
Année Universitaire : 2018-2019



Licence Sciences et Techniques :Géoresources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

REHABILITATION DU SITE MINIER DE BENGUERIR

Présenté par:

**HANNOUN OMAYMA
EL FASSI OUMAYMA**

Encadré par:

**Pr. RAIS Naoual, FST-Fès
Mme RADOUANI Fadwa, OCP BENGUERIR**

Soutenu Le 11 Juin 2019, devant le jury composé de:

**Pr. RAIS Naoual
Pr. BENABDELHADI Mohammed
Pr. JABRANE Raouf
Pr. EL GAROUANI Abdelkader**

Stage effectué à : OCP BENGUERIR





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**HANNOUN OMAIMA
EL FASSI OUMAYMA**

Année Universitaire: 2018/2019

Titre: LA REHABILITATION DE SITE MINIER DE BENGUERIR

Résumé

Le Maroc est un pays caractérisé par un contexte structurale et géologique très varié qui a donné lieu à une richesse minière diversifiée (phosphates, métaux de base, métaux précieux...). L'exploitation minière et plus précisément l'exploitation de phosphate a généré un volume très important de rejets miniers sans valeur commerciale. Ces derniers peuvent présenter des risques pour l'environnement selon leur état, leur composition et leur mode d'entreposage.

L'étude réalisée au cours de ce stage a pour objet de répondre à une problématique concernant la réhabilitation du site minier de Benguerir. L'étude de la réhabilitation du site minier était fait pour la première fois à l'OCP Benguerir selon la démarche suivante : une quantification de la terre végétale de la mine et de la surface à réhabiliter de la mine, l'étude physico-chimique de deux types de sols géographiquement différents (sol A de la mine Nord et le sol B de la mine Sud), et une proposition des cultures adaptées aux conditions du climat et de sol de la zone étudiée.

Les résultats de calcul de la terre végétale (par ArcGis, Excel) montrent que la récupération de cette terre à partir de 4 panneaux de la mine est suffisante pour le projet de réhabilitation de toute la mine de Benguerir. L'apport du SIG et de la télédétection précise en plus la meilleure zone à partir de laquelle la terre végétale peut être manipulée plus aisément.

La caractérisation physico-chimique des 2 types de sol A et B montre une richesse en matière organique et des teneurs faibles en carbonates pour les 2 types de sol ; avec un sol A est un sol limono-argileux-sableux, neutre, légèrement salé et à faible humidité ; et le sol B est un sol argilo-sableux, légèrement alcalin, non salé, et plus humide. En se basant sur la nature physico-chimique du sol et la détermination du type de climat de la région étudiée (semi continentale aride) nous avons cités quelques plantes capables de tolérer ces conditions de climat et de sol, parmi ces plantes on peut mentionner : l'Eucalyptus, l'Arganier, le Caroubier, l'Olivier, Mimosa et Cassia.

Mots clés: Réhabilitation, télédétection, SIG, analyses physico-chimique, terre végétale, Mine de Benguerir

Remerciements

Nous remercions Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage d'achever ce travail.

Le présent travail ne saurait voir le jour sans la participation et l'aide de nombreuses personnes. Nous tenons en particulier à exprimer notre plus sincère gratitude et notre reconnaissance à notre encadrante **Mme. RAIS Naoual**, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès (FSTF), pour nous avoir acceptées de diriger nos recherches, et de nous avoir apportées son aide et son soutien tout au long de ce stage. Ses qualités humaines et son expérience scientifique nous a énormément facilité la tâche, merci beaucoup madame. ,

Nous tenons exprimer nos vifs remerciements au Chef du Formation et Perfectionnement de Gantour **M. H. YACOUBI**, qui a bien voulu nous accorder l'opportunité d'effectuer ce stage au siens du Groupe OCP de Benguéir.

Nous ne saurions oublier **Mr. EL ALAMI**, **Mr. ZEROUALI** et **Mme. RADOUANI FADWA** qui ont nous aider beaucoup de réaliser ce travail.

Nos chaleureux remerciements vont également aux membres du jury **Pr. BENABDELHADI Mohammed**, **Pr. JABRANE Raouf** et **Pr. EL GAROUANI Abdelkader**.

Nous remercions aussi **Mlle. ZERRARI Naoual**, qui nous a beaucoup aider dans la realisation des analyses au sein de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

Nos chaleureux remerciements vont également à nos chers parents pour leur soutien et encouragements.

En fin nos profonds remerciements vont à tous les professeurs du « Département d'environnement » de la faculté des sciences et techniques de fès.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les mesures de pH.....	40
Tableau 2 : Moyennes des triplicats du pH.....	41
Tableau 3 : Les mesures de la conductivité.....	41
Tableau 4 : Moyennes des triplicats de la conductivité.....	41
Tableau 5 : Mesures de l'humidité du sol A.....	42
Tableau 6 : Mesures de l'humidité du sol B.....	42
Tableau 7 : Mesures du dosage de la matière organique.....	43
Tableau 8 : Résultats de dosage de la matière organique.....	43
Tableau 9 : Résultats de dosage de la matière organique par moyenne des triplicats.....	43
Tableau 10 : Les mesures d'analyse granulométrique.....	44

Liste des figures :

Figure 1 : Carte géologique du bassin de Gantour (SAADI (1982)).....	9
Figure 2 : Plan de situation de la mine de Benguerir.....	10
Figure 3: Diagramme climatique (P et T°) de Benguerir (Climat Benguerir s.d.).....	11
Figure 4 : Les résidus miniers de phosphate de la mine de Benguerir (prise le 31/05/2019).....	12
Figure 5 : Un puits de reconnaissance.....	14
Figure 6: Exemple de la base de données préparée.....	15
Figure 7 : Carte d'iso-puissance du panneau 1 mine Sud.....	16
Figure 8 : Carte d'iso-puissance du panneau 8 Mine Nord.....	17
Figure 9 : Carte d'iso puissance du panneau 5 mine Nord.....	18
Figure 10 : Carte d'iso puissance du panneau 2 mine Sud.....	19
Figure 11 : Exemple d'une case de listing case zoomée.....	20
Figure 12 : Listing case des zones non exploitées : Panneaux : 1et 2 (mine Sud) et panneaux : 5 et 8 (mine Nord).....	20
Figure 13 : Exemple des mailles zoomées.....	21
Figure 14 : Maillage grid des panneaux: 1,5,8 et 2(mine Sud).....	22
Figure 15 : Panneaux : 7,3,4 et 2 (mine Nord).....	23
Figure 16 : Carte d'indice de végétation NDVI de la mine de Benguerir (Année : 2019).....	28
Figure 17 : Carte de l'indice de l'eau NDWI du gisement de Benguerir (Année : 2019).....	29
Figure 18 : Carte de pente du site minier Benguerir.....	30
Figure 19 : Exemple de la topographie de la mine de Benguerir. (Photo prise le 19/04/2019).....	31
Figure 20 : Les pentes dans la mine de Benguerir. (Photo prise le 5/04/2019).....	31

Figure 21 : Les pentes de la mine de Benguerir. (Photo prise le 5/04/2019).....	32
Figure 22 : Quartage par la méthode du cône	35
Figure 23 : Mortier et pilon en porcelaine	35
Figure 24 : Tamis avec des mailles de 2 mm	35
Figure 25 : Balance analytique	36
Figure 26 : pH-mètre avec électrode pH	36
Figure 27 : Conductimètre.....	37
Figure 28 : Agitateur mécanique à mouvement horizontale	37
Figure 29 : Filtration directe sur papier filtre	38
Figure 30 : Filtrats.....	38
Figure 31 : Les classes granulométrique selon la Norme Française NF P18-560.	39
Figure 32 : Diagramme des textures. Source : U.S. Department of Agriculture 1993.	40
Figure 33 : L'Arganier	46
Figure 34 : Mimosa.....	46
Figure 35 : Cassia	47
Figure 36 : Caroubier.....	47
Figure 37 : Faux poivrier	48
Figure 38 : L'Eucalyptus	48
Figure 39 : L'Olivier	48
Figure 40 : Processus d'acquisition de l'information par les satellites.....	52

Sommaire

Remerciements.....	1
Liste des tableaux :	2
Liste des figures :	2
INTRODUCTION GENERALE.....	7
CHAPITRE I :	8
SITE MINIER BENGUERIR : GENERALITES	8
1. Introduction	9
2. Géographie et géologie de gisement de Gantour.....	9
2.1 Localisation géographique du gisement.....	9
2.2 Cadre géologique du gisement.....	9
2.3 Historique minière.....	9
2.4 Découpage minier de la série phosphatée.....	10

3. Aperçu Climatologique de la mine de Benguerir.....	11
4. Impacts environnementaux résiduels de l'industrie minière du phosphate.....	11
4.1 Impacts d'une exploitation minière	12
4.1.3 Bénéfices de la re-végétalisation.....	12
CHAPITRE II :.....	13
QUANTIFICATION DE LA TERRE VEGETALE DU GISEMENT DE BENGUERIR	13
1. Aperçu sur les logiciels utilisés	14
2. Préparation de la base des données.....	14
3. Carte d'iso-puissance	15
3.1 Définition.....	15
3.2 But.....	15
3.3 Cartes.....	16
4. Listing Case.....	19
5. Maillage	21
5.1 Calculs et résultats.....	22
6. Conclusion	24
CHAPITRE III :.....	25
APPORT DE LA TELEDETECTION ET SIG DANS L'EVALUATION DE LA COUVERTURE TERRESTE.....	25
1. La télédétection et SIG	26
1.1 Définition de la télédétection	26
1.2 Les principales étapes de la télédétection	26
1.3 Définition: SIG.....	26
2. Le satellite Landsat 8 OLI/TIRS.....	26
2.1 Les images satellitaires	26
2.2 Les logiciels de traitement.....	26
2.3 Traitements et analyses	26
2.4 Les principaux indices de végétation	26
3. Cartes et interprétation.....	28
4. Conclusion	32
CHAPITRE IV : CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS DE LA MINE DE BENGUERIR.....	33
1. Prélèvement des échantillons du sol.....	34
1.1 Échantillonnage	34
1.2 Identification	34
2. Prétraitement des échantillons de sols.....	34

2.1 Principe.....	34
2.2 Quartage par la méthode du cône	34
2.3 Séchage	35
2.4 Broyage et pilonnage	35
3. Analyses physico-chimiques des sols.....	35
3.1 Analyses pH eau, pH KCl	36
Principe.....	36
Matériel	36
Réactifs	36
Mode opératoire.....	37
3.2 La conductivité électrique spécifique et salinité des sols.....	37
But.....	37
Principe.....	37
Appareillages et matériels utilisés	37
Réactifs utilisés.....	37
Mode opératoire.....	38
3.3 Humidité de sol	38
Principe.....	38
Matériel	38
Mode opératoire.....	38
3.4 La calcimétrie.....	38
Principe de manipulation	38
But de manipulation	39
Mode opératoire.....	39
3.5 Dosage de la matière organique	39
Principe de la manipulation.....	39
Mode opératoire.....	39
3.6 L'analyse granulométrique.....	39
Classes granulométriques	39
Méthode	39
Expression des résultats	40
3.7 Résultats et interprétations.....	40
3.7.1 pH H ₂ O, pH KCl.....	40
3.7.2 Conductivité électrique	41
3.7.3 Humidité.....	42
3.7.4 La calcimétrie.....	42

3.7.5	Dosage de la matière organique.....	43
3.7.6	La granulométrie	44
3.8	Conclusion	45
4	Cultures à mettre en place sur l'exploitation de Benguerir.....	45
CONCLUSION GENERALE.....		49
BIBLIOGRAPHIE		50
Webliographie.....		50
ANNEXEX		51
FIN.....		55

INTRODUCTION GENERALE

Profitant d'un contexte géologique favorable, le Maroc est un pays de très longue tradition minière qui constitue un important vecteur de développement économique et social.

L'exploitation minière au Maroc est caractérisée par la dominance des phosphates (Rami, 2008) dont le Maroc est le premier exportateur mondial et troisième producteur, avec une réserve mondiale avoisinant les 70%. L'industrie minière représente 35 % de la valeur des exportations du Maroc et contribue au PIB du pays à hauteur de 2,5 à 6,5 % selon les cours des produits miniers (Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, 2009).

L'exploitation du phosphate est responsable de plusieurs impacts à cause de remaniement de sol. Dans un premier temps, un décapage des couches de surface de sol (notamment la zone arable) pour accéder au minerai, engendre une destruction du couvert végétal et celle de la couche arable. Dans un second temps, lors du processus d'extraction, du lavage du minerai de phosphate, et de transformation en engrais, d'importantes quantités des sous-produits tels que: les stériles et les boues de laverie. L'amoncellement de ces rebus inertes et stériles, ainsi que le remblaiement des mines avec les couches superficielles de sol préalablement extraites et dévégétalisées, constituent des environnements très particuliers et inesthétiques où les plantes n'ont pas de bonne condition pour se développer naturellement.

Les stériles ou les sols miniers, contiennent d'infimes quantités de matière organique et d'éléments minéraux biodisponibles et se caractérisent par une texture grossière. A cause de cette texture, la rétention de l'eau est faible ce qui ne permet pas de tamponner ou faire face des périodes régulières et prolongées de sécheresse surtout dans un climat aride comme celui des zones d'exploitation des phosphates (Ben guérir, Houribga, El Youssoufia, Boucraa et Laayoune). C'est pour cette raison que la phase de la réhabilitation est très importante et délicate lorsque l'extraction est terminée.

Le défi de la réhabilitation, consiste à assurer un couvert végétal sur des conditions biotiques précaires du sol minier en général. Carencé en éléments nutritifs essentiels, en matière organique .

Pour cette raison, le groupe OCP étant donné un acteur responsable, inscrit son développement industriel dans une démarche environnementale durable, en s'engageant à réhabiliter le site Gantour (Ben Guérir). En effet, la stratégie actuellement adoptée par le groupe OCP, consiste à mettre de côté la terre végétale avant l'exploitation, afin de la réutiliser comme substrat ou plutôt l'épandre de nouveau pendant la phase de réhabilitation pour permettre le développement des plantes. En réalité, le groupe OCP a réalisé la réhabilitation d'une façon aléatoire sans faire des études ou des calculs et il a également acheté la terre végétale ce qui a rendu le projet très coûteuse ; Actuellement ils ont décidé de faire des études de la réhabilitation et nous sommes les premiers qui ont réalisé l'étude de la réhabilitation du site minier de Benguerir.

Le groupe OCP prend, à cet égard, en compte plusieurs critères, comme la qualité des sols, des conditions climatiques et pluviométriques des régions concernées ainsi que les cultures traditionnelles locales et celles qui pourraient être introduites. C'est dans cette perspective que s'inscrit de notre étude pour réhabiliter le site minier de Benguerir. L'étude de la réhabilitation du site minier était fait pour la première fois à l'OCP Benguerir ; Et donc pour mener à bien ce travaille nous allons commencer par le calcul du volume de la terre végétale existante dans la carrière pour faire une caractérisation physico-chimique du sol. Pour cela nous allons étudier la texture des sols, le pH, la conductivité électrique spécifique, l'humidité, la calcimétrie et la matière organique des sols et donc ceci va nous permettre l'évaluation de la qualité des sols pour connaître les types de cultures à planter. Pour terminer l'étude de la réhabilitation nous allons baser aussi sur l'apport de la télédétection à la réhabilitation du site minier du Benguerir par la réalisation de la carte de la pente du gisement et on a calculé les indices de végétations et de l'eau de la zone étudié. Tout ça pour confirmer les zones les plus fiables pour la réhabilitation.

CHAPITRE I :
SITE MINIER BENGUERIR :
GENERALITES

1. Introduction

La zone étudiée occupe la partie centrale d'un grand bassin phosphaté marocain : c'est le bassin de Gantour. Elle est reconnue par le centre minier de Benguerir situé à 70 Km de Marrakech et 60 Km de l'Youssoufia.

