pas fait brusquement, on assiste en effet à une sédimentation chimique. Cette dernière due à la diminution de la tranche d'eau marine occasionne causant le dépôt calcaire. Il devient ainsi facile de comprendre les teneurs élevées de Calcium dans la région et plus particulièrement dans notre gisement. En effet, Samb (2007) parle même de cette sédimentation chimique et biochimique de la région de Tivaouane.

Les variations latérales et verticales sont d'origine sédimentaire et tectonique. Cependant il importe de tenir compte de l'altération tropicale post-sédimentaire qu'a subi le minerai à la suite de l'arrivée des eaux météoriques, d'ailleurs attesté par l'irrégularité du toit du minerai. C'est pourquoi Slansky parle de couche de phosphate remaniée dans cette partie.

A la suite de ces sections, plusieurs unités lithologiques ont ainsi été notées.

2.3. Etude macroscopique et minéralogique

2.3.1. Les marnes

L'opinion la plus répandue est que les argiles sont des roches sédimentaires à grains fins invisibles à l'œil nu (taille inférieure à $2\mu\text{m}$) et plastiques. Les argiles sont constituées au moins 50% des silicates d'alumine, auxquels s'ajoutent d'autres minéraux (quartz, calcite, oxydes de fer). Les marnes sont donc des argiles attapulgites. Elles sont constituées de 60% d'attapulgite et de 40% de montmorillonite, d'où leur couleur blanchâtre. Elles sont très compactes de par leur aspect et sont imperméables. Ces argiles contiennent des poches de phosphate de chaux très riches. Elles constituent le mur de la couche de phosphate. Ces marnes présentent une forte effervescence en présence de l'acide chlorhydrique. Ce sont donc des marno-calcaires (figure 13).



Figure 13 : Les marno-calcaires du périmètre de Lam Lam

2.3.2. Le groupe phosphaté

Il est essentiellement constitué de deux niveaux.

Le premier est constitué de phosphate de chaux à rognons de silex. Les silex y sont décimétriques et prédominants. Ce niveau est jaunâtre à blanchâtre pulvérulent (figure 14). Il est faiblement atteint par l'altération et présente des teneurs intéressantes de P_2O_5 (30%). Cependant, sa richesse en P_2O_5 est toujours inférieure à celle retrouvée dans les lentilles de Lam Lam (36%). Cela s'explique par la forte altération de la zone.



Figure 14 : Le phosphate de chaux du périmètre de Lam Lam

Le deuxième niveau est constitué de phosphate de chaux à silex en plaquettes. L'altération y est prédominante. Ce niveau est surtout constitué d'argile phosphatée. En effet, le phosphate se trouve dans une matrice argileuse. Les teneurs en P_2O_5 y sont moins importantes qu'aux précédentes à cause de la présence d'argile ferrugineuse et de la forte altération. De plus, la présence de sable phosphaté dans ces niveaux phosphatés augmente les teneurs de silice au profit du P_2O_5 . Pour Slansky M (1962), il s'agit des phosphates de chaux remaniés à matrice argilo-sableuse. Ce sable peut souvent atteindre 2 à 3 m d'épaisseur à l'intérieur de la couche phosphatée et constitue un polluant du minéral. En effet, Flicoteaux et Tessier (1976) nous parle de ces chenaux fluviaux à l'intérieur de la couche phosphatée pouvant atteindre 5 à 10 m d'épaisseur.

Il devient facile de comprendre pourquoi dans le plan minéral (1984) on parle de la couche phosphatée pauvre et fortement altérée au Sud de Taïba.

2.3.3. Les argiles bariolées

Leur étendue est très faible dans la zone. Ces argiles se biseautent à certains niveaux. Elles se localisent dans la partie centrale de la zone. La plupart des sondages montrent des argiles bariolées fortement atteinte d'une altération poussée atteignant même le niveau phosphaté. En effet, l'altération étant très poussée arrive en zone sous-jacente. Ces argiles présentent des teneurs importantes en « Feral » et surtout des teneurs élevées de silice et des traces de phosphate. Nous avons ainsi des argiles sableuses phosphatées (figure 15) dans le gisement. La présence de sable et de phosphate à l'intérieur des argiles diminue leur rôle de couche protectrice du minéral.



Figure 15 : Les argiles phosphatées du périmètre de Lam Lam

2.3.4. Le niveau silico-ferralitique à phosphate d'alumine

Ce niveau est constitué des argiles sableuses ferrugineuses phosphatées. Les proportions argileuses ou sableuses varient dans ces niveaux. Ces derniers sont très riches en oxydes de fer. Cela est d'ailleurs attesté par la couleur rouge dominante de ce niveau (figure 16). Cependant, la teneur en P_2O_5 reste élevée malgré l'altération due aux oxydes de fer. Les teneurs en Feral dans cette partie sont très importantes avoisinant les 23%. Le phosphate est surtout alumineux. Rappelons que le phosphate d'alumine provient de l'altération du phosphate de chaux illustrant de plus la dominance de l'altération dans la zone. Cependant certains auteurs expliquent l'origine de l'alumine dans ce niveau silico-ferralitique par une nouvelle phosphatogenèse postérieure à la première durant une courte durée. Le niveau silico-ferralitique est donc essentiellement constitué des argiles avec des pourcentages importants de silice. Il présente aussi des granules ou graviers d'alumine. La forme arrondie de ces graviers témoigne de l'agent de transport de ces graviers. L'agent d'altération étant à priori aquatique.



Figure 16 : Le niveau silico-ferrallitique du périmètre de Lam Lam

L'altération autochtone et liée à la nature lithologique de la roche mère. Cette altération des niveaux phosphatés n'est pas totale. En sus, la présence d'argile bariolée du toit notamment à Tobène est très rare dans le secteur, d'où l'absence de barrière protectrice du minerai.

Cette puissance de l'altération pourrait s'expliquer par la présence d'une flexure dans la zone entraînant un bombement de la zone. Ce bombement est synchrone à des failles occasionnant des glissements qui seront empruntées par l'agent de transport (eau) jusqu'au minerai. Cela expliquerait ainsi la présence de poche d'argile ferrugineuse et de sable à l'intérieur du minerai. Cette flexure a causé l'exposition des roches facilitant l'altération. Cette flexure est-elle une empreinte ou une continuation de la structure horst et graben ?

2.3.5. Les sables de recouvrement

Ces sables ont des épaisseurs importantes de 20 à 25 m. Ils sont constitués de gros grains de quartz et sont d'origine éolienne. Ils sont meubles et sont de couleurs variées. On note la présence de sable ferrugineux rougeâtre témoignant l'importance des oxydes de fer et des sables grisâtres. A la base de ces sables se trouvent des niveaux indurés (figure 17), très consolidés. Ces derniers contiennent également de l'argile d'où l'appellation de sable induré argileux.



Figure 17 : Le sable induré du périmètre de Lam Lam

On pourrait expliquer cette induration par une grésification primaire des sables. Ce qui explique d'ailleurs leur consolidation et leur dureté. Cette dureté pourrait être un obstacle à l'exploitation car leur consolidation est différente des sables éoliens du toit. Ils sont cependant à distinguer des sables de contamination présents dans la couche phosphatée. Ces derniers sables sont d'origine fluvatile. On parle de chenaux fluviatiles. En effet, Flicoteaux et Tessier (1976) parlent des chenaux fluviatiles pouvant atteindre 2 à 10 m à l'intérieur de la couche phosphatée.

2.3.6. Le volcanisme du périmètre

Dans l'établissement de nos sondages, un seul sondage a rencontré le volcanisme. Il s'agit du sondage GPBSC74 (figure 18). Il est localisé au Nord-est de notre permis. Les tracés des failles F1 et F2 ont montré que ces failles pourraient être synchrones à ce volcanisme car situées dans le prolongement de ce volcanisme où se localisent ces failles.



Figure 18 : Les marno-calcaires métamorphisés du périmètre de Lam Lam

En effet, la partie Nord où se concentre l'essentiel du minerai de bonne teneur et de potentiel intéressant serait due à la naissance de ces failles causées par le volcanisme. Ces failles auraient engendré l'effondrement de la couche phosphatée causant de même leur protection à l'érosion. Les travaux de Flicoteaux (1980) confirment la présence de ce volcanisme dans la commune de Tivaouane. En effet d'après leurs travaux (figure 19), le volcanisme se localise précisément dans la ville de Tivaouane et date du Tertiaire notamment au Miocène avec l'épanchement du volcanisme de Thiès confirmant de même les travaux de Dia. A (1982) selon lesquels ce volcanisme de Thiès est Tertiaire et fissurale.

