

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المسيلة جامعة محمد بوضياف –
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 58/DSA/2022



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
SPECIALITE : SCIENCE DU SOL

**Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique**

Par : KODIFA Karim

Intitulé

**Cartographie des sols de la zone sud de Chott El
Hodna (Wilaya de M'Sila)**

Soutenu devant le jury composé de :

Melle MIMECHE F.	Pr.	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
M. CHERIEF Abdelkader	MAA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Rapporteur
M. AMROUNE Abdelouahab	MCA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

Dédicaces

A mes chers parents

*A tous mes frères et sœurs et tous les
membres de ma famille*

*Ce travail est aussi dédié à tous mes
amis et mes proches*

Remerciements

Avant tout je remercié Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Au terme de ce travail je tiens à remercier tout d'abord

M. MIMECHE Fateh Prof. Au département des sciences agronomiques d'avoir accepté de présider ce jury, je remercie également M. AMROUNE Abdelouahab, d'accepter d'examiner ce travail. J'exprime ma gratitude pour mon encadreur M. CHERIEF Abdelkader pour le son soutien, ses encouragements, son orientation et le soin avec lequel a donné pour achever ce travail.

J'exprime mes vifs remerciements à tous ceux

qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Listes des figures

Figure 1 : 1er stade, la décomposition de la roche mère	3
Figure 2 : 2eme stade, L'enrichissement en matières organiques.....	3
Figure 3 : Efflorescences salines à la bordure sud du chott Hodna- photo.....	13
Figure 4 : Évolution des sols alluviaux peu altérés et peu humifères	16
Figure 5 : Les sols alluviaux dans la classification Française	18
Figure 6 : Les alluviaux ont envahi une exploitation agricole à la commune de Houamed.....	19
Figure 7 : Exemple de résultat de classification non supervisé (Hasmadi, 2011).....	27
Figure 8 Carte de localisation géographique de la zone d'étude : grand maadher Extrait d'ARCGIS online basemaps.....	28
Figure 9 Carte Délimitation du périmètre du Grand Maadher (Source. INSID 2014)....	29
Figure 10 : Géologie de la région du Hodna, D'après Le Houerou et Claudin, 1972 ...	30
Figure 11 Carte topographique de la zone Sud-Ouest Hodna Extrait d'Arcgis	31
Figure 12 : Les courbes de niveau en grand Maadher : produites à partir de l'image satellite ALOS-POLSAR	32
Figure 13 Courbe de la température mensuelle pour la période (1995-2019)	34
Figure 14 Variations mensuelles des précipitations pour la période (1995 - 2019)	34
Figure 15 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gousen de la période (1995 -2019).....	35
Figure 16 Variations mensuelles de l'humidité relative en (%) SM Bou Saada (2011-2019)	36
Figure 17 : les limites des communes du périmètre de Grand Maadher.....	38
Figure 18 Carte pédologique du Hodna (Feuille FAO de Bou-saada)	44
Figure 19 : Exemple de digitalisation les polygones sur la carte de FAO 1974	46
Figure 20 : Un system de drainage installé par les agriculteurs	48
Figure 21 : Courbe d'évolution de l'activité agricole en Grand Maadher.....	49
Figure 22 : L'activité agricole au niveau de la périphérie du Sebka.....	50
Figure 23 : Carte d'évolution de l'occupation du sol au périmètre de grand Maadher Durant les 1995-2013-2021	51
Figure 24 : une carte pédologique représente les sols alluviaux en Grand Maadher ..	52
Figure 25 : Des apports alluviaux au périmètre agricole du Maiza Commune de Houamed (avril 2022)	53

Figure 26: Des apports alluviaux submergés une exploitation agricole	54
Figure 27: Carte pédologiques du sol dans le périmètre du grand Maadher	56
Figure 28: Carte de superposition des sols sur image de Google Earth.....	58
Figure 29: Carte des différents phénomènes pédologiques au périmètre de Grand Maadher (Extrait de la carte FAO 1974).....	60
Figure 30: Juxtaposition de l'activité agricole au périmètre de grand Maadher durant les années (1995-2013-2021)	65
Figure 31 : Classification CPCS 1967 du sol du périmètre	66