2. Géographie et géologie de gisement de Gantour

2.1 Localisation géographique du gisement

La zone d'étude est située entre les méridiens 32°10 et 38°20 et les parallèles 7°15 et 8°35. C'est une entité structurale bien définie géographiquement et géologiquement: c'est le plateau de phosphate des Gantour.

Les phosphates de cette région sont d'âge Crétacé supérieur (Maastrichtien) jusqu'à l'Eocène moyen (Lutétien). Ils s'étendent sur une superficie de 120 Km de long et 30 km de large ; leur exploitation est assurée par la Direction des Exploitations Minières des Gantour.

2.2 Cadre géologique du gisement

Les gisements de phosphates, celui des Gantour en particulier, représentent un élément important de la couverture sédimentaire du domaine de la meseta marocaine, vieux massif hercynien qui n'apparaît qu'en trois endroits : au NE en formant le massif du Maroc central ; au centre en deux massifs qui encadrent les Gantour : le massif primaire des Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud (Fig.1).

Ce socle ancien, rigide et figé dans la meseta, est largement recouvert par des séries sédimentaires tabulaires ou faiblement plissées, ondulées ou faillées.

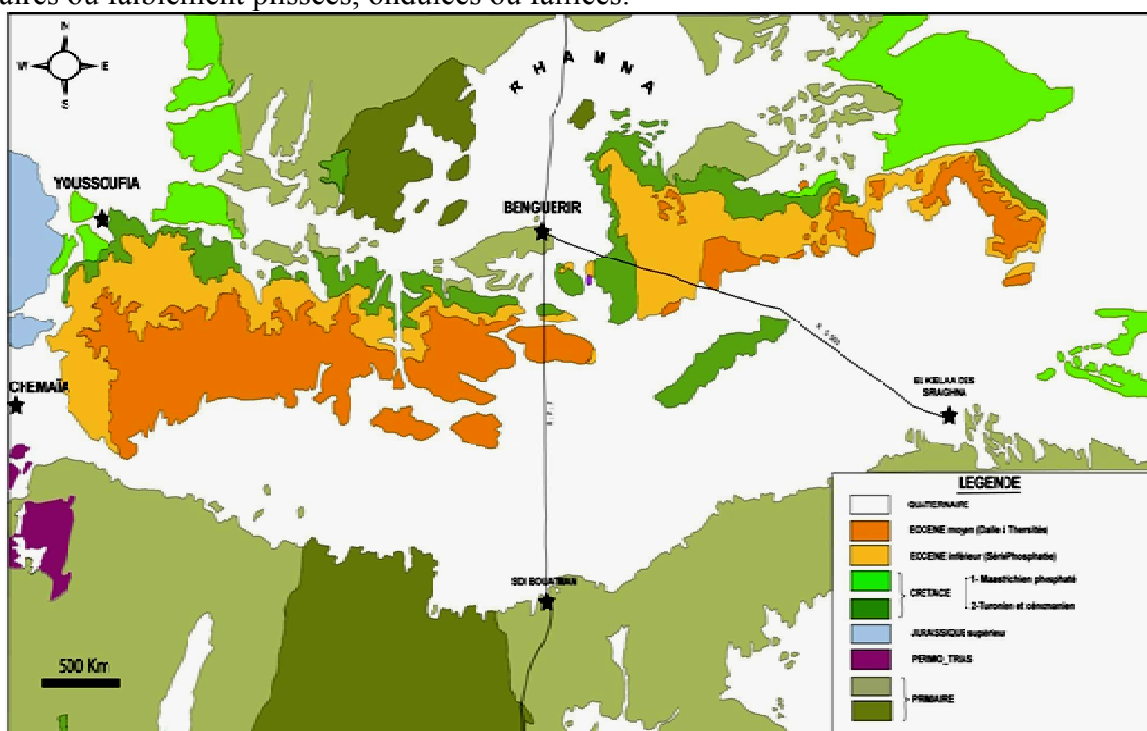


Figure 1 : Carte géologique du bassin de Gantour (SAADI (1982))

2.3 Historique minière

2.3.1 Historique

L'Office Chérifien des Phosphates a été créé le 7 Août 1920 et depuis cette date, il n'a cessé de se développer à travers la création de nouveaux sites de production et de transformation.

Dates clés :

- 1920 : Création OCP

- 1921 : Démarrage de l'extraction souterraine dans la région d'Oued-zem
- 1931 : Début de l'extraction souterraine à Youssoufia
- 1965 : Début de la production de l'acide phosphorique et des engrais à Safi
- 1974 : Lancement des travaux de réalisation du centre minier de Ben guérir
- 1980 : Démarrage de l'exploitation à Ben guérir.

2.3.2 Organisation

Acteur leader sur le marché mondial des phosphates, OCP est un véritable succès marocain et mondiale, en témoignent les indicateurs économiques et financiers du Groupe, résolument au vert. OCP est présent sur tous les maillons de la chaîne de valeur des phosphates, depuis l'extraction du minerai à la commercialisation de produits à forte valeur ajoutée.

❖ Il comprend :

- Trois centres d'exploitations à K HOURIBGA, YOUSOUFIA et BENGUERIR.
- Deux centres d'exploitation chimique à SAFI et JORF LASFAR.
- Quatre ports d'embarquement à JORF LASFAR, SAFI, CASABLANCA et LAAYOUN.

2.4 Découpage minier de la série phosphatée

La mine de Ben Guérir se compose de deux parties :

- La mine Nord qui contient des zones de phosphates et des zones de traitements.
- La mine Sud qui contient des zones phosphatées.

Chaque panneau est découpé en tranchées parallèles orientées Nord – Sud et qui sont subdivisées en case de 100 m de longueur, la largeur des tranchées est en moyenne de 40 m

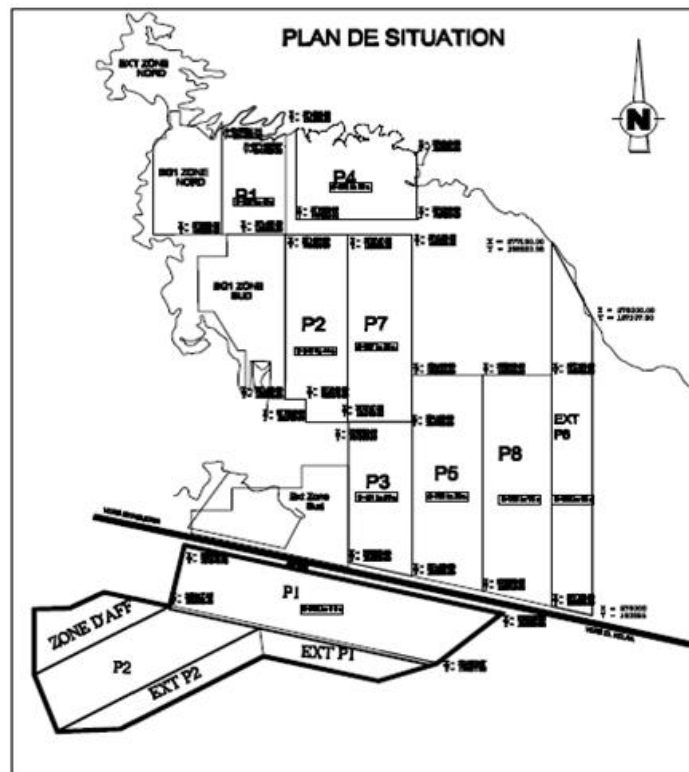


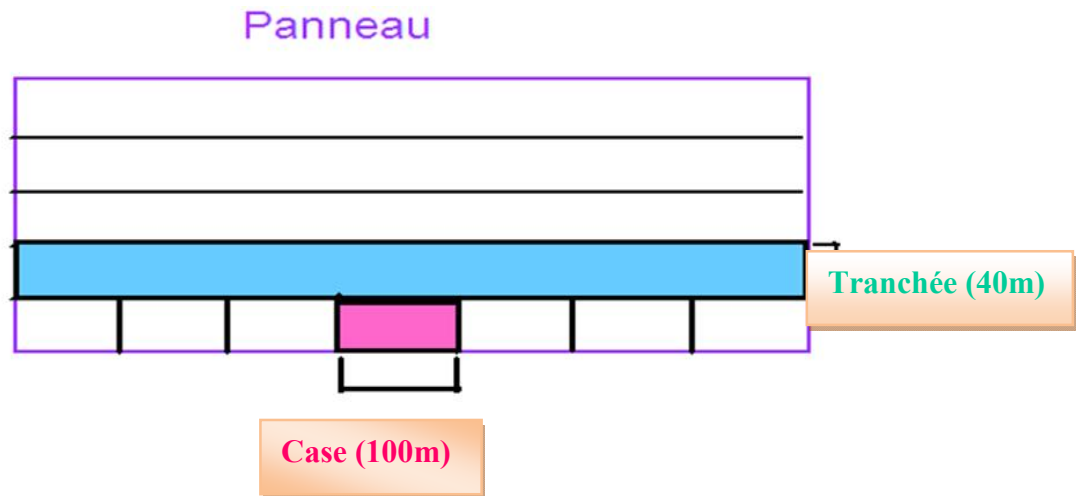
Figure 2 : Plan de situation de la mine de Benguerir

Pour exploiter une zone phosphatée, il faut diviser cette zone en :

Panneau : un terrain ou une portion du gisement, limité en fonction des facteurs tels que le nombre de couches phosphatées existants, le recouvrement et la qualité du phosphate.

Tranché : une partie ou unité du panneau dont une longueur est la même longueur du panneau et suit une largeur en générale de 40m.

Case : une unité de la tranché à une longueur de 100m et une largeur de 40m.



3. Aperçu Climatologique de la mine de Benguerir

Le climat de la zone d'étude est de type semi continental aride, à hiver tempéré. A n'importe quel période de l'année, les précipitations sont faibles à Benguerir. Sur l'année, la température moyenne à Benguerir est de 17.9 °C. Il tombe en moyenne 261 mm de pluie par an.

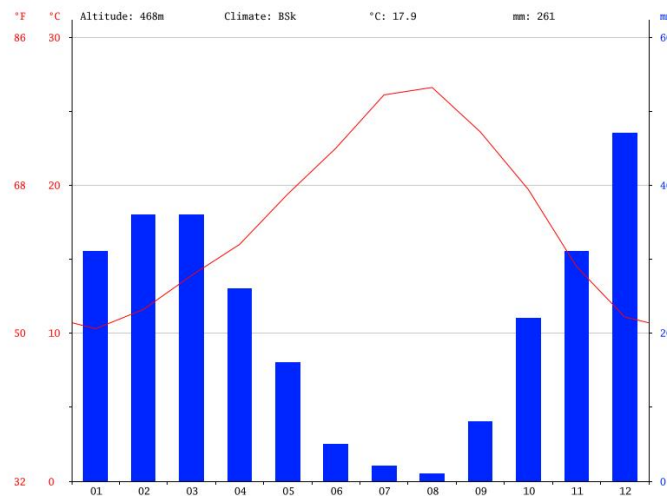


Figure 3: Diagramme climatique (P et T°) de Benguerir (Climat Benguerir s.d.)

La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 46 mm. Une différence de 16.3 °C existe entre la température la plus basse et la plus élevée sur toute l'année.

Le mois le plus chaud de l'année est celui d' Août avec une température moyenne de 26.6 °C.

Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 10.3 °C à cette période.

Les vents dominants sont de N ou NE en hiver.

4. Impacts environnementaux résiduels de l'industrie minière du phosphate

Les deux types d'exploitation les plus communs sont la mine à ciel ouvert et la mine souterraine. La différence entre ces deux types est la manière dont laquelle la roche est excavée et influencée par la localisation du gîte minéral dans le sous-sol. L'exploitation à ciel ouvert, est le type d'exploitation du phosphate, dans laquelle le dépôt de minerai s'étend profondément dans le sous-sol nécessitant l'enlèvement de couches superposées de morts terrains et de minerais .Ce type est opté lorsque le

gisement se trouve relativement près de la surface du sol. L'exploitation à ciel ouvert, comprend le déplacement de grandes quantités d'excès de matières (déchets miniers) qui cause une modification anthropique de la structure du sol. Cela influence la stabilité, l'érosion, modifie la pente et contamine les eaux souterraines ou les eaux de surface. Surtout dans les zones de transition entre régions arides et semi-arides avec des environnements fragiles. C'est le cas de la région de notre étude. (Youssef 2018)

4.1 Impacts d'une exploitation minière

4.1.1 Impacts sur le sol

L'exploitation minière cause généralement une modification radicale du paysage et d'un défrichage total du sol, perturbation de la structure du sol, et d'un dérèglement complet de l'écosystème. Lorsqu'elles sont mal gérées, les activités minières peuvent aussi avoir des effets néfastes au-delà du site. Elle est souvent considérée comme une forme de développement indésirable pour la constitution de la terre végétale les effets de l'activité minière sur l'environnement portent principalement sur une dégradation importante des sols, ainsi qu'une destruction sévère de la végétation. Une fois le site d'extraction est abandonné, aucune végétation naturelle ne subsiste, seulement des excavations et des déchets.

Les opérations minières doivent être considérées comme une utilisation transitoire des terres, conformément aux principes de développement durable. Cela signifie qu'après l'exploitation, le sol doit être remis dans l'état où il se trouvait avant la perturbation, retrouvant ainsi une valeur égale ou supérieure.



Figure 4 : Les résidus miniers de phosphate de la mine de Benguerir (prise le 31/05/2019)

4.1.2 Impacts sur la faune

La faune est un terme général qui fait référence à tous les animaux qui ne sont pas domestiqués. L'exploitation minière a une incidence sur l'environnement et les biotes associés par le biais de la suppression de la végétation ainsi que le sol de couverture, le déplacement de la faune. Les espèces de la faune vivent dans des communautés qui dépendent les unes des autres. L'exploitation minière provoque des dommages directs et indirects sur la faune.

4.1.3 Bénéfices de la re-végétalisation

La réhabilitation d'un site minier avec la re-végétation offre de nombreux avantages. Dans un premier temps, elle réduit les agents érosifs (ex. : vents, précipitations) en évitant l'élimination de la couche du sol de surface, et elle réduit le ruissellement de l'eau par les végétaux tout en favorisant l'infiltration. Dans un deuxième temps, elle résulte en une régulation du débit hydrique et diminue le transport des sédiments. L'installation de la flore permet aussi d'améliorer les propriétés physico-chimiques du sol, du fait que le système racinaire des plantes améliore la cohésion du sol et forme la litière végétale qui contribue à la rétention d'eau.

CHAPITRE II :

**QUANTIFICATION DE LA TERRE
VEGETALE DU GISEMENT DE
BENGUERIR**

1. Aperçu sur les logiciels utilisés

Excel : C'est un tableur ; c'est-à-dire un programme permettant gérer tous types de données numériques ; textuelles ; etc. Il est capable d'effectuer de nombreux calculs très rapidement.

ArcGIS : C'est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, ArcGIS est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias. ArcGIS permet la publication des informations géographiques afin qu'elles puissent être accessibles et utilisables par quiconque.

2. Préparation de la base des données

L'étude de la terre végétale consiste à rassembler les données sur un dossier Excel qui sera utile par la suite dans le travail informatisé sur ArcGis, dans le but d'étudier la variation de puissance de la terre végétale. La base des données est basée sur des puits de reconnaissance faites par l'OCP, sur lesquels la prospection et l'exploration se sont basées.

Les puits du panneau sont classés selon des profils (Est-Ouest, Nord-Sud), chaque puits porte des valeurs qui caractérisent la géologie de la zone tel que (X, Y, Z, BPL de chaque couche, la puissance de la terre végétale, les facies, la nature stratigraphique...)