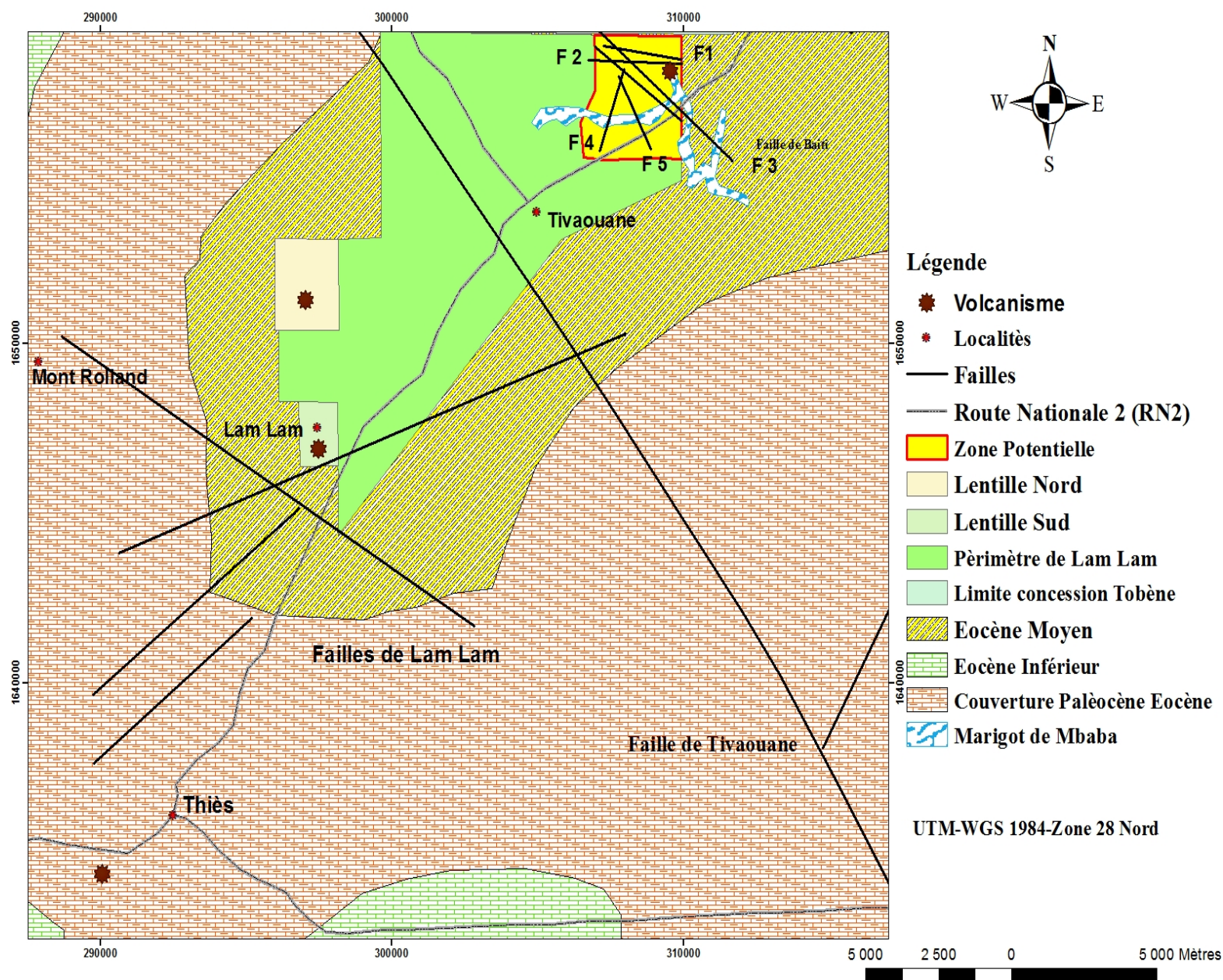


Figure 19 : Localisation du volcanisme dans la zone potentielle et dans la région de Thiès (Flicoteaux 1980)

2.4.Cartographie des paramètres géométriques

La cartographie des paramètres géométriques est réalisée avec le logiciel Surfer 9. Ce logiciel va illustrer la distribution des isopaques et isohypses des différentes caractéristiques géométriques des sondages sous formes de courbes iso valeurs. A la suite de cette représentation, la localisation des valeurs faibles et celles des élevées de ces paramètres devient plus évidente. De l'interprétation qui en suit, il en résulte une meilleure compréhension du modèle de notre gisement facilitant surtout l'exploitation.

2.4.1.Cartographie du mur de la couche phosphatée

Les valeurs des côtes du mur de la couche phosphatée sont aussi très irrégulières. Les valeurs les plus basses se localisent dans la partie Nord-Est et à l'Est de notre gisement. Les failles F1, F2 et F3 ont joué dans le rabaissement de ces parties. Ces dernières où la marne est tardivement atteinte sont caractérisées par des valeurs de côte comprises entre 4 et 11 m. En effet, le mur de la couche de phosphate de chaux correspond au toit de la marne. Les valeurs de côte élevées se situent dans la partie occidentale. A l'Est, le volcanisme a causé le relèvement de la couche phosphatée ce qui explique la présence de ce point à la côte élevée. D'une manière générale, les valeurs des côtes du mur de la couche de phosphate de chaux croissent dans la direction NE-SW rappelant celle de la faille F4. Les parties à la côte de marne élevées présentent le phosphate d'alumine. Les autres parties basses sont les zones de prédilection du phosphate de chaux. La grande partie du gisement est caractérisé par une côte moyenne de transition entre 11 et 20 m comme nous le montre la carte ci-dessous (figure 20).

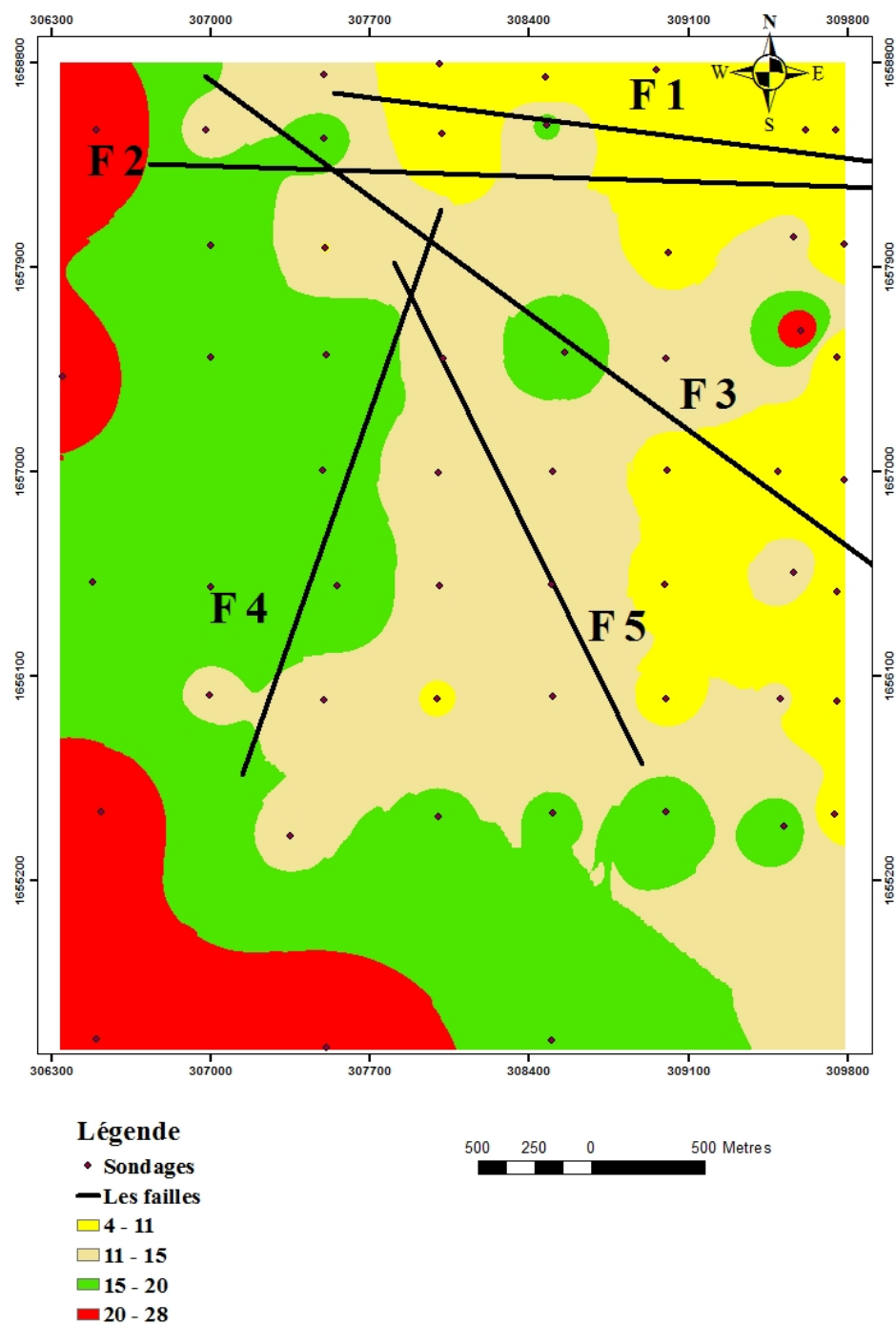


Figure 20 : Distribution de la côte du mur de la couche de phosphate dans la zone potentielle

2.4.2.Côte du toit de la couche phosphatée

Les côtes du toit de la couche de phosphate sont très irrégulières. Elles sont comprises entre 32 m et 5 m. La plupart des côtes du toit de la couche de phosphate sont compris entre 11 et 17 m. Les valeurs faibles se localisent principalement au Nord-Est et à l'Est du gisement

(figure 21). Il est à remarquer que les teneurs de P_2O_5 les plus élevées se localisent principalement à ces horizons bas avec les teneurs les plus faibles de Feral.

La partie Nord est marquée par le tracé de nombreuses failles. Les failles F2 et F5 ont en effet causé le rabaissement de la couche phosphatée entraînant ainsi leur protection. Les sondages GPESC14, GPBSC76, GPBSC75 se localisent dans cette partie. Ils présentent les potentiels les plus élevés et les valeurs de Feral les plus faibles, confirmant ainsi l'intérêt des parties affaissées dans la protection de la couche phosphatée.

Les côtes élevées se localisent aux extrémités Nord-Ouest et au Sud-Ouest avec des valeurs de 32. Ces côtes correspondent aux niveaux proches de la surface. C'est le domaine de prédilection des phosphates d'alumine (GPBSC42 et GPBSC43). Nous remarquons qu'en présence d'une zone dont le toit de la couche de phosphate est élevé et en absence de la couche argileuse protectrice, le phosphate d'alumine prédomine.