Table des matières

INTRODUCTION	1
I. PREMIERE PARTIE : LA CARTOGRAPHIE PEDOLOGIQUE	2
1. LA CARTOGRAPHIE PEDOLOGIQUE	4
1.1. DEFINITIONS	4
1.2. LA CARTOGRAPHIE DES SOLS.....	4
1.3. IMPORTANCE DES CARTES PEDOLOGIQUES :	5
1.4. QUELQUES BASES DE DONNEES DE SOLS.....	6
1.4.1. À l'échelle mondiale	6
1.4.2. À l'échelle régionale.....	7
2. LES SOLS DANS LES REGIONS ARIDES EN ALGERIE ET AU HODNA.....	7
2.1. LES SOLS SANS ACCUMULATION DE CALCAIRE NI DE GYPSE NI DE SELS SOLUBLE	8
a) Classe des sols peu évolués :	8
b) Classe des sols calcimagnésiques :	8
2.2. LES SOLS CALCAIRES.....	8
a) Classe des sols minéraux bruts :	9
b) Classe des sols peu évolués.....	9
c) Classe des sols calcimagnésiques.....	9
d) Classe des sols isohumiques.....	9
2.3. LES SOLS GYPSEUX.....	10
a) Les sols calcimagnésiques.....	10
b) Les sols hydromorphes.....	11
2.4. LES SOLS HALOMORPHES	11
a) Les sols moyennement salins	11
b) Les sols fortement salins.....	11
b) Les sols excessivement salins	12
d) L'accumulation des sels au Hodna.....	12
3. LES SOLS ALLUVIAUX	13
3.1. LES CARACTERISTIQUES DES FLUVISOLS	13
3.2. PROFILE DE REFERENCE	14
3.3. FORMATION ET EVOLUTION DES SOLS ALLUVIAUX	15
3.4. LA CLASSIFICATION DES SOLS ALLUVIAUX.....	16
3.4.1. La classification américaine (U.S.D.A, 1998).....	16
3.4.2. La classification Française (C.P.C.S, 1967)	17
3.4.3. Classification des sols de la FAO	18

3.5. LES SOLS ALLUVIAUX DANS LES ZONES ARIDES	18
4. L'INTRODUCTION DE SIG DANS LA PEDOLOGIE	19
4.1. CONSTRUCTION D'UNE CARTE DES SOLS.....	22
4.1.1. <i>La Géomatique, Introduction et Concept</i>	22
4.1.2. <i>La télédétection</i>	22
4.1.3. <i>Program Satellite Landsat</i>	23
4.2. ANALYSE SPATIALE HISTORIQUE	24
4.3. LES CLASSIFICATIONS D'IMAGES PIXEL A PIXEL	26
II. PARTIE EXPERIMENTALE	28
1. DESCRIPTION DE LA REGION D'ETUDE	28
1.1 CADRE GEOLOGIQUE.....	29
1.2 GEOMORPHOLOGIE	30
1.3 RELIEF	31
1.4. HYDROGEOLOGIE	32
2. LES DONNEES CLIMATIQUES DE LA REGION DU GRAND MAADHER	33
2.1 LES TEMPERATURES.....	33
2.2 LA PLUVIOMETRIE	34
2.3 LE DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE BAGNOULS ET GUAUSSEN	35
2.4 DONNEES CLIMATIQUES SECONDAIRES	35
2.4.1 <i>Humidité relative</i> :	35
2.4.2 <i>Les gelées</i>	36
2.4.3 <i>Les vents</i>	37
2.4.4 <i>L'évaporation</i>	37
3. PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE.	37
4. POLITIQUE DE LA MISE EN VALEUR DES TERRES AGRICOLES EN GRAND MAADHER	39
5. SITUATION JURIDIQUE	39
6. REALISATION DES CARTES.....	40
6.1 ÉTUDE SPATIOTEMPORELLE DES CHANGEMENTS DE COUVERTURE VEGETALE EN GRAND MAADHER :	40
6.2 LES MATERIELS UTILISES	40
6.2.1 <i>Logiciels et applications</i>	40
6.2.2 <i>Données utilisées</i>	40
6.3 METHODES UTILISES.....	41
6.3.1 <i>Carte d'occupation et de changement du sol</i>	41
6.3.2 <i>Production d'une carte pédologique à partir d'une carte de La FAO 1974 FAO</i>	42