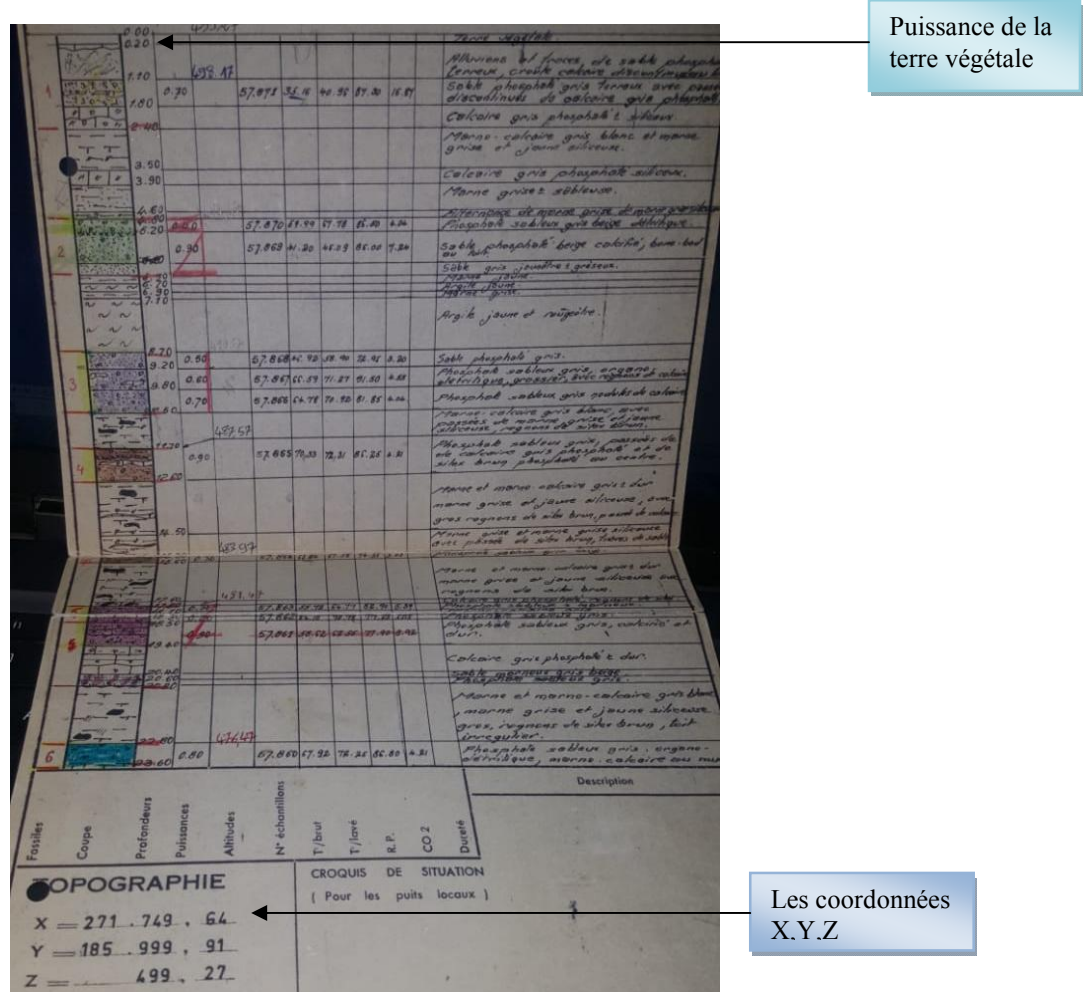


Figure 5 : Un puits de reconnaissance

Le tableau suivant représente un exemple de la base de données calculée pour la couche végétale du panneau 1 :

Puits	X	Y	Z	Puissance de la terre végétale(m)
1023	269001,54	181984,87	477,63	0,4
781	269004,61	181735,46	475,49	0,4
782	269255,41	181738,25	474,79	0,4
783	269504,11	181740,84	476,25	0,4
784	269754,23	181742,79	475,37	0,3
785	270004,89	181745,68	471,95	0,3
724	269000,98	181480,77	471,5	0,4
787	269257,2	181488,45	473,48	0,3
725	269501,39	181487,44	479	0,3
788	269752,92	181493,43	479,43	0,3
726	270001,33	181494,17	471,81	0,3
599	270251,65	181496,97	468,75	0,4
792	269503,99	181244,15	476,37	0,2
793	269753,81	181244,41	475,75	0,9
794	270003,37	181244,11	475,05	0,6
603	270253,79	181246,35	471,81	0,3

Figure 6: Exemple de la base de données préparée

Pour toutes les opérations réalisées par ArcGis, on a établi des tableaux similaires à ce tableau pour le reste des panneaux.

3. Carte d'iso-puissance

3.1 Définition

La carte d'iso-puissance est formée par l'ensemble des courbes joignant les points ayant la même épaisseur d'une même couche et qui sont tracés suivant une équidistance constante.

3.2 But

La carte d'iso puissances a pour but :

- De déterminer la variance des puissances par zone et par couche.

3.3 Cartes

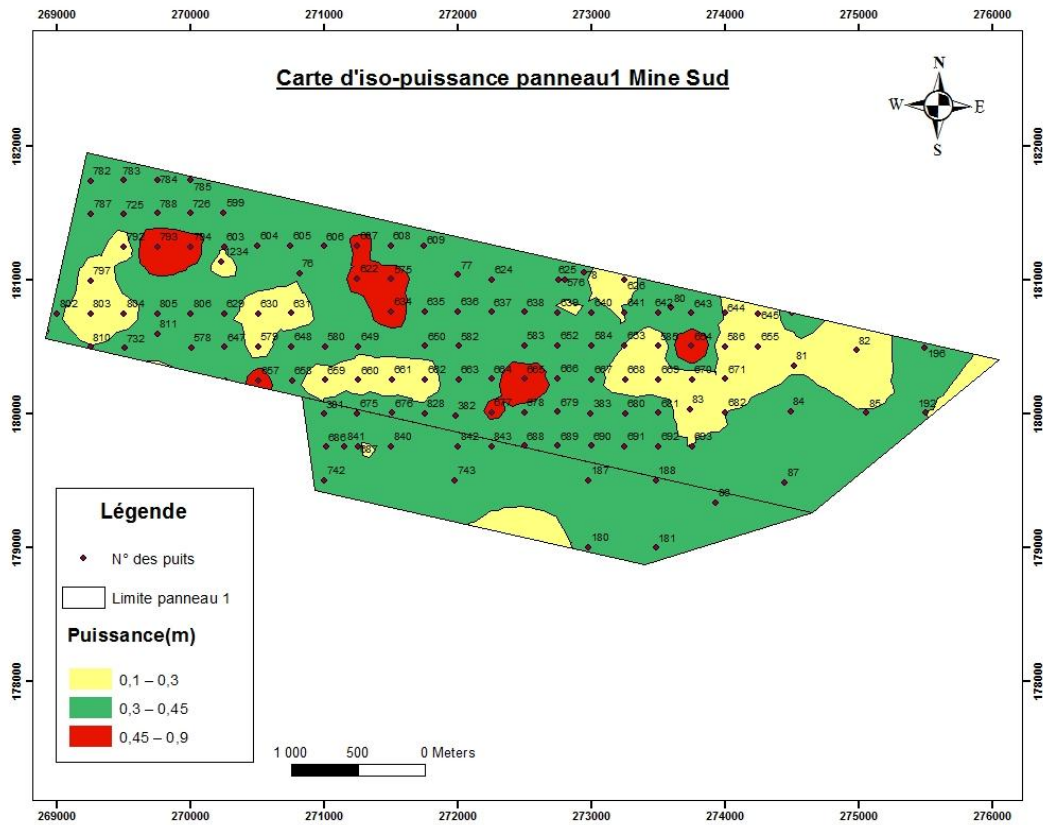


Figure 7 : Carte d'iso-puissance du panneau 1 mine Sud

La carte montre une variation de puissance de la terre végétale entre 0,1 m et 0,9 m. Nous remarquons que presque toute la couche végétale ayant une puissance entre 0,3 m et 0,45 m occupant la majeure partie du panneau. Alors que, les puissances entre 0,1 m et 0,3 m se situent au Nord, Nord-est et à l'Ouest du panneau.

Les puissances entre 0,45 m et 0,9 se situent dans des petites parties du panneau au Nord-est au tour du puits 654, au Nord au tour des puits 622 et 575, au Nord-Ouest au tour des puits 793 et au Sud au tour du puits 667.

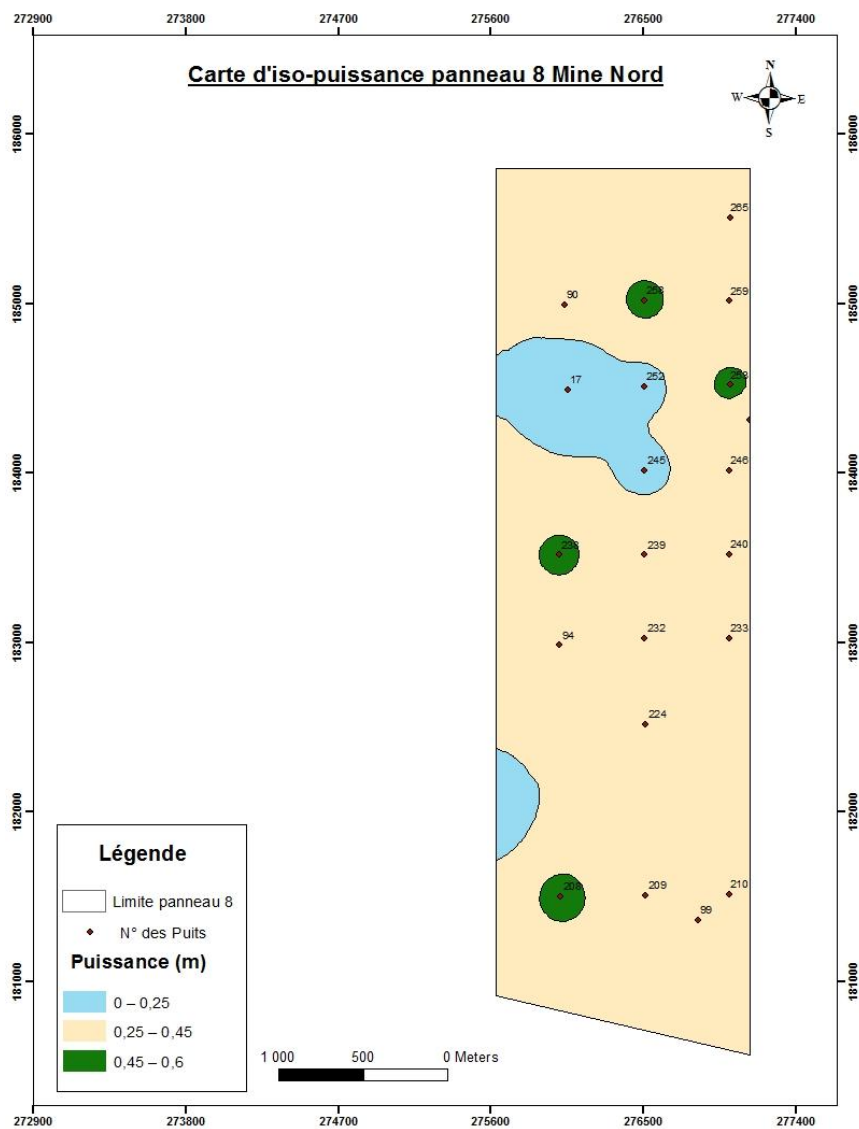


Figure 8 : Carte d'iso-puissance du panneau 8 Mine Nord

Dans le domaine étudié la puissance de la terre végétale varie entre 0 m et 0,6 m. Les puissances les plus élevées sont celles qui varient entre 0,45 m et 0,6 m trouvées aux tours les puits 238, 253, 258 et 208. Les puissances de 0 m à 0,25 m sont les plus faibles, se trouvant seulement au Nord-Ouest du panneau aux tours les puits 17, 252 et 245.

A partir de la carte on constate qu'il y a une dominance des puissances comprises entre 0,25 m et 0,45 m.

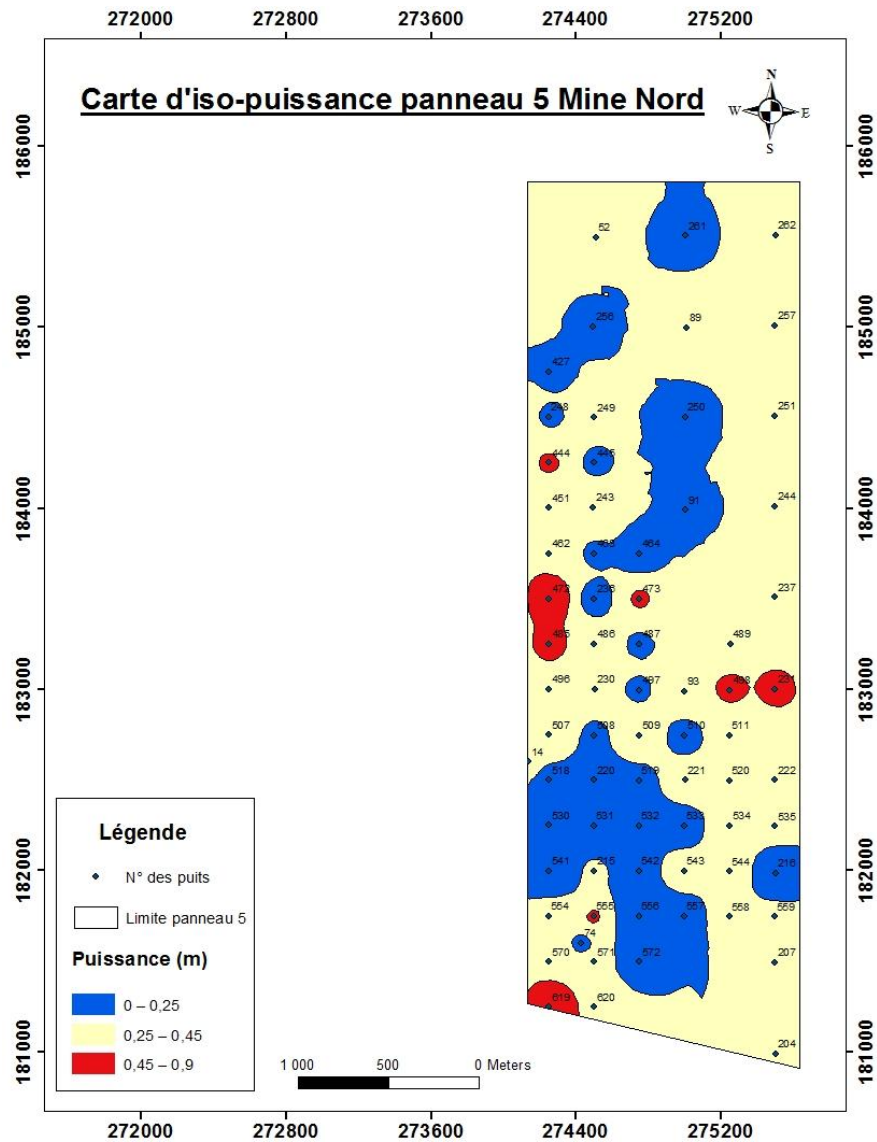


Figure 9 : Carte d'iso puissance du panneau 5 mine Nord

La carte montre une variation de puissance de la terre végétale entre 0m et 0,9m. Nous remarquons que presque toute la couche ayant une puissance entre 0,25m et 0,45m occupant la majeure partie du panneau. Les puissances entre 0m et 0,25m se situent dans les parties du panneau au Nord, Nord-Ouest, Sud-Ouest, Sud, Sud-Est

Les puissances entre 0,45m et 0,9m se situent dans des petites parties du panneau au tour des puits 472 ,485 ,498 ,444.