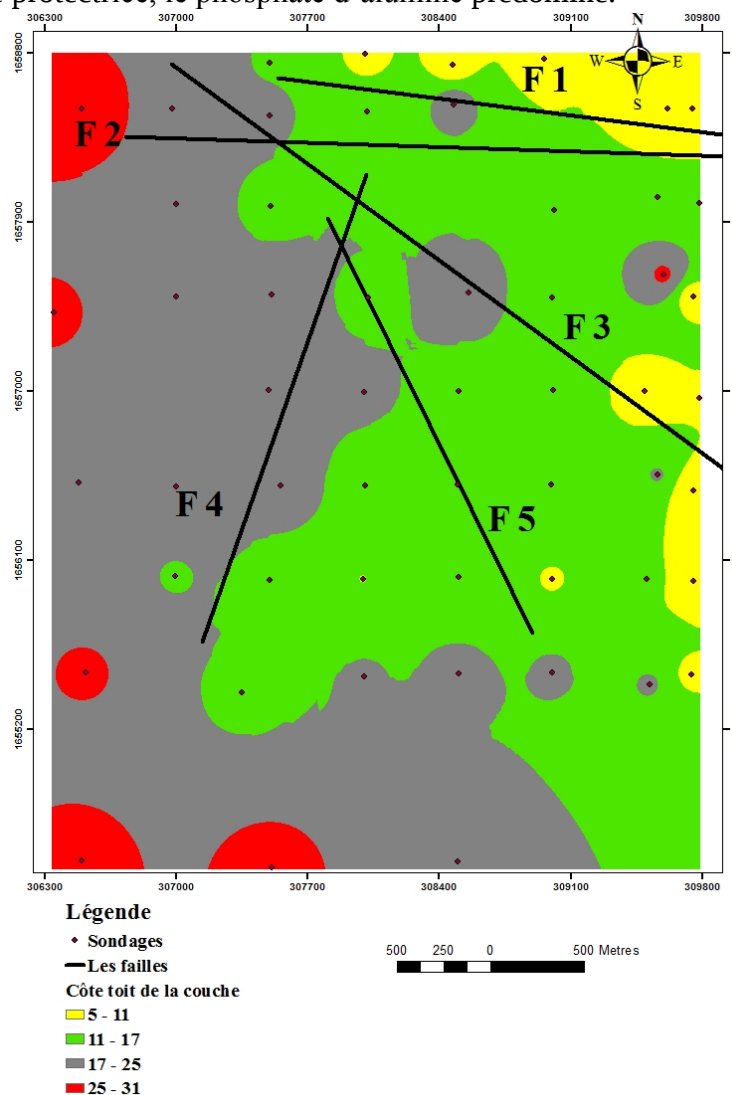


Figure 21 : Distribution de la côte du toit de la couche de phosphate

2.4.3. Les épaisseurs du recouvrement

Il devient facile de distinguer que l'essentiel de notre gisement a un décapage moyen de 25,9 m. Cette valeur moyenne de décapage confirme les ressemblances du gisement de Pire Goureye avec notre gisement. Ce gisement serait donc une continuité du gisement de Pire de Goureye dont il partage généralement les mêmes caractéristiques. L'épaisseur moyenne du décapage est de 25,9 m. Cette valeur du décapage se localise principalement dans la partie centrale de notre gisement.

La partie Nord est caractérisée par des valeurs élevées des isopaques du décapage (figure 22). Les valeurs sont comprises entre 30 et 36 m de recouvrement. En effet, cette zone est marquée par les dépôts des sables éoliens augmentant les épaisseurs du recouvrement. En sus, on note le passage des failles F2, F1 et la faille de Baiti Dieng dans cette partie. Ces failles ont principalement causé un rabaissement des couches, d'où une épaisseur importante du recouvrement. On distingue également des valeurs faibles des isopaques du décapage.

L'essentiel des valeurs faibles des isopaques du recouvrement se localise dans les parties Est et Ouest du gisement. On distingue également une partie de faible isopaque au Sud. Les valeurs y sont comprises entre 15 et 22 m.

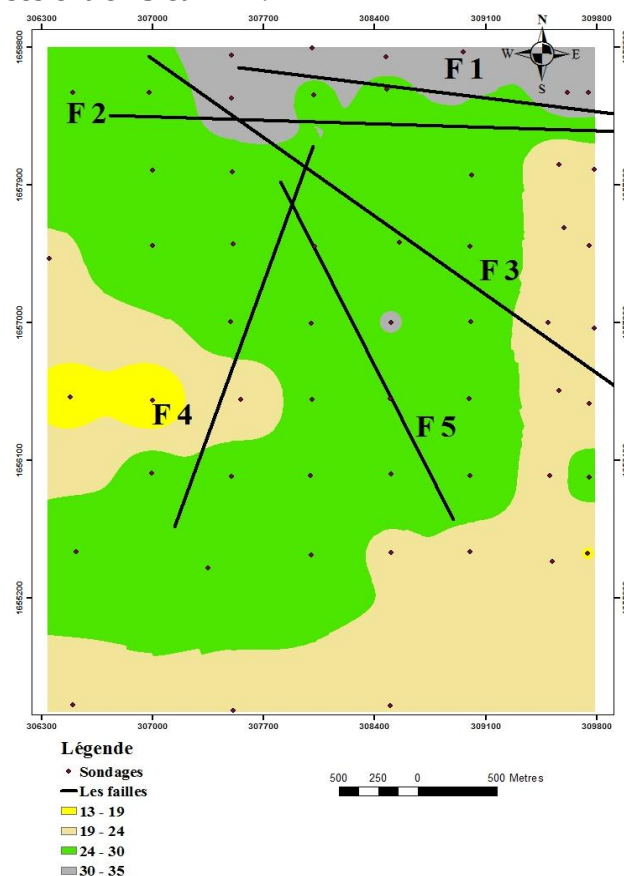


Figure 22 : Isopaque du recouvrement stérile de la zone potentielle

2.4.4. Les intercalations stériles

L'analyse de la distribution des intercalations stériles à l'intérieur de la couche phosphatée montre une zone préférentielle de propagation (Figure 23). Dans la partie NW, ils atteignent des épaisseurs importantes de 3 m à l'intérieur de la couche phosphatée. L'essentiel des intercalations est d'origine siliceuse et se localise dans la partie centrale. Cette partie est marquée par le tracé des failles F4 et F5 qui ont une direction principale NE-SW. Ainsi ces intercalations siliceuses auraient emprunté ces zones de faiblesse constituées par ces failles pour s'infiltrer à l'intérieur de la couche phosphatée avec leur agent aquatique de transport. Flicoteaux (1980) nous parle de ces niveaux sableux à l'intérieur de la couche phosphatée. La couche de phosphate présente des poches latéritiques. Ces dernières seraient dues à l'accumulation des oxydes de fer transportés par l'eau. Cet agent d'altération aurait emprunté les tracés des failles qui sont post-sédimentaires.

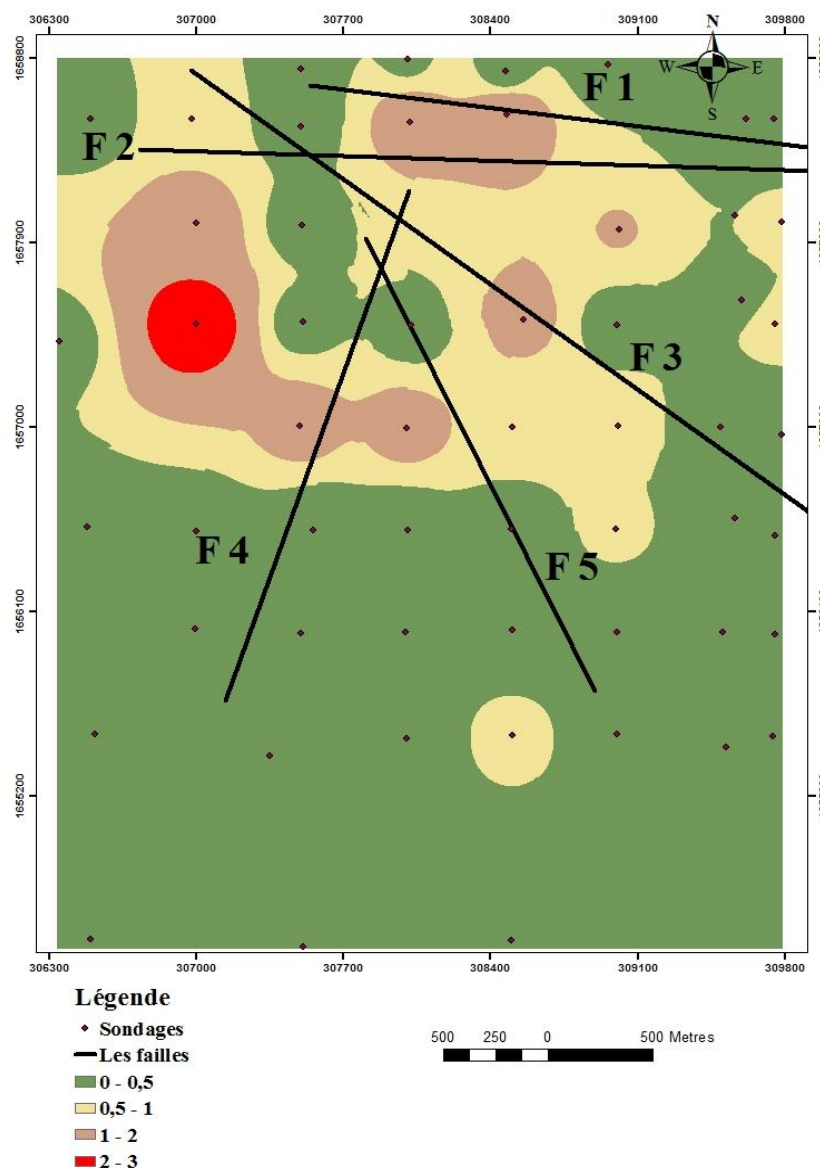


Figure 23 : Isopaques des intercalations siliceuses dans la couche de phosphate

Samb (1998) nous parle de l'altération tropicale de l'Oligo-Pliocène qui aurait facilité le transport des dépôts continentaux fluviatiles terrigènes à la suite du retrait de la mer. Ces dépôts pourraient occasionner le développement des niveaux silico-ferralitiques à l'intérieur de la couche phosphatée y augmentant ainsi la valeur du Feral et de la silice. Il nous importe alors de comprendre la distribution géochimique dans la zone.

