



Faculté des Sciences et Techniques
Marrakech



**UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES GUELIZ
MARRAKECH**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
Licence en Sciences et Techniques
Géologie Appliquée aux Ressources Minières
« LST-GARM »**

**Elaboration des cartes thématiques à l'aide des
Systèmes d'Information Géographique(SIG) sous
ARCGIS : Application au gisement phosphaté de
BENGUERIR Sud
(Bassin des Gantour)**

Réalisé par :

AIT MALEK Malika

SENKAOUI Binazere

Encadrées par :

Mr BACHNOU Ali (FSTG)

Mr CHABANE Nabil (OCP)

Soutenu le 15 Mars 2012 devant le jury composé de :

Mr. BACHNOU Ali

Mr. IBOUH Hassan

Mr. KCHIKACH Azzouz

Professeur, FST-Marrakech

Professeur, FST-Marrakech

Professeur, FST-Marrakech

Année universitaire:2011/2012

Dédicace

À nos chers parents,

Qui nous ont soutenus par leur amour et leurs efforts, qui nous ont toujours encouragé pendant toute la période de nos études, et qui n'ont, à nul moment, épargné aucun effort pour répondre à nos exigences, on espère être à la hauteur de l'image qu'ils se sont faites de nous et on prie Dieu de leur procurer bonne santé et longue vie.

À toute notre famille.

A ceux qui n'ont jamais été avares ni de leur temps ni de leurs connaissances pour satisfaire nos interrogations.

On dédie le fruit de ce travail,

À tous nos amis, en témoignage de l'amour et de l'affection qui nous lient.

*À tous les enseignants du département de géologie spécialement les enseignants de la filière **GARM**, vous étiez pour nous plus que des professeurs, vos encouragements nous donnaient motivation et persévérance.*

Remerciement

Avant d'entamer les différentes parties de ce rapport, nous voudrions adresser un petit mot de reconnaissance à travers lequel nous remercions très fort tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Nous remercions tout d'abord nos encadrants : **Monsieur Nabil Aboulkhair**, responsable du stage au sein du service IDR/GS/D au centre minier Youssoufia à l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) et **Monsieur Bachnou Ali**, Professeur à la FST de Marrakech pour leurs apports scientifiques et surtout pour le soutien, la disponibilité et la motivation dont ils ont fait preuve tout au long de ce travail.*

Nous remercions également l'ensemble du corps professoral de l'Université Cadi Ayad et en particulier les professeurs du département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech pour tout le savoir qu' ils nous ont légué avec patience, efficience et dévouement pendant ces années de formation.

*Messieurs **H. Ibouh** et **A. Kchikach**, Professeurs au Département des Sciences de la Terre de la FSTG Marrakech ont accepté de juger ce travail, qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance.*

*Nous tenons à remercier également **Mr JOURANI**, Directeur de la Géologie et des Recherches minières et **Mr CHAKIR**, Chef du département géologie de l'OCP Youssoufia, qui nous ont accepté au sein de leurs service et nous ont permis de passer une expérience très fructueuse dans le domaine professionnel.*

*Nous remercions particulièrement notre parrain de stage **Mr CHABANE Nabil** pour l'encadrement, ses conseils précieux, sa gentillesse, ainsi que pour la disponibilité dont il a su faire preuve et malgré ses multiples responsabilités. Il a minutieusement supervisé ce travail et il s'est fortement investi dans sa réalisation.*

*Nous tenons également à exprimer nos gratitude à tous les géologues et géomètres du Service Géologie à Youssoufia qui ont créé un cadre de travail agréable, nous les remercions vivement spécialement Mrs **Khella, Raai, Masiste** et **Fadli**.*

Sommaire

1- Introduction générale et objectif du stage	5
2- Présentation du groupe OCP SA	6
2-1 Secteur d'activités :	6
2-2 Objectifs fondamentaux :	6
2-3 Historique :	6
3- Généralités sur les phosphates	8
3-1 Définition	8
3-2 Les principaux constituants du phosphate minéral :	8
3-3 Formation des Phosphates :	8
3-4 Gisements des phosphates :	8
3-5 Les utilisations des Phosphates :	9
3-6 Phosphates sédimentaires au Maroc :	9
3-7 Principaux bassins phosphatés marocains :	11
3-7-1 Bassin d'Ouled Abdoun	11
3-7-2 Bassin de Meskala	11
3-7-3 Bassin d'Oued Eddahab	13
3-7-4 Bassin des Gantour	13
A. Situation géographique :	13
B. Cadre géologique	14
a) <i>Le substratum de la série phosphatée</i>	14
b) <i>La série phosphatée et son évolution</i>	14
<i>Le Maestrichtien phosphaté</i>	
<i>Le Danien</i>	
<i>Le Thanétien</i>	
<i>L'Yprésien</i>	
<i>Le Lutétien</i>	
4- Présentation de la zone d'étude : Benguerir sud	17
4-1 Situation et limites du secteur d'étude :	17
4-2 Cadre géologique :	18
4-2-1 Description de la coupe lithostratigraphique de Benguerir ..	18
a) <i>Substratum de la série phosphatée</i>	
b) <i>Maestrichtien phosphaté</i>	
c) <i>Le Danien</i>	
d) <i>Le Thanétien</i>	
e) <i>L'Yprésien</i>	
f) <i>Le Lutétien</i>	

4-2-2- Structure.....	21
4-2-3- Recouvrements.....	21
5- Aperçu général sur l'outil d'informatique ARCGIS.....	22
5-1 Introduction au SIG	22
5-2 Composantes d'un SIG.....	23
5-3 Logiciels d'un SIG :.....	24
5-4 Présentation d'ArcGis	25
5-4-1 Présentation d'ArcMap	26
5-4-2 Présentation d'ArcCatalog	27
5-4-3 Présentation d'ArcToolBox	28
6- Informatisation des données et élaboration d'un SIG :.....	29
6-1 Constitution de fond de base :.....	29
6-1-1 Mode Opérateur :.....	29
a) Balayage de l'image :	29
b) Géoréférencement :.....	29
c) Digitalisation :.....	30
6-2 Importation de la base de données vers ArcGis :.....	32
6-2-1 Importation de la Base de données par Excel :.....	32
6-2-2 Visualisation des puits de reconnaissance :.....	33
6-3 Interpolation :	33
6-3-1 Définition :	33
6-3-2 Etapes d'interpolation	33
6-4 Cartes thématiques réalisées sous ArcGis.....	37
6-4-1 Cartes réalisées par digitalisation :.....	37
a) Carte des altitudes.....	37
b) Carte de réseau routier et hydrographique.....	37
c) Carte géologique.....	38
6-4-2 Cartes réalisées par interpolation:.....	39
A) Cartes de la couche 5 :.....	39
<i>Carte de puissance totale</i>	
<i>Carte de puissance phosphatée</i>	
<i>Carte des teneurs en BPL</i>	
<i>Carte des teneurs en CO2</i>	
B) Cartes de la couche 6 :.....	42
<i>Carte de puissance totale</i>	
<i>Carte de puissance phosphatée</i>	
<i>Carte des teneurs en BPL</i>	
<i>Carte des teneurs en CO2</i>	
7-Conclusion.....	45
8- Conclusion générale	46
Références bibliographiques consultées.....	47

1- Introduction générale et objectif du stage

Le Maroc possède des réserves phosphatées très importantes localisées dans quatre bassins différents les uns de l'autre tant par leur superficie que par la qualité du minerai.

Le phosphate étant utilisé comme matière première dans de nombreuses industries, il contribue largement au développement économique du pays.

L'exploitation des phosphates marocains est monopolisée par le Groupe OCP "Office Chérifien des Phosphates" qui dirige également des recherches scientifiques sur tous les gisements afin de valoriser l'exploitation des réserves.

Les études menées sur la série phosphatée marocaine montrent que cette série sédimentaire se subdivise en mégaséquences qui présentent des variations latérales de faciès aussi bien d'un bassin à un autre qu'au sein du même bassin.

La Direction Exploitation Minière de l'OCP accorde beaucoup d'importance à ces études qui orientent les éventuelles exploitations et les opérations de traitement qui s'ensuivent.

Notre Stage de Fin d'Etude s'est déroulé au sein de l'OCP à la Direction des Exploitations minières du bassin des Gantour. Il avait comme objectif principal l'élaboration d'un SIG de la série phosphatée du gisement de Benguérir Sud tout en élaborant des cartes thématiques.

La méthodologie suivie consistait à :

- La collecte des données sur le site d'étude (cartes topographique, géologique, d'épaisseur de couches exploitables, données de puits...) ;
- Réalisation de coupes géologiques ;
- Informatisation des données et réalisation d'une base de données numérique
- Réalisation d'un système d'information géographique (SIG) ;
- Exploitation du SIG pour l'élaboration des cartes thématiques.

2- Présentation du groupe OCP SA

Le Maroc renferme les 3/4 des réserves connues sur la planète. Il est le 1^{er} exportateur et le 3^{ème} producteur de phosphates bruts à l'échelle mondiale. L'exploitation des phosphates constitue un monopole de l'Etat représenté par l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) créé en 1920. Cette exploitation se fait dans des conditions avantageuses, extraction facile à ciel ouvert, teneur forte qui permet un traitement consistant en un séchage et un épierrage.

2-1 Secteur d'activités :

Le Groupe Office Chérifien des Phosphates (OCP) est spécialisé dans l'extraction, la valorisation et la commercialisation de phosphate et de produits dérivés. Chaque année, plus de 23 millions de tonnes de minerais sont extraites du sous sol marocain qui recèle les trois-quarts des réserves mondiales.

A l'échelle internationale le Groupe OCP SA opère sur les cinq continents en exportant 95 % de sa production. Le groupe OCP livre aux cinq continents de la planète ; ses exportations représentent 25 à 30% du commerce international du phosphate et de ses dérivés.

2-2 Objectifs fondamentaux :

- Participer au développement socio-économique du pays ;
- Recentrer sur les métiers de bases du Groupe OCP SA ;
- Consolider la position du Groupe à l'échelle internationale.

2-3 Historique :

Depuis le 7 Août 1920, l'Office Chérifien des Phosphates n'a cessé de se développer à travers la création de nouveaux sites de production et de transformation. Les principales étapes qu'a connu le groupe OCP se résument comme suit :

- 1921 : Extraction souterraine à Khouribga ;
- 1931 : Ouverture du centre minier de Youssoufia ;
- 1952 : Mise en œuvre de l'extraction en découverte à Khouribga ;
- 1965 : Démarrage de Maroc chimie I : première unité de valorisation pour la fabrication d'acide phosphorique et d'engrais à Safi ;
- 1975 : Création du groupe OCP intégrant les filiales ;
- 1976 : Intégration d'un nouveau centre minier Phosboukrâa ;
- 1976 : Démarrage de Maroc chimie II et Maroc Phosphore I ;

- 1980 : Ouverture de la mine de Benguerir ;
- 1981 : Démarrage de Maroc Phosphore II à Safi ;
- 1986 : Démarrage du site de valorisation de phosphate à Jorf Lasfar (El Jadida) ;
- 1998 : Réalisation de l'usine EMAPHOS pour l'acide phosphorique purifié (Maroc –Belgique- Allemagne) ;
- 1999 : Réalisation de l'usine IMACID de fabrication d'acide phosphorique (Maroc-Inde) ;
- 2002 : La mine de Benguerir à réussi le prix **d'excellence de JIPM**.

3- Généralités sur les phosphates

3-1 Définition

Les phosphates sont des roches d'origine externes qui sont formées à la surface du globe. Ils sont dites exogène, ils proviennent des matériaux phosphates des roches éruptives dont le plus commun est l'apatite, ils proviennent aussi des organismes animaux ou végétaux (les os des vertèbres 60% et les dents 90%...), les urines des vertébrés et les excréments en renferment des quantités notables. Si l'on excepte que les phosphates déposés dans les grottes ou phosphorite, les différentes variétés de phosphates peuvent se répartir comme suit :

- ✓ Les phosphates en grains
- ✓ Les phosphates en débris
- ✓ Les phosphates en ciments
- ✓ Les phosphates en nodules.

3-2 Les principaux constituants du phosphate minéral :

Le phosphate marocain se constitue en général de deux parties :

- EXOGANGUE : silicate (argile) + sulfate (gypse)
- ENDOGANGUE : matière organique, calcite, silice ...

La formule générale du phosphate marocain est $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$.

3-3 Formation des Phosphates :

Les phosphates du Maroc, qui sont les plus importants, ont été déposés sur une très longue période allant de la fin du Crétacé (étage du Maestrichtien, environ 80 Millions d'années), jusqu'au début de l'Eocène (étage du Lutétien basal ou Lutétien inférieur, 40 Millions d'années). Cependant entre ces périodes, les dépôts n'étaient pas constants, il manque par conséquent des sédiments pour avoir une chaîne d'information continue.

Pendant les différentes périodes de dépôts sédimentaires, nous ne rencontrons pas les mêmes faunes, mais des ensembles de faunes principalement marines, propres à chaque période spécifique.

3-4 Gisements des phosphates :

Le phosphate existe presque partout à la surface du globe mais seules certaines fractions de l'écorce terrestre peuvent constituer les gisements exploitables.

Les phosphates se présentent sur l'écorce terrestre selon 3 types de gisements :

- ✓ Les gisements sédimentaires : sont les plus fréquents en nombre et en volume. Les teneurs avoisinent souvent 30% de P_2O_5 (c'est le cas des gisements de phosphates marocains, tunisiens, jordaniens...).
- ✓ Les gisements d'origine ignée : sont associés à des complexes intrusifs alcalins dans lesquels les roches les plus fréquentes sont les syénites néphéliniques, les carbonatites, les ijolites et les pyroxénites. Ces gisements sont moins nombreux et souvent moins riches et moins volumineux que les gisements sédimentaires. C'est le cas par exemple des gisements de Palabora et de Khibiny avec 18% de P_2O_5 . Ces gisements sont presque épuisés.
- ✓ Les guanos : présentent des réserves plus faibles mais non négligeables. Les gisements les plus importants sont dus à des oiseaux de mer dont les déjections qui contiennent environ 4% de P_2O_5 réagissent avec la roche qui leur sert du support. Lorsque cette roche est calcaire, le phosphate de calcium qui se forme, comparable aux phosphates sédimentaires, peut être suffisamment riche et abondants pour donner des gisements exploitables. On cite pour exemple l'île Nauru, de l'océan pacifique (39% de P_2O_5) et l'île Christmas dans l'océan indien (27% de P_2O_5).

Par un mécanisme semblable, les déjections de chauve-souris peuvent être aussi la source d'accumulations de phosphates à fortes teneurs en P_2O_5 dans des grottes.

3-5 Les utilisations des Phosphates :

Les phosphates sont utilisés dans de nombreuses industries, comme les détergents. Ils entrent également dans la composition de nombreux produits, comme les peintures et les engrais utilisés dans l'industrie agroalimentaire, aussi dans l'alimentation animale, le traitement des métaux, les plastifiants et les additifs pour essence et huiles lubrifiantes sont également autant de débouchés du phosphate. Les phosphates sont utilisés aussi dans la Fabrication de l'Acide Phosphorique (ACP) employé dans l'industrie.

3-6 Phosphates sédimentaires au Maroc :

Plusieurs orogénèses (précambriennes, hercynienne, alpine) jalonnent l'histoire géologique du Maroc, elles ont guidé l'individualisation de différents domaines structuraux.

La phosphatogenèse s'est développée au Maroc essentiellement durant la période allant du Crétacé supérieur au Lutétien, avec des modalités variables. Les

principaux bassins phosphatés du Maroc appartiennent à trois domaines structuraux qui sont du Nord au Sud (fig. 1) :

- Le domaine de la Meseta occidentale où on rencontre les dépôts les plus importants, aussi bien par leur extension que par les teneurs élevées en P_2O_5 . Ils constituent les gisements d'Oulad Abdoun et des Gantour. Des occurrences phosphatées de faible importance se rencontrent dans la région de Beni mellal.
- Le domaine Atlasique comprenant un gisement important (Meskala) et de nombreuses occurrences phosphatées situées sur la bordure Nord-Atlasique.
- Le domaine Saharien, avec les dépôts importants du bassin d'Oued Eddahab.

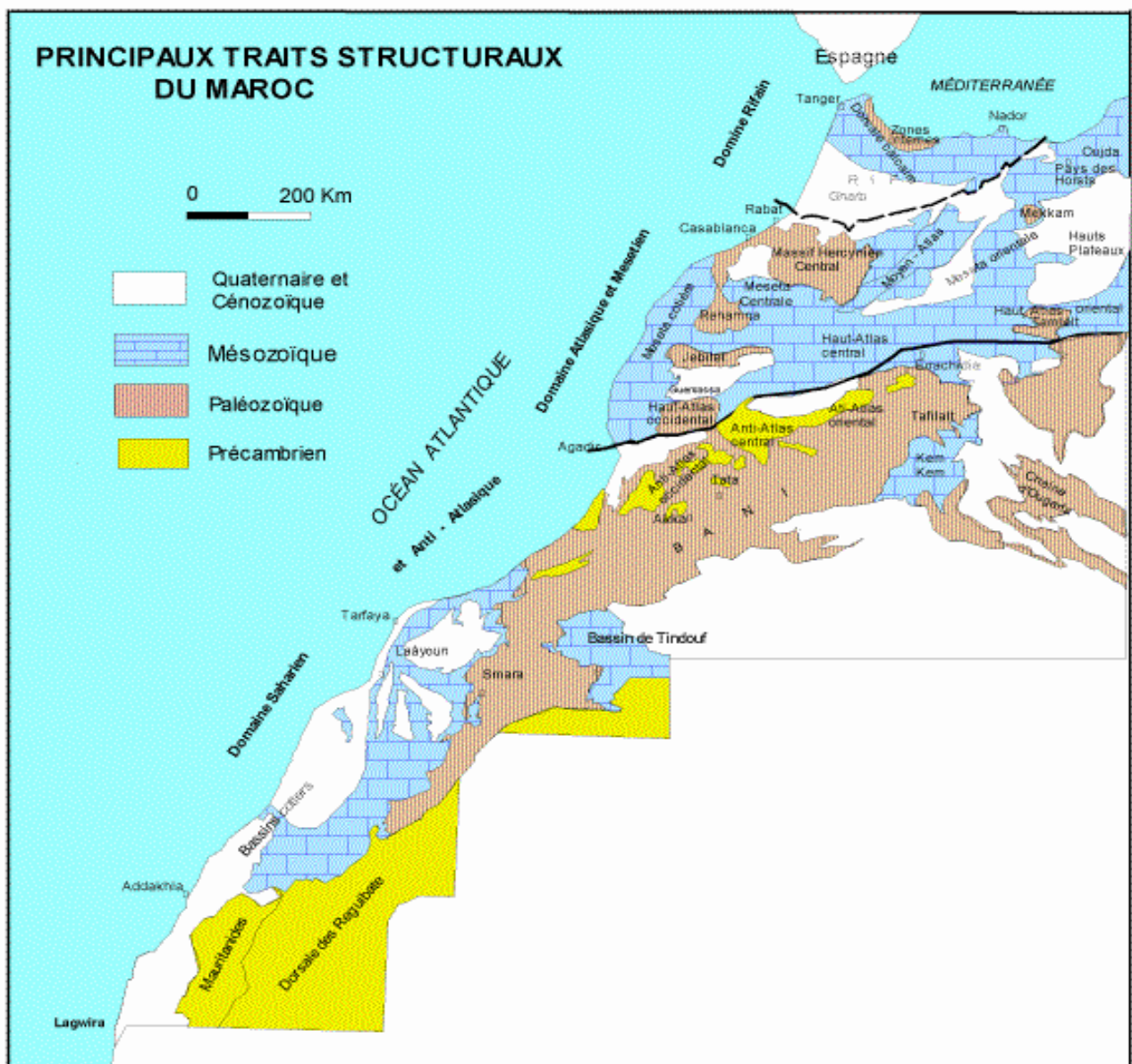


Fig. 1 - Les différents domaines structuraux du Maroc

3-7 Principaux bassins phosphatés marocains :

Le Maroc recèle 75% des réserves mondiales de phosphate qui se trouvent dans quatre gisements principaux (fig. 2) :

- Gisement d'Ouled Abdoun (Khouribga)
- Gisement de Gantour (Youssoufia – Benguerir)
- Gisement de Meskala
- Gisement d'Oued Eddahab (Boucraa).