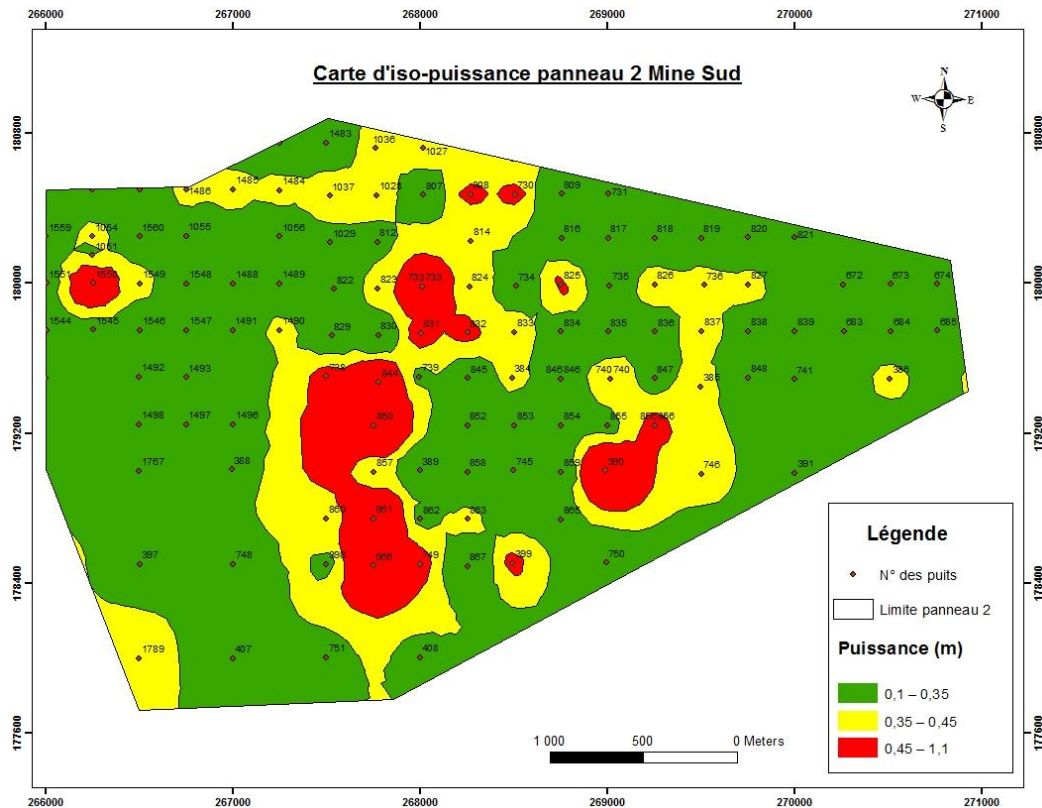


Figure 10 : Carte d'iso puissance du panneau 2 mine Sud

Dans le panneau 2, ce sont les puissances les plus faibles comprises entre 0,1m et 0,35m qui dominent. Les puissances qui varient entre 0,35m et 0,45m se répartissent au centre du panneau, au Nord, à l'Est et à l'Ouest du panneau.

Les puissances comprises entre 0,45m et 1,1m se trouvent dans les différentes directions du panneau, au tour le puits 386 à l'Est, au Nord, au centre, à l'Ouest et au Sud du panneau au tour le puits 1789.

4. Listing Case

Listing case est une fonction qui a pour but le regroupement des informations de la couche végétale sur les cases pour déterminer les propriétés d'une zone précise et de faire un raccourci rapide aux valeurs de puissance surface et volume. Cette fonction se fait à l'aide du logiciel ArcGIS.

Les informations doivent fixer sur les cases de telle manière sera facile à déterminer n'importe quelle information en faisant zoom sur la case voulue.

Listing case nous permet :

- De calculer la surface totale de la terre végétale dans l'ensemble de ces 4 panneaux.

- De calculer la puissance moyenne de la couche végétale pour les 4 panneaux.

- Et, par conséquent, de calculer le volume total de la terre végétale dans les 4 panneaux.

Exemple d'une case de listing case zoomée

Légende :

	La puissance de la terre végétale (m)
	La surface de la terre végétale (m ²)
	Le volume de la terre végétale (m ³)

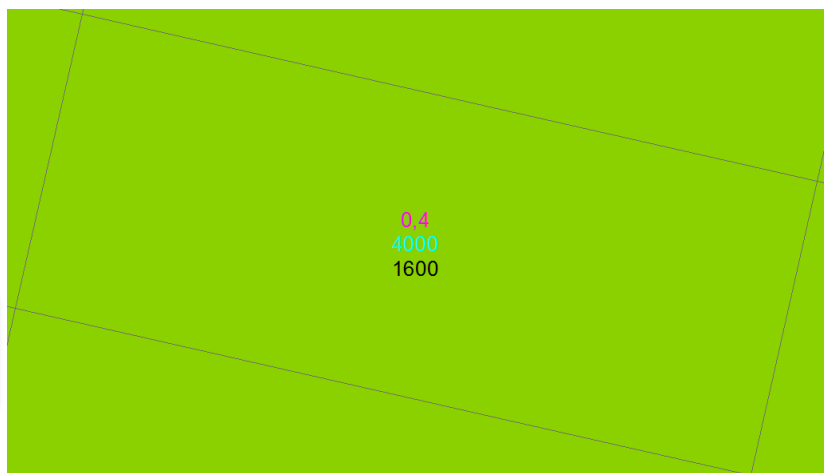


Figure 11 : Exemple d'une case de listing case zoomée

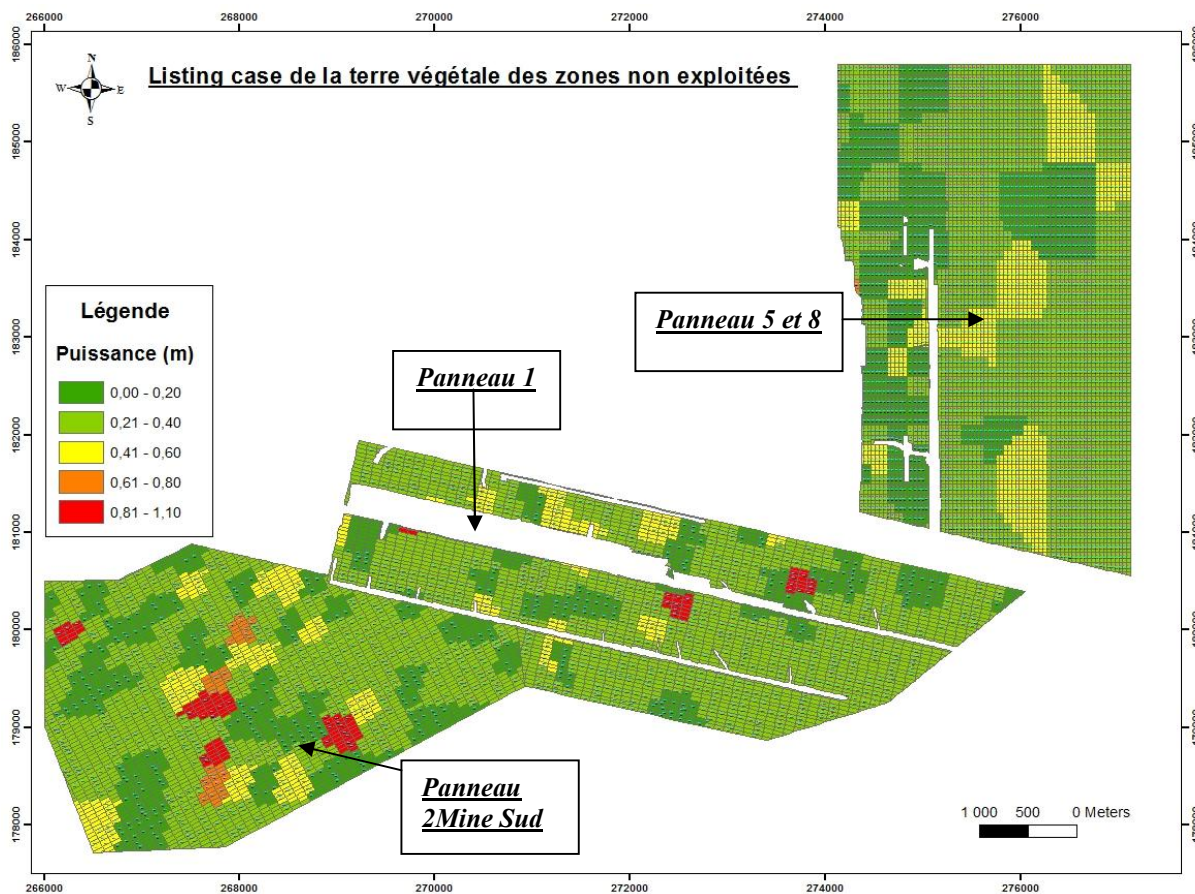


Figure 12 : Listing case des zones non exploitées : Panneaux : 1et 2 (mine Sud) et panneaux : 5 et 8 (mine Nord)

Interprétation

Les zones qui contiennent une puissance comprise entre 0,21m et 0,40m sont les plus existées. Les zones de puissance comprises entre 0,61m et 0,8m sont les moins dominants. D'après listing case on constate que les panneaux qui présente une variation de puissance importante sont les panneaux 1 et 2(mine Sud).

- La question qui se pose maintenant est la suivante : **Quelle est la surface, le volume et la puissance moyenne de la terre végétale présentée dans ces 4 panneaux ?**

Pour cela, il est nécessaire de faire certains calculs.

A l'aide de listing case et à l'aide du logiciel Excel, on a trouvé les résultats suivants :

- [34,95 km²](#): est la surface de la terre végétale trouvée dans ces 4 panneaux.
- [0,32 m](#) : est la puissance moyenne de la terre végétale dans les 4 panneaux étudiés.

Méthode de calcul du Volume :

$$V = \text{Surface} * \text{puissance moyenne}$$

- [0,0113 km³](#) : est le volume de la terre végétale calculé.

5. Maillage

La méthode de réhabilitation adoptée par l'OCP consiste d'abord à diviser le terrain à réhabiliter en mailles (carrées) égaux qui ont une surface de 25 m², et, ensuite de mettre au centre de chaque carrée 1m³ de terre végétale ; qui va représenter le volume nécessaire pour la plantation de la culture.

La question qui se pose et s'impose ici est : **Est-ce que le volume de la terre végétale dans ces 4 panneaux non exploités est suffisant pour d'abord réhabiliter les 4 panneaux après leurs exploitation ? Et pour ensuite réhabiliter tout le gisement ?**

Pour répondre à ces questions. Il faut premièrement réaliser un maillage de la zone étudiée (les 4 panneaux) par l'outil Fishnet sur ArcGis. Puis, calculer le volume et la surface nécessaire pour la réhabilitation de cette zone.

Exemple des carrées de maillage zoomées

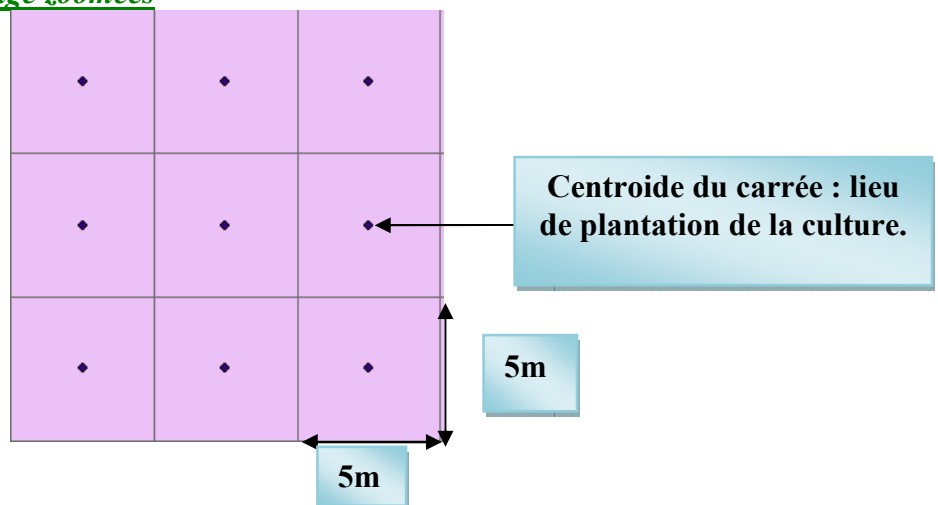


Figure 13 : Exemple des mailles zoomées

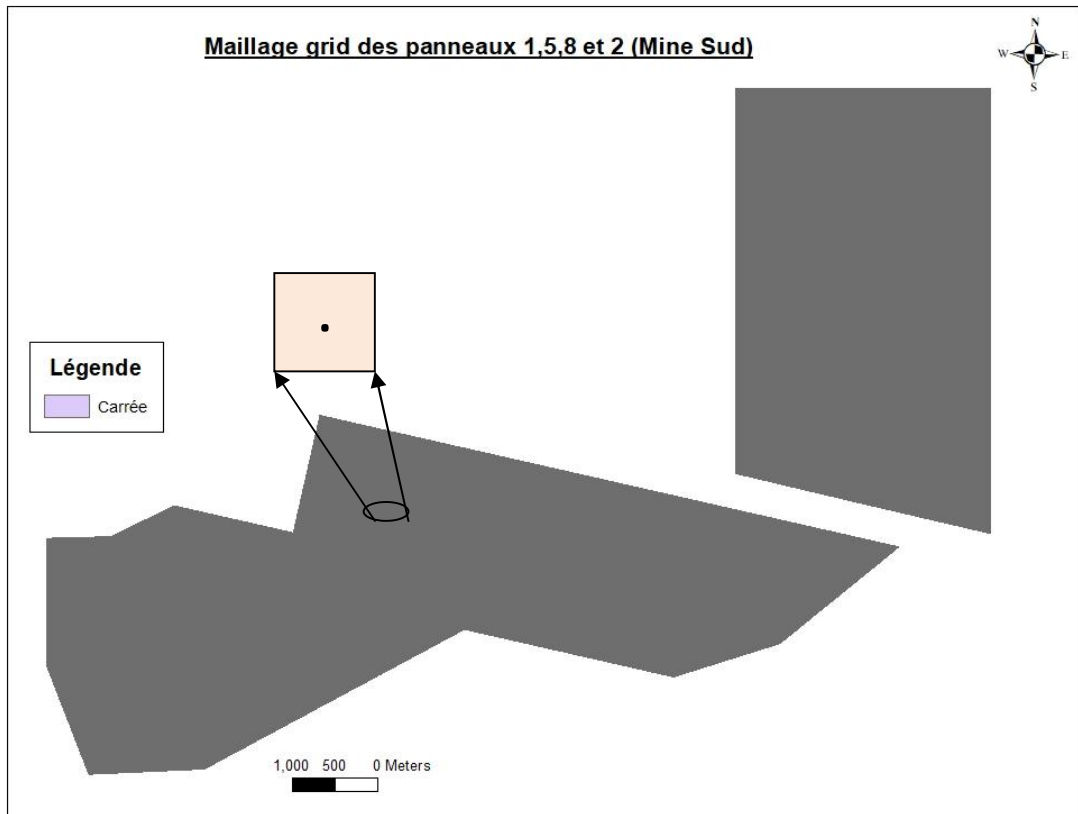


Figure 14 : Maillage grid des panneaux: 1,5,8 et 2(mine Sud)

5.1 Calculs et résultats

A l'aide de l'Excel le nombre de centroides trouvées est de : 1 470 004 centroides

Le volume à mettre dans chaque centroïde est de : 1 m^3

Donc le volume nécessaire pour la réhabilitation des panneaux: 1,5, 8 et 2 (mine Sud) est de: $1,47 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3$

Et par conséquent, la surface de la terre végétale nécessaire pour la réhabilitation est de : $1,47 \text{ km}^2$

Calculs

On a $0,0113 \text{ km}^3$: volume de la terre végétale calculé,

$$0,0113 - 1,47 \cdot 10^{-3} = 9,83 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3$$

$9,83 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3$: est le volume de la terre végétale restant.

- Pour répondre à la 2^{ème} question il faut calculer la surface des panneaux exploités restants (panneaux : 2 (mine Nord), 3,7 et 4).