2.5.Caractérisation géochimique

La société SEPHOS dispose d'un laboratoire d'analyse des échantillons qui nous a fourni les données géochimiques de tous les sondages. L'étude géochimique concerne surtout les distributions du P_2O_5 , du « Feral », du Calcium, de la silice et du rapport K (CaO/P_2O_5). Le laboratoire nous a remis plus de cent analyses.

Cette étude géochimique est basée sur le logiciel Surfer 9 et sur le logiciel Arc gis 10. La distribution de ces courbes est relative à la géochimie de la zone et demeure très importante comme guides pour la prospection et l'exploitation. En effet, à la suite de ces interprétations plusieurs zones potentielles seront délimitées et l'établissement des panneaux de prévision sera effectué.

2.5.1.La distribution du P_2O_5

La distribution des teneurs du P_2O_5 est hétérogène dans le gisement. L'essentiel des valeurs faibles se situent dans les extrémités NW et Sud (figure 24). En effet, ces parties sont marquées par une côte élevée du mur de la couche phosphatée facilitant leur altération. Rappelons que les côtes élevées du mur de la couche phosphatée correspondent aux niveaux proches de la surface. Il en résulte une baisse de la teneur en P_2O_5 dans ces zones où le mur de la couche phosphatée a une côte faible. Il existe donc une relation évidente entre le mur de la couche phosphatée et les teneurs en P_2O_5 . La carte suivante (figure 24) de la côte du mur et des teneurs de P_2O_5 montre que l'essentiel des teneurs élevées de P_2O_5 se localise dans les parties aux côtes faibles. En d'autres termes le minerai est conservé lorsque la marne est tardivement atteinte. Ces rabaissements de la marne sont sous l'action tectonique d'ailleurs confirmé par les failles F1 F2 F3 et la faille de Baiti Dieng de la partie Nord qui ont causé un rabaissement et une conservation du minerai. Dans cette partie Nord, nous distinguons aussi le rôle important de la faille principale de Baiti Dieng. C'est elle principalement qui a causé les côtes faibles du mur de la couche de phosphate entraînant sa conservation.

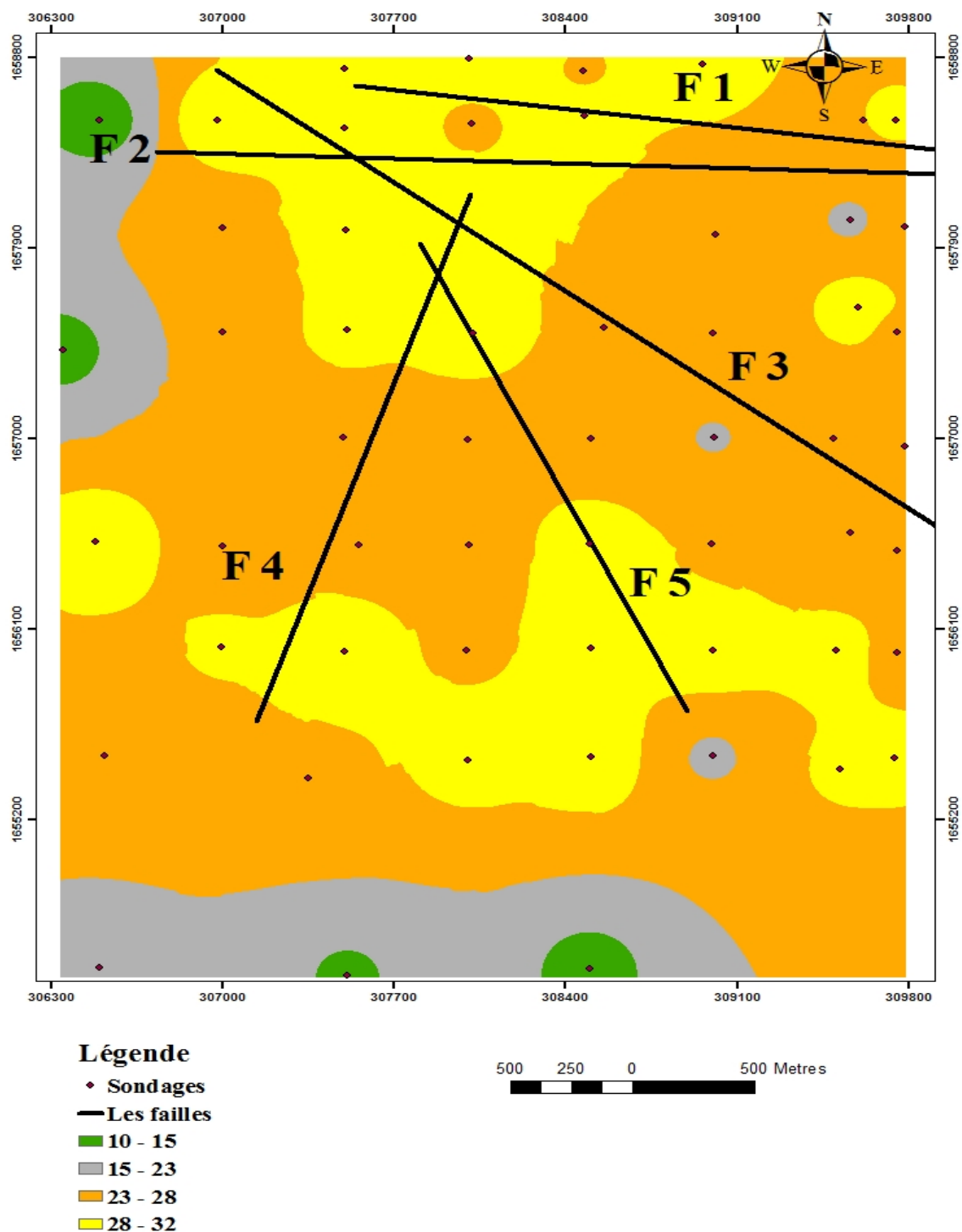


Figure 24 : Distribution des teneurs de P_2O_5 dans la zone potentielle

Ainsi, les valeurs élevées en P_2O_5 se localisent préférentiellement au Nord, au centre ouest et aux extrémités Est du gisement. En effet, au Nord et à l'Est, ces teneurs s'expliquent par le rabaissement tectonique de la couche phosphatée tandis qu'au centre Ouest, c'est le domaine

de prédilection des argiles. En effet, ces deux zones sont marquées par des teneurs de P_2O_5 de l'ordre de 28 à 33%. Les valeurs extrêmes (33 et 30%) sont cependant ponctuelles. Deux zones de transition présentent des teneurs de P_2O_5 moyennes comprises entre 23 et 28 %. L'essentiel du gisement est situé dans cette zone de transition. Cela confirme d'ailleurs les travaux du Plan minéral selon lesquels la couche phosphatée au Sud de Taïba est pauvre, cependant il existe quelques poches de phosphate très potentielles dont le Feral est faible.

2.5.2. La distribution du Feral

Le Feral est la somme des deux constituants que sont les teneurs en Al_2O_3 et le Fe_2O_3 . Cependant lors de nos analyses nous avons prêté attention à la valeur individuelle de chacun. Le Fer témoigne du degré d'importance des minéraux argileux dans la gangue, quant à l'aluminium il témoigne du degré d'altération du phosphate de chaux en alumine. En effet Flicoteaux (1980), dans la genèse des phosphates d'alumine de Thiès montre le passage des phosphates de chaux aux phosphates d'alumines par l'altération. Les phosphates d'alumine proviennent donc des phosphates de chaux. Ainsi il est possible dans les zones de phosphate d'alumine de trouver du phosphate de chaux si que l'altération de la couche phosphatée n'est pas totale.

Pour ce gisement, les plus faibles teneurs de Feral sont comprises entre 4 et 7%. Ces valeurs se localisent principalement au Nord sur une grande étendue et de façon ponctuelle à l'Est et à l'Ouest (figure 25). C'est aussi les zones à teneur de P_2O_5 élevée et à potentiel très intéressant correspondant aux tracés des failles F2, F1 et F3. Les failles F4 et F5 ont aussi causé le rabaissement de ces points localisés notamment au Sud et au Sud-ouest. Les zones à « Feral » compris entre 7 et 15 % sont prédominantes. Ce qui s'explique par la non continuité de la couche argileuse protectrice du minerai, facilitant l'altération du minerai. Les failles ont aussi contribué au soulèvement de certaines zones témoigné par la marne à faible profondeur. L'essentiel des teneurs de « Feral » atteignant 15 à 19 % se rencontrent aux sondages GPBSC34, GPBSC35, GPBSC42 et GPESC8. On comprend ainsi la genèse de poches latéritiques à l'intérieur de la couche phosphate qui s'explique par les transports aquatiques au cours de l'altération tropicale Oligo-Pliocène ayant entraîné ces dépôts d'oxydes.