3-7-1 Bassin d'Ouled Abdoun

Le bassin d'OULAD ABDOUN est le premier bassin reconnu et exploité au Maroc. Il est situé au Nord de la Meseta, limité au Sud par la plaine de BENI AMIR. La zone reconnue se subdivise en 10 sous zones à caractères lithologiques différents :



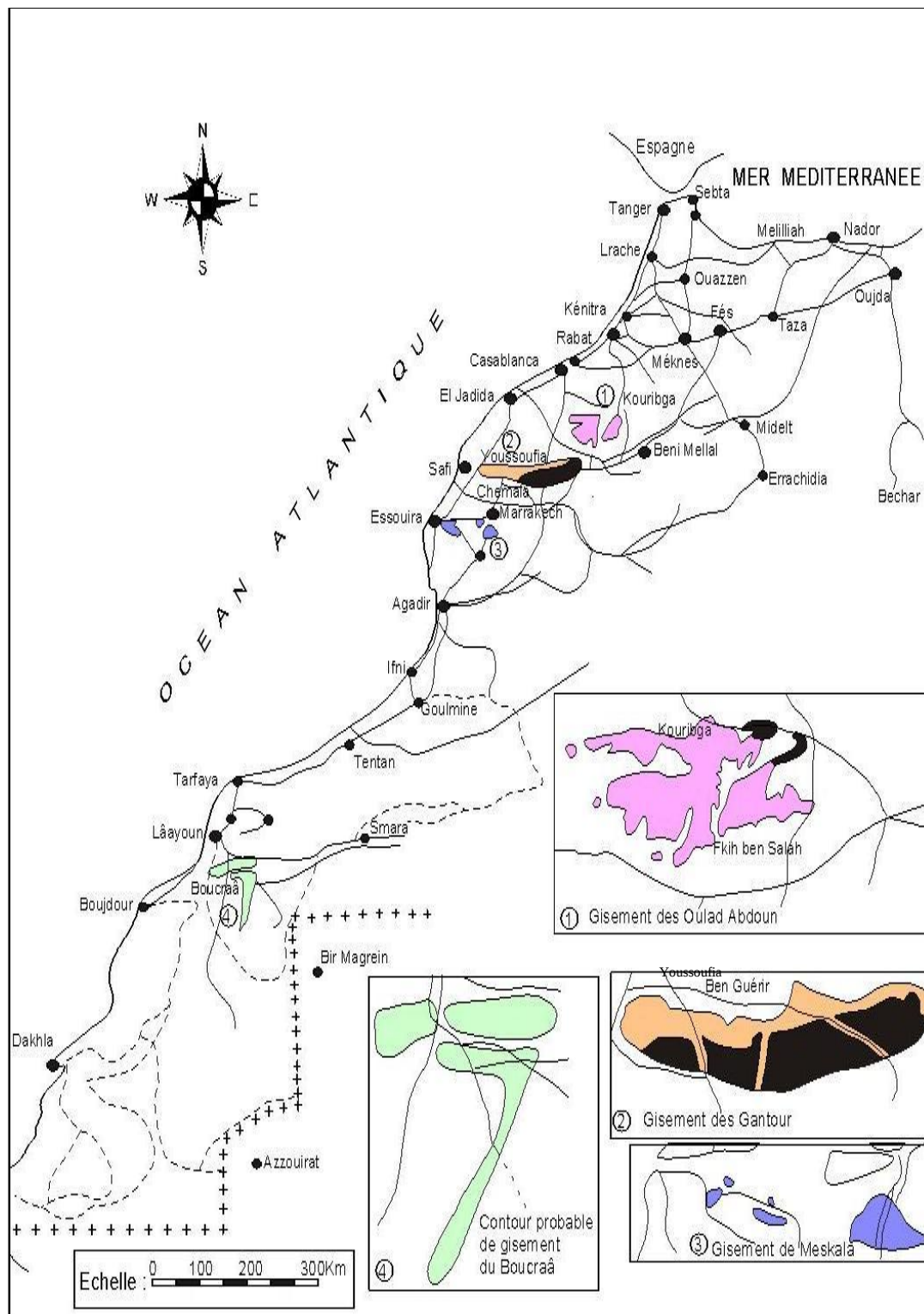
La série phosphatée d'OULED ABDOUN débute du Maestrichtien par des dépôts phosphatés très marneux et se termine au Lutétien par une dalle à Thérstitées, en passant par le Paléocène caractérisé par le calcaire phosphaté et le calcaire marneux, puis l'Yprésien qui contient des niveaux phosphatés intercalés par des calcaires phosphatés Coprolithiques, des argiles et des silexites.

3-7-2 Bassin de Meskala

Le bassin de Meskala est le premier bassin que l'on rencontre à partir de la bordure atlasique en se dirigeant vers le nord. Il s'inscrit dans un triangle ayant pour sommets les villes de Chichaoua, Imin Tanout et Essaouira.

Le bassin de Meskala est situé dans la plaine d'Essaouira-Haouz et limité :

- ✓ au Nord par les Jbilet et les collines jurassiques de Mouissat ;
- ✓ au Sud par le Haut-Atlas ;
- ✓ à l'Est par la plaine d'El Haouz ;
- ✓ à l'Ouest par la plaine côtière d'Essaouira.



*Fig. 2 - Les principaux gisements phosphatés marocains
(réf : rapport de service géologie OCP 2009)*

Ce bassin se subdivise en trois zones :



Le bassin de Meskala est caractérisé par une série phosphatée qui va du Maestrichtien au Lutétien (dalle à Thérissées), dont la puissance totale de la série phosphatée varie entre 110m au Nord-Est et 140m au Sud.

3-7-3 Bassin d'Oued Eddahab

Le bassin d'Oued Eddahab s'étend sur une surface de 800Km de Laâyoune au Nord jusqu'à Lagouira au Sud.

Au Nord il y a une limite d'affleurement contrairement à l'Est où les sables détritiques ont envahi la série phosphatée.

Egalement, par rapport aux autres bassins, la série phosphatée d'Oued Eddahab s'est déposée avec des intensités variables dans le domaine. Elle s'étend du Maestrichtien supérieur à l'Eocène inférieur, elle est caractérisée par une puissance qui varie de 10 à 45m.

3-7-4 Bassin des Gantour

Le domaine étudié appartient à ce bassin, ainsi une description détaillée, par rapport aux autres bassins s'impose.

A. Situation géographique :

Le bassin des Gantour se situe dans la Meseta occidentale. Il se présente sous forme d'un plateau allongé Est-Ouest sur une longueur de 125 km² et une largeur de 20 à 25 km. Il est limité au Nord et au Sud respectivement par les massifs paléozoïques des Rehamna et des Jbilet, à l'Est par la rive gauche de l'Oued Tassaout et à l'Ouest par les collines jurassiques à gypse de Mouissat (fig. 3).

Le bassin des Gantour s'étale sur environ 3150 km² dont 46% de la surface est reconnue à différentes mailles. Par contre 54% de l'étendu du bassin n'est pas encore reconnu dans la partie sud où la série phosphatée disparaît en profondeur sous les terrains récents de la plaine de la Bahira.

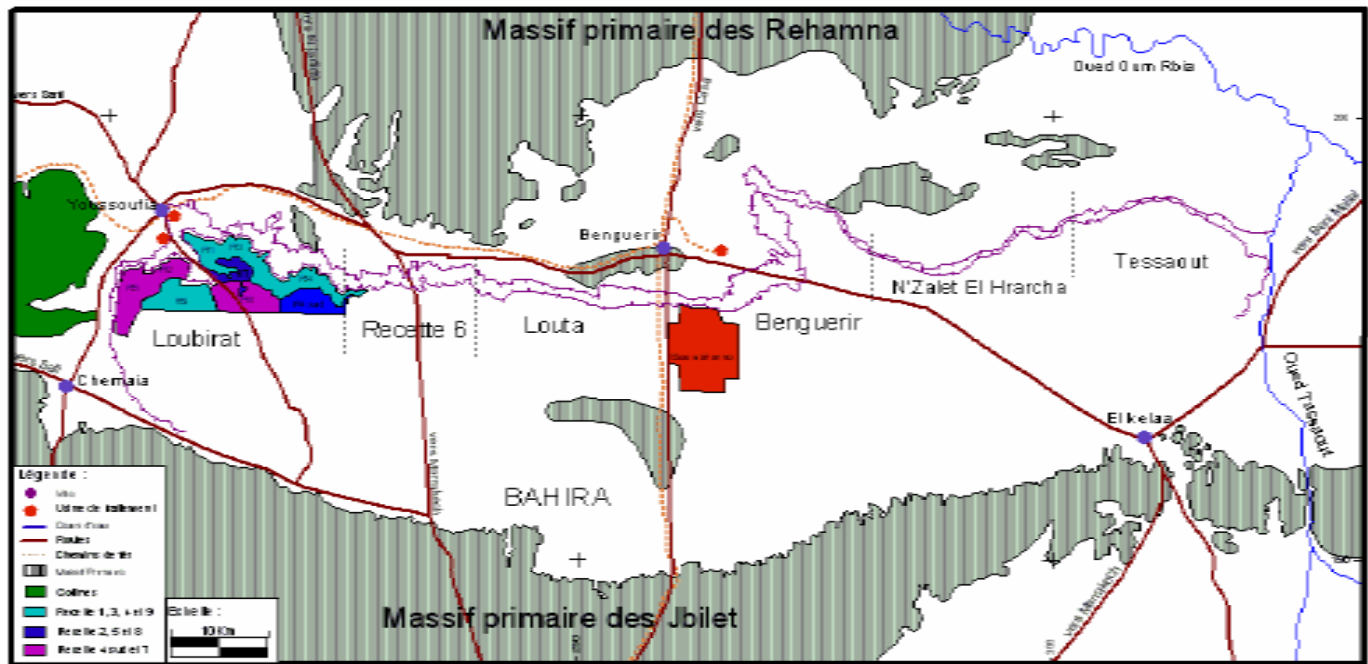


Fig. 3 – Carte de situation du bassin des Gantour
(Extraite du Rapport Géologique OCP N° 391)

B. Cadre géologique

Le bassin des Gantour repose sur un socle hercynien rigide et recouvert par des séries sédimentaires tabulaires ou faiblement plissées ou faillées.

a) *Le substratum de la série phosphatée*

Ce substratum comprend de la base en haut :

- Un socle paléozoïque affleurant dans les Rehamna et Jbilet et composé de schistes, granites, grès et calcaires récifaux.
- Des formations jurassiques composées de calcaires et marno-calcaires avec des lits argileux et des bancs gypsifères.
- Des formations crétacées (Maestrichtien phosphaté exclu) représentées par des conglomérats, des calcaires argileux, des grès rouges continentaux, des marno-calcaires et des calcaires (Turonien). Ces formations affleurent essentiellement au Nord du bassin.

b) *La série phosphatée et son évolution*

La sédimentation du bassin des Gantour est marquée par un domaine occidental où la série atteint son maximum d'épaisseur à Youssoufia et un domaine oriental où l'épaisseur de la série décroît en allant de Benguerir à Tassaout. La

diminution des puissances en allant de l'Ouest vers l'Est du bassin s'accompagne d'une variation latérale de faciès, cette variation se présente différemment d'un niveau à l'autre.

La série phosphatée s'étend du Maestrichtien au Lutétien. Le Maestrichtien affleure sur une bande continue longeant le Nord, l'Ouest et le Nord-Est. Le Lutétien affleure vers le cœur du bassin et plonge ensuite sous une couverture paléo-quaternaire.

Le Maestrichtien phosphaté

Débuté par un phosphate bioclastique et micro-conglomératique et se termine par un banc de marnes siliceuses dans lequel s'intercale un niveau décimétrique de phosphate. Il est subdivisé en trois entités :

- ✓ Une entité inférieure comprenant généralement les niveaux miniers séparés par des niveaux stériles marno-siliceux ;
- ✓ Une entité médiane formée par les couches 4 et 3 coiffées par un banc d'argile continue constituant un niveau repère à l'échelle de tout le bassin ;
- ✓ Une entité supérieure dominée par une sédimentation sableuse et phosphatée (couche 2 et sillon X).

L'évolution des niveaux Maestrichtiens est marquée par une condensation générale de la série phosphatée en allant de l'Ouest vers l'Est. Cette condensation s'accompagne d'une variation latérale de faciès marquée pour les niveaux phosphatés, par un enrichissement en BPL et pour les intercalaires notamment ceux séparant la couche 6 et la couche 5, par l'intensification de la silicification (les marnes deviennent de plus en plus chargées de silice avec l'apparition de silex en bancs ou en rognons). La couche 6, très développée au niveau du gisement de Louta, présente comme la couche 5 un caractère lenticulaire au niveau du gisement de Benguerir.

Le Danien

Commence généralement par un banc de calcaire phosphaté et contient le niveau le plus riche de la série phosphatée (la couche 1). Il se termine généralement par des marnes et marnes siliceuses sauf à l'extrême Ouest du bassin où ces marnes font défaut. En plus de la couche 1, cet étage renferme d'autres niveaux à savoir :

- La couche « 0 » à caractère lenticulaire, elle est formée d'un phosphate coprolithique avec des teneurs faibles en BPL.
- Le Danien supérieur phosphaté (DSP) séparé de la couche (1+0) par un banc de calcaire phosphaté ou de sable phosphaté induré.

Le Thanétien

Est dominé par une sédimentation sablo-phosphatée correspondant au faisceau A. Ce dernier est subdivisé en 3 sous faisceaux :

- Le sous faisceau A3 formé de sables phosphatés et/ou par des phosphates sableux surmontés à l'Ouest par des argiles thanétiennes.
- Le sous faisceau A2 formé par un phosphate sableux rarement barré.
- Le sous faisceau A1 qui se distingue du précédent par sa faible teneur en BPL. La partie sommitale est formée par des marnes et des argiles.

Le faisceau A présente son maximum d'épaisseur à Benguerir (8 m) où les 3 sous faisceaux sont nettement individualisés.

L'Yprésien

Débuté par un niveau de phosphate coprolithique, et se poursuit par des argiles, des silts et des marnes siliceuses dans lesquelles s'intercalent des niveaux de phosphate. Il présente une évolution spectaculaire de puissance et de faciès. Il est formé de plusieurs niveaux phosphatés :

- le niveau AB formé par un sable phosphaté induré et coprolithique.
- La couche 11m-sillon B caractérisée par d'importantes variations latérales de faciès.
- Sillons supérieurs qui correspondent à des niveaux phosphatés généralement décimétriques séparés par des marnes siliceuses.

Le niveau A/B ne montre aucune évolution préférentielle, son sommet est argileux dans le domaine occidental (argiles yprésiennes) et passe latéralement vers le domaine oriental à des marnes. Sa partie médiane (couche des 11 m et sillon B) montre une évolution remarquable, au centre elle est formée par un sable fin peu phosphaté. La variation se continue latéralement et elle est marquée par le passage de sables à des phosphates assez riches.

Le Lutétien

Est caractérisé par le développement d'une dalle calcaire dolomitique renfermant des Thersitées, l'épaisseur de cette dernière dépasse 50m par endroits.

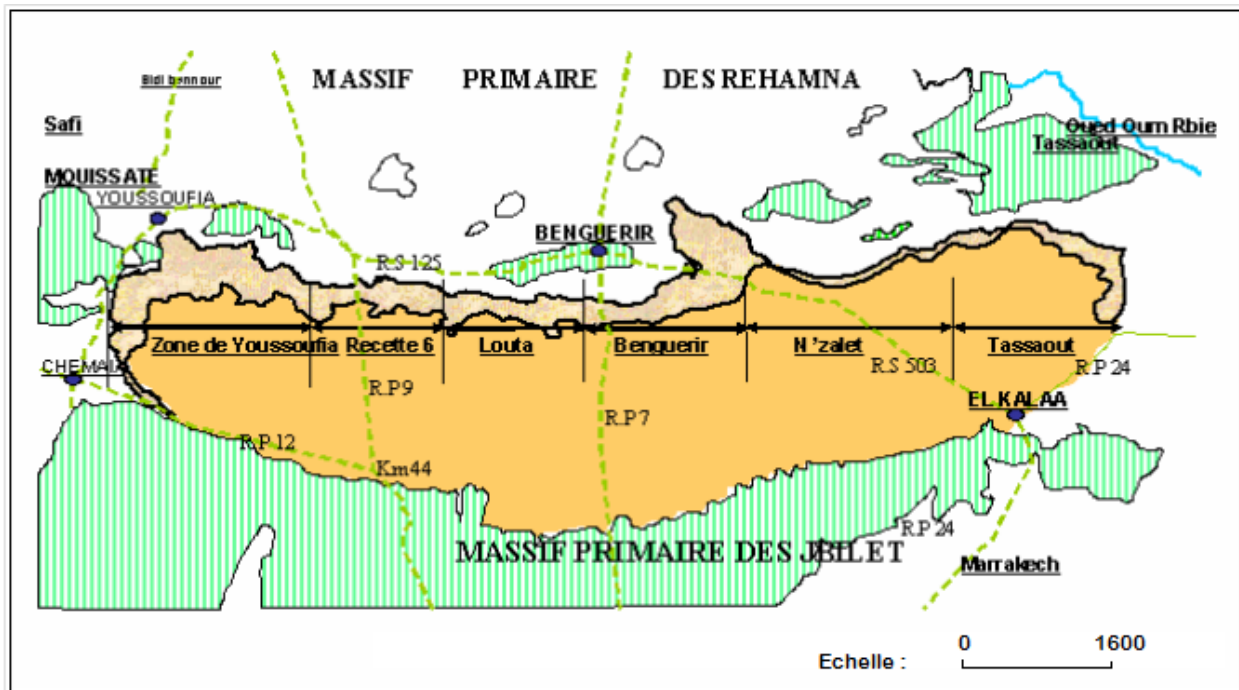
4- Présentation de la zone d'étude : Benguerir sud

4-1 Situation et limites du secteur d'étude :

Le gisement de Benguerir sud occupe une position médiane au sein du bassin des Gantour. Il est limité (fig. 4) :

- Au nord par la route secondaire 206 reliant Benguerir à El kelâa des Sraghna ;
- Au sud par la dernière ligne de reconnaissance joignant les ouvrages S.1144 , P.139, L1836, P.1999, P.2003, P.1995, P.1993, P.405, P.161, L.1845 et P.159 ;
- A l'Ouest par la route principale R.P. N°7 reliant Marrakech à Casablanca ;
- A l'Est par la ligne joignant les sondages S.1144 et S.1138.