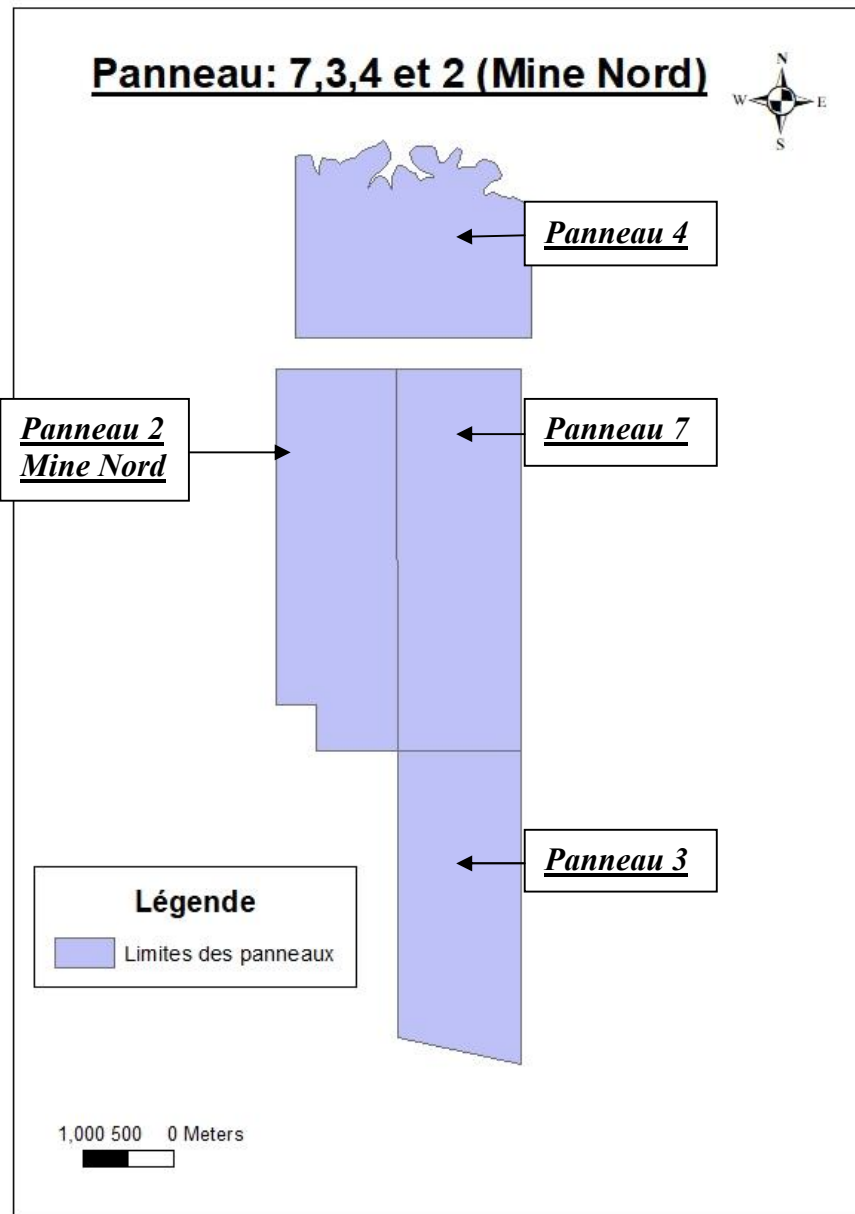


Figure 15 : Panneaux : 7,3,4 et 2 (mine Nord)

La surface de l'ensemble des panneaux : 3, 7,4 et 2 (mine Nord) est de : 21 km^2

On constate donc que pour couvrir la surface de la zone étudiée (surface des 4 panneaux : 1, 2,5 et 8) qui est de : $36,67 \text{ km}^2$, on a besoin de 1 470 004 centroides et donc de $1,47 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3$ de terre végétale.

Combien alors, de centroides on besoin pour couvrir une surface de 21 km^2 .

Calculs :

$$36,67 \text{ km}^2 \rightarrow 1\,470\,004 \text{ centroides.}$$

$$21 \text{ km}^2 \rightarrow X \text{ centroides.}$$

$$X = 842\,215 \text{ centroides.}$$

Par conséquent, le volume nécessaire pour couvrir l'ensemble des panneaux restants est de : $8,42 \cdot 10^{-4} \text{ km}^3$

Pour réhabiliter tout le gisement de Benguerir on aura besoin :

$$8,42 \cdot 10^{-4} \text{ km}^3 + 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3 = 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3 \text{ de terre végétale.}$$

Volume de terre végétale restauré : $0,0113 \text{ km}^3$

Volume de terre végétale restant : $0,0113 \text{ km}^3 - 2,31 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3 = 8,99 \cdot 10^{-3} \text{ km}^3$.

6. Conclusion

D'après les calculs, la terre végétale récupérer à partir des 4 panneaux 1, 5,8 et 2 (Mine Sud) ; est donc assez suffisante pour le projet de réhabilitation de tout le site minier de Benguerir. D'après le listing case et les cartes d'iso-puissance le panneau 1 et 2 (Mine Sud) présentent des variations de puissance importante, et donc la meilleure zone à partir de laquelle on peut récupérer des volumes importants de la terre végétale.

Mais lequel de ces panneaux est plus susceptible d'avoir plus d'avantages que l'autre ?

CHAPITRE III :

**APPORT DE LA TELEDETECTION
ET SIG DANS L’EVALUATION DE
LA COUVERTURE TERRESTE.**

1. La télédétection et SIG

1.1 Définition de la télédétection

La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information. (Kasem 2013)

1.2 Les principales étapes de la télédétection

(Annexe 1)

1.3 Définition: SIG

La société française de photogrammétrie et télédétection (1989) a défini un SIG comme étant un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. (Elhadj 2015)

2. Le satellite Landsat 8 OLI/TIRS

Les images satellites utilisées dans ce travail proviennent du satellite OLI 8

Landsat 8 OLI/TIRS : Landsat 8 est équipé de deux types de capteurs OLI et TIRS.

Le capteur OLI (Operational Land Imager) offre une image de neuf bandes spectrales (Annexe 2) avec une résolution spatiale de 30 mètre pour les bandes de 1 à 7 et 9, la bande 8 (panchromatique) à une résolution spatiale de 15 mètre. Deux nouvelles bandes sont offertes par le capteur OLI, la bande 1 (ultra-bleu) utile pour les études des aérosols et la cartographie côtière. Et la bande 09 utile pour les études des cirrus et des nuages. Le capteur TIRS (Thermal Infrared Sensor) offre plus de précision dans la détection des surfaces tempérées et cela grâce à deux nouvelles bandes 10 et 11 qui ont une résolution spatiale de 100 mètre et qui était absent dans les versions précédentes de Landsat. (Elhadj 2015)

2.1 Les images satellitaires

L'image satellitaire est un document contenant diverses informations relatives à des objets tels que le sol et la végétation, dans ce sens le traitement effectué est tel que l'information propre à l'occupation des sols et à la végétation puisse être mise en évidence. Lors de cette étude, nous avons travaillé avec des images satellitaires différentes (Landsat 8 OLI/TIRS,).

La résolution spatiale des images utilisées est entre 30 m pour les images Landsat. En effet cette résolution est jugée acceptable pour la méthodologie adoptée dans cette étude.

2.2 Les logiciels de traitement

ARCGIS 10.5 : ARCGIS reste incontestablement, le logiciel référence en matière de cartographie.

2.3 Traitements et analyses

Dans cette étude, l'objectif principal défini est d'évaluer l'état de la couverture végétale (palmiers datées) ainsi que l'évolution des ressources en eau l'ensablement dans l'ensemble de la zone d'étude : Mine de Benguerir. La démarche méthodologique adoptée repose essentiellement sur l'analyse et l'interprétation des indices spectraux.

2.4 Les principaux indices de végétation

2.4.1 Définition

La nature numérique des données de télédétection se prête particulièrement bien à des opérations entre canaux. Le principe de ces opérations est d'effectuer, pour chaque pixel, des opérations

mathématiques plus ou moins complexes faisant intervenir les valeurs numériques observées pour ce pixel dans les différentes bandes spectrales. (Kasem 2013)

2.4.2 Les indices simples

Les indices de végétation les plus simples sont basés sur des opérations arithmétiques entre deux bandes spectrales, généralement le rouge et le proche infrarouge, mais également les bandes du proche et du moyen infrarouge.

2.4.2.a L'indice de végétation par différence normalisée NDVI

L'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un indicateur graphique simple qui peut être utilisé pour analyser des mesures en télédétection, et spécifiquement les zones qui contiennent des formations végétales.

L'indice de végétation NDVI met en valeur la différence entre la bande visible du rouge et celle du proche infrarouge. Sa formule est la suivante :

$$NDVI = (\text{proche IR} - \text{rouge}) / (\text{proche IR} + \text{rouge})$$

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant à des surfaces telles que la neige, l'eau ou les nuages. Pour les sols nus, le NDVI présente des valeurs proches de 0.

Les formations végétales ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses. (CHAKAR s.d.)

2.4.2.b L'indice de l'eau par différence normalisée NDWI

Suivant le même principe que le NDVI, l'indice de teneur en eau par différence normalisée (Normalised Difference Water Index, NDWI) utilise la bande proche infrarouge et une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (short-wave infrared, SWIR). Au lieu de la bande rouge, où la réflectance est affectée par la chlorophylle, le NDWI utilise une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (entre 1500 et 1750 nm), où l'eau possède un pic d'absorption. La bande du proche infrarouge (near-infrared, NIR) est la même que celle du NDVI car l'eau n'absorbe pas dans cette région du spectre électromagnétique. L'indice NDWI se calcule selon l'équation suivante :

$$NDWI = (PIR - SWIR) / (PIR + SWIR)$$

Cet indice permet de vérifier l'efficacité des systèmes d'irrigations car les plantes correctement irriguées ayant une teneur en eau forte vont refléter une valeur de NDWI proche de 1.

3. Cartes et interprétation

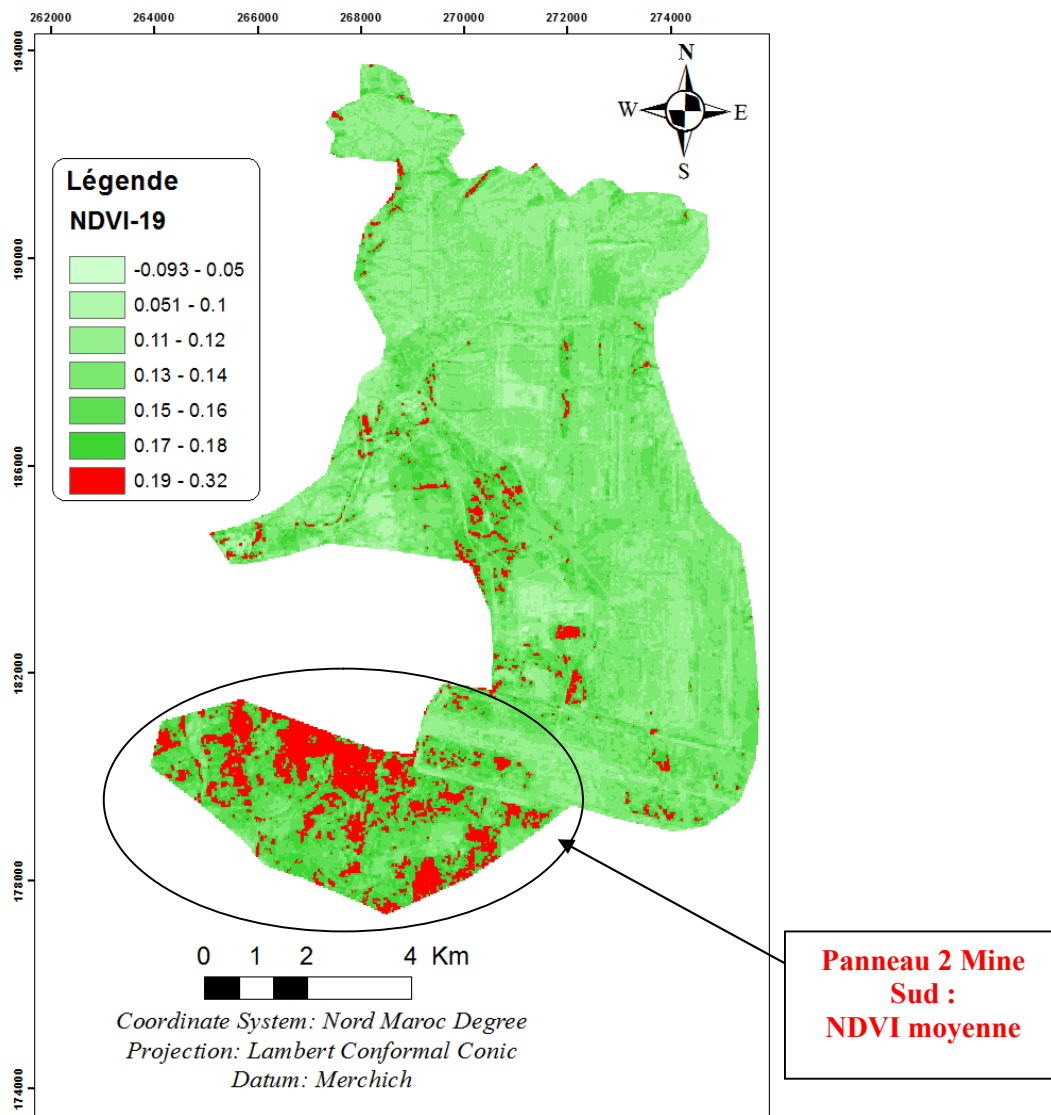


Figure 16 : Carte d'indice de végétation NDVI de la mine de Benguerir (Année : 2019)

Interprétation

Dans notre travail, le suivi des cartes de NDVI dans la région de Benguerir pour l'année 2019 va nous permettre de constater que des valeurs de NDVI proches de 0 représentent les sols nus. On les observe plus au centre du site minier. Les valeurs de NDVI comprises entre 0,15 et 0,18 représentent un couvert végétal plus mince, ces valeurs présentent la majeure partie de la mine. Les valeurs de NDVI comprises entre 0,19 et 0,32 représentent un couvert végétal moyennement dense. Ces valeurs se concentrent plus au Sud de la mine au niveau de panneau 2.