Pour mieux comprendre cette distribution du Feral, nous avons étudié partiellement les teneurs des oxydes de Fer et celles d'Alumine. Dans la majorité des cas, les teneurs des oxydes d'Alumine sont très élevées dans les niveaux aux teneurs de Feral élevées. Ainsi du

passage du phosphate de chaux à celui d'alumine, une substitution existe indépendante des teneurs de P_2O_5 . Ce qui est d'ailleurs montré par les teneurs faibles de calcium dans les zones riches en alumine. On comprend pourquoi Flicoteaux (1980) dans son étude de la genèse des phosphates d'alumine de Thiès tirait la conclusion selon laquelle le phosphate d'alumine provient de l'altération du phosphate de chaux. Il est donc possible de découvrir des poches de phosphate de chaux à l'intérieur ou à proximité d'une zone alumineuse. Ce qui est d'ailleurs témoigné par la partie Sud-Est de notre permis où une poche de phosphate de chaux est entouré par du phosphate d'alumine (figure 25).

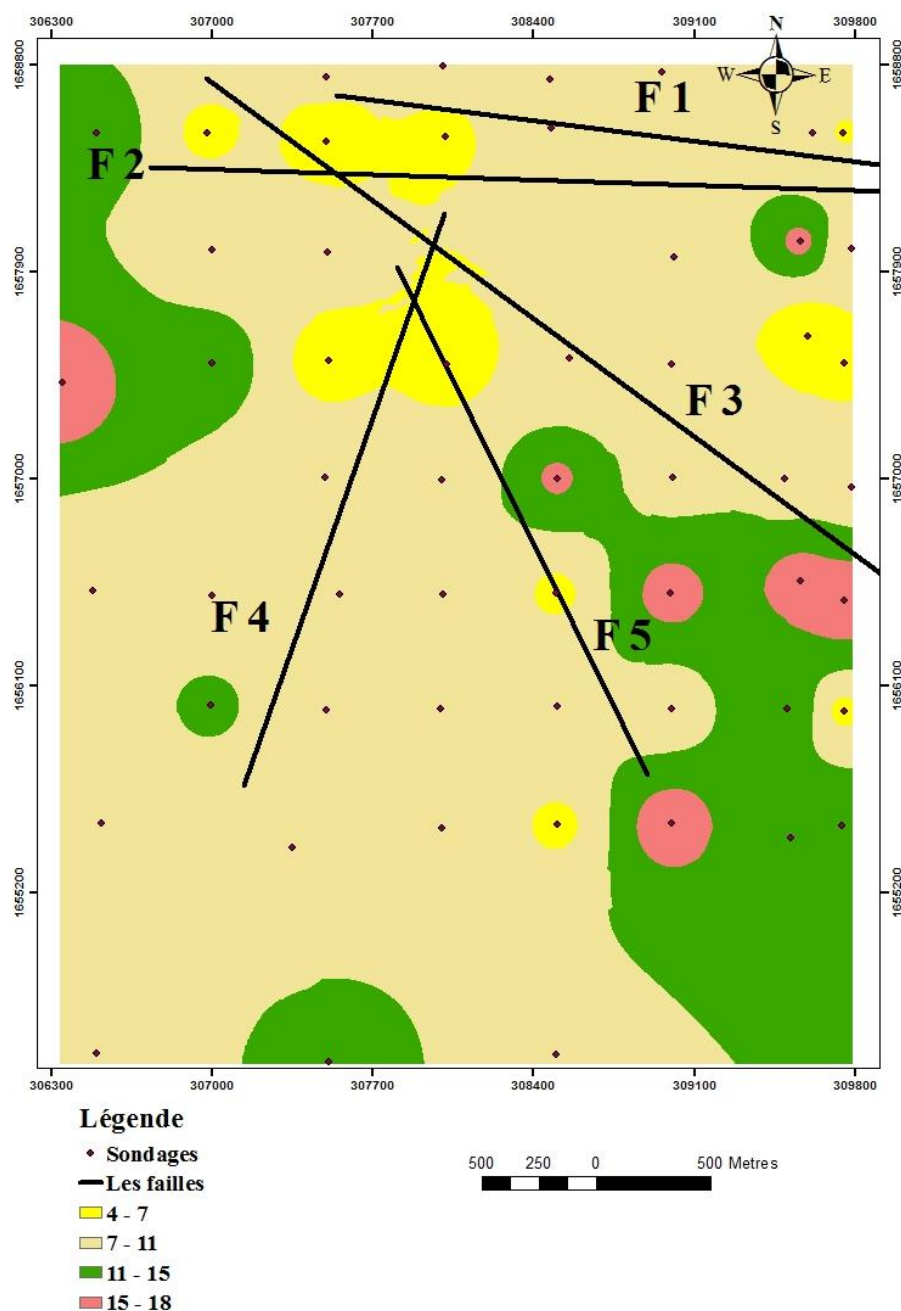


Figure 25 : Distribution des teneurs de Feral dans la zone potentielle

Les oxydes de fer quant à eux proviennent de l'altération tropicale de l'Oligo-Pliocène (Samb, 1998). Cette altération a aussi transporté beaucoup de silice

2.5.3. La distribution de la silice

Les pourcentages de Silice sont élevés dans la couche phosphatée. Les valeurs faibles de Silice sont ponctuelles et comprises entre 6 et 12 %. Elles sont principalement situées au Centre-Est (Figure 26). Les valeurs moyennes (12 à 22 %) de silice occupent la grande superficie du gisement. En effet, cela témoigne du degré de l'altération tropicale de l'Oligo-Pliocène qui a transporté des sédiments terrigènes continentaux silico-ferralitiques.

En sus, la discontinuité des argiles bariolées a facilité ce transport de la silice à l'intérieur de la couche phosphatée. Ce transport s'est aussi fait préférentiellement suivant les directions des zones de faiblesse des couches représentées par les failles notamment des failles F4 et F5. En effet l'agent d'altération a suivi le tracé des failles pour transporter de la silice à l'intérieur de la couche phosphatée.

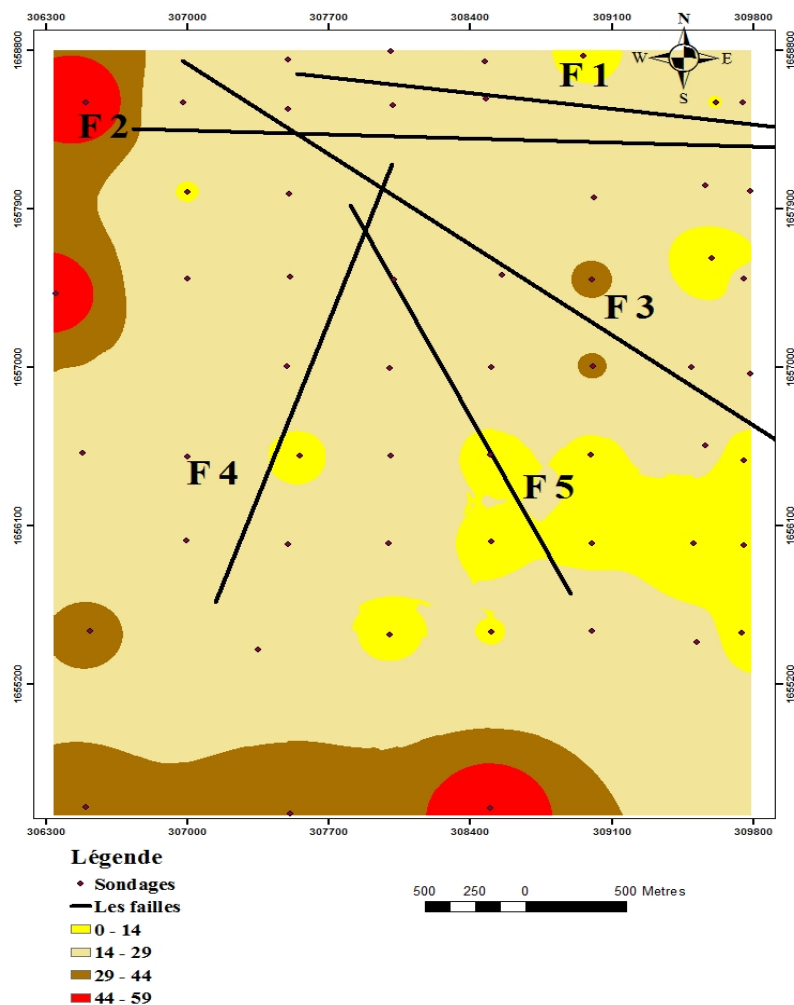


Figure 26 : Distribution des teneurs de silice dans la zone potentielle

On comprend pourquoi Slansky parle de couche phosphatée remaniée à matrice argilo-siliceuse dans cette partie située au Sud de Taïba. Il devient ainsi facile de trouver des teneurs importantes de 60% de silice qui constituent la teneur maximale. Ces valeurs extrêmes se trouvent au Nord-Ouest et au Sud du gisement correspondant aux zones de faibles teneurs de P_2O_5 et aux fortes teneurs de Feral montrant de plus cette interdépendance entre ces zones à altitudes élevées, les fortes teneurs de silice et la présence des failles suivies par l'agent de transport.

2.5.4. La distribution de l'oxyde de calcium (CaO)

Les teneurs de l'oxyde de calcium (CaO) sont très élevées dans le gisement. Les maxima atteignent 30 à 48 % et sont largement réparties dans le gisement. La sédimentation biochimique correspondant à la phosphatogenèse est accompagnée d'une sédimentation chimique. Cette sédimentation correspond aux dépôts du CaO dans la couche phosphatée. On comprend alors ces valeurs élevées largement distribuées dans le gisement qui constituent un guide pour la présence du phosphate de chaux. Les molécules CaO vont constituer le cortex des coprolithes correspondant à la genèse de la couche de phosphate. Cependant ces molécules d'oxyde de Calcium sont différentes de celles du calcaire.