La zone ainsi délimitée couvre une superficie d'environ 59 km² (5900 Ha).



*Fig. 4 – Situation du secteur d'étude au sein du bassin des Gantours
(Extraite du Rapport Géologique OCP N° 391)*

4-2 Cadre géologique :

4-2-1 Description de la coupe lithostratigraphique de Benguérir

Nous avons levé une coupe au niveau des panneaux 1, 2 et 4. Ceci dans le but d'avoir une coupe synthétique de la série phosphatée au niveau de la zone de Benguérir, et d'autre part d'en assurer l'informatisation au sein de la base de données en vue d'un SIG.

D'après la coupe effectuée (fig. 5), la zone Benguerir Sud comprend des formations phosphatées d'âge Maestrichtien (Crétacé supérieur) à la base en passant par le Danien (Paléocène inférieur) et allant jusqu'au Thanétien (Paléocène supérieur) au sommet. Les niveaux phosphatés auxquels s'intéresse notre étude sont : la couche 5 et la couche 6. Les deux niveaux sont constitués en général des phosphates sableux et des calcaires phosphatés intercalés par des formations marneuses et de silex.

g) Substratum de la série phosphatée

Le premier niveau formant la base de la série phosphatée repose soit :

- Sur des schistes au Sud-Ouest ;
- Sur des granites à l'Ouest ;
- Sur des roches sédimentaires dans le reste du gisement. Ces roches sont représentées par des marnes, des argiles jaunes, du grès et des calcaires coquilliers. Ce dernier faciès se rencontre essentiellement au Sud-Est.

h) Maestrichtien phosphaté

Le Maestrichtien phosphaté présente 3 sous mégaséquences qui correspondent respectivement aux entités : mur couche 6 – mur couche 4, mur couche 4 – mur couche 2 et mur couche 2 – mur couche 1.

- ✓ Sous mégaséquence inférieure : formée par la couche 6, le niveau 5/6, la couche 5, le niveau 4/5 et les intercalaires de ces niveaux. Elle se caractérise essentiellement par le caractère lenticulaire de la couche 6 et du niveau 5/6 au Sud-Ouest ; c'est ainsi que la couche 5 peut reposer directement en discordance sur du granite. Lithologiquement, cette mégaséquence présente une succession de niveaux phosphatés séparés par des niveaux stériles marno-siliceux, siliceux et carbonnatés.
- ✓ Sous-mégaséquence médiane : est dominée dans sa partie inférieure par une entité phosphatée correspondant aux couches 4 et 3 et dans sa partie supérieure par un banc d'argile omniprésent (argiles jaunes maestrichtiennes).

- ✓ Sous-mégaséquence supérieure : comprend deux niveaux phosphatés (couche 2 et sillon X) séparés par des marnes siliceuses avec parfois des sables plus ou moins phosphatés.

Le niveau inférieur correspond à la couche 2 qui peut être subdivisée dans certains ouvrages en couches 2 inférieure et supérieure (la couche 2 inf. est moins riche et lenticulaire). Le niveau supérieur qui correspond au sillon X présente aussi un caractère lenticulaire.

Enfin, on note pour le Maestrichtien phosphaté un épaissement au centre et à l'Est et un amincissement au Nord de la base aérienne en relation avec la présence du granite dans ce secteur (seuil de Douar Rhirat).

i) Le Danien

Il forme une sous-mégaséquence et comprend 2 entités :

- Une entité inférieure phosphatée présentant généralement un gradient de teneurs en BPL décroissant. Cette entité correspond à la couche (1+0) et au DSP ;
- Une entité supérieure formée par des marnes et/ou des marnes siliceuses avec parfois du silex.

j) Le Thanétien

Il est dominé par une sédimentation sablo-phosphatée correspondant au faisceau A.

Il est à noter que les marnes formant la partie sommitale du Thanétien dans le reste du bassin, s'amincissent dans le gisement de Benguerir Sud et sont remplacées soit par des calcaires, soit par des calcaires alternants avec des marnes sableuses. Localement, le sillon B d'âge Yprésien repose directement sur le sous-faisceau A1 ou le sous-faisceau A2.

k) L'Yprésien

Présente dans la zone de Benguerir deux particularités :

- Le caractère lenticulaire du niveau AB et de ces intercalaires. Ainsi, le sillon B, caractérisé par son faciès phosphaté et la présence de rognons de silex, peut reposer directement sans discontinuité apparente sur le Thanétien. On souligne que le niveau AB n'a été identifié que dans l'extrême Est du domaine d'étude ;
- La présence entre le sillon B et le sillon C de deux ou trois sillons phosphatés séparés par des marnes argileuses passant localement à des argiles franches (S.1142).

l) Le Lutétien

Il n'est présent qu'au Sud-Est du domaine étudié. Dans le reste du gisement il est érodé. Quand il est présent, il est formé par des calcaires à Thersités.

Coupe lithologique moyenne de la série de BENGUERIR Sud et Nord

Ere	Niveau	Lithologie	Puissance (m)	Description
Thamienien	Intercalaire		0.40	Terre végétale
			1.00	Sable phosphaté et alluvions
			0.60	Sable phosphaté altéré jaunâtre aux inclusions terreuses
			0.40	Phosphate sableux gris jaune calcifié avec nombreuses passées terreuses
	Sous faisseau A2		0.50	Phosphate sableux fin gris jaunâtre avec quelques passées terreuses au toit avec petites inclusions terreuses par places
			0.50	Phosphate sableux fin bioclastique gris beige
			0.60	Phosphate sableux fin induré dure à la base beige
			0.60	Phosphate sableux fin induré dure à la base beige
	Sous faisseau A3		0.30	Calcaire gréseux phosphaté gris beige
			0.65	Sable phosphaté induré rognons de calcaire phosphaté par place beige
			0.70	Sable fin légèrement phosphaté gris jaune calcifié avec quelques zones de dissolution
			0.70	Calcaire phosphaté gris
Danien	Intercalaire C0 / ss faisseau A3		2.75	Alternance de marne et marno-calcaire gris +/- jaunâtre avec zone de dissolution au toit
			2.60	Marne blanche et gris clair passée de silex brun et de marne siliceuse gris jaune
			0.30	Marne siliceuse gris clair et jaune
			0.55	Marne gris clair
	Couche 0		1.55	Alternance de marne et marno-calcaire gris clair
			0.40	Sable marneux phosphaté gris +/- calcifié
	Couche 1		1.10	Phosphate sableux gris beige avec des grains grossiers cochlithiques à débris organiques
			0.30	Calcaire phosphaté grisâtre
	Intercalaire sillon X/C1		0.80	Marnes et marnes siliceuses rognons avec des gros rognons de silex
			0.50	Phosphate sableux grisâtre avec des grains cochlithiques moyens calcifiés
Maestrichtien	Sillon X		0.40	Calcaire blanchâtre
			1.90	Alternance de marnes blanchâtres et marnes rosâtres compactes
	Intercalaire C2sup/sillon X		0.25	Argile rougeâtre
			0.90	Phosphate sableux gris rosâtre avec des débris organiques
	Couche 2 supérieure		1.20	Calcaire phosphaté gris blanchâtre avec bone-bed
			0.30	Sable phosphaté gris rougeâtre
	Couche 2 inférieure		0.70	Calcaire phosphaté blanchâtre
			0.50	Sable phosphaté fin gris
	Intercalaire C3sup/C2inf		0.75	Marne jaune compacte
			0.90	Argile jaune
	Couche 3 supérieure		0.60	Sable phosphaté gris beige avec des grains fins à débris organiques
			0.60	Phosphate sableux gris beige avec de gros fragments de calcaire phosphaté siliceux
	Couche 3 inférieure		1.00	Alternance de marnes compactes, marnes siliceuses et silex
			0.50	Marnes compactes blanchâtres
	Intercalaire C4/C3 inf		0.50	Phosphate sableux avec beaucoup de débris organiques grisâtres
			1.80	Complex de marnes siliceuses et marnes siliceuses blanchâtres et silex brun
	Couche 4		0.50	Passée irrégulière de sable phosphaté beige à grisâtre
			1.80	Complex marneux marno-siliceuse blanchâtre et silex brun
	Intercalaire 4/5 /C4		0.30	Sable phosphaté grisâtre avec des débris organiques friables
			0.80	Phosphate sableux fin grisâtre avec des débris organiques friables
	Couche 5 supérieure		0.80	Calcaire phosphaté gréseux gris blanchâtre
			0.60	Phosphate sableux beige à débris organiques marneux au toit
	Couche 5 médiane		0.90	Alternance irrégulière de marne grise et de marnes grise et rose siliceuse avec de rognons de silex brun au sommet
			0.30	Phosphate sableux gris détritique
	Intercalaire C5inf/C5sup		1.40	Alternance irrégulière de marne et marno-calcaire gris et de marne grise rose et jaune siliceuse avec rognons de silex gris brun au toit
			0.90	Phosphate sableux gris détritique avec petite passée de calcaire gris phosphaté au toit
	Couche 6		0.90	Phosphate sableux gris détritique avec petite passée de calcaire gris phosphaté au toit
			0.90	Phosphate sableux gris détritique avec petite passée de calcaire gris phosphaté au toit

Légende

Levé par : Mr R. RAAI
M.AIT MALEK
B. SENKAOUI

Dessiné par : B. SENKAOUI
M.AIT MALEK

Contrôlé par : Mr R. RAAI

Echelle : 1/100

Le 30/05/2011

Fig. 5 Coupe lithostratigraphique de la série de Benguerir Sud et Nord

4-2-2- Structure

Les structurales élaborées (mur de la base de la série et toit du sillon B) font ressortir 3 domaines :

- Un domaine occidental situé à l'Ouest du méridien Lambert 265 000 où les courbes sont orientées grosso- modo Est-Ouest avec un pendage vers le Sud. La pente dans ce domaine varie entre 1.50% et 3.50% ;
- Un domaine central limité par les méridiens 265 000 et 275 000 caractérisé principalement par la présence des flexures. De l'Ouest vers l'Est on distingue :
 - ✓ Une flexure NE-SW au Sud ;
 - ✓ Une flexure orientée NNE-SSW au Nord avec deux petits dômes autour des puits 1033 et 560 ;
 - ✓ Une flexure orientée NW-SE au Nord-Est de ce domaine avec une petite cuvette autour du puits 623 ;
 - ✓ Une flexure orientée au WNW-ESE au Sud-Est. La pente dans ce domaine varie de 2% à plus 7% ;
- Un domaine oriental situé à l'Est du méridien 275 000 avec une orientation des courbes dans le sens NE-SW et à pendage variant de moins de 2% à plus de 3%.

4-2-3- Recouvrements

Les courbes de recouvrements au dessus du toit du sillon B forment des bandes allongées, généralement, NE-SW. Les forts recouvrements sont localisés au Sud-Est (maximum 101.90 m – S.1144).

5- Aperçu général sur l'outil d'informatique ARCGIS

5-1 Introduction au SIG :

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil puissant permettant de visualiser, explorer, interroger et analyser des données repérées géographiquement, offrant ainsi aux décideurs un outil d'aide à la décision. Il permet très rapidement de croiser les données de manière à créer un affichage cartographique de ces dernières, permettant en plus de l'analyse classique une analyse géographique souvent bien plus explicite.

Les Systèmes d'Information géographique permettent de réaliser de nombreux traitements plus ou moins complexes sur les données :

- Disposer les objets dans un système de référence géoréférencé ;
- Faciliter la superposition de cartes de sources différentes ;
- Extraire tous les objets géographiques situés à une distance donnée d'un objet (par exemple une route, une école...) ;
- Fusionner des objets ayant une caractéristique commune (par exemple : toutes les maisons raccordées à un réseau d'eau potable ou le nombre de maisons éventuellement inondables) ;
- Déterminer l'itinéraire le plus court pour se rendre à un endroit précis ;
- Définir des zones en combinant plusieurs critères (par exemple : définir les zones inondables en fonction de la nature du sol, du relief, de la proximité d'une rivière).

Si on se réfère à une définition générale d'ESRI France (Environmental System Research Institute), on trouve que « un système d'information géographique est un outil informatique permettant de représenter et d'analyser toutes les choses qui existent sur terre ainsi que tous les événements qui s'y produisent » et on y ajoute qu'un SIG inclut en outre la fonctionnalité des bases de données conventionnelles (fig. 6).

La visualisation est généralement en deux dimensions, mais un affichage en trois dimensions ou une animation présentant des variations temporelles sur un territoire est possible.

Le SIG est actuellement le principal système d'information auquel recourt le groupe OCP SA. Il est utilisé en tant qu'outil de soutien pour le traitement de divers aspects des fonctions minières, de l'archivage des données géologiques, de

la réalisation des cartes d'iso-valeurs, de la création de bases listing cases minières et surtout de l'estimation des réserves en terme de qualité et en quantité.

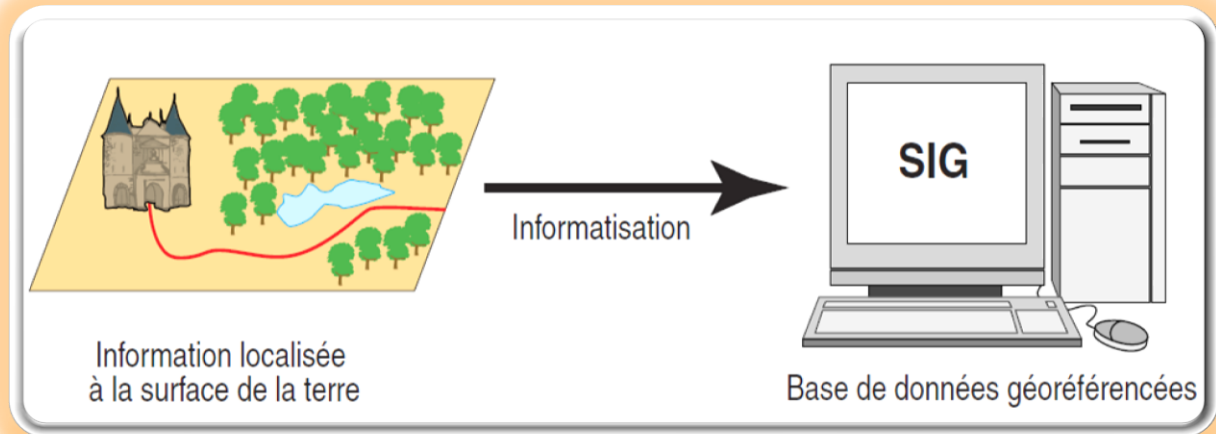


Fig. 6 Informatisation du monde réel

5-2 Composantes d'un SIG (fig. 7) :

Le cœur d'un SIG est constitué par la Base des Données Géographiques. Cette dernière est usuellement abrégée en BDG, qui est un ensemble structuré et organisé d'informations composé de deux éléments principaux :

- **Une base de données spatiales** : décrivant les objets spatiaux (couche géologique, limites de nappes, limites de bassins versants, ouvrages d'eau souterraine...) ;
- **Une base de données alphanumérique** : (attributs) définissant les caractéristiques thématiques (faciès lithologique, profondeur de l'eau, productivité des ouvrages...) des objets spatiaux.

Ces informations sont placées dans des fichiers et organisées de manière à pouvoir être facilement triées, stockées, interrogées et analysées par un ensemble de sous systèmes informatiques avec lesquels la base de données géographiques est en interaction permanente.

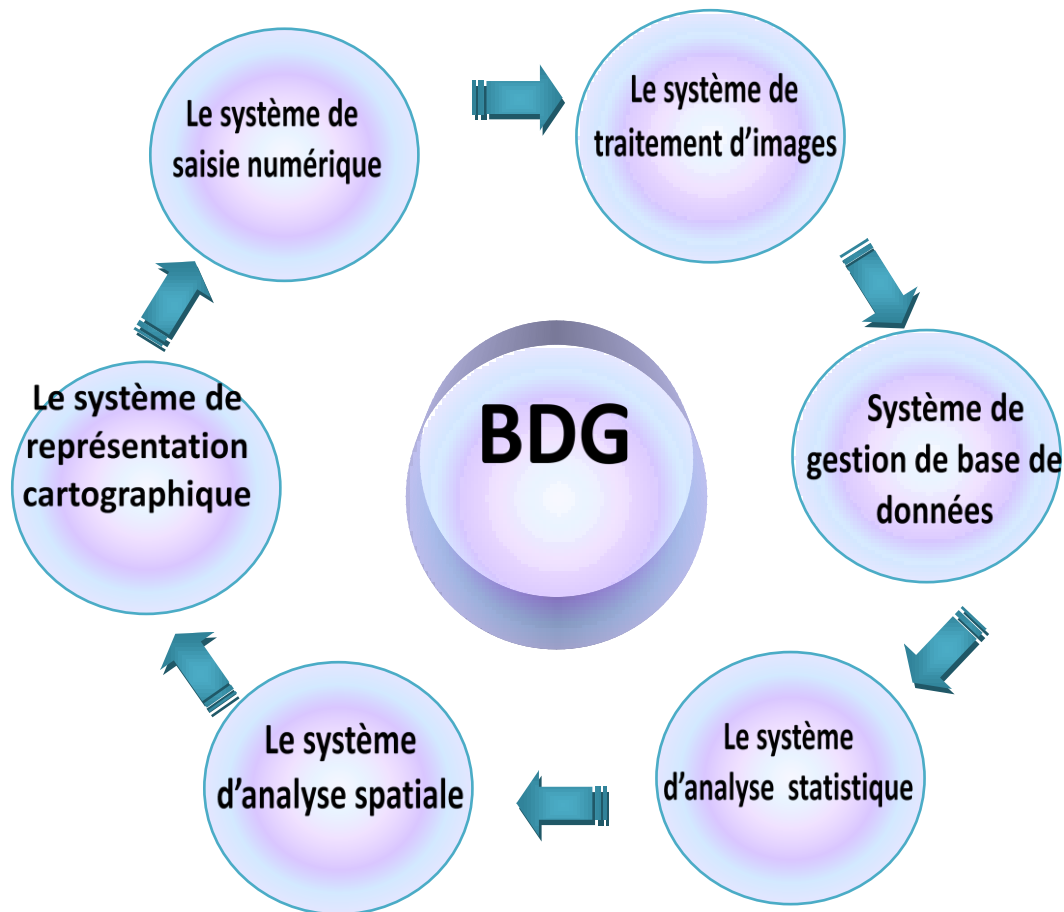


Fig. 7 Les sous systèmes informatiques du SIG

5-3 Logiciels d'un SIG :

Les logiciels utilisables dans le domaine des systèmes d'information géographique sont de deux natures.