6.4. GEO REFERENCEMENT :	45
6.5. LA DIGITALISATION	45
6.6. VECTORISATION.....	46
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	47
1 ÉVOLUTION DE L'ACTIVITE AGRICOLE EN GRAND MAADHER.....	47
2. CARTE D'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DU SOL AU PERIMETRE DE GRAND MAADHER	47
3. CARTE DES SOLS ALLUVIAUX.....	52
4. CARTE PEDOLOGIQUE DE PERIMETRE DE GRAND MAADHER.....	54
5. JUXTAPOSITION DES SOLS	57
6. CARTE A SYMBOLES PONCTUELS DES ENTITES PEDOLOGIQUES AU PERIMETRE DU GRAND MAADHER.....	59
CONCLUSION	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	62
ANNEXES	65

Introduction

Introduction

La possibilité offerte par la télédétection spatiale d'observer de façon continue la surface de la terre a permis de créer de grandes bases de données dont l'exploitation fournit des informations sur l'état des ressources naturelles, des écosystèmes locaux et de leur évolution. L'Algérie ne fait pas l'exception sur les changements subis ces terres agricoles dans ces dernières décennies, Bien que l'Algérie fait partie d'une région bioclimatique où la majorité du territoire est occupée par des zones arides (Bensaid, 2006) ce vaste territoire est composé essentiellement par des parcours, ont connus un changement de vocation vers l'agriculture,

L'évolution de l'agriculture en Algérie est dépendante des ressources en eau, notamment dans la région de Hodna qui fait partie de la région aride où l'agriculture dans ces conditions naturelles rudes nécessitent des moyens considérables (mobilisation des infrastructures hydrauliques et autres, soutien financier des agriculteurs, suivi de l'état des périmètres sur le terrain, ensemencement et aménagement de la steppe, etc.) (Bensaid, 2006).

La surexploitation des ressources naturelles particulièrement l'eau est le la terre tel que les méthodes inadaptées dans l'exploitation des terres agricoles menacent l'écosystème (Boultif 2018).

Et dans le but de maintenir un développement durable en conservant ces ressources naturelles de leur dégradation, une intervention et plus que nécessaire, la cartographie de l'évolution et l'occupation en utilisant la télédétection au service la surveillance des ressources naturelles et de l'évaluation de leurs vulnérabilité (Chalifoux et al. 2006). Une démarche nous facilite la tâche et nous offre un moyen praticable pour comprendre la dynamique d'évolution d'écosystème

L'objectif principal de notre travail est de cartographier les sols de la zone Sud du Hodna, en illustrant l'évolution de l'occupation du sol depuis 1995, d'une zone qui a subi des travaux importants de mise en valeur, témoignant d'une augmentation importante en activité agricole et en superficie.

Première partie :

La cartographie

pédologique

I. Première partie : La cartographie pédologique

La pédologie est la partie de la science du sol qui étudie la formation et l'évolution des sols. Sa finalité repose sur les faits suivants : quand une roche est mise à nu et subit l'action des agents atmosphériques, en un temps plus ou moins long elle se transforme profondément : elle s'effrite, sa structure s'effondre, ses constituants se décomposent et se modifient.

Des organismes vivants se développent dans les produits ameublés et apportent de la matière organique qui se mélange plus ou moins intimement aux minéraux de surface.

En drainant, les eaux de pluie entraînent des matériaux qui sont exportés loin ou déposés à certains niveaux, où ils s'accumulent. La roche de départ, relativement homogène d'aspect, se différencie progressivement en un milieu nouveau, constituant des couches superposées de natures variées. Il se forme ainsi un sol caractérisé par la succession de ces couches, appelées horizons. Même s'il est souvent transformé par l'homme, le sol est un objet naturel et dont l'étude doit être globale. (Les sciences : Grande encyclopédie alpha des sciences et des techniques N :102)

Grace à la pédologie le sol n'est plus considéré comme un milieu inerte reflétant uniquement la composition sous-jacente ; il prend naissance, évolue sous l'action des facteurs actives (climat, végétation) au dépend du matériel minéral : il passe donc par des phases successives de jeunesse, de maturité, atteint un état d'équilibre stable en relation avec la végétation naturelle puis peut se dégrader jusqu'à disparaître complètement.