Pourrions-nous alors parler d'une sédimentation chimique et biochimique de la région de Thiès ? Tessier (1976) parle lui d'une mer peu profonde persistante à l'Ouest correspondant aux dépôts des calcaires à l'intérieur de la couche phosphatée après le retrait de la mer à l'Oligocène. D'ailleurs cela se confirme par les gisements de phosphato-calcaire de Keur Mor Fall, Ndomor Diop et de Tobène. Ainsi dans la prospection, on pourrait s'attendre à trouver des bancs de calcaire ($CaCO_3$) à l'intérieur de la couche phosphatée notamment dans la partie Nord-Est de notre gisement. Ces molécules de

Cependant, on distingue quelques zones avec des teneurs faibles de calcium. Ces valeurs se localisent principalement dans la partie Nord-Ouest et au Sud du gisement (figure 27) et correspondent aux zones de prédilection du phosphate d'alumine.

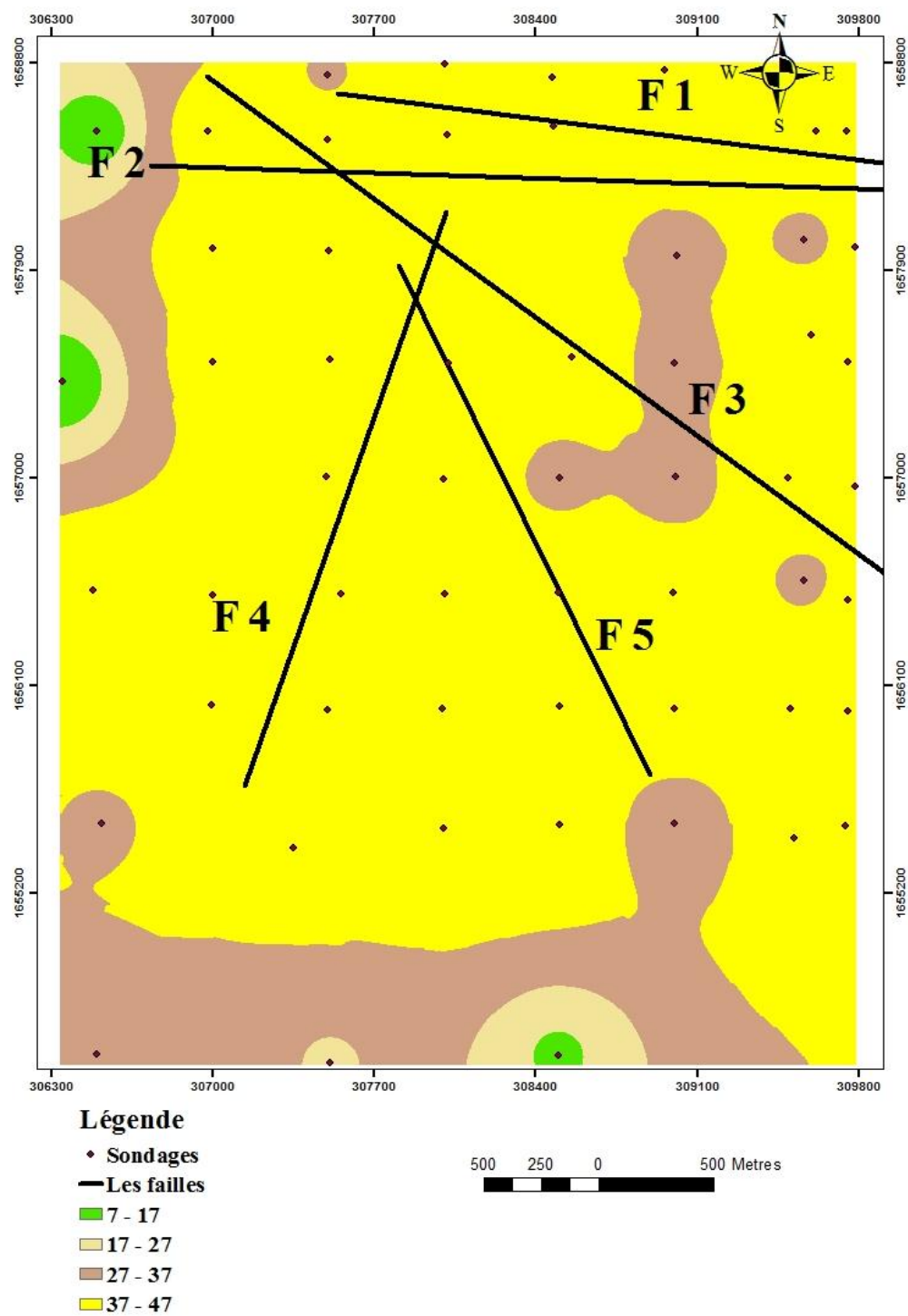


Figure 27 : Distribution des teneurs d'oxyde de calcium dans la zone potentielle

Il est intéressant aussi de remarquer que les zones aux faibles teneurs de Calcium coïncident aux points de faible teneur de P_2O_5 montrant l'interdépendance entre les teneurs de CaO et les teneurs de P_2O_5 dans les couches phosphatées car partageant une même origine marine. Ce qui est d'ailleurs témoigné par le rapport K ($K=CaO/P_2O_5$).

2.5.5. La distribution du rapport $K = (CaO/P_2O_5)$

Le rapport K est défini par le rapport de la teneur du CaO sur la teneur de P_2O_5 . Ce rapport détermine le degré de substitution du minéral phosphaté. L'analyse de ce rapport montre des valeurs de K généralement comprises entre 1 et 1,5 témoignant des valeurs élevées du CaO dans notre couche phosphatée. Cependant ces valeurs de K dans le gisement sont inférieures à 2 montrant que la substitution n'est pas totale (Figure 28).

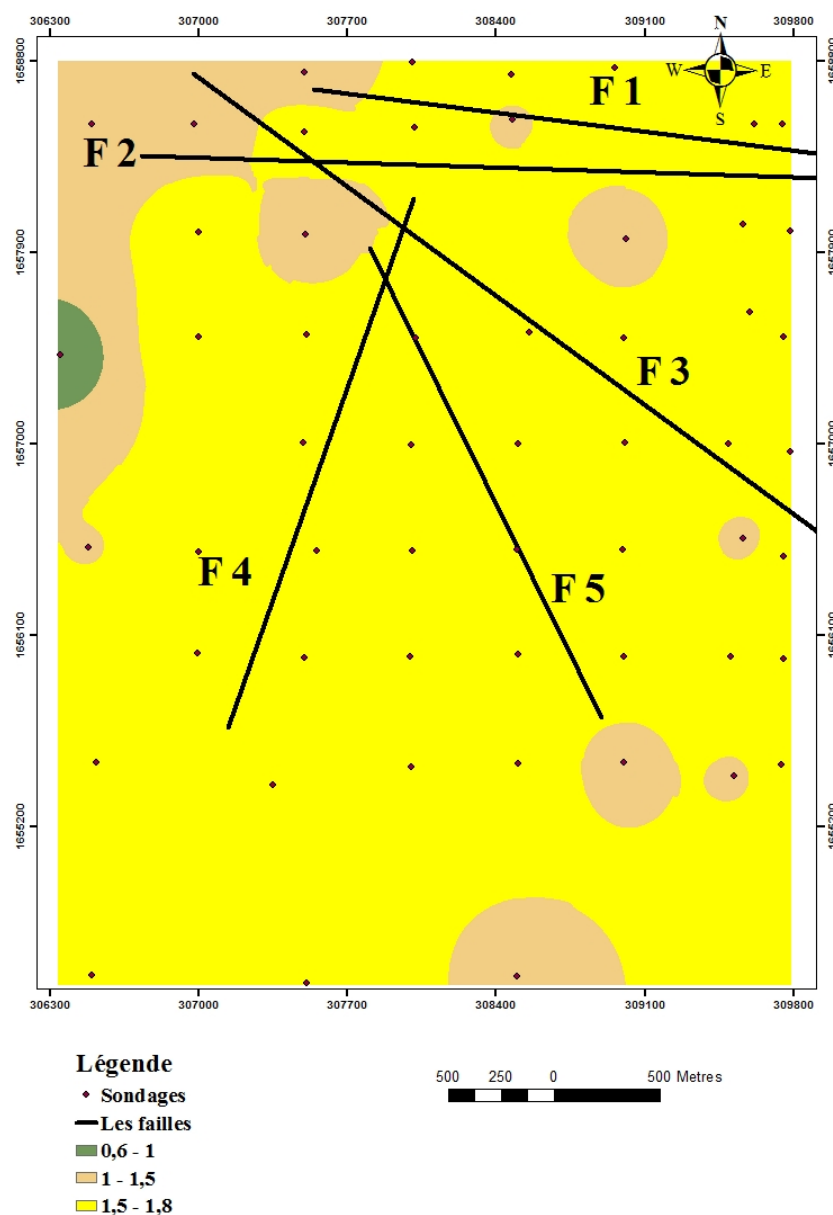


Figure 28 : Distribution des teneurs du rapport K ($CaO\%/P_2O_5$)

Il est important de remarquer que les rapports faibles de K correspondent principalement aux zones riches en Alumine. En sus, ces zones sont marquées par des teneurs faibles de P_2O_5 . Ces rapports peuvent ainsi servir d'indicateurs de prospection dans la recherche du phosphate de chaux. En effet, la plupart des zones à fortes teneurs de P_2O_5 se localisent principalement dans les parties présentant un rapport élevé de K.