Logiciels libres de type :

- GRASS
- GIS gvSIG
- MapServer
- PostGIS
- AutoDEM

Logiciels propriétaires de type :

- SavGIS
- GEOSIG
- TopoCad
- ArcGIS

5-4 Présentation d'ArcGis :

Selon ESRI, ArcGIS Desktop permet d'identifier dans des données des relations et des tendances qui sont moins visibles dans les bases de données, les feuilles de calcul ou des statistiques. Bien plus que le simple affichage des données sur une carte, ArcGIS Desktop nous confère la possibilité de gérer et d'intégrer des données, de réaliser des analyses approfondies, de modéliser et d'automatiser des traitements, et d'afficher les résultats sur des cartes de qualité professionnelle.

- **Desktop**
 - 2 applications de base : ArcMap, ArcCatalog, à la version 9.X, ArcToolbox est désormais intégré aux 2 autres.
 - Des applications satellites :
 - ArcGlobe
 - ModelBuilder
 - Des « extensions » spécialisées :
 - Spatial Analyst
 - Geostatistical Analyst
 - 3D Analyst
 - Tracking Analyst
 - Etc...
- **ArcGIS-ArcInfo 9.X** supporte 3 modèles de représentation géométriques :
 - Vectoriel : utilisé pour les éléments géographiques bien délimités dans l'espace (cours d'eau, frontières, bâtiments, courbes de niveau...), ces éléments sont décrits par : des points, lignes, polygones. Son format est de type : Shapefile, géodatabase.
 - Matriciel : utilisé principalement pour les images (photos aériennes, imageries satellitaires), ou des phénomènes variant de façon graduelle et continue dans l'espace (matrices bidimensionnelles). Son format est de type GRID et LATTICES, format image.
 - Triangulé (TIN) : Triangulated Irregular Network (réseau de triangles irréguliers). Utilisé pour les surfaces continues ; coordonnées X, Y et Z (une seule coordonnée Z est possible pour chaque position XY donc 2D et demi).

Au cours de notre étude, on avait recours à :

- **ArcCatalog**
- **ArcMap**
- **ArcToolbox** (Spatial Analyst, 3D Analyst)

5-4-1 Présentation d'ArcMap (fig. 8)

ArcMap est l'application charnière d'ArcGis Desktop pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse spatiale et la mise à jour.

ArcMap est une application complète de création de cartes dans ArcGis Desktop. Elle propose deux types de vues cartographiques : un mode de données géographiques et un mode Mise en page. Dans le mode Données géographiques, les utilisateurs travaillent avec des couches géographiques pour symboliser, analyser et compiler les jeux de données SIG. Une table des matières aide à organiser et à contrôler les propriétés graphiques des couches de données SIG du bloc de données. Le mode « Données » est une fenêtre à l'intérieur de n'importe quel jeu de données SIG correspondant à une zone particulière. En mode « mise en page », les utilisateurs travaillent sur des pages cartographiques contenant des vues de données géographiques ainsi que d'autres éléments cartographiques, comme des barres d'échelle, des légendes, des flèches du nord et des cartes de référence.

ArcMap est utilisé pour créer, sur des pages, des cartes à imprimer et à publier.

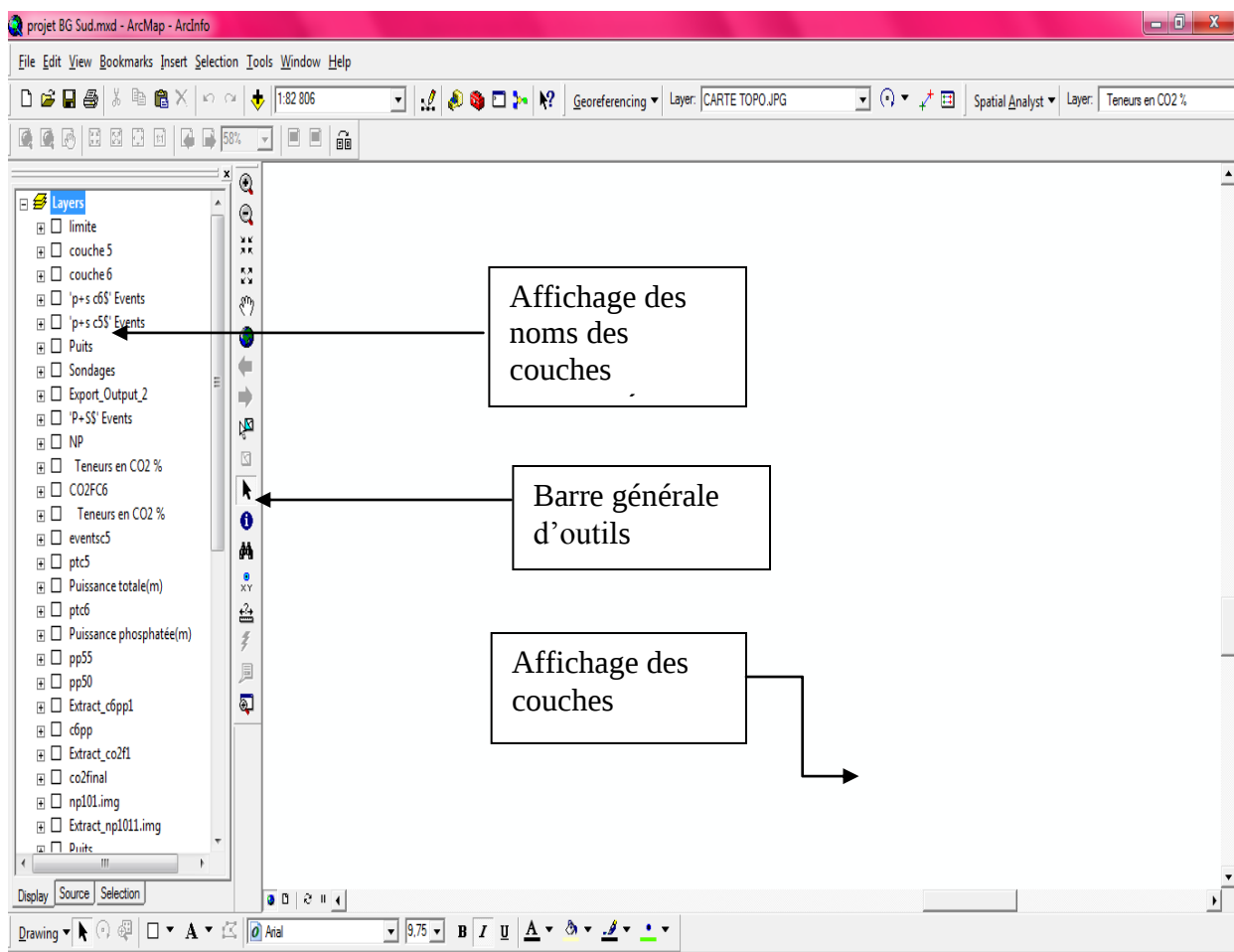


Fig. 8 Présentation de l'interface d'ArcMap

5-4-2 Présentation d'ArcCatalog (fig. 9) :

L'application ArcCatalog facilite l'organisation et la gestion de toutes les informations géographiques, telles que les cartes, les globes, les jeux de données, les modèles, les métadonnées et les services. Elle propose des outils pour :

- Naviguer et trouver des informations géographiques,
- Enregistrer, afficher et gérer des métadonnées,
- Définir, exporter et importer des modèles de données de geodatabase,
- Rechercher et découvrir des données SIG sur des réseaux locaux et sur le Web,
- Gérer un serveur SIG.

Les utilisateurs peuvent utiliser ArcCatalog pour trouver, organiser et utiliser les données SIG, mais également documenter les lots de données à l'aide de métadonnées normalisées.

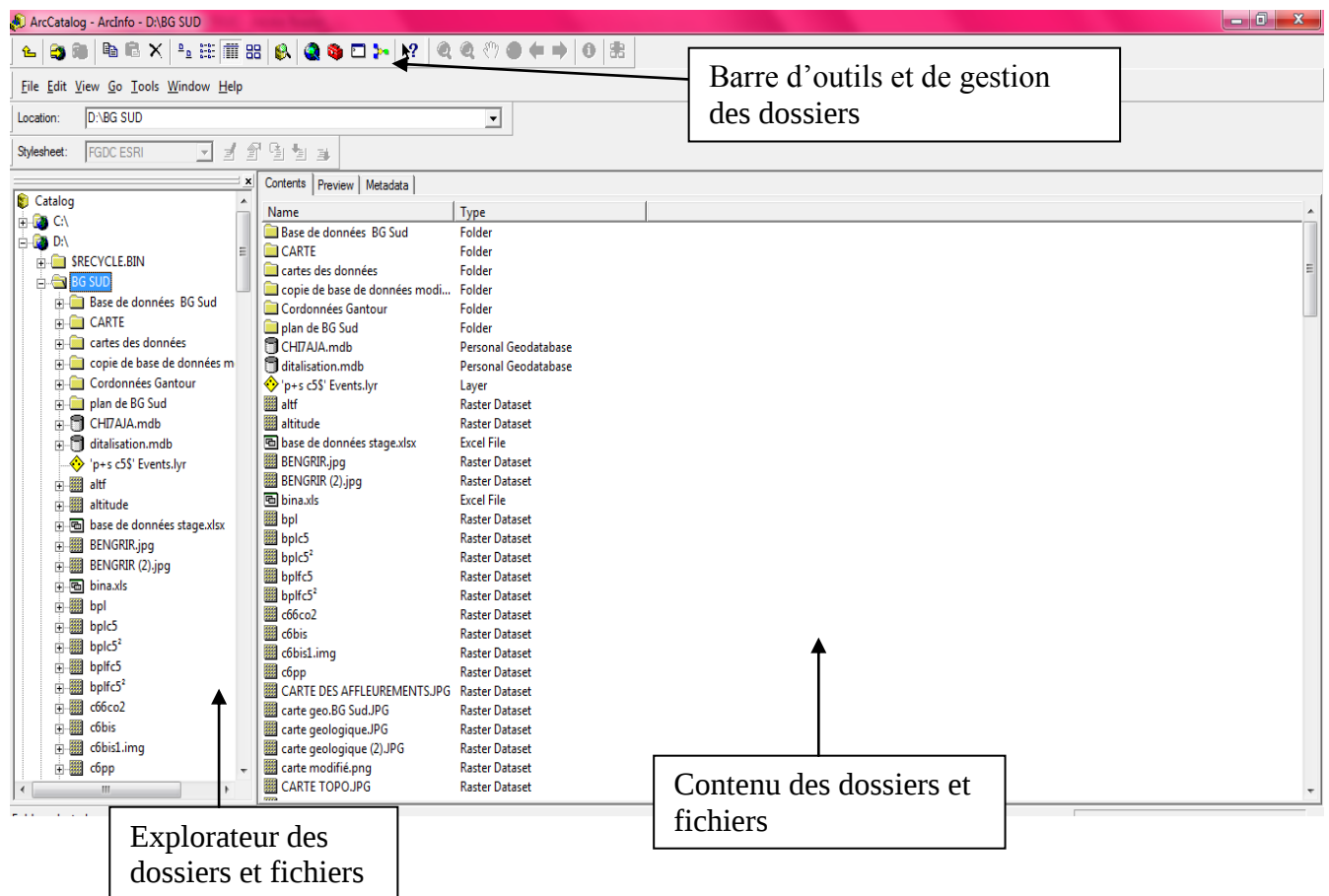


Fig. 9 Présentation de l'interface d'ArcCatalog

5-4-3 Présentation d'ArcToolBox (fig. 10)

ArcToolBox est l'application permettant de traiter les couvertures, les grilles, les TIN... à l'aide des commandes ARC d'ArcInfo™ Workstation. Elle présente un ensemble de plus de 100 outils de conversion, de traitement et d'analyse présentés sous la forme d'assistants. Les tâches définies avec ces outils peuvent être exécutées en local ou sur un serveur de géotraitement. Elles peuvent aussi être planifiées. L'ensemble des outils d'ArcToolBox permet ce qu'est appelé «Géotraitement».

Le géotraitement est le traitement d'informations géographiques, l'une des fonctions de base d'un système d'information géographique (SIG). Il constitue un moyen de créer de nouvelles informations en appliquant une opération à des données existantes. Toute modification ou extraction d'informations effectuée sur les données implique une tâche de géotraitement. Il peut s'agir d'une tâche de conversion de données géographiques en un autre format. Dans d'autres cas, plusieurs tâches peuvent être impliquées et effectuées en séquence, comme par exemple, le découpage, la sélection et l'intersection de jeux de données.

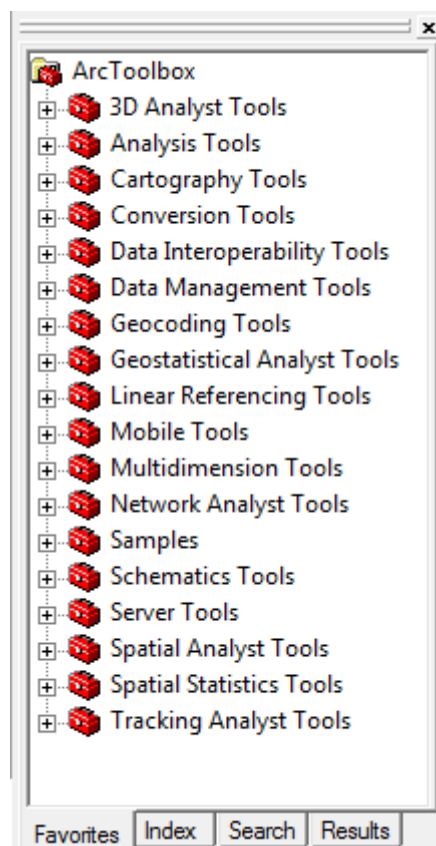


Fig. 10 Présentation de l'interface d'ArcToolBox

6- Informatisation des données et élaboration d'un SIG :

A partir des données géologiques (cartes des affleurements des couches 5 et 6 de la zone Benguerir SUD) réalisées par le service de géologie et les coupes lithologiques sur les puits de reconnaissance (615 puits et sondages), on vise à informatiser les processus de réalisation des cartes de puissance totale, puissance phosphatée, teneurs en BPL (% en poids de calcium et de phosphate contenus dans une roche ou minéral phosphaté) et teneurs en CO₂ de la zone en projet.

6-1 Constitution de fond de base :

6-1-1 Mode Opérateur :

a) Balayage de l'image :

Cette étape consiste à :

- Scanner l'image qui regroupe tous les recouvrements ainsi que les affleurements.
- Enregistrer l'image scannée sous un format Raster, étant le format le moins volumineux (bmp).
- Importer l'image désirée à l'ArcGis en utilisant l'icône  dans la barre d'outils ou à partir de : File → Add data

b) Géoréférencement :

Une fois le fichier est prêt à traiter, on passe à la fenêtre d'ArcGis pour le caler dans l'espace, cela nécessite en premier temps, le choix au moins de trois points avec leurs coordonnées en X et Y bien éloignés pour que le logiciel puisse déterminer l'échelle de la zone étudiée. Pour cela on utilise l'icône , ensuite on clique sur le bouton droit de la souris et on fait entrer les coordonnées de points marqués ; l'icône  est utilisée pour la visualisation et la confirmation de la saisie des points (fig. 11).

En deuxième temps, il faut définir le système de projection proprement dit Tools (dans la barre d'outils → Add XY data). Dans le cas du Maroc, il s'agit de « **Merchich_Lambert_Conformal_Conic** ».