Pendant ces différentes phases de son évolution le sol intègre l'ensemble des facteurs du milieu par l'altération de la roche mère (Figure1, 2), l'incorporation de la matière organique, se structure pour donner naissance à différentes couches bien individualisées en horizon dont l'ensemble constitue un profilé (Duchaufeur 1977). Cinq facteurs sont responsables aux formations des sols : le matériau ou la roche mère, la durée d'altération, le climat, la topographie, et l'ensemble des facteurs biologique (participant à la formation de la matière organique)

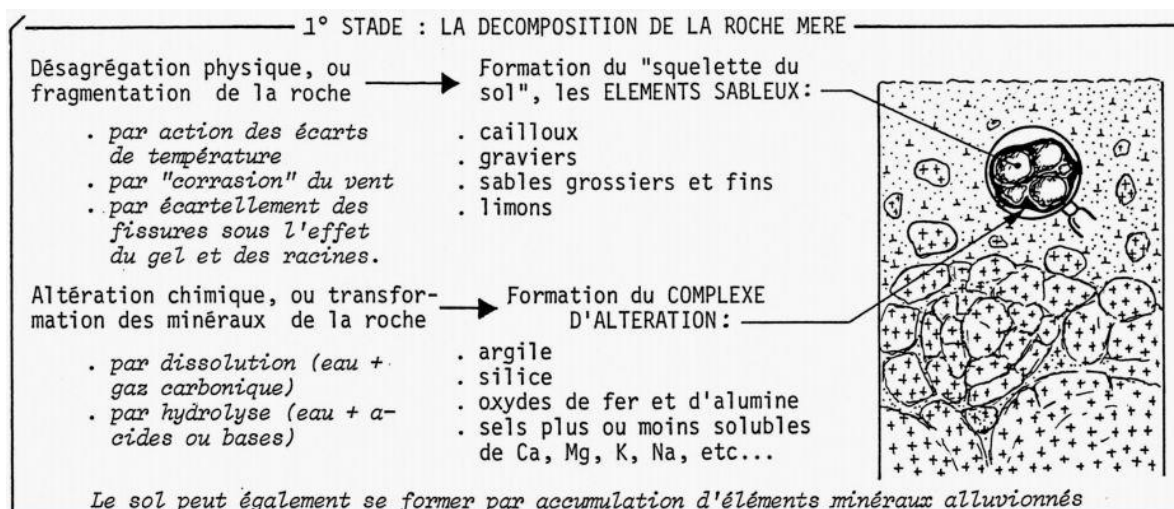


Figure 1 : 1er stade, la décomposition de la roche mère

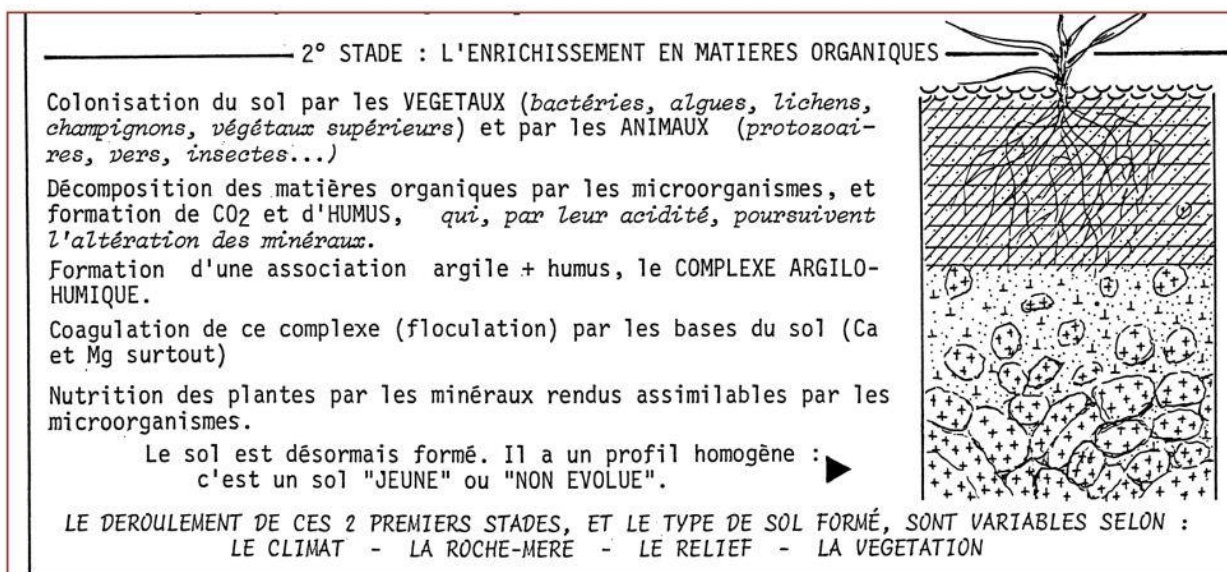


Figure 2: 2eme stade, L'enrichissement en matières organiques

1. La cartographie pédologique

1.1. Définitions

Legros (1996) définit la carte pédologique comme étant un document en deux dimensions, présenté sur du papier ou sur différents autres types de support, et fournissant une image simplifiée de l'organisation spatiale dans le milieu naturel.