Conclusion

A la suite de l'analyse de la distribution des paramètres géométriques et géologiques, plusieurs zones ont été décelées.

La partie Nord et la partie orientale présentent une zone potentielle à minerai à faible « Feral » ($F < 6\%$). Cette zone est en effet contrôlée par le tracé des failles F1, F2, F3 et surtout la faille de Baiti Dieng qui ont causé un fossé et un piégeage du minerai. Ces failles sont confirmées par le volcanisme. La partie Nord-Est de la zone potentielle est en fait marquée par un volcanisme témoigné par les marno-calcaires métamorphisés. Une seconde partie de phosphate de chaux se distingue au Centre Ouest cependant avec des teneurs en Feral plus élevées (11%). La présence de cette couche pourrait s'expliquer par la présence de couches d'argiles protectrice de la couche phosphatée. En effet, à cette zone les argiles y atteignent des épaisseurs maxima. Entre ces deux zones, se trouve le domaine de prédilection des phosphates alumino-calciques. Ces derniers sont marqués par des teneurs moyennes de Feral et de P_2O_5 . Cependant, cette zone potentielle présente plusieurs anomalies. Nous remarquons en fait la présence des intercalaires siliceux à l'intérieur de la couche phosphatée. Ces intercalaires peuvent atteindre des épaisseurs de 3 m à l'intérieur de la couche phosphatée. L'essentiel de ces intercalaires sont contrôlés par les failles F4 et F5. Les poches latéritiques à forte teneur de Feral marquent également leurs présences. Ces poches sont principalement localisées à proximité des zones à phosphates d'alumine dont la côte des marnes est élevée. Les phosphates d'alumine se localisent au Sud et dans la partie occidentale de la zone potentielle.

Cette zone potentielle est aussi marquée par la présence des poches de stériles. Ces derniers pourraient s'expliquer par l'érosion complète de la couche phosphatée occasionnant ces poches de stériles. Ces poches se localisent principalement à côté des zones d'eau. Ces zones d'eau sont situées dans la partie centrale et au Sud-Est correspondant à des zones de dépression. L'eau pourrait faciliter l'érosion de la couche de phosphate lors de son passage. Il importe alors d'étudier l'aspect hydrogéologique de la zone potentielle.

2.6.Aperçu hydrogéologique du permis de la grande exploration

L'étude détaillée de la zone montre la présence d'une nappe d'eau. Plusieurs sondages attestent de la présence de cette nappe d'eau. Selon la topographie, cette nappe est atteinte à des niveaux différents. Il existe une zone de dépression à l'intérieur de laquelle la nappe est presque affleurant.

La zone potentielle du périmètre de Lam Lam est marquée par une partie creuse. Cette partie correspond aux tracés d'un cours d'eau. Il s'agit de l'ancien marigot du village M'baba. Les villages voisins montrent des puits dont la nappe est atteinte à faibles niveaux. Ce qui d'ailleurs justifie les puits longeant ce tronçon et servant à l'arrosage des cultures maraichères. Ces puits alimentés durant toute l'année prouvent la pérennité de cette nappe. Notre gisement se trouve donc dans une zone d'eau. Pour mieux étudier cette nappe, plusieurs de nos sondages ont été équipés de tubes PVC. Les niveaux piézométriques de l'eau dans la zone ont été relevés à travers les sondages et les puits.

2.6.1.Les sondages à eau et les puits

Les sondages ayant rencontré de l'eau sont nombreux. Vingt-six sur les cinquante-cinq sondages ont montré la présence de l'eau. Le niveau d'atteinte de l'eau est très variable. En effet, nous nous trouvons en secteur dunaires des sables éoliens du Quaternaire et certaines zones sont plus basses que d'autres. Les zones où l'eau est presque affleurant se localisent principalement dans cette zone basse du tracé du cours d'eau de M'baba.

Le tableau suivant résume la position des sondages et les niveaux auxquels l'eau est atteinte. Nous avons équipé des sondages de tubes PVC (Figure 29) pour connaître le niveau réel de la nappe.



Figure 29 : Sondage équipé de PVC

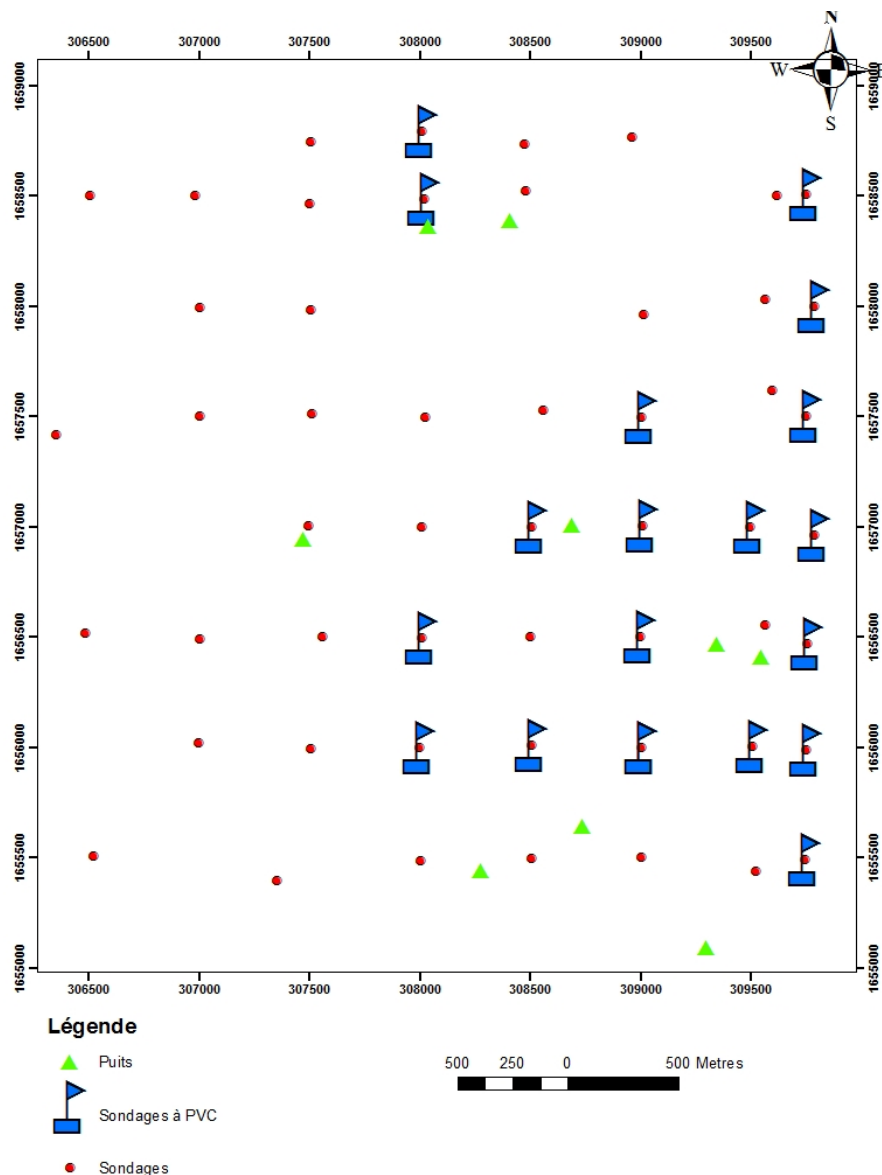


Figure 30 : Localisation des sondages équipés de PVC dans la zone potentielle

En effet, pour mieux comprendre la dynamique et entamer des études futures pour la modélisation de cette nappe, vingt-un sondages ont été équipés de tubes PVC devenant des piézomètres (figure 30). Ces derniers ont été latéralement sciés (crépine) afin de permettre l'écoulement normal de l'eau à travers ces piézomètres, permettant de suivre les fluctuations de cette nappe au cours du temps.

Avec la sonde électrique, une première campagne de suivies de la nappe a été organisée. Pour arriver à la modélisation de cette nappe et faciliter l'exploitation lors de l'extraction de la couche phosphatée découverte, plusieurs campagnes doivent être organisées. A la suite de ces

compagnes, des forages d'exploitation doivent être réalisés afin de déterminer les paramètres intrinsèques de cette nappe, notamment sa perméabilité.

Les puits fournissent des résultats aux erreurs plus faibles car l'eau circule naturellement et sa surface libre est plus grande, d'où la pression de sa surface est moindre par rapport à celle des tubes PVC. En sus, l'utilisation de l'eau par les habitants des villages sert d'informations et témoignent la dynamique de remplissage des puits car la majorité des puits ne tarissent rarement. Des baisses de niveau temporaires sont relevées. Ainsi dans notre prospection six puits des villages environnants ont été étudiés. Le tableau suivant résume les informations obtenues dans ces puits :

Numéro Puits	X	Y	Z	début eau (hd)	fin eau (Hf)	hauteur margelle (hm)	hd sans m	hf sans margelle	épaisseur eau (m)	Isopièze par rapport
P1 (Baiti Dieng)	308408	1658392	50	12,95	14,1	0,8	12,15	13,3	1,15	37,05
P2 (Baiti Fall)	308035	1658363	53	13,8	15,6	0,4	13,4	15,2	1,8	39,2
P3 Sala Deurgueun	308690	1657008	51	12,7	16,7	0,7	12	16	4	38,3
P4 Ndia	307471	1656948	54	13,63	16,4	0,8	12,83	15,6	2,77	40,37
P5 Yadjine 1	309544	1656410	51	11,4	13,45	0,7	10,7	12,75	2,05	39,6
P6 Yadjine 2	309300	1655094	54	16	23,3	1,1	14,9	22,2	7,3	38

Tableau 1 : Les puits des villages de la zone potentiel du grand périmètre de Lam Lam

Les premiers relevés ont été réalisés au cours du mois d'avril. La valeur minimale du toit de la nappe est de 2 m et celle maximale est de 24 m. Cela prouve que la nappe est affleurante à certaines zones et que la topographie du secteur n'est pas uniforme.