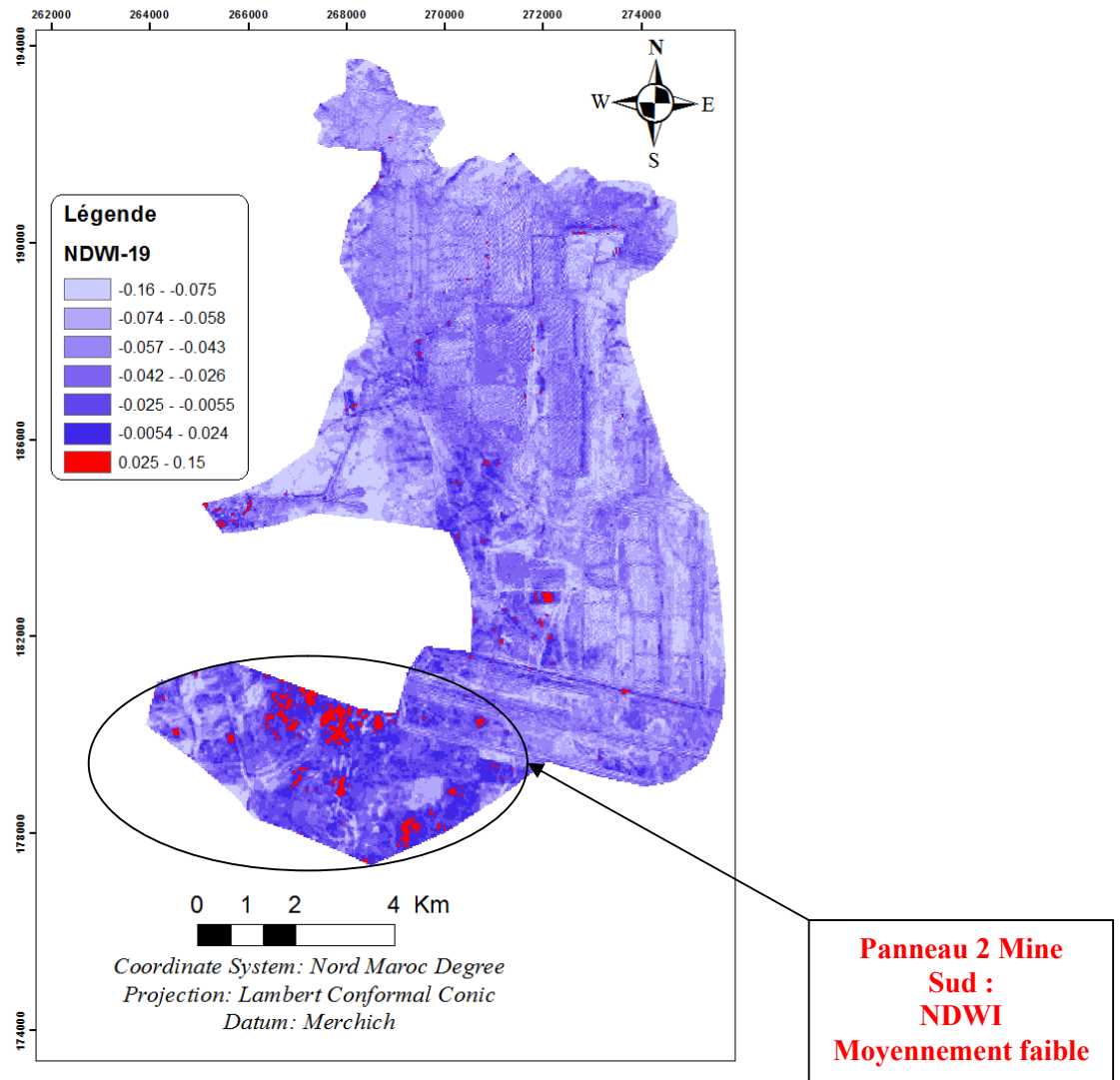


Figure 17 : Carte de l'indice de l'eau NDWI du gisement de Benguerir (Année : 2019)

Interprétation

Dans la zone étudiée, les valeurs de l'indice de l'eau NDWI sont négatives et très proche de 0 dans la majeure partie du gisement, ceci est dû à la végétation dans cette partie qui est faible et au teneur en eau de ces végétaux qui est plus faible encore. Les valeurs de NDWI qui sont positives, ce trouvent au niveau du partie Sud de la mine plus précisément au niveau du panneau 2 où la végétation est plus accentuée et la teneur en eau de ces plantes est moyennement faible.

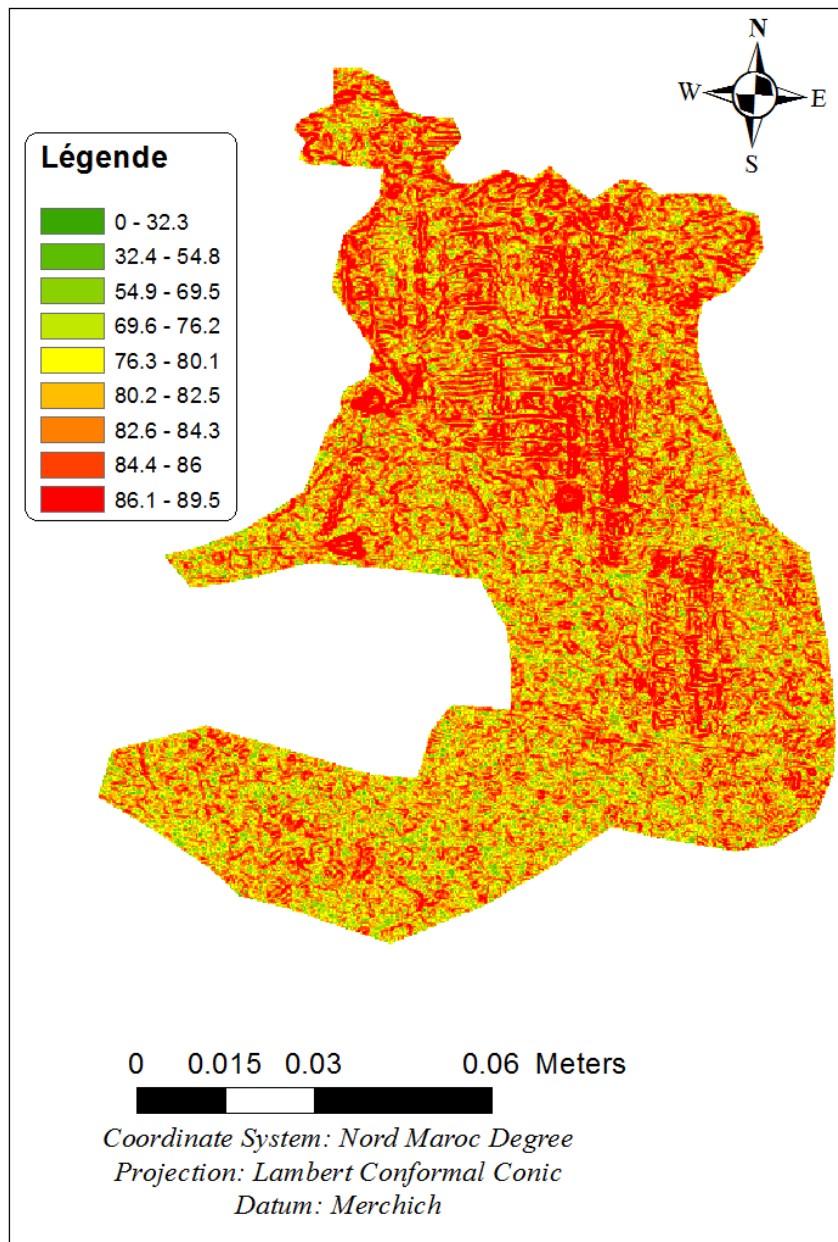


Figure 18 : Carte de pente du site minier Benguerir

Interprétation

A partir de cette carte on constate que les pente qui ont une valeur importante se concentrent dans la mine Nord. Par contre la mine Sud est caractérisée par du moyennement faibles pentes en comparant avec celles de la mine Nord, se qui facilite l'accès des véhicules de transport de la terre végétale à ces zones et rend le transport de la terre végétal plus aisé. Ces pentes sont réelles mais pas naturelles, elles sont artificielles et dues à l'exploitation à ciel ouvert du phosphate qui modifie la topographie et les pentes.



Figure 19 : Exemple de la topographie de la mine de Benguerir. (Photo prise le 19/04/2019)



Figure 20 : Les pentes dans la mine de Benguerir. (Photo prise le 5/04/2019)



Figure 21 : Les pentes de la mine de Benguerir. (Photo prise le 5/04/2019)

4. Conclusion

A partir des cartes de NDVI et NDWI, il est bien clair que le panneau 2 présente un couvert végétal moyennement dense et un teneur en eau moyen pour les plantes comparée aux autres panneaux. A partir t la carte des pentes, il est évident que le panneau 2 de la mine Sud est le meilleur parmi les 2 panneaux de la mine Sud.

CHAPITRE IV :
CARACTERISATION PHYSICO-
CHIMIQUE DES SOLS DE LA MINE
DE BENGUERIR

Le sol est la couche la plus externe de la croûte terrestre résultant de l'interaction entre la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants de pédogenèse.

Par rapport au diamètre de la terre, le sol, enveloppe externe de la terre, est extrêmement mince. Il constitue la base et l'espace de vie pour les hommes, les animaux, les plantes et les microorganismes. En tant que partie du cycle naturel, le sol remplit de nombreuses fonctions. D'abord, c'est un endroit où poussent les plantes. Ensuite il remplit la fonction de grenier de substances nutritives ; il contient les substances nutritives organiques et inorganiques nécessaires à la vie : Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NO_3 et H_2PO_4 qui alimente les plantes et les animaux.

La caractérisation physico-chimique des sols de la mine de Benguerir a pour objectif :

- Définir la nature du sol pour décider des différentes cultures à mettre en place sur l'exploitation.
- Choisir les techniques culturelles adaptées (travail du sol ; épandage des fertilisants etc.).

Au sein de laboratoire géo-ressources et environnement à la faculté des sciences et techniques Fès, on a effectué des analyses physico-chimiques des sols qui sont :

- pH eau, pH KCl
- Dosage de la matière organique
- La calcimétrie
- La conductivité électrique et salinité du sol
- L'humidité

Alors que l'analyse granulométrique était effectué au sein de laboratoire des analyses chimiques à l'OCP Benguerir.

1. Prélèvement des échantillons du sol

1.1 Échantillonnage

L'objectif est de collecter une portion de sol d'un volume suffisant pour qu'il soit aisément transporté et manipulé au laboratoire. On a échantillonné 2 sols ; le sol A de la mine Nord (X=271953,011m ; Y=180868,786m ; Z=449,04m) et le sol B de la mine Sud (X= 275178,163m ; Y= 182223,897m ; Z= 458,80m).

1.2 Identification

Chaque échantillon doit être clairement identifié par une référence. Celle-ci sera inscrite sur une étiquette accrochée au sac ou sur le sac lui-même.

2. Prétraitement des échantillons de sols

2.1 Principe

Les échantillons qu'on a déjà prélevés lors de la sortie de terrain sont amenés au laboratoire afin de les utiliser pour les analyses physico-chimiques et pour que ces échantillons soient représentatifs, on a procédé a un quartage, séchage, broyage et tamisage à 2mm des sols avant de passer aux analyses.

2.2 Quartage par la méthode du cône

Il s'agit d'une méthode manuelle qui ne demande que très peu de matériel.

- Verser l'échantillon en un cône régulier sur une feuille ;
- Séparer à l'aide d'une règle,le cône verticalement par son sommet en deux moitiés symétriques et écarter l'une des deux moitiés de quelques centimètres en prenant garde à ce qu'un minimum de poudre reste sur la feuille de base ;

- Scinder ensuite les deux moitiés par un nouveau plan vertical perpendiculaire au premier, puis séparer l'échantillon de sorte que l'on obtienne quatre quarts de cône identiques ;
- Prélever et rassembler les quarts 1 et 3 avec lesquels l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée. (Mohammed 2014)



Figure 22 : Quartage par la méthode du cône

2.3 Séchage

Séchage des échantillons à l'air ambiant ou dans un four à 37 °C jusqu'à ce qu'ils soient secs (2 jours)

2.4 Broyage et pilonnage

On broie l'échantillon avec passage forcé à travers une maille de 2 mm. Après homogénéisation, on garde l'échantillon de terre fine dans une boîte.



Figure 23 : Mortier et pilon en porcelaine



Figure 24 : Tamis avec des mailles de 2 mm

3. Analyses physico-chimiques des sols

Il y a deux types d'analyses :

L'analyse physique la granulométrie, humidité des sols

L'analyse chimique comporte la détermination du pH, le dosage du calcaire total, et le taux de matière organique

3.1 Analyses pH eau, pH KCl

Principe

La pH-métrie consiste à mesurer le pH ou potentiel d'hydrogène d'une solution. La mesure s'effectue grâce à une électrode de verre et d'un pH-mètre. Un pH=7 correspond à un pH neutre, entre 0 et 7 à un pH acide et entre 7 et 14 un pH basique

Matériel

- Balance analytique.
- pH mètre.
- Erlenmeyer de 100ml.
- Agitateur magnétique.
- Le sol séché.



Figure 25 : Balance analytique



Figure 26 : pH-mètre avec électrode pH

Réactifs

- Eau distillée.
- Les étalons : pH 4,01, pH 7 et pH 9,21.
- Chlorure de potassium KCl.

Mode opératoire

(Annexe 3)

3.2 La conductivité électrique spécifique et salinité des sols

But

La conductivité électrique donne une idée sur la quantité de sels solubles dans le sol, elle mesure la salinité du sol.

Principe

La conductivité électrique spécifique de l'extrait filtré est mesurée et le résultat est corrigé à une température de 25 °C.

Appareillages et matériels utilisés

- Conductimètre
- Balance analytique : précision d'au moins 0.01 g ;
- Agitateur mécanique à mouvement horizontal
- Papier filtre
- Flacons



Figure 27 : Conductimètre



Figure 28 : Agitateur mécanique à mouvement horizontale

Réactifs utilisés

- Eau déminéralisée
- Solutions étalons : Solutions de chlorure de potassium.



Figure 29 : Filtration directe sur papier filtre



Figure 30 : Filtrats

Mode opératoire

(Annexe 4)

3.3 Humidité de sol

Principe

L'humidité du sol (ou eau contenue dans le sol) détermine de façon essentielle la variation des caractéristiques de différents matériaux ou sols.

Le taux d'humidité d'un sol en particulier va déterminer les caractéristiques de diffusion ou de stockage de l'eau dans ce sol.

Matériel

- Four
- Balance analytique : précision d'au moins 0.01 g
- Creuset en porcelaine
- Dessiccateur

Mode opératoire

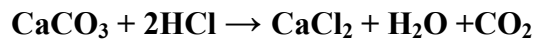
(Annexe 5)

3.4 La calcimétrie

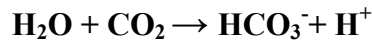
Principe de manipulation

La calcimétrie est la mesure du pourcentage de CaCO_3 dans un sol. L'appareil de mesure la plus fréquemment utilisée est la calcimétre de Bernard.

Le dosage du carbonate de calcium est basé sur l'attaque par l'acide chlorhydrique (HCl) dilué d'un échantillon d'une masse donnée à pression et température standard. On mesure le volume de CO₂ dans un tube manométrique après attaque de l'échantillon à l'acide chlorhydrique (HCl) suivant la réaction suivante :



On utilise l'eau saturée en sel pour éviter la perte de CO₂ à partir leur réaction avec H₂O selon la réaction suivante :



But de manipulation

Calculer le pourcentage de CaCO₃ dans les échantillons étudiés se fait en comparaison avec un échantillon témoin de carbonate pur (100 % CaCO₃)

Mode opératoire

(Annexe 6)

3.5 Dosage de la matière organique

Principe de la manipulation

L'utilisation d'un procédé sec qui est assuré par une calcination dans un four pour détruire la matière organique présent dans les échantillons. Cette opération se fait en mettant ces échantillons pendant 16h dans un four à 375 °C et la perte de poids après la calcination des échantillons nous permet de connaître les proportions pondérales de la matière organique.

Mode opératoire

(Annexe 7)

3.6 L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique ou analyse mécanique consiste à séparer la partie minérale de la terre en catégories classées d'après la dimension des particules inférieures à 2 mm et à déterminer, les proportions relatives de ces catégories, en pourcentage de la masse totale du sol minéral. La proportion des particules minérales du sol classées, après destruction des agrégats définit la texture du sol ou composition granulométrique.

Classes granulométriques

Les particules minérales ont été classées (à l'échelle internationale) selon leur diamètre

Diamètre des grains	Classe granulométrique
> 2 mm	Fraction grossière
2 mm à 0.2 mm	Sable grossier
0.2 mm à 0.040 mm	Sable fin
0.040 mm à 0.002 mm	Limon
< 2 µm	Argile

Figure 31 : Les classes granulométrique selon la Norme Française NF P18-560.

Méthode

La méthode par laquelle l'analyse granulométrique a été effectuée au sein du laboratoire de l'OCP est la granulométrie par voie humide. La voie humide permet de caractériser des dispersions

(granulométrie élémentaire après dispersion chimique) ou des matières solides en suspension (granulométrie « agrégée »).

Les particules mesurées se situent dans la gamme 0,05 – 880 µm.

La concentration de la solution ne devant pas être trop importante (obscurité < 35 %).