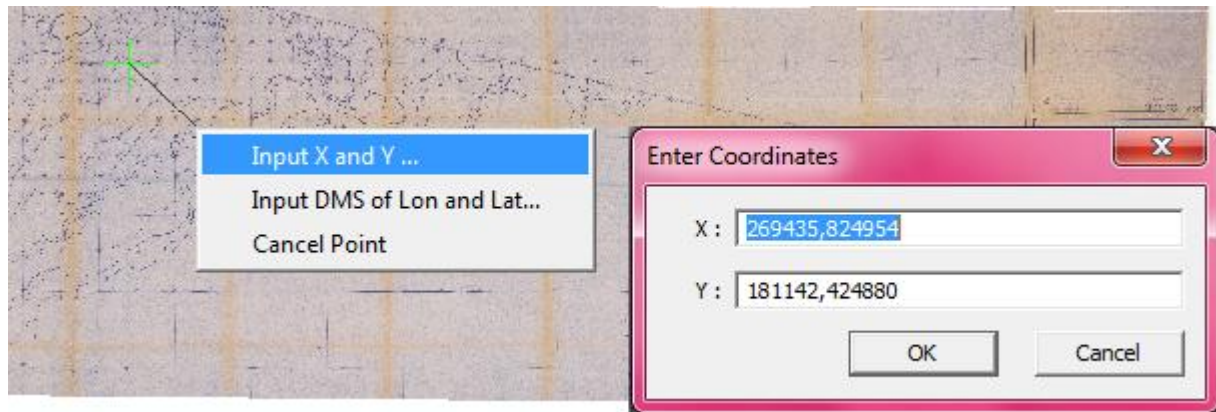


Fig. 11 Visualisation des coordonnées d'un point sous Arc GIS

c) Digitalisation :

Après avoir géoréférencié l'image, il faut tout d'abord créer un fichier de forme nommé « File Geodatabase » en utilisant ArcCatalog et en cliquant sur le bouton droit de la souris dans l'explorateur des dossiers et fichiers comme il est indiqué ci-dessous (fig. 12) :

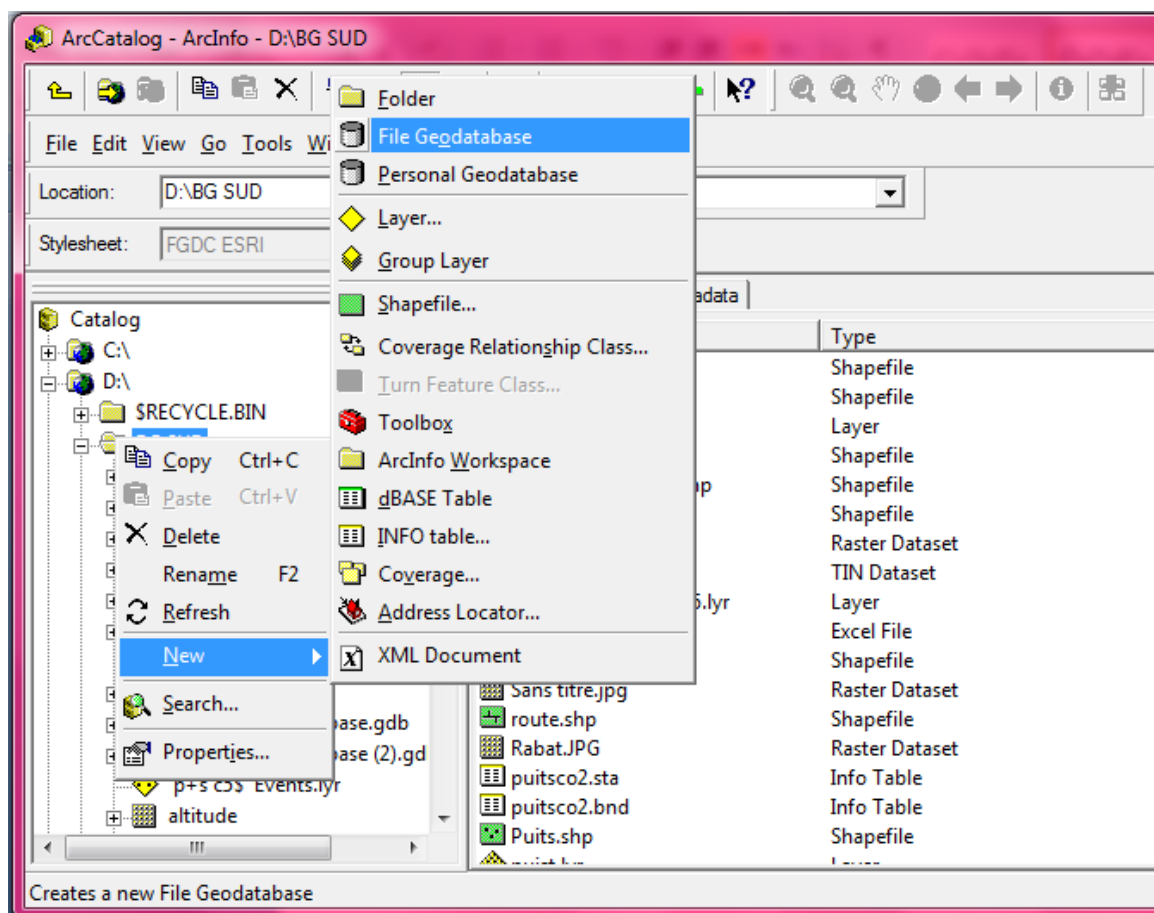


Fig. 12 Création du fichier «File Geodatabase» sous Arc GIS

Ensuite on insère le nom de fichier et dans la liste déroulante de 'feature class' on choisit soit point, soit polyligne, soit polygone (fig. 13).

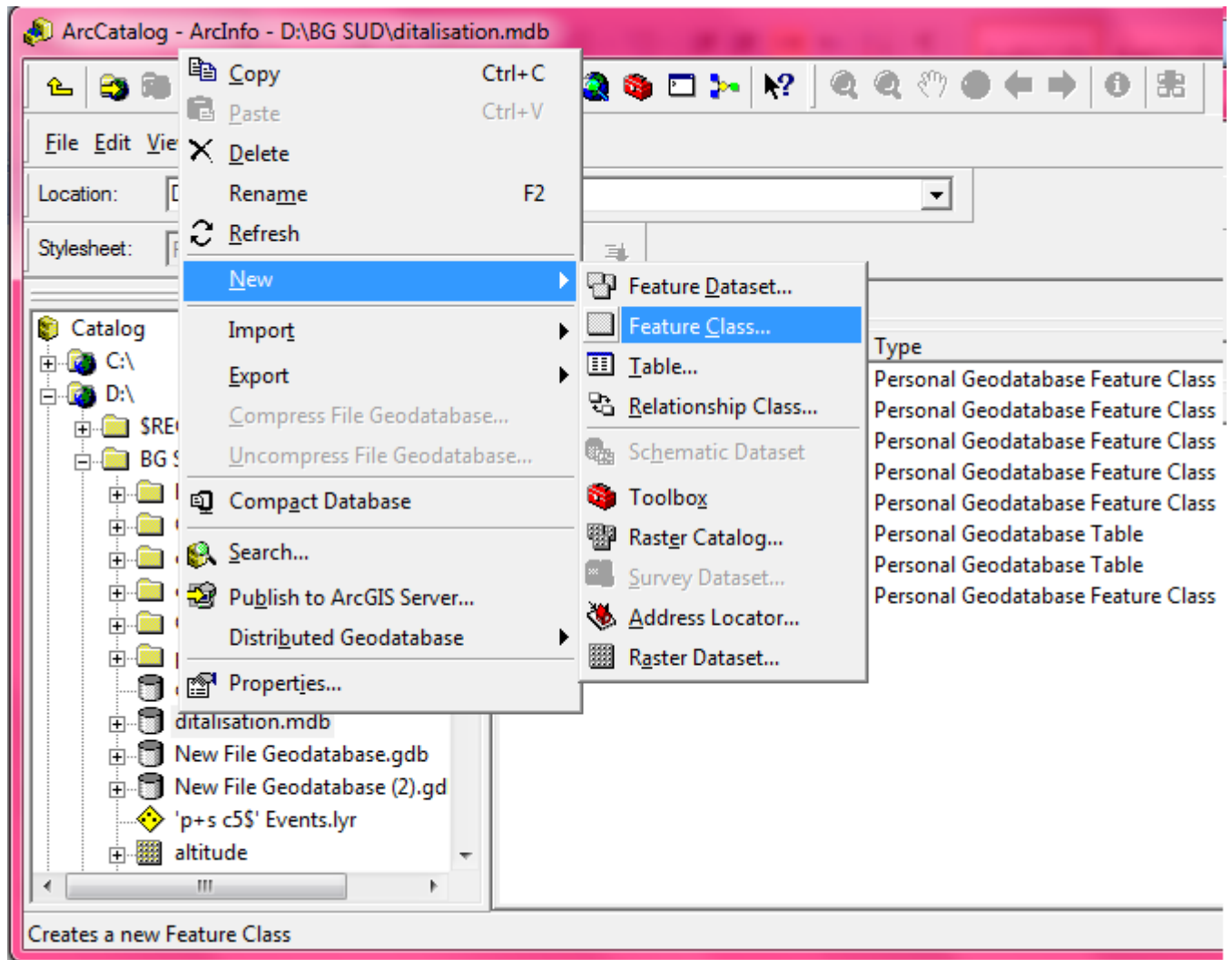


Fig. 13 Création du nom du fichier et choix du type sous Arc GIS

On fait glisser le fichier créé vers la fenêtre de l'ArcGis. Ensuite, on fait apparaître l'icône Editor, on appuie sur 'start editing' puis on clique sur sketch tool pour commencer à faire des polygones (fig. 14).

A travers la digitalisation, on a pu limiter la zone à étudier ainsi que la réalisation des cartes montrant les courbes de niveau, les réseaux routiers et hydrographiques et enfin la lithologie de cette zone.

Pour les courbes de niveau, on a effectué une conversion du format raster au format TIN à l'aide de l'outil 3D Analyst situé dans ArcToolBox (figure).

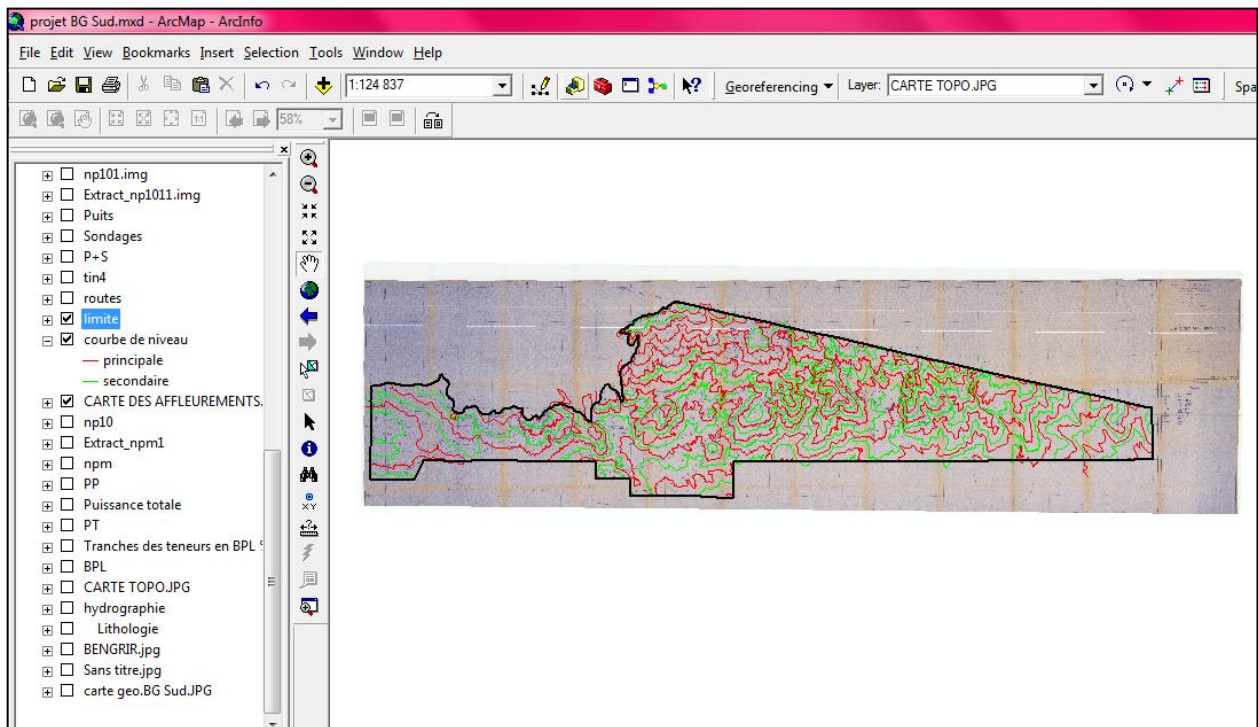


Fig. 14 Exemple de digitalisation montrant la limite et les courbes de niveaux à partir de la carte d'affleurement de la zone Benguerir Sud

6-2 Importation de la base de données vers ArcGis :

6-2-1 Importation de la Base de données par Excel :

D'abord, on a commencé à intégrer les données relatives à tous les puits disponibles dans la zone étudiée de chaque niveau exploitable (soit 615 puits et sondages). Ces données sont :

- Le n° des ouvrages ;
- Les coordonnées en X, Y et Z ;
- Les puissances totales des intercalaires ;
- Les puissances phosphatées ;
- Les teneurs en BPL ;
- Les teneurs en CO₂

Ces données ont été mémorisées dans une base de données sous Microsoft Excel pour être compatibles avec les données cartographiques digitalisées sous ArcMap. Le but est de faire un croisement entre ces différents types de données pour pouvoir faire une analyse plus globale.

6-2-2 Visualisation des puits de reconnaissance :

Le logiciel ArcMap permet l'import et l'implantation des puits avec leurs attributs sur une carte numérique. Pour cela, on utilise la commande «display XY data» où on va répondre à trois demandes. La première concerne le choix de la table de la carte, la deuxième spécifie les coordonnées en X et Y et la troisième réservée pour la définition de système de projection.

6-3 Interpolation :

6-3-1 Définition :

L'interpolation spatiale est un traitement mathématique parfois utile lors de l'étude d'un phénomène naturel qui se déploie continuellement sur le territoire. En d'autre terme, c'est une procédure qui consiste à estimer la valeur d'attribut pour des sites non échantillonnés, ayant pour but d'obtenir une cartographie du champ de concentration en tout point de la zone d'étude à partir de 615 ouvrages ponctuellement observés, c'est-à-dire d'effectuer un complément des données manquantes.

Il existe des différentes méthodes d'interpolation : kriging spline, Inverse Distance...

Pour notre étude, on a opté pour la méthode dite krigeage qui est une sorte d'interpolation qui suppose l'hypothèse des données qui proviennent d'un phénomène aléatoire que l'on essaie d'identifier et que l'on va caractériser par des lois de distribution.

Le Krigeage est la méthode optimale, au sens statistique, d'interpolation c'est la méthode d'estimation la plus précise.

Le krigeage est un interpolateur exact, il existe 3 types :

- Le Krigeage ordinaire
- Le Krigeage simple
- Le Krigeage universel

La différence entre ces types d'estimation réside dans la connaissance des statistiques de la variable à interpoler.

6-3-2 Etapes d'interpolation

Après avoir localisé les puits couvrant l'étendue de la zone, on passe à leur interpolation. Et pour cela on clique sur l'outil Spatial Analyst situé dans ArcMap
→ Interpolate to Raster → Kriging (fig. 15)

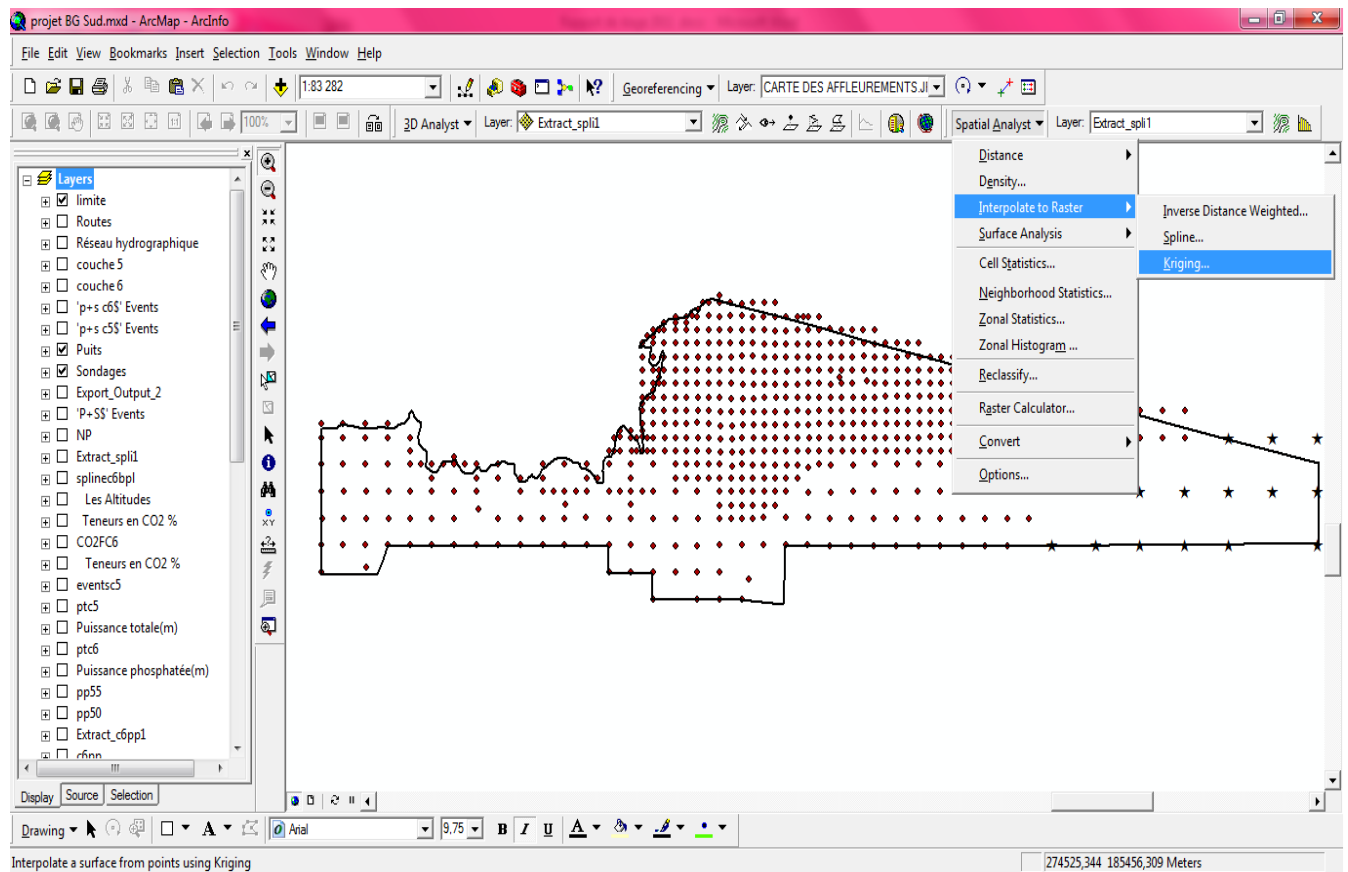


Fig. 15 Illustration des étapes d'interpolation sous ArcMap

Une autre fenêtre de dialogue s'affichera et on fait entrer ensuite les points à interpoler pour chaque couche et on choisit la méthode de krigeage désirée (ordinaire) (fig. 16).