Une carte de sol est un modèle simplifié de l'organisation de la couverture pédologique indiquant la répartition spatiale de différents sols de référence dont la description est fournie dans une notice explicative (Girard 1995).

La carte pédologique constitue une base de données des sols (Faure, 1989). Elle fournit en même temps des informations graphiques comme les limites des plages et des informations sémantiques représentées par des chiffres et qualificatifs (Girard et al. 1989). Ses objectifs et applications sont aussi nombreux que variés et dépendent de la précision avec laquelle elle est réalisée. Ceux-ci peuvent être la connaissance du milieu naturel, la recherche scientifique, les aménagements agricoles et la protection des sols (Legros, 1996)

Les cartes pédologiques permettent de pérenniser l'information recueillie à un moment de la connaissance, en vue d'en garder un support graphique et de pouvoir assurer la transmission.

Les techniques d'observation, d'analyse et de cartographie ont évolué au cours du temps, les concepts également, mais le principe est resté le même : comment réussir au mieux à projeter cet objet complexe à trois dimensions (le sol) sur un support n'en possédant que deux (la carte) (Gaddas 2002)

1.2. La cartographie des sols

La cartographie des sols a pour objet la délimitation des zones homogènes, et de donner la répartition des sols sur un plan est ceci d'une façon simple et précise. Le cartographe délimite des unités des sols supposées être homogènes en tout point ou des zones qui présentent des variations non significatives autour d'un type moyen de sol ou unité élémentaire du sol, ceci, n'est pas une chose aisée ; en effet le pédologue

doit faire souvent des efforts d'abstraction énormes pour déterminer l'unité élémentaire du sol car deux sols ne se ressemblent jamais en toutes leurs caractéristiques.

La délimitation des zones nécessite de faire des tranches ou des fosses, de les décrire, puis de prélever des échantillons pour analyses et examens complémentaires. Ces points d'observation et de prélèvement doivent être judicieusement localisés en fonction d'une analyse préalable du paysage mais aussi en tenant compte des informations acquises progressivement.

On accède ainsi à une reconnaissance ponctuelle de la nature d'une couverture pédologique en un point de coordonnées géographiques x, y, z , au moment (t) en tenant compte de problème de la représentativité de cette observation ponctuelle par rapport au territoire étudié. (Baize et Jabiol, 1998)

Une carte pédologique est un document en deux dimensions présentées sur du papier ou sur différents autres types de supports (numérique), selon Bonneau et Souchier (1979), une carte pédologique est la manière la plus simple permettant de préciser la distribution relative des unités des sols.

1.3. Importance des cartes pédologiques :

On peut résumer l'importance des cartes pédologiques dans les points suivants :

- Elles donnent une idée sur la connaissance du milieu naturel (inventorier les sols et préciser leur distribution dans l'espace).
- C'est une excellente moyenne pour étudier la pédogenèse, c'est-à-dire, de relier la couverture pédologique à l'environnement naturel : morphologie, climat végétation et temps.
- Elles Permettent aux agronomes et aux écologistes de régionaliser les problèmes agronomiques et environnementaux en tenant compte de la nature des sols.
- Elles sont souvent demandées par les décideurs comme préalable aux différents types d'aménagement agricole (par exemple : drainage, irrigation, choix de périmètre agricole ... etc.).
- Elles aident à la protection des sols (lutte contre l'érosion, désalinisation, lutte contre les pollutions chimiques).

1.4. Quelques bases de données de sols

La communauté scientifique admette, que les bases de données pédologiques existants dans le monde, ne sont ni suffisamment exhaustives, ni suffisamment précises pour l'élaboration de cartes pédologiques à grandes échelles utilisables par les différents acteurs du développement (agronomes, forestiers, génie civil,). Néanmoins, il nous paraît pertinent de présenter deux bases de données des sols, la première est mondiale (FAO-UNESCO) et la seconde est régionale celle de la France.