2.6.2. Topographie du périmètre de Lam Lam

L'analyse de la figure 31 ci dessous montre que la topographie du périmètre de Lam Lam présente trois parties perchées.

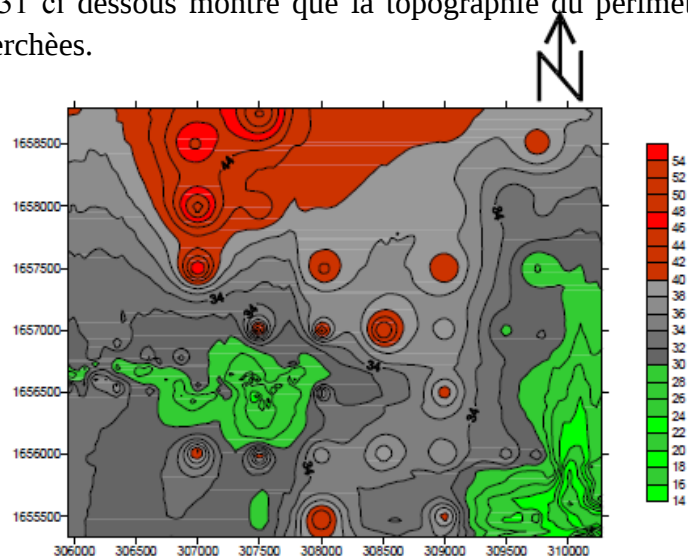


Figure 31 : Topographie du périmètre de Lam Lam

La première partie est située au Nord (figure 31). Elle est caractérisée par des altitudes élevées. La moyenne des altitudes dans cette partie est de +44 m. Au Nord-Est se trouve la deuxième partie dont la moyenne de la topographie est de +38m. La troisième partie se trouve au Nord-Ouest et est caractérisée par des altitudes supérieures à +34 m. La partie Sud-Est et centrale sont marquées par une zone creuse marquée sur le terrain par une dépression. Cette différence d'altitude est en partie respectée par le tracé des isopièzes de la carte piézométrique.

2.6.3. La carte piézométrique

La carte piézométrique provient de la différence entre l'altitude du point et le toit de la nappe. Cette différence est donnée par des courbes d'isovaleurs. Ces isovaleurs sont représentées dans la figure 31. L'analyse de cette carte permet de distinguer des zones à piézométrie élevée (+31 m) localisée principalement dans les parties à topographie élevée. De même, les piézomètres faibles (+18 m) se localisent dans la zone creuse du tracé du marigot de M'baba (figure 32). Avec la surperposition de la topographie par rapport aux données piézométriques, nous pouvons en déduire que c'est la nappe qui draine le cours d'eau (ancien marigot de M'baba).

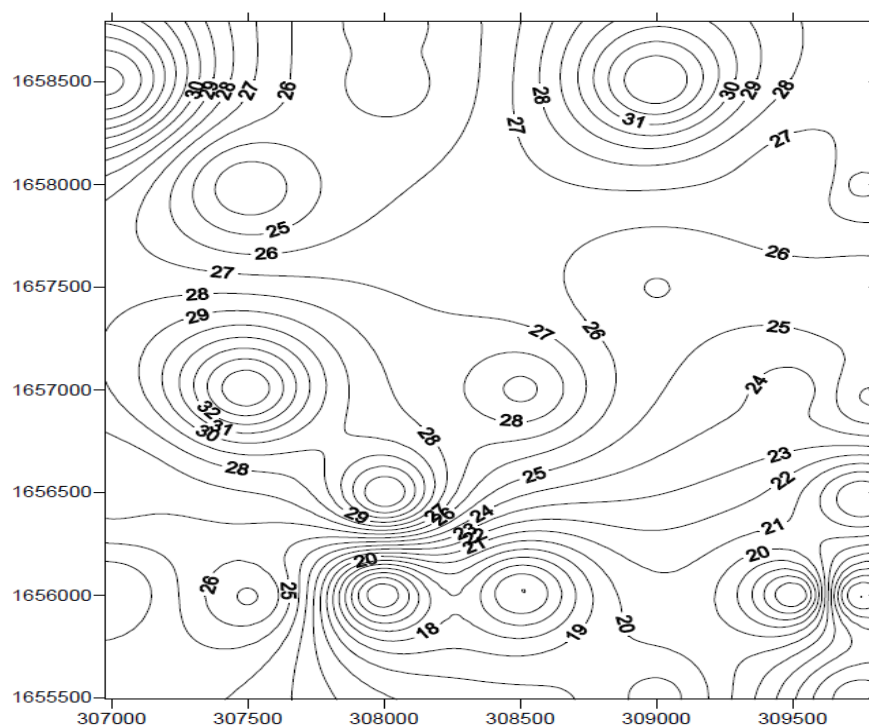


Figure 32 : Carte piézométrique du périmètre de Lam Lam

L'analyse de cette carte permet de distinguer le sens d'écoulement. En effet, en superposant la carte topographique à celle piézométrique, nous distinguons les lignes de partage des eaux (en rouge). Ces lignes ont une direction générale Nord Sud (voir figure 33) qui a la direction principale de l'écoulement du marigot de M'baba. Ainsi le tarissement de ce marigot est causé par le pompage des eaux lors de l'exploitation de la couche de phosphate de chaux du gisement de Tobène situé au Nord de la zone potentielle confirmant ce sens d'écoulement Nord Sud de la nappe.

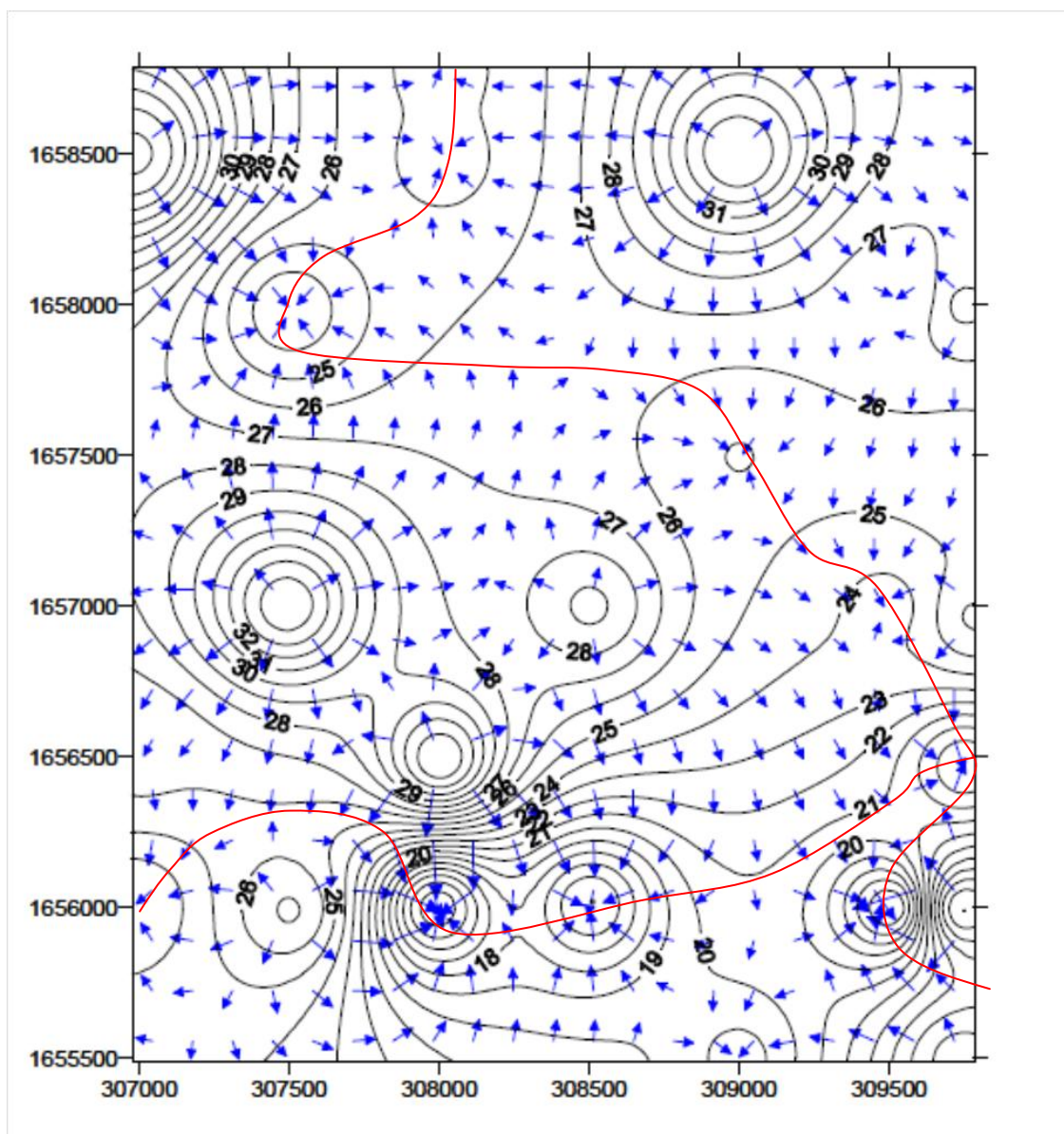


Figure 33 : Sens d'écoulement de la nappe et lignes de partage des eaux