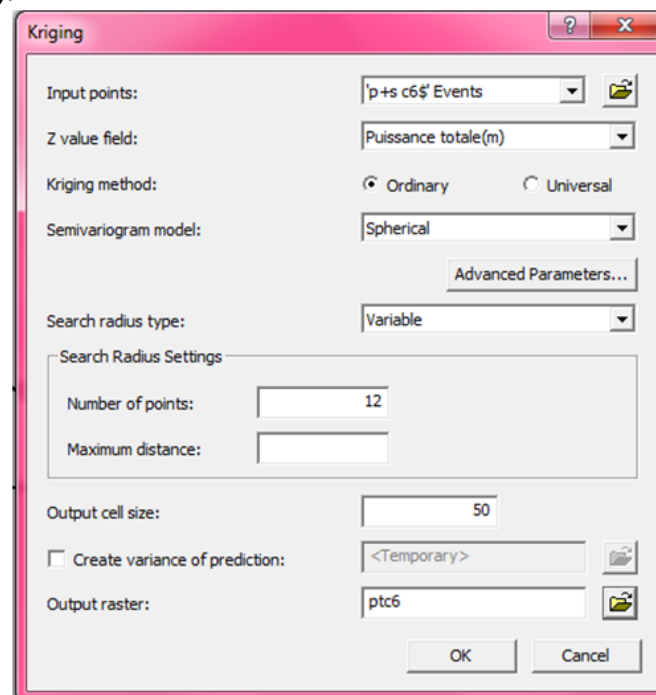


Fig. 16 Fenêtre de dialogue du Krigeage sous ArcMap

Le résultat obtenu se présente sous forme d'une carte comme il est indiqué dans la figure ci-dessous (fig. 17) :

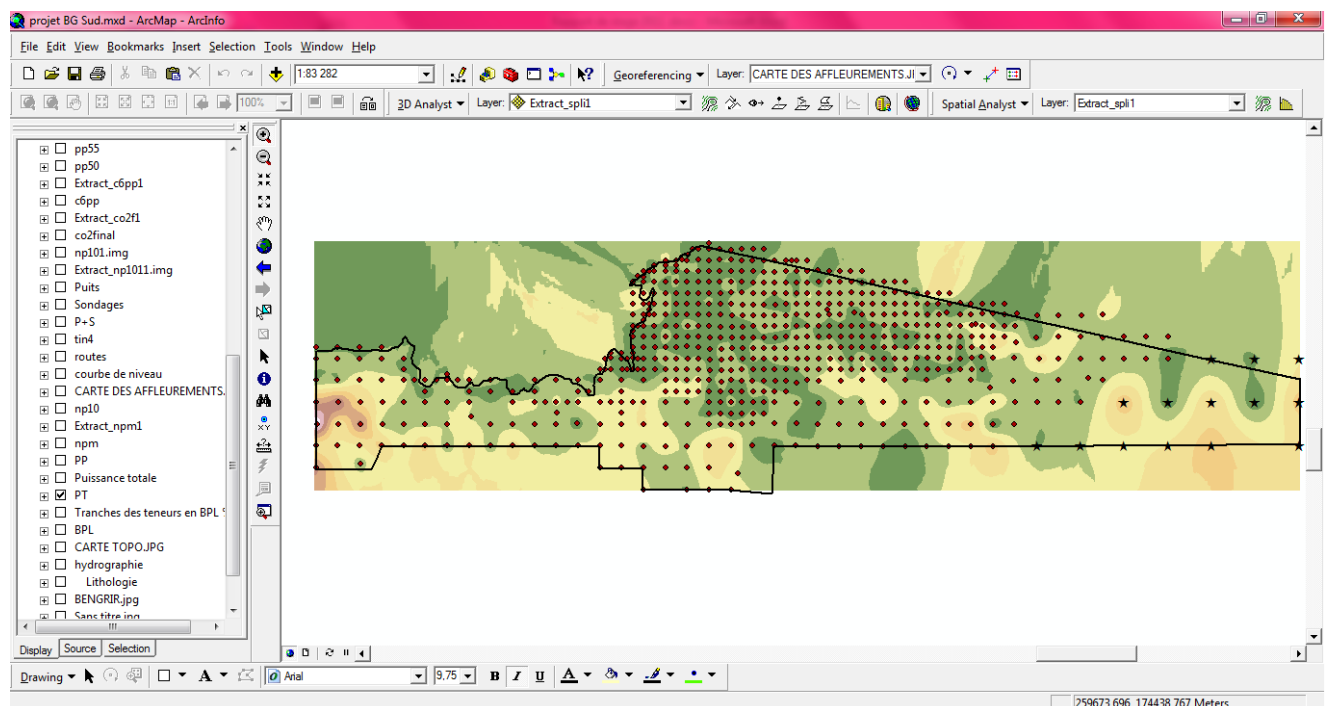


Fig. 17 Exemple de carte d'interpolation obtenue par krigeage sous ArcMap

On constate que l'interpolation déborde au-delà de la limite du secteur d'étude.

Pour la corriger on choisit l'outil Spatial Analyst situé dans ArcToolBox → Extraction → Extract by mask (fig. 18).

Une fenêtre s'affichera et par la suite on y indique le Raster à masquer et la limite de la zone qu'on ne doit pas dépasser par l'interpolation.

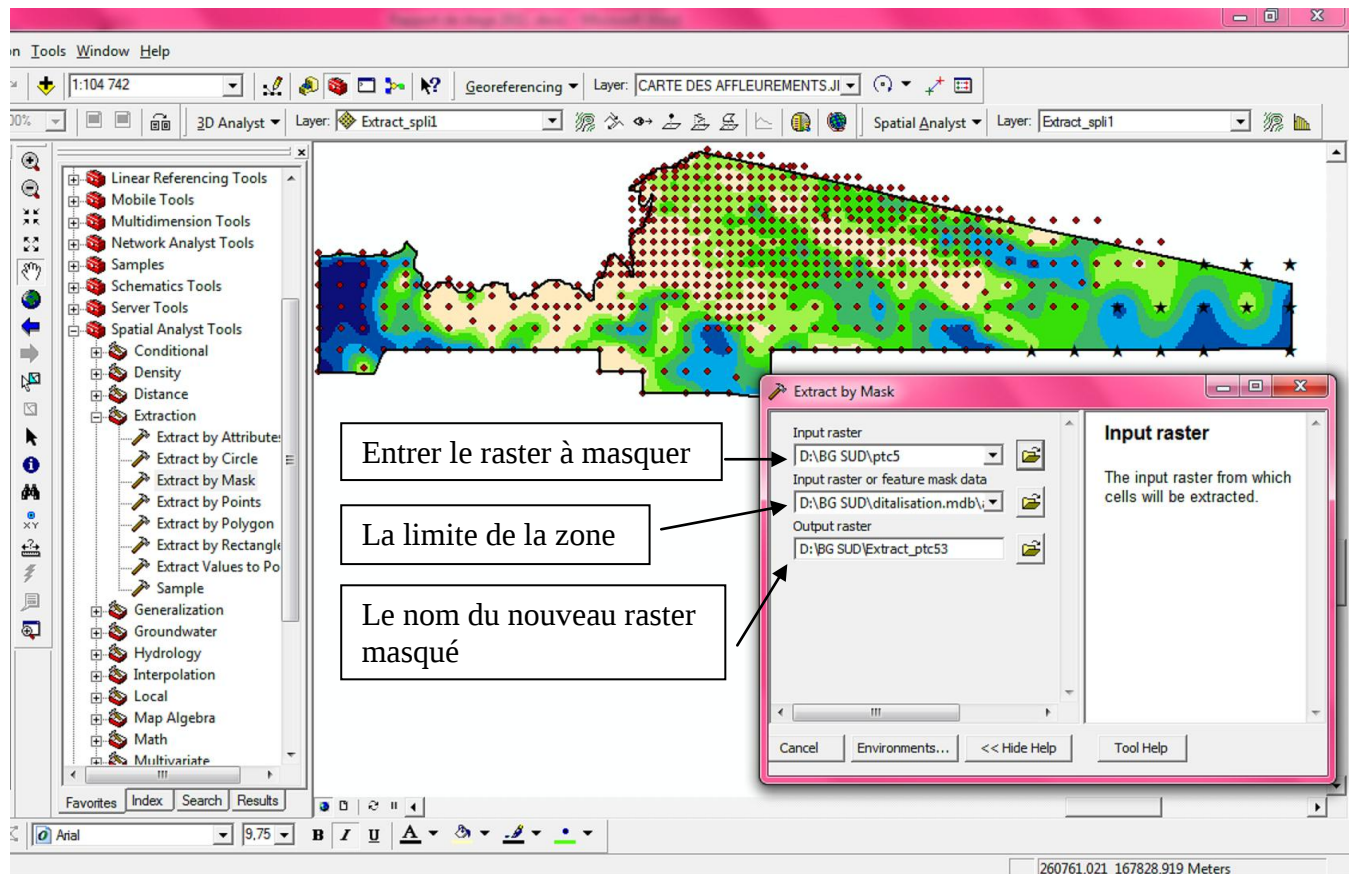


Fig. 18 Outil de correction pour la délimitation du secteur d'étude

6-4 Cartes thématiques réalisées sous ArcGis

6-4-1 Cartes réalisées par digitalisation :

A) Carte des altitudes (fig. 19) :

C'est une carte réalisée par la digitalisation des courbes de niveau à partir de la carte des affleurements de la zone de Benguerir Sud, et convertie en TIN.

Cette carte montre un intervalle d'élévation de valeurs allant de 425 jusqu'à 492.5, les plus hautes altitudes se situent au Nord de BG Sud, cependant les plus basses sont localisées à l'Est et au Sud.

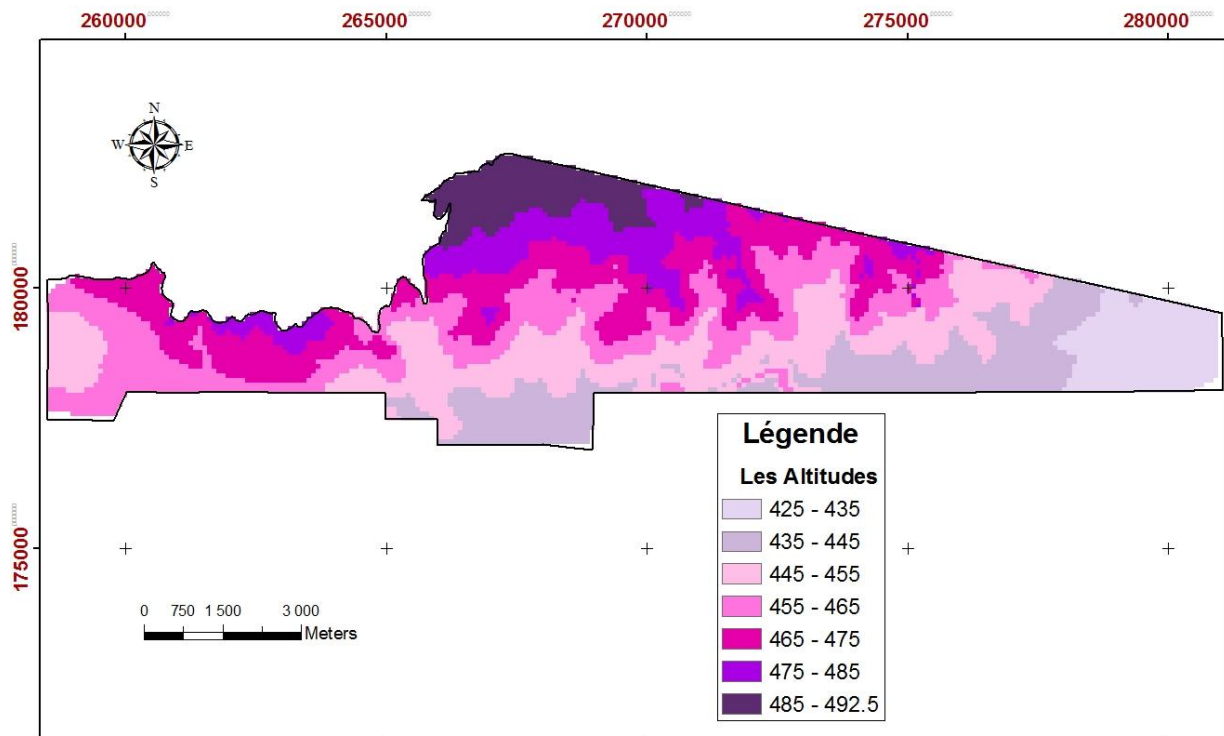


Fig. 19 Carte altimétrique du secteur d'étude réalisée sous ArcGIS

B) Carte de réseau routier et hydrographique (fig. 20):

C'est une carte réalisée par la digitalisation des réseaux routier et hydrographique à partir de la carte topographique de Benguerir Sud.

Cette carte montre 2 routes principales : la route S503 qui mène vers Kelaa Sraghna au Nord-Est de Benguerir Sud, et la route nationale P7 vers Marrakech qui limite le secteur à l'Ouest.

Pour le réseau hydrographique, on remarque juste la présence de petits Oueds et chenaux qui sont en général temporaires.

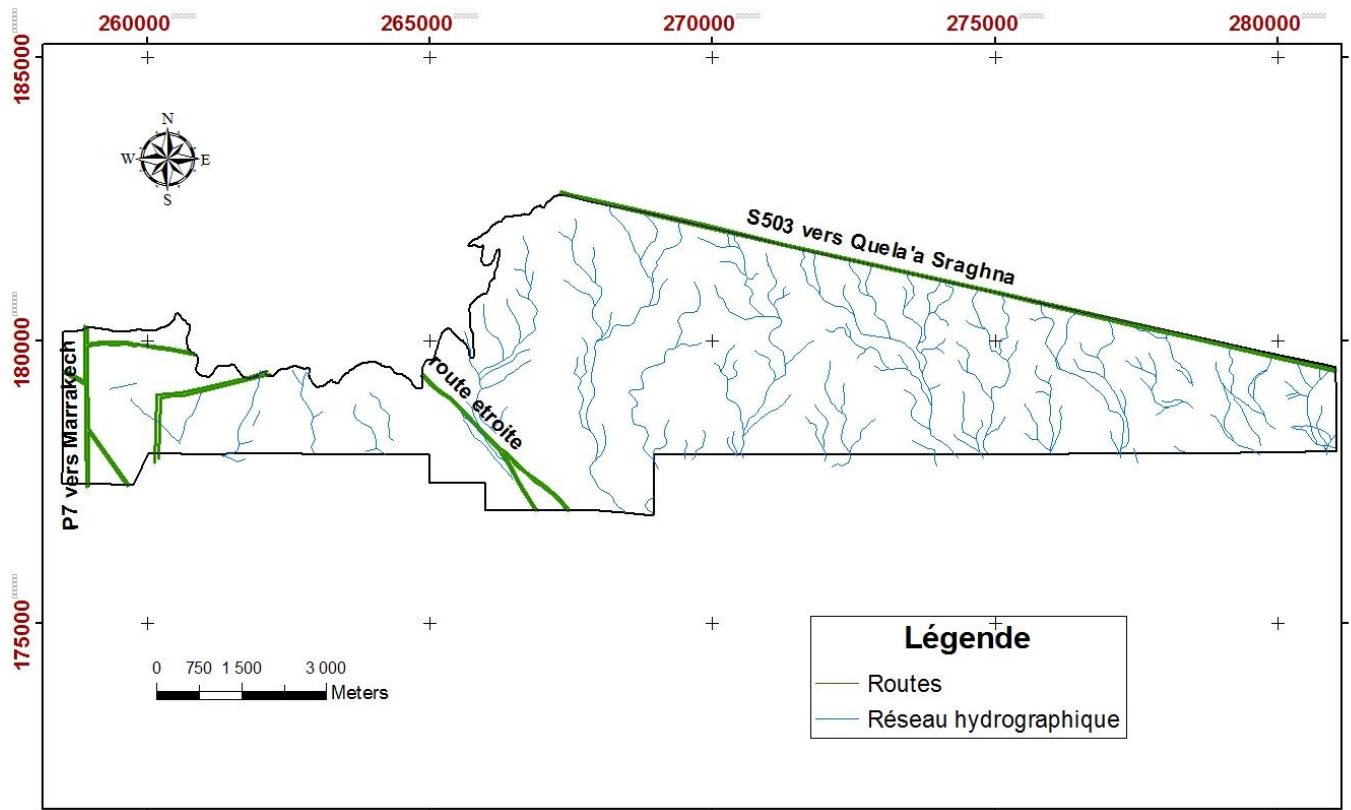


Fig. 20 Carte réalisée sous ArcGIS relative aux réseaux hydrographiques et routiers du secteur d'étude

C) Carte géologique (fig. 21) :

C'est une carte réalisée par la digitalisation des formations géologiques à partir de la carte géologique de Benguéir Sud.

Les terrains présents dans cette zone débutent par le Précambrien primaire jusqu'au Quaternaire récent, avec une dominance de trois âges différents : le Maestrictien, l'Eocène inférieur et le Quaternaire moyen et ancien.

- Le Précambrien primaire comprend des Micaschistes.
- L'Orogenèse hercynienne comprend des granites à biotite.
- Le Maestrictien c'est l'âge où se sont déposées les formations phosphatées.
- L'Eocène inférieur comprend également des faciès phosphatés.
- Le Lutétien renferme une couche à Thérstitées.
- Le Quaternaire moyen et ancien est marqué par la présence des regs, des dépôts encroûtés et des limons anciens.
- Le Quaternaire récent comprend des alluvions, des limons alluvionnaires et des limons rouges.