Expression des résultats

Les différents poids correspondants à chaque classe granulométrique seront transformés en pourcentages. Il faudrait placer chaque échantillon dans un diagramme des textures

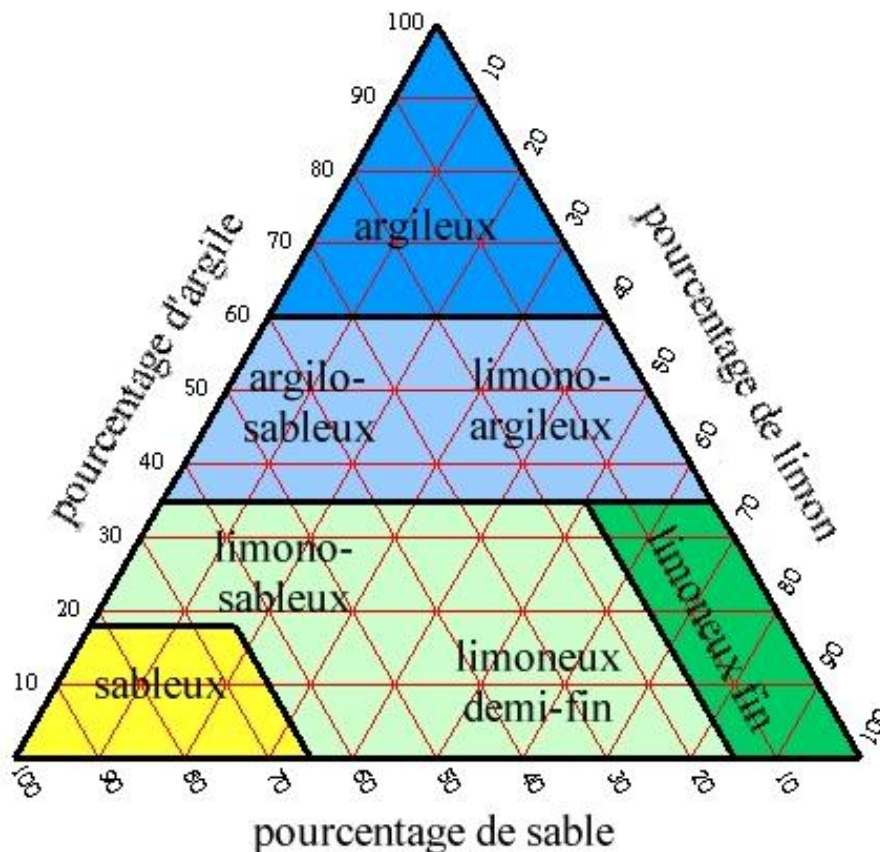


Figure 32 : Diagramme des textures. Source : U.S. Department of Agriculture 1993.

3.7 Résultats et interprétations

3.7.1 pH H₂O, pH KCl

3.7.1.1 -Les résultats

Tableau 1 : Les mesures de pH

Sol:	Echantillon:	pH H ₂ O:	pH KCl :
A	1	7,3	8,05
	2	7,27	8,13
	3	7,34	8,13
B	4	7,64	8,08
	5	7,69	8,09
	6	7,7	8,11

Tableau 2 : Moyennes des triplicats du pH

Sol:	pH H ₂ O:	pH KCl:
A	7,30	8
B	7,68	8,09

3.7.1.2 -Interprétation

Le pH de sol A est de : 7,30 ; indiquant que le sol est neutre.

Le pH de sol B est de : 7,68 ; indiquant que le sol est légèrement alcalin.

3.7.2 Conductivité électrique**3.7.2.1 Les résultats****Tableau 3 : Les mesures de la conductivité**

Sol:	Echantillon:	Conductivité électrique en $\mu\text{S/cm}$:
A	1	703
	2	726
	3	678
B	4	330
	5	393
	6	363

Tableau 4 : Moyennes des triplicats de la conductivité

Sol:	Conductivité électrique en $\mu\text{S/cm}$:
A	702,33
B	362,00

3.7.2.2 -Interprétation

Le sol B est non salé par suite du fait de son faible valeur de CE qui est inférieure à $500\mu\text{S/cm}$. Sur ce sol, la salinité est négligeable et n'aura aucun effet sur le rendement des cultures.

Le sol A est légèrement salé par suite du fait de son valeur de CE qui est supérieure à $500\mu\text{S/cm}$. Sur ce sol, il y aura une diminution du rendement que pour les cultures qui sont très sensible au sel.

3.7.3 Humidité

3.7.3.1 Les résultats

Sol A :

Tableau 5 : Mesures de l'humidité du sol A

Echantillon:	Poids de Creuset vide (g):	Poids du sol (g) :	Poids (Creuset + Sol) après 24 au four :	Humidité du sol % :
1	19,9781	10,002	29,4852	4,95
2	21,5364	10,0001	31,0356	5,01
3	19,4884	10,0002	29,0297	4,59

Donc, la teneur en eau du sol A est en moyen de : 4,85 %

Sol B :

Tableau 6 : Mesures de l'humidité du sol B

Echantillon:	Poids de Creuset vide (g):	Poids du sol (g) :	Poids (Creuset + Sol) après 24 au four :	Humidité du sol % :
1	19,7279	10,0006	28,6617	10,67
2	19,685	10	28,6674	10,18
3	20,326	10,0015	29,2959	10,31

Donc, la teneur en eau du sol B est en moyen de : 10,39 %

3.7.4 La calcimétrie

3.7.4.1 Calculs

Sol A :

- Pour l'échantillon témoin (carbonate pur) le volume de CO₂ dégagée est :

$$V_{\text{Témoin}} = V_2 - V_1 = 43 - 32,5 = 10,5 \text{ ml}$$

- Pour le sol A : le taux de carbonate est :

On a $V_{\text{solA}} = V_2 - V_1 = 33,6 - 32,5 = 1,16 \text{ ml de CO}_2 \text{ Dégagé}$

On sait que le carbonate pur contient 100% de CaCO₃ ? Donc

$$V_{\text{témoin}} = 10,5 \text{ ml de CO}_2 \rightarrow 100 \% \text{ de CaCO}_3$$

$$V_{\text{solA}} = 1,16 \text{ ml de CO}_2 \rightarrow X \% \text{ de CaCO}_3$$

D'où

$$\underline{\% \text{ de CaCO}_3 = 11 \%}$$

Sol B :

- Pour le sol B : le taux de carbonate est :

$$V_{\text{Témoin}} = 10,5 \text{ ml de CO} \rightarrow 100 \% \text{ de CaCO}_3$$

$$V_{\text{solB}} = 1,5 \text{ ml de CO}_2 \rightarrow X \% \text{ de CaCO}_3$$

D'où

$$\% \text{ de CaCO}_3 = 14,28 \%$$

3.7.4.2 Interprétation

Selon la norme internationale NF ISO 10693, les sols A et B sont faiblement calcaires avec cependant un taux de calcaire plus important pour le sol B (14,28%) par rapport au sol A (11%)

3.7.5 Dosage de la matière organique

3.7.5.1 Les résultats des analyses

Tableau 7 : Mesures du dosage de la matière organique

Sol :	Echantillon :	P ₀	P _{SOL(g)}	P ₁	P ₂
Sol A	1	16,3684	10,0004	26,3688	25,5625
	2	22,1153	10,0008	32,1161	31,3160
	3	19,1323	10,0008	29,1331	28,1894
Sol B	4	26,4989	9,9999	36,4979	35,6341
	5	18,9655	10,0001	28,9656	28,0943
	6	18,6132	10	28,6132	27,7101

P₀ = poids des creusets vides

P₁ = poids finals = poids des creusets avec l'échantillon

P₂ = poids des creusets + l'échantillon après la calcination

3.7.5.2 Les calculs

Donc le pourcentage de la matière organique est calculé par l'équation suivante :

$$\% \text{ M.O} = ((P_1 - P_0) - (P_2 - P_0)) / ((P_1 - P_0)) * 100$$

Tableau 8 : Résultats de dosage de la matière organique

Sol :	Echantillon :	% de M.O :
Sol A	1	8,06
	2	8,00
	3	9,43
Sol B	4	8,6
	5	8,7
	6	9,03

Tableau 9 : Résultats de dosage de la matière organique par moyenne des triplicats

Sol :	%M.O :
Sol A	8,5
Sol B	8,8

3.7.5.3 Interprétation

Les sols ont des taux de MO très importants comparativement aux taux plus bas des sols marocains qui varient généralement de 2 à 3%. (*DIAEA /DRHA /SEEN, Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace Agricole, Service des Expérimentations, des Essais et de la Normalisation 2008*)

3.7.6 La granulométrie

3.7.6.1 Les résultats :

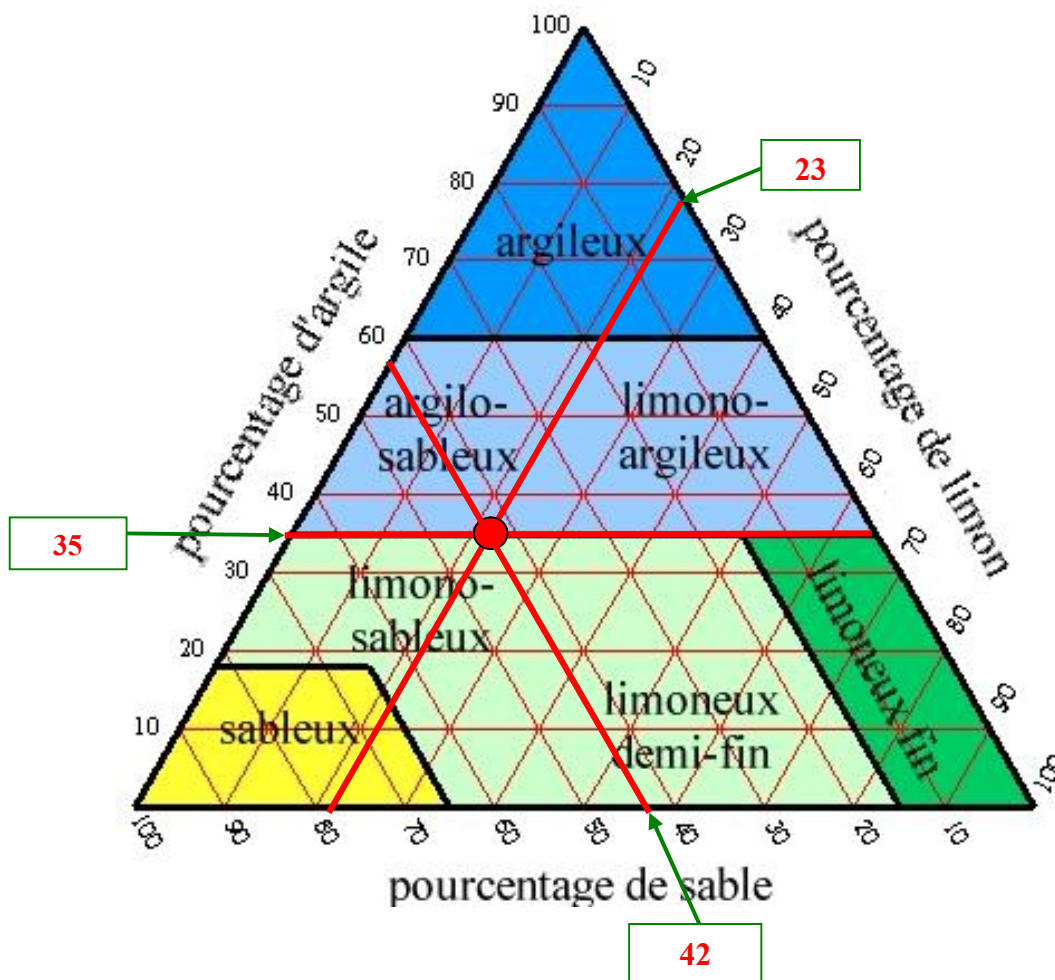
Tableau 10 : Les mesures d'analyse granulométrique

Sol:	% A	% L.F	%L.G	%S.F	%S.G
A	35	11,5	11,5	24,3	17,7
B	38	9,8	9,3	24,8	17,9

% A : Le % de l'Argile
 % L.F : Le % de Limon Fin
 % L.G : Le % de Limon Grossier
 % S.F : Le % de Sable Fin
 % S.G : Le % de Sable grossier

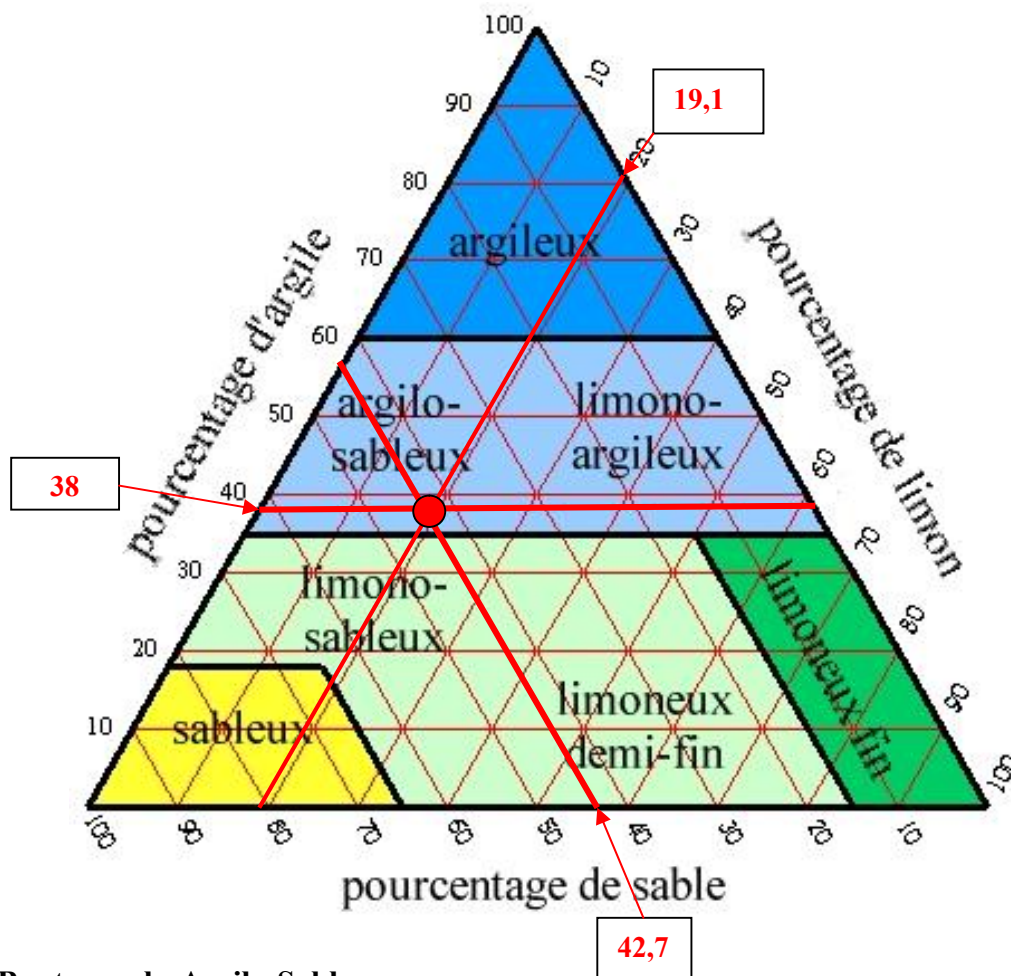
3.7.6.2 Les textures des sols :

Pour le sol A :



Le sol A : est un sol Limono-argileux-sableu

Pour le sol B :



Le sol B est un sol : Argilo-Sableux

3.8 Conclusion

A partir des analyses physico-chimiques des sols, on constate qu'il existe deux types de sols au niveau de site minier de Benguerir :

Le premier type de sol (Sol A issu de la mine Nord) : est un sol limono-argileux-sableux, neutre, légèrement salé, faible humidité, faiblement calcaire et riche en matière organique.

Le deuxième type de sol (Sol B issu de la mine Sud) : est un sol argilo-sableux, légèrement alcalin, non salé, plus humide, faiblement calcaire et riche en matière organique.