1.4.1. À l'échelle mondiale

Seulement trois cartes des sols à petite échelle existent couvrant les cinq

Continents :

- Les russes sont les premiers qui ont dressé la carte pédologique du monde en 1908 par GLINKA disciple de DOKOUTCHAEV, corrigée puis éditée en 1929 par un autre disciple du maître (Legros, 1996).
- S'ensuit, la carte au 1/10million élaborée par KOVDA et ces collaborateurs dans les années 1960.
- Enfin, la carte des sols de la FAO-UNESCO au 1/5 million. En 1960, à l'issu de son septième congrès tenu à Madison aux USA, l'ISSS (International Society of Soil Science) a recommandé, que des cartes des sols doivent être publiées à l'échelle continentale.

En 1961, la FAO et l'UNESCO ont lancé leur projet pour une couverture cartographique mondiale des sols. Le projet a duré 20 ans et a abouti à une carte au 1/5 million.

Cependant, il est de l'unanimité des pédologues de reconnaître que la carte des sols de la FAO-UNESCO est la source la plus appropriée pour les études à l'échelle continentale.

La carte de la FAO-UNESCO subdivise les continents en régions pédologiques, elles correspondent grossièrement aux grandes régions écologiques, mais les limites ne coïncident pas nécessairement avec celles des grandes zones de végétation, de climat, de physiographie, de lithologie, car ces unités cartographiques font la synthèse de tous les facteurs précédents (FAO-UNESCO, 1976).

Suivant la carte des sols FAO-UNESCO (Volume VI Afrique, 1976), la Région côtière nord-africaine dont la description est la suivante : la présence de calcaire, la saison sèche estivale et le relief marqué entraînent la dominance des Cambisols calciques, chromiques, des Luvisols chromiques, des Kastanozems calciques et de quelques Rendzines sous végétation de maquis. Dans les régions hautes plus arrosées et sous forêt, donc plus lessivées, apparaissent les Luvisols orthiques et même Albiques. Dans les zones basses on trouve les fluvisols calcaires, les Vertisols et quelques sols salés (FAO-UNESCO, 1976 ; page 68)

1.4.2. À l'échelle régionale

En France, les fiches STIPA (Système de Transfert de l'Information Pédologique et Agronomique) ont été mises au point par BERTRAND *et al.* en 1979, dans le but de recueillir l'information sur les profils pédologiques, répondant à un certain nombre de critères et de normes standardisées (normes AFNOR au niveau français - Association française de normalisation). Depuis sa création, le logiciel STIPA a servi à décrire 20 000 profils et il a été employé en Algérie dans les travaux de Djili (2000). Des défauts de conception du vocabulaire étaient apparus, ils ont été pris en considération dans le nouveau logiciel STIPA 2000 pour alimenter la base de données des sols en France DONESOL (Falipou *et al.* 2002) DONESOL est une structure de base relationnelle de données sols spatialisés, ne concerne donc plus uniquement les profils mais surtout les unités cartographiques des sols. Il a été conçu non seulement pour stocker les descriptions et analyses de sols mais aussi pour gérer toute l'information non graphique liée aux cartes : références de la carte, données environnementales, correspondance entre profils et unités cartographiques, caractérisation du contenu des plages cartographiques, qui peuvent ou non, suivant l'échelle, représenter plusieurs types de sols (Falipou *et al.*, 2002). En France, la base de données DONESOL recèle (jusqu'au 1er juillet 2013) pas moins de 140 000 profils géoréférencés.

2. Les sols dans les régions arides en Algérie et au Hodna

Les principaux types de sols dans les zones arides de l'Algérie sont selon (Halitim, 1988).

- Les sols sans accumulation des sels (au sens large du terme sels)
- Les sols calcaires ;

- Les sols gypseux ;
- Les sols salés.