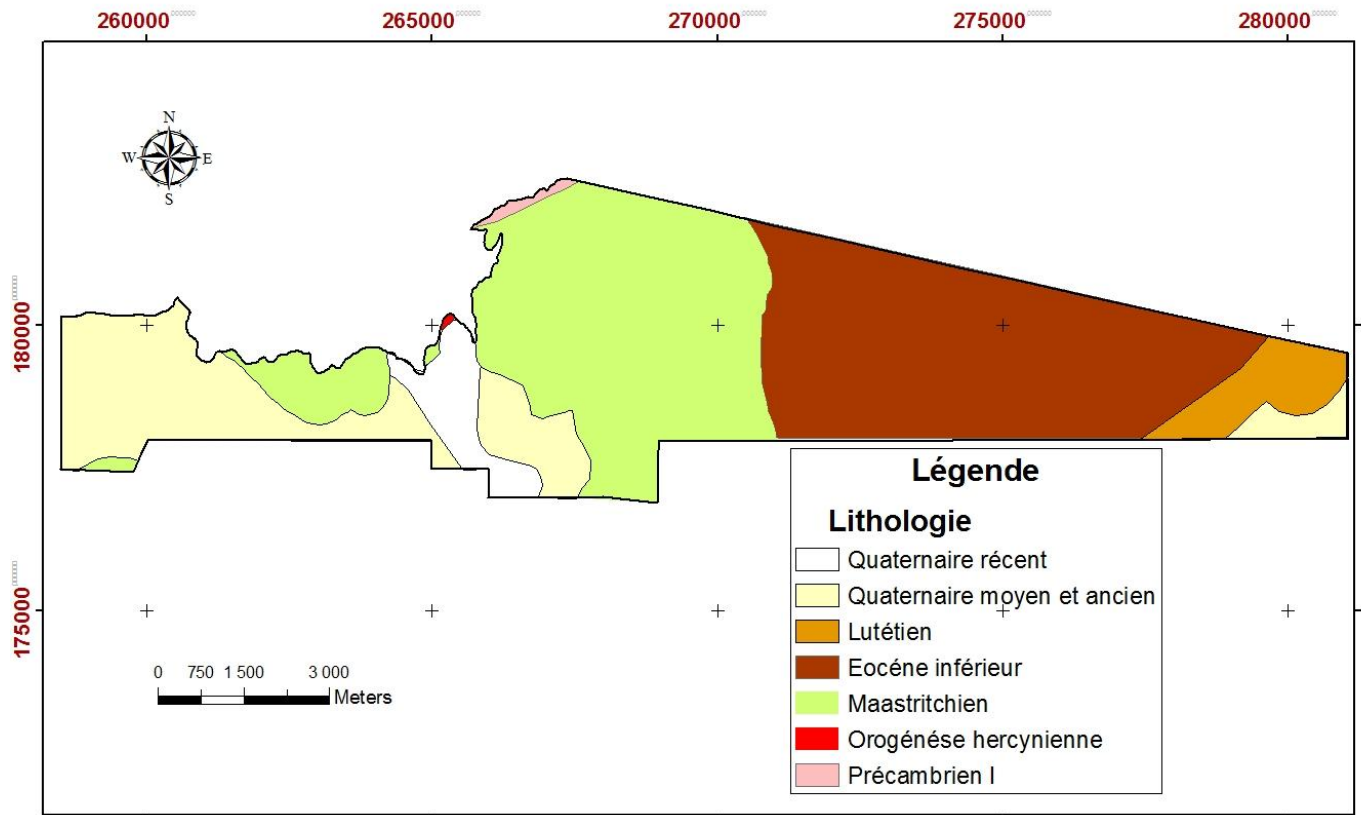


Fig. 21 Carte géologique du secteur d'étude issue d'ArcGIS

6-4-2 Cartes réalisées par interpolation :

A) Cartes de la couche 5 :

Carte de puissance totale (fig. 22) :

Cette carte montre des puissances regroupant des intercalaires et des niveaux phosphatés de la couche 5 qui atteignent 5.2 m d'épaisseur au niveau des 615 ouvrages différents (puits et sondages). On marque l'absence de la couche 5 et ses intercalaires au niveau de quelques puits ainsi que dans les zones érodées.

Les petites puissances occupent la partie Nord-Est de Benguérir Sud et les plus grandes puissances se localisent au sud de la région.

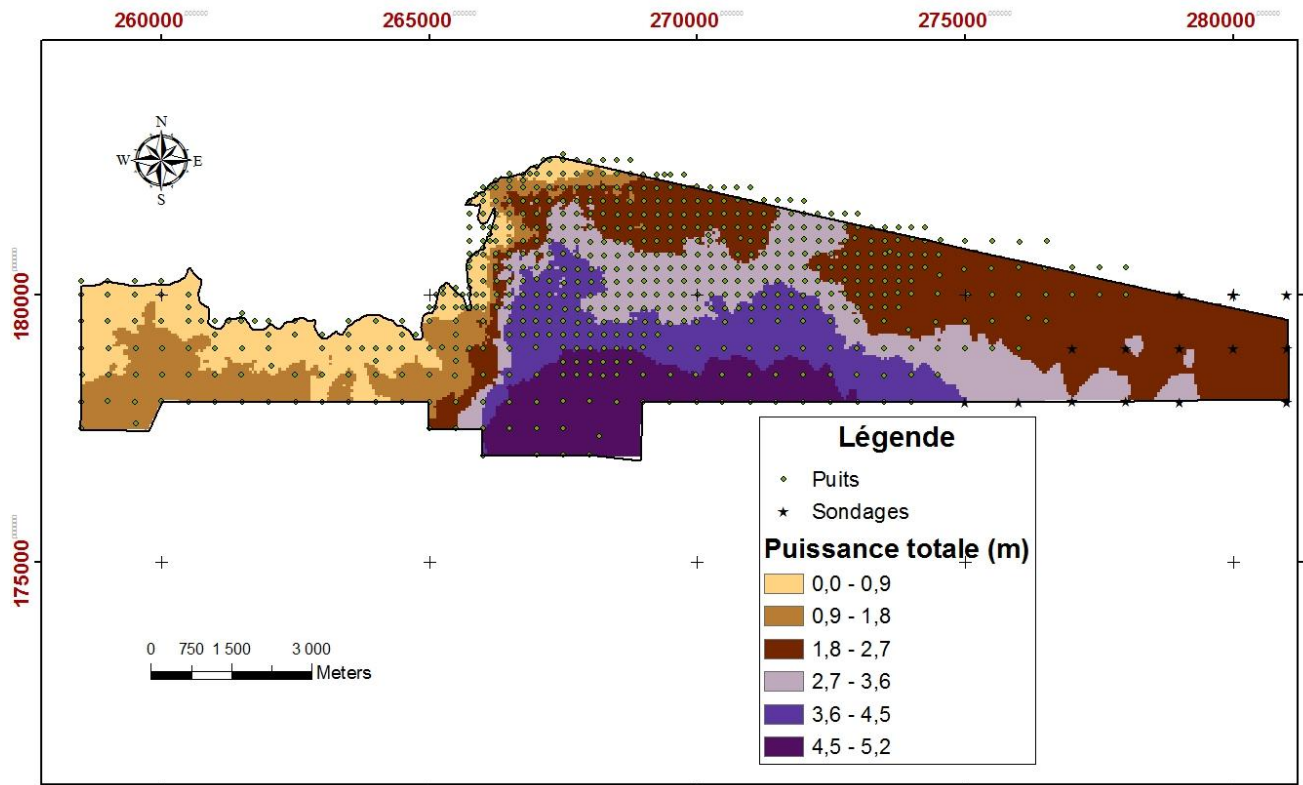


Fig. 22 Carte de la puissance totale de la couche 5 dans la zone de Benguerir Sud
(Carte élaborée sous ArcGis)

Carte de puissance phosphatée (fig. 23) :

Cette carte montre les puissances phosphatées présentes dans la couche 5 qui atteignent 3.5m d'épaisseur. Les plus petites puissances se localisent dans le Nord-Ouest de Benguerir Sud, cependant les plus grandes puissances se concentrent dans la partie Sud.

Carte des teneurs en BPL (fig. 24) :

Cette carte présente les teneurs de BPL en % de la couche 5 qui atteignent 72% dans certains ouvrages. On a une dominance des plus grandes teneurs (> 50%) qui occupent l'Est de la zone étudiée. Cependant les plus basses teneurs se situent au Nord-Ouest.

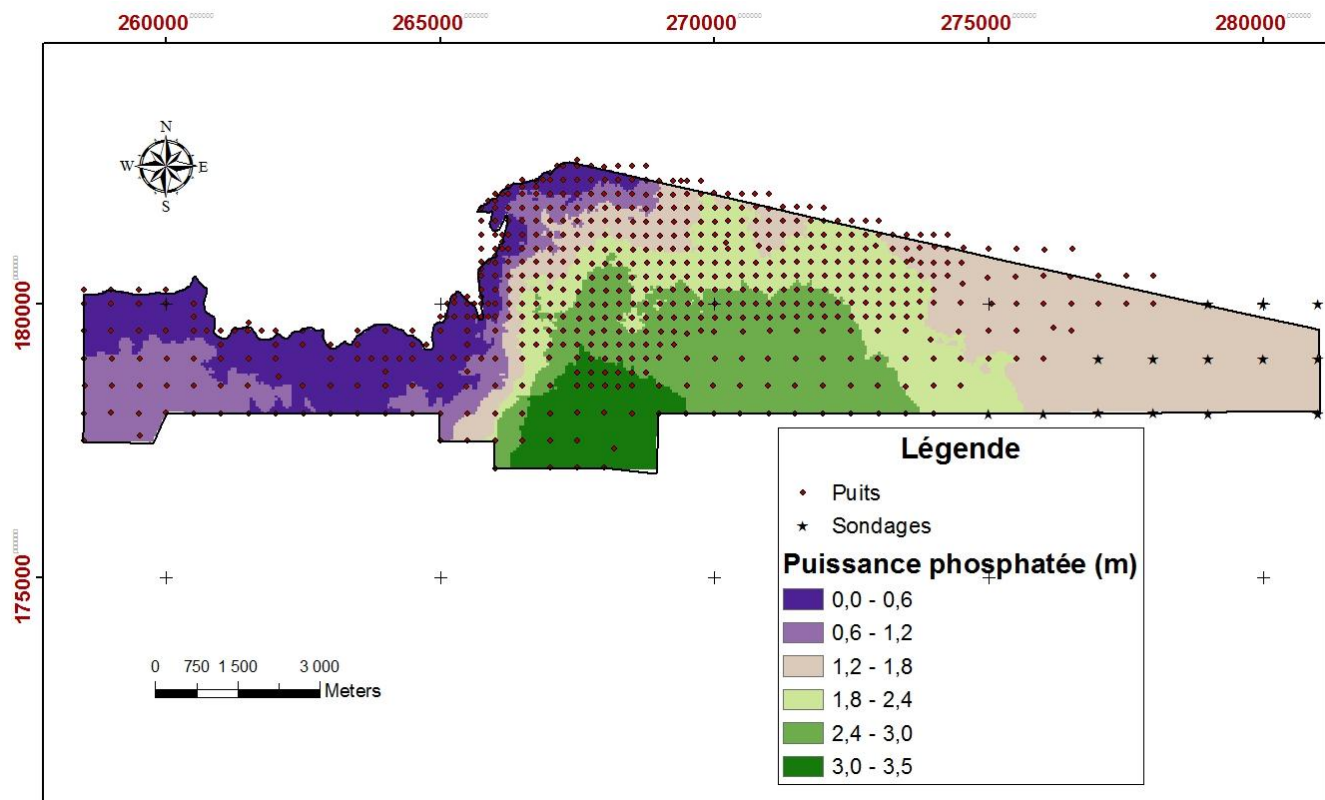


Fig. 23 Carte de la puissance phosphatée de la couche 5 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

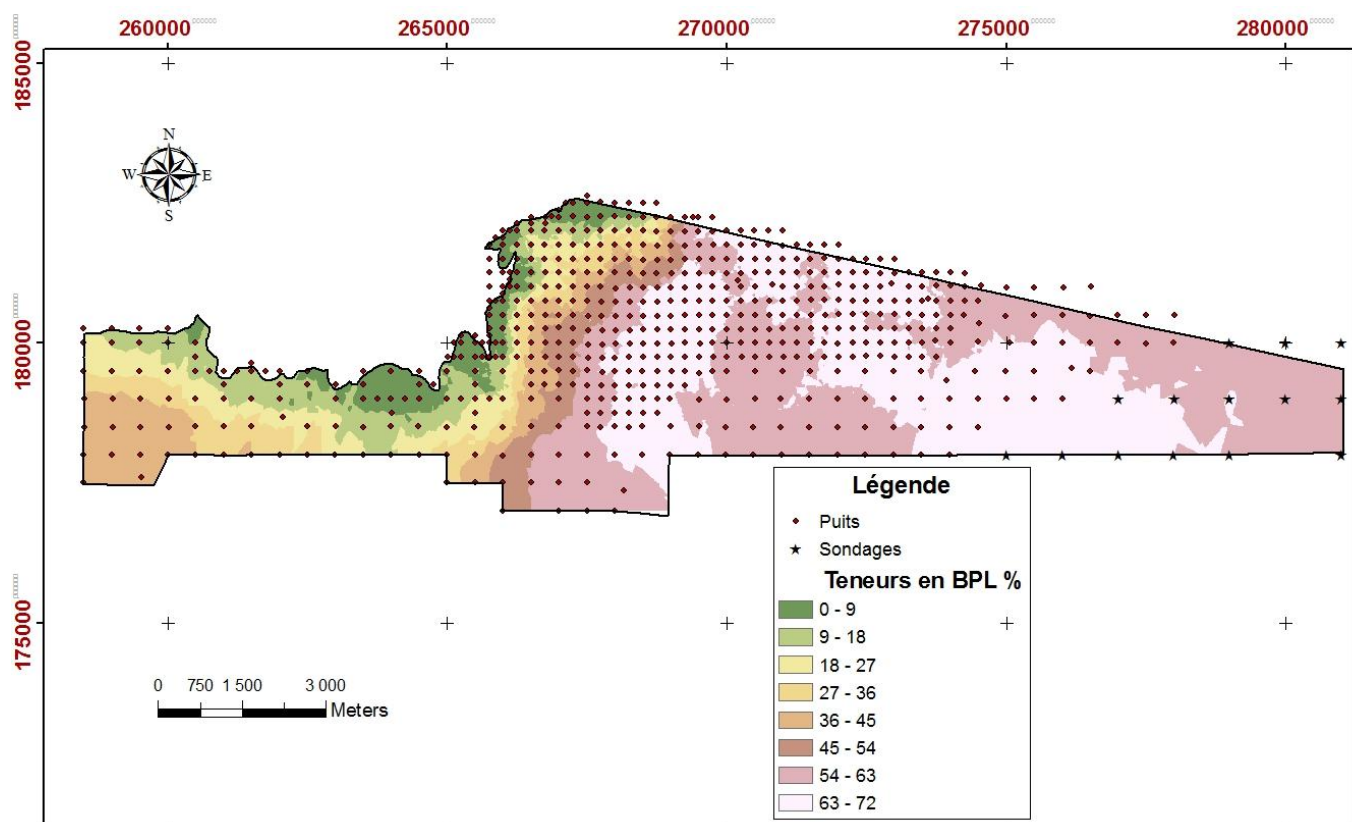


Fig. 24 Carte de la teneur en BPL (%) de la couche 5 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

Carte des teneurs en CO₂ (fig. 25) :

Cette carte présente les teneurs de CO₂ en % de la couche 5 qui atteignent 12 % pour les formations calcaires et 10 % pour les formations phosphatées. Les hautes teneurs se localisent en général à l'Ouest. La carte est dominée par les faibles teneurs.

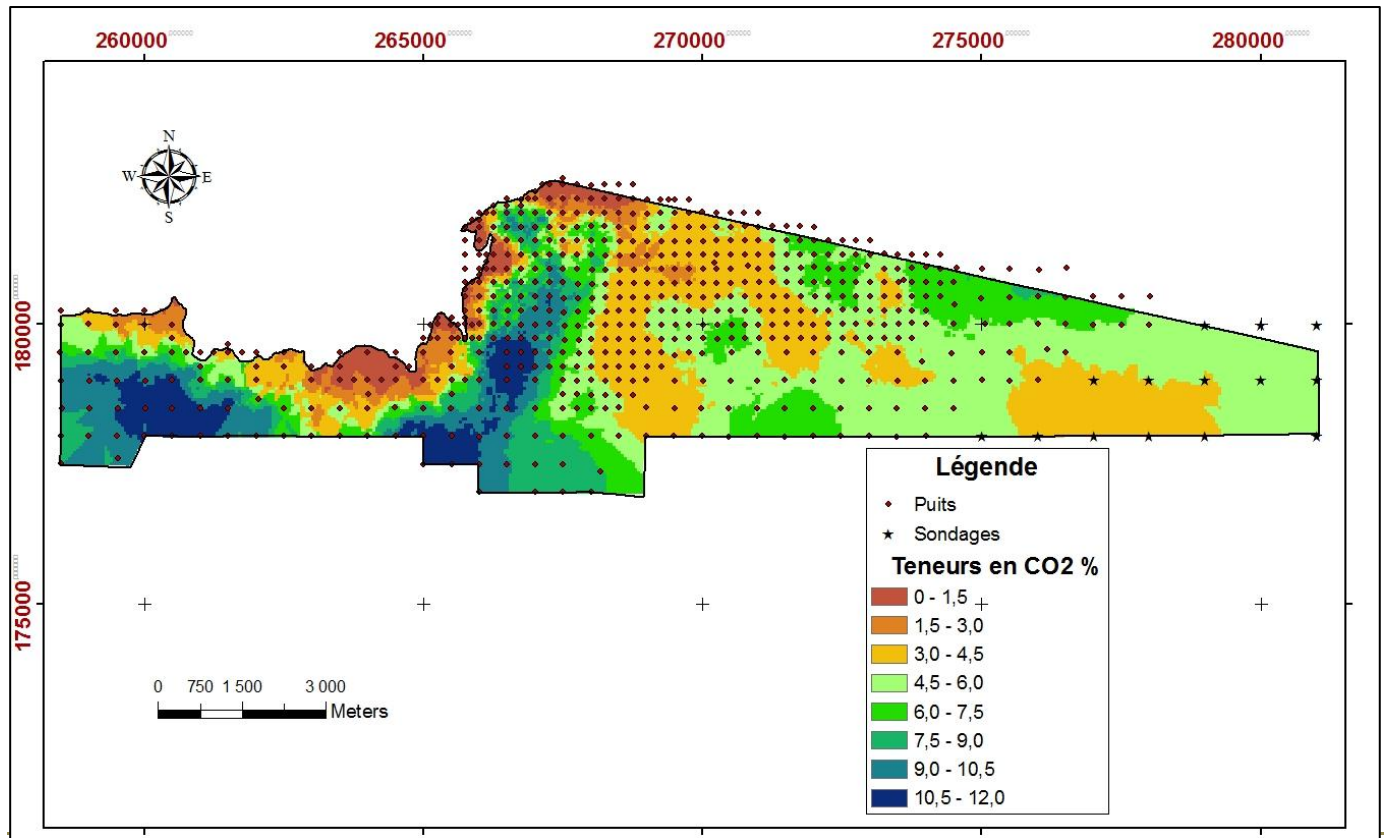


Fig. 25 Carte de la teneur en CO₂ (%) de la couche 5 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

B) Cartes de la couche 6 :

Carte de puissance totale (fig. 26) :

Les puissances des intercalaires et des niveaux phosphatés atteignent 2.8m. La majorité des grandes puissances se localisent à l'Ouest et au Sud-Est de Benguerir Sud et les plus faibles puissances sont dispersées dans différentes zones.