4 Cultures à mettre en place sur l'exploitation de Benguerir

On peut citer quelques plantes qui peuvent être utilisées dans le projet de réhabilitation ; des plantes qui tolèrent le type de climat (semi continentale aride) de gisement de Gantour, et les 2 types de sols présents dans le site minier :

- L'Arganier

L'arganier est un petit arbre de régions semi-arides présent de manière quasi exclusive au Maroc. Son besoin en eau est faible. L'arganier peut être cultivé dans des différents sols ; Sol argileux, sol

calcaire, sol sableux ou sol caillouteux Humus Terreau. La plante peut se développe en sol alcalin, sol neutre ou sol acide.

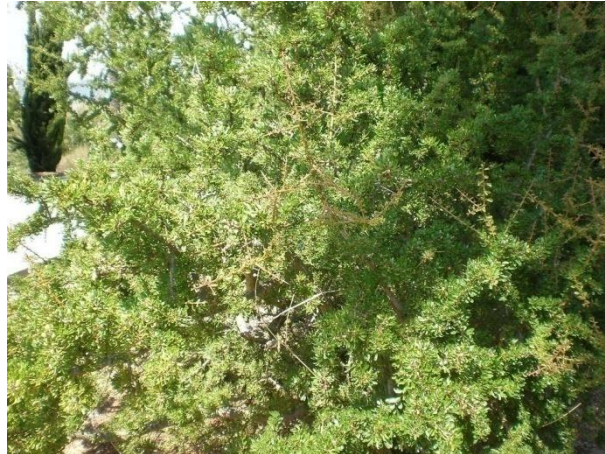


Figure 33 : L'Arganier

- Mimosa

Les mimosas sont naturellement résistants à la sécheresse et ne supportent pas les excès d'eau. Ces plantes demandent le plein soleil et une terre neutre à légèrement acide, bien que le mimosa des 4 saisons tolère mieux les terres calcaires.



Figure 34 : Mimosa

- Cassia

Ces arbustes tropicaux de la famille des Fabacées portent les noms scientifiques de Senna ou Cassia.

Cassia corymbosa se cultive en plein soleil dans un sol argileux, sol sableux, sol caillouteux et Humus Terreau. Cassia se cultive aussi dans un sol bien drainé, ou un sol sec. Bien que dans son milieu naturel, la plante se développe en sol acide, un substrat légèrement basique ne la dérange pas. Elle supporte bien la chaleur, donc résiste la sécheresse.



Figure 35 : Cassia

- Caroubier

Le caroubier est un arbre au tronc massif typique de Méditerranée. Apprécié pour son ombrage, il est aussi cultivé pour ses fruits, les caroubes.

Il est conseillé de planter les graines dans un substrat permettant de les extraire facilement (mélange léger de sable et de tourbe), mais il peut être cultivé aussi dans des sols argileux, des sols calcaires, des sols caillouteux Humus. Le caroubier tolérera facilement un sol pauvre et une exposition en pleine ou moyenne lumière. Il résiste bien aux fortes sécheresses estivales et à des pluies irrégulières. Il permet de lutter contre l'érosion des sols.



Figure 36 : Caroubier

- Faux poivriers

Le faux poivrier (*Schinus molle*), de la famille des Anacardiacees, est un petit arbre au feuillage et aux baies odorantes, originaire d'Amérique du Sud.

Le faux-poivrier se plaît en situation très ensoleillée et en terrain pauvre plutôt drainé et pierreux. Il est conseillé de planter les grains dans un sol alcalin ou un sol neutre : Le pH est compris entre 6,5 et 7,2. La plupart des plantes y poussent correctement.

Il est très facile de culture car résistant bien à la sécheresse grâce à ses feuilles assez coriaces et ses racines pouvant s'enfoncer à plusieurs dizaines de mètres sous terre.



Figure 37 : Faux poivrier

- *Eucalyptus*

L'eucalyptus doit être planté dans un sol neutre ou légèrement acide pour assurer une bonne reprise. L'installation de cette plante se fait dans un sol fertile, très humide voire marécageux. L'exposition devra être très ensoleillée.



Figure 38 : L'Eucalyptus

- *Olivier*

L'olivier est un arbre fascinant : sa silhouette noueuse évoque le soleil, la chaleur et le chant des cigales ; son feuillage gris vert persistant en fait toute l'année l'un des plus beaux arbres... Sans oublier ses fruits. Il aime le soleil, la chaleur (une exposition sud), les sols secs et bien drainés. Bien qu'il craigne l'humidité, l'olivier étant un arbre très résistant à la sécheresse, il nécessite des arrosages modérés.



Figure 39 : L'Olivier

CONCLUSION GENERALE

Ce travail qui a pour objectif principal la réhabilitation du site minier de Benguerir s'est déroulé en quatre étapes : 1) La quantification de la terre végétale de la Mine de Benguerir. 2) L'évaluation de la couverture terrestre à l'aide de la télédétection et SIG. 3) La caractérisation physico-chimique des sols du site minier Benguerir. 4) La proposition des cultures adaptées aux conditions du climat et de sol de la zone étudiée.

A partir des données de puits de reconnaissance et les résultats de calcul de la surface, le volume et la puissance de la terre végétale de la mine de Benguerir réalisés à l'aide de l'ArcGIS et l'Excel, on a montré que la terre végétale récupérée à partir de certains panneaux de la Mine (1, 5,8 et 2 (Mine Sud)) est suffisante pour le projet de réhabilitation de tout le gisement de Benguerir. En outre, les résultats de la télédétection et du SIG confirment cette richesse en terre végétale et précisent en plus le meilleur panneau à partir duquel la terre végétale peut être exploitée, transportée et restaurée aisément ; et c'est le panneau 2 Mine Sud. Après l'analyse physico-chimique des échantillons de sol, il ressort que les 2 types de sol présents dans le gisement de Benguerir (Sol A de la mine Nord et Sol B de la mine Sud) sont tous les deux riches en matière organique et faiblement calcaires ; mais, celui de la mine Nord est un sol limono-argileux-sableux, neutre, légèrement salé et moins humide. Alors que le sol de la mine Sud est un sol argilo-sableux, légèrement alcalin, non salé et plus humide. En se basant sur l'étude physico-chimique de sol et la détermination du climat de la région on a proposé de nombreux types de plantes qui peuvent être utilisés dans le projet de réhabilitation ; des plantes qui tolèrent le type de climat (semi continentale aride) du gisement de Benguerir, et les 2 types de sols présents dans le site minier ; telle que, l'Olivier, le Faux Poivrier, Cassia, Mimosa, l'Arganier, le Caroubier et l'Eucalyptus.

BIBLIOGRAPHIE

CHAKAR, Samira IBOUDA et Amine. «Rapport de mini-projet de Télédétection -Traitement des images satellitaires.» Casablanca,page 5.

DIAEA /DRHA /SEEN, Direction de l'irrigation et de l'aménagement de l'espace Agricole, Service des Expérimentations, des Essais et de la Normalisation. Rabat, 2008.

Douteau, Nathalie. Rapport «Dosage des ions carbonate dans un sol .»

Elhadj, TIR. «Analyse spatiale et cartographie de la régénération forestière post-incendie dans la Wilaya de Tissemsilt.» UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAÏD -TLEMEN, Tlemcen, 2015.

Kasem, Darabid Djamil et Bouchekara Mohamed. «EXTRACTION DES DIFFERENTS INDICES DE VEGETATION A PARTIR DES IMAGES SATELLITAIRES .» Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Tlemcen, 2013, pages 4 et 16.

Mohammed, Benabdelhadi. Polycopie "*Travaux Pratiques Sciences du sol*". Fés, Departement de l'environnement, FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES, 2014.

SAADI. Carte géologique du Maroc au 1/500.000. Ministère de l'énergie et des mines, direction de la géologie. (1982).

Youssef, BEZRHOUD. «Evaluation des différents substrats à base de sousproduits d'industrie de phosphate pour la réhabilitation.» 2018.

Webliographie

- ✓ Analyse et interpretation des résultats d'analyse des sols :
<https://www.institut-numerique.org/432-analyse-et-interpretation-des-resultats-danalyse-des-sols-52eca9e777c31>
- ✓ Climat Benguerir :
<https://fr.climate-data.org/afrique/maroc/benguerir/benguerir-54833/>

ANNEXEX

Annexe 1 : Les principales étapes de la télédétection :

Pour l'acquisition, des images des capteurs imageurs actifs ou passifs sont embarqués dans les satellites. Pour « obtenir » les images, un capteur passif utilise l'énergie solaire réfléchie (visible) ou absorbée et retransmise (infrarouge thermique) par la surface observée alors qu'un capteur actif se sert de la rétrodiffusion du signal radar qu'il a émis sur la surface qu'il observe. La Figure ci-dessous illustre le processus d'acquisition d'image par un satellite qui utilise un capteur passif (satellite optique). Dans ce stage les données manipulées sont acquises par des satellites optiques.

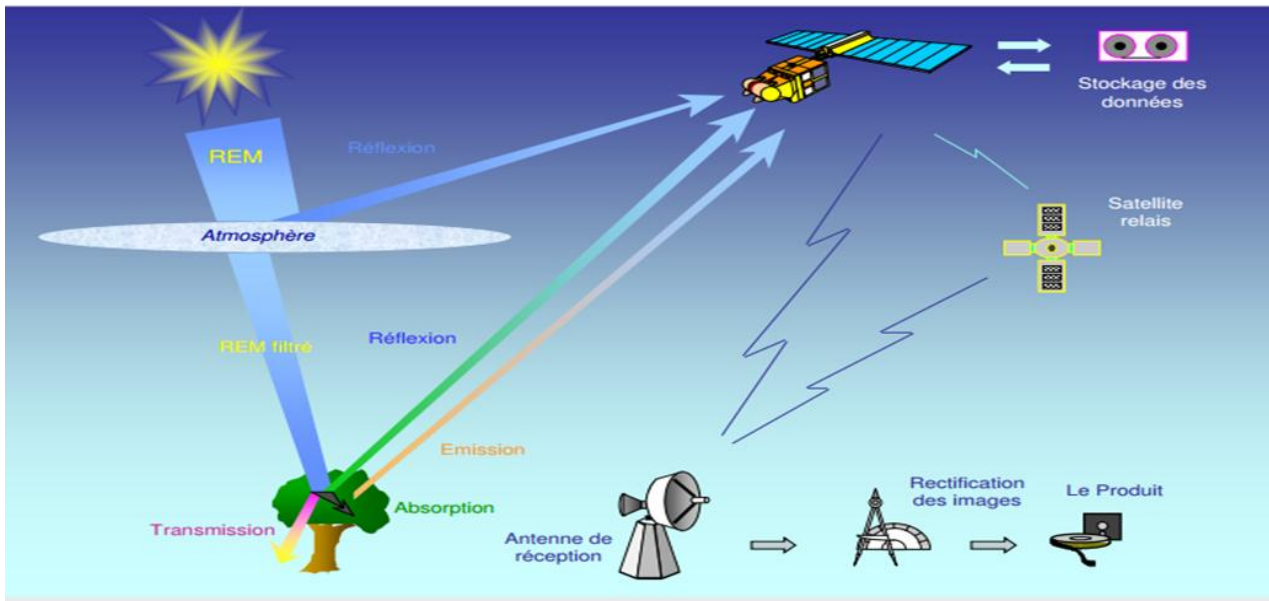


Figure 40 : Processus d'acquisition de l'information par les satellites.

Annexe 2 : Caractéristiques des bandes spectrales de Landsat 8 OLI/TIRS (Elhadj 2015)

Bandes	Domaine Spectral (μm)	Résolution	Application
01	0.433 – 0.453	30 m	Aérosols, zones côtières
02	0,45 - 0,515 (bleu)	30 m	Pigment, Différenciation sol/végétaux, zones côtières
03	0,525 - 0,600 (vert)	30 m	Pigment, zones côtières
04	0,630 - 0,680 (rouge)	30 m	Pigment, zones côtières
05	0,845 - 0,885 (proche IR)	30 m	Feuillages, zones côtières
06	1,560 - 1,660	30 m	Feuillages
07	2,100 - 2,300	30 m	Minéral, lithologie
08	0,500 - 0,680	15 m	Panchromatique
09	1,360 – 1,390	30 m	Cirrus et nuages
10	10,6 – 11,2	100 m	Thermique
11	11,5 – 12,5	100 m	Thermique

Annexe 3 : Mode opératoire de pH par eau et par KCl :

- Dans un Erlenmeyer on pèse 20g de l'échantillon de sol séché et on ajoute 50ml de l'eau distillée. L'important est ici de travailler avec un mélange sol/liquide dans la proportion 1 : 2.5.
- Agiter pendant 30 minutes à la température ambiante avec un agitateur magnétique.
- Etalonner le pH-mètre avec les solutions tampons pH 9,21, pH 7 et pH 4,01.
- Mesurer le pH en plaçant l'électrode dans la suspension de sol.
- Noter la valeur du pH après stabilisation.
- Rincer l'électrode après chaque utilisation.
- En parallèle, pour le pH par KCl on ajout 50 ml de chlorure de potassium.

Annexe 4 : Mode opératoire de la conductivité électrique spécifique :

- Transférer 20.00 g de l'échantillon séché dans un flacon
- Ajouter 100 ml d'eau à (20 ± 1) °C et fermer le flacon ;
- Placer le flacon à l'horizontal sur l'agitateur et agiter pendant 30 minutes
- Filtrer directement sur papier filtre ;
- Mesurer la conductivité électrique des filtrats par le conductimètre.

Annexe 5 : Mode opératoire de l'humidité des sols :

- Introduire les échantillons dans les creusets en porcelaine.
- Peser les creusets, et noter le poids.
- Passer dans un four à 105 °C, pour 24h.
- A la sortie de l'étuve, laisser refroidir 1/4 d'heure le creuset dans un dessiccateur
- Peser l'ensemble
- Déterminer l'humidité (H) de l'échantillon de sol préparé pour l'analyse en pourcentage :

$$H (\%) = ((m_0 - m_1) / m_0) * 100$$

m₀ : est la masse (en g) de la prise d'essai

m₁ : est la masse de la prise d'essai après séchage

Annexe 6 : Mode opératoire de la calcimétrie :

- On prépare la solution saturée de NaCl
- tarer la balance puis peser 5 g de l'échantillon broyé
- On remplit au même niveau le niveau de la solution saturé en NaCl du tube gradué et de l'ampoule du calcimètre et on note la division correspond au V₁ sur le tube gradué
- On introduit 0.25g de carbonate pur dans l'erenmeyer.
- On remplit un petit tube avec de l'acide chlorhydrique(HCl) et on l'introduit dans l'erenmeyer avec une pince et avec précaution pour pas le verser.
- On bouche l'erenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué de calcimètre de Bernard.
- On renverse l'acide contenu dans le tube sur l'échantillon.
- On agite de temps en temps l'erenmeyer pour activer la réaction.
- A la fin de l'effervescence on note la division correspond au V₂ sur le tube gradué.
- Le volume de CO₂ dégagé est la différencedes volumes V₂-V₁.

Annexe 7 : Mode opératoire du dosage de la matière organique :

- On prend 6 creusets vides et on les numérote.

- On pèse ces creusets vides par une balance électronique de précision et on note leurs poids.
- Puis on ajoute de 10g d'échantillons de sol séchés à ces creusets vides et on note les poids finals.
- On met les creusets avec les échantillons dans un four à moufle à 375°C pendant 16h.
- Après les 16h écoulées on sort les creusets et on les met dans un dessiccateur.
- Enfin on pèse les creusets après leurs refroidissement et on note les nouvelles poids

Annexe 8 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (analyse et interprétation des résultats d'analyse des sols s.d.)

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Annexe 9 : Tableau de: Qualification d'un sol (norme internationale NF ISO 10693) (Douteau s.d.)

Taux de CaCO_3	Qualification du sol
$\text{CaCO}_3 \leq 5\%$	Sol non calcaire
$5 < \text{CaCO}_3 \leq 12,5\%$	Sol faiblement calcaire
$12,5 < \text{CaCO}_3 \leq 25\%$	Sol modérément calcaire
$25 < \text{CaCO}_3 \leq 50\%$	Sol fortement calcaire
$\text{CaCO}_3 > 50\%$	Sol très fortement calcaire

FIN.