2.1. Les sols sans accumulation de calcaire ni de gypse ni de sels soluble

a) Classe des sols peu évolués :

- Sous classe des sols peu évolués non climatiques
- Groupe des sols d'apport
- Sous- groupe des sols éoliens

Ils occupent en partie certaines Dhayas ; de texture moyenne (la teneur en calcaire est inférieure à 2%) ou de texture plus grossière (la teneur en calcaire est inférieure à 0.5%). Ces sols couvrent moins de 1% de la surface cartographiée de la zone aride d'Algérie.

b) Classe des sols calcimagnésiques :

- Sous classe des sols saturés
- Groupe des sols bruns calciques

Ces sols sont formés en altitudes. La roche mère est du Grés ou une roche calcaire dure que l'on observe à des profondeurs variables (10-60cm). La teneur en calcaire total est inférieure à 1% dans l'horizon de surface mais peut augmenter au contact de la roche-mère. Ces sols sont très peu représentés (0.5% environs). (Yahi, 2012)

2.2. Les sols calcaires

Le calcaire est présent dans les sols du Hodna de façon considérable. Il prend des différentes formes, qui sont comme suit :

- Croûte calcaire : se situe au piedmont des montagnes, géomorphologique mis sur le glaciaire anciens (Moloyen).
- Encroûtement calcaire : présente un taux de calcaire d'environ 50 à 80 % ; concernant les glaciaires anciens du Saletlen.
- Amas et nodules calcaires : ils caractérisent surtout les glaciaires moyens. Le taux de calcaire est de 10 à 60%.

Calcaire diffus : il est caractéristique des glacis récents. La teneur en calcaire est environ 30%.

a) Classe des sols minéraux bruts :

- Sous classe des sols minéraux bruts non climatique-groupe d'érosion

Ces lithosols et régosols se situent pour la plupart aux pieds des montagnes et sur certaines collines. On observe les roches mère dures (calcaire, grès) ou des roches tendres (marnes). L'horizon A est très mince et surtout minéral et non structuré.

b) Classe des sols peu évolués

- Sous classe des sols peu évolués non xériques
- Groupe des sols grès subdésertiques

Ils sont formés sur du sable éolien calcaire et ne présentent que très peu de différenciation verticale. Ils ont une conductivité électrique inférieure à 7 mmhos/cm.

- Sous classe des sols peu évolués non climatiques- groupe des sols d'apport alluvial.

Ces sols se localisent sur des apports récents fluviatiles calcaires de texture très variable. La teneur de calcaire varie (de 5 à 35 %) avec l'origine de matériau alluvial.

c) Classe des sols calcimagnésiques

- Sous classe des sols carbonatés
- Groupe des sols bruns calcaires xériques à croûte calcaire.

Ils sont observés sur les deux Atlas et en plaine sur grès calcaire ou sur des matériaux marno-calcaire. La teneur et la distribution de calcaire est très variables.

- Sous classe des sols carbonatés
- Groupe des sols brun calcaires xériques à croûte calcaire

Ces sols occupent le vaste glacis polygénique encroûté de quaternaire ancien et moyen et une partie de quaternaire moyen. L'horizon A est peu épais (5 à 40cm). La croûte calcaire peut être salée et présenter une pellicule rubanée.

d) Classe des sols isohumiques

- Sous classe des sols à pédoclimat frais pendant la saison pluvieuse

Le profil calcaire est différencié et l'individualisation du calcaire est très variable : diffuse pseudomyslieum, amas, nodules dans la partie moyen de profil. Dans ces sols on peut observer un encroûtement gypseux et une salinisation en profondeur due à une nappe. La roche mère peut être localement marneuse, plus ou moins salé, c'est le cas dans la zone du Bougazoul. (Yahi 2012)

2.3. Les sols gypseux

Le gypse se rencontre dans beaucoup de sols à très grande variable,

On distingue dans les sols à accumulation de gypse :

- Croûte et encroûtement gypseux : se situent sur petites tâches sur des glacis polygénique de Quaternaire moyen à proximité de marne gypseuse. La teneur en gypse est de 96% en surface et diminue jusqu'à 14% en profondeur.
- Accumulation de gypse en nappe : se rencontre principalement dans les zones où la nappe d'eau est peu profonde en bordure du chott. Les teneurs en gypse varient de 11% en profondeur à 25.4% dans l'horizon gypsique.
- Sable gypseux : ce sont des dunes fixées autour de la sebkha, constituées entièrement de sable gypseux de 25 à 30% de gypse et sans horizon à accumulation secondaire, concentré dans la région du R'Mel.

Galerie, amas et cristaux de gypse : on trouve dans la partie moyenne ou basse du sol au-dessous d'un horizon d'accumulation de calcaire ou au-dessous d'un horizon argileux. La teneur en gypse est normalement supérieure.