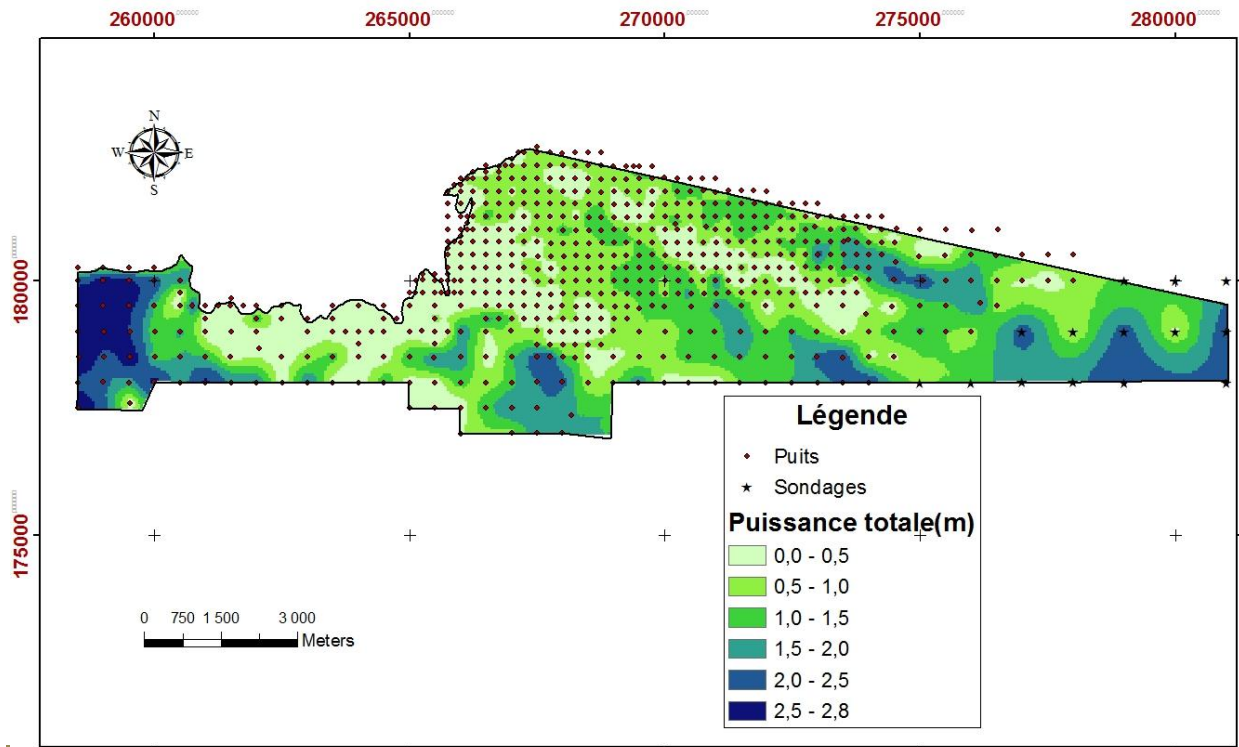


Fig. 26 Carte de la puissance totale de la couche 6 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

Carte de puissance phosphatée (fig. 27) :

Les Puissances phosphatées dans la couche 6 atteignent 2.4m. La carte est dominée par les faibles puissances, cependant les plus grandes se situent à l'extrémité de l'Ouest et de l'Est.

Carte des teneurs en BPL (fig. 28) :

Les teneurs en BPL dans la couche 6 atteignent plus de 73% et se localisent au milieu et à l'Est de Benguerir Sud. Les faibles teneurs occupent la partie Nord-Ouest de la région.

Carte des teneurs en CO₂(fig. 29) :

Les teneurs en CO₂ de la couche 6 atteignent 12 % pour les formations calcaireuses et plus de 9% pour les formations phosphatées. Les plus grandes teneurs se localisent au Nord-Nord- Ouest de Benguerir Sud et à l'Ouest et les plus faibles sont dispersées dans la région.

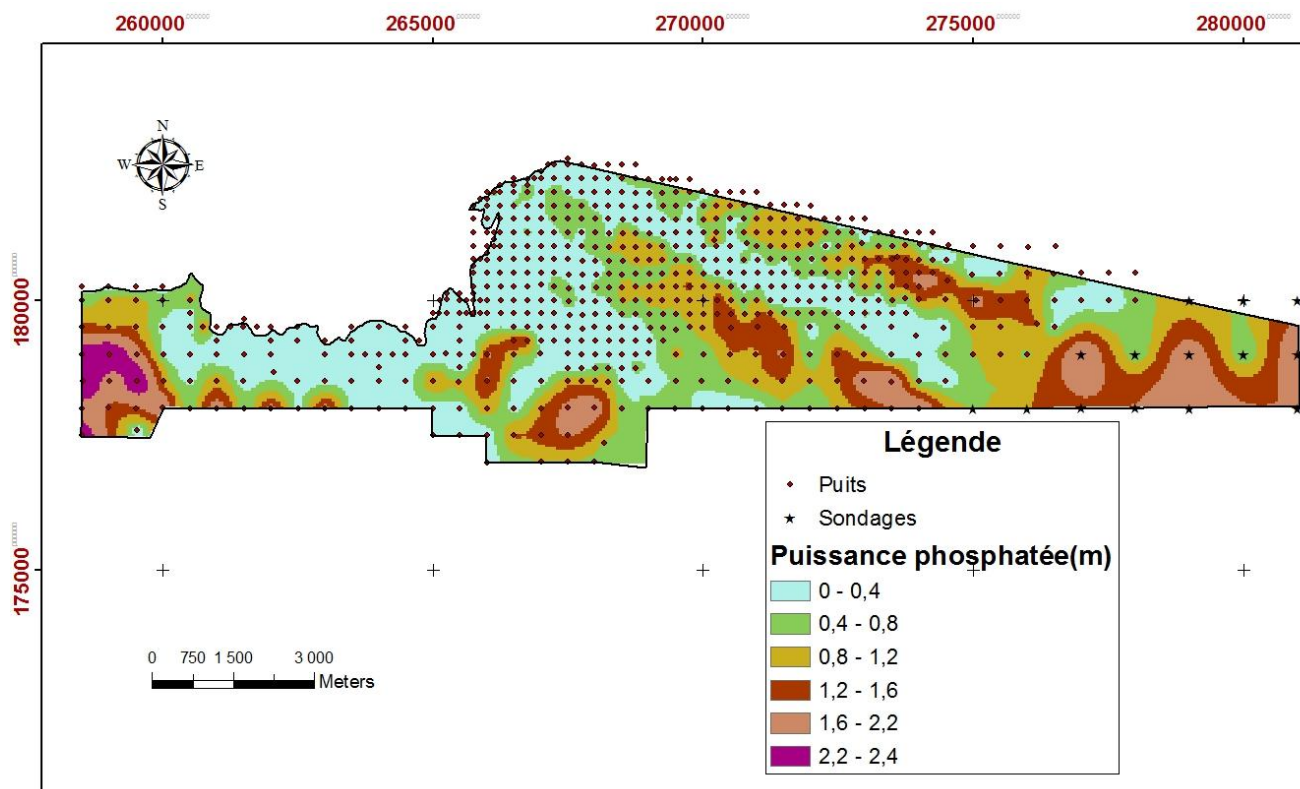


Fig. 27 Carte de la puissance phosphatée de la couche 6 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

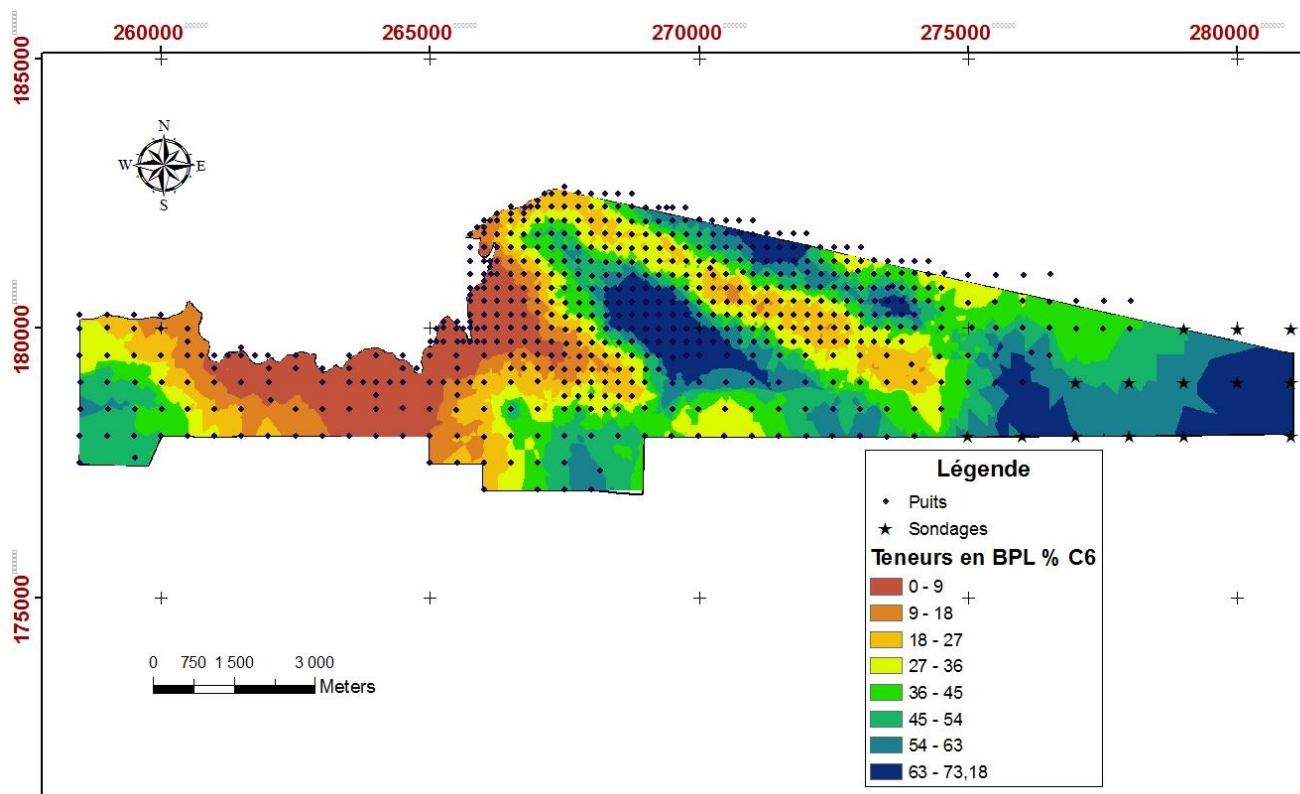


Fig. 28 Carte de la teneur en BPL (%) de la couche 6 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

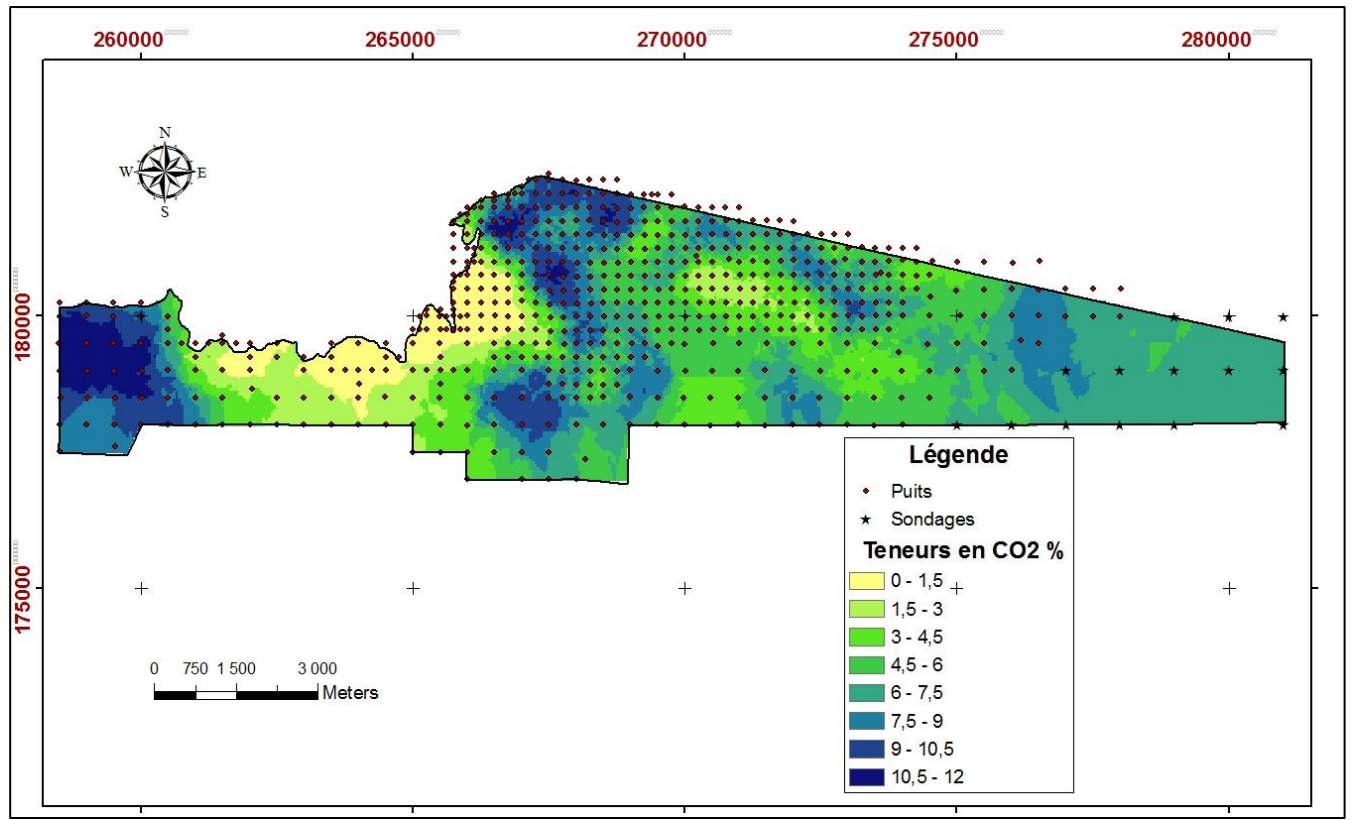


Fig. 29 Carte de la teneur en CO₂ (%) de la couche 6 dans la zone de Benguerir Sud (Carte élaborée sous ArcGis)

7- Conclusion

En comparant les résultats des deux couches 5 et 6 on constate que :

- Concernant la puissance totale et la puissance phosphatée : la couche 5 est plus épaisse que la couche 6 dans le bassin de benguerir et plus riche en niveaux phosphatés.
- Pour le BPL et le CO₂ : les deux couches présentent des teneurs presque semblables.

8- Conclusion générale :

Le stage effectué s'inscrivait dans le programme d'informatisation de l'activité géologique de l'OCP. La base de données réalisée concerne 615 ouvrages avec une digitalisation des supports papiers des données topographiques et géologiques. Ainsi, notre étude permet la facilité d'accès à l'information géologique et son traitement (analyse multicritère des données, estimation des ressources et des réserves...), de même il assure la sécurisation des données géologiques classiquement archivées sous format papier.

Références bibliographiques consultées :

- ArcView TM9 niveau I et II ArcGis ESRI support de cours avec exercices pratiques et données.
- BOUJOU Armand Décembre 1972.Contribution à l'étude géologique du gisement de phosphate Crétacé-Eocène des Gantour (Maroc occidental). Thèse de doctorat en sciences naturelles (université Louis Pasteur de Strasbourg). (partie I et II)
- Carte topographique de bassin des gantour gisement de Benguerir sud Echelle 1/10 000.OCP
- CHABANE 2009, Géologie de phosphate marocains synthèse globale.
- E.JOURANI et Boukdir. Mars 1997 GEOL/G.758. Carte des affleurements échelle 1/10 000 rapport géologique n°402 planche 1
- ESRI Geomatic GisEducationSolutions 3D Analyst.
- Es-Saïd JOURANI. Rapport GEOL n°402 Mai 1997Etude géologique de synthèse et d'actualisation de la série phosphatée de Benguerir Sud.
- Institut géographique national 1957.Carte du Maroc -1/50 000 - type 1922 BEN GUERIR Feuille NI-29-V-I a. Projection et quadrillage kilométrique Lambert Nord Maroc réseau géodésique (coordonnées rectangulaires).origine Merchich..
- JOURANI et MADANI Mars 1997 Profils de corrélation E-W N° 6-7-8et 9 couche 6-niveau 4/5 échelle verticale 1/100 rapport géol n°402 planche 10
- JOURANI et HABSI Mars 1997 Profils de corrélation E-W N° 1-2-3-4 et 5couche 4 – sillon X échelle verticale 1/100 rapport géol n°402 planche 12
- JOURANI et MADANI Mars 1997 Profils de corrélation E-W N° 1-2-3-4et 5 niveaux Daniens échelle verticale 1/100 rapport géol n°402 planche 17
- JOURANI ESSAFI et BOUKDIR Mars 1997 Profils de corrélation E-W N° 1-2 et 3 niveaux thanétiens et yprésiens échelle verticale 1/100 rapport géol n°402 planche 20
- JOURANI et MADANI Mars 1997 Profils de corrélation E-W N° 4-5 et 6 niveaux thanétiens et ypresiens échelle verticale 1/100 rapport géol n°402 planche 21
- JOURANI et HABSI Mars 1997 Profils de corrélation N-S couche 6 échelle verticale 1/200 rapport géol n°402 planche 7
- JOURANI GHARMALI HEDDOUSHI et BOUKDIR Mars 1997 carte des puissances totales de la couche 5 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 36
- JOURANI GHARMALI ESSAFI et BOUKDIR Mars 1997 carte des puissances phosphatées de la couche 6 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 26

- JOURANI GHARMALI HEDDOUCHI et BOUKDIR Mars 1997 carte des puissances phosphatées de la couche 5 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 37
- JOURANI MENEHBI ESSAFI et BOUKDIR Mars 1997 carte des teneurs en BPL sur brut de la couche 6 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 28
- JOURANI MENEHBI ESSAFI et BOUKDIR Mars 1997 carte des teneurs en BPL sur brut de la couche 5 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 39.
- JOURANI GHARMALI ESSAFI et BOUKDIR. Mars 1997 carte des teneurs en CO2 sur brut de la couche 6 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 29
- JOURANI MENEHBI ESSAFI et BOUKDIR Mars 1997 carte des teneurs en CO2 sur brut de la couche 5 échelle 1/10 000 rapport géol n°402 planche 40
- JOURANI et MADANI Mars 1997 Profils de corrélation E-W N° 1-2-3-4et 5 couche 6-niveau 4/5 échelle verticale 1/100 rapport géol n°402 planche 9
- M.GIGOUT 1954 carte publié par le Service géologique du Maroc, Carte géologique de la Meseta entre Mechrâ Benâbbou et Safi Echelle 1/200 000.
- M.G.Choubert, gouvernement Chérifien, service géologique de 1946 à 1955. Carte géologique du Maroc Echelle 1/500000 Feuille MAZAGAN et Carte géologique du Maroc, Echelle 1/500 000 Feuille RABAT
- Rapport géol n°402. Mars 1997 carte des puissances totales de la couche 6 échelle 1/10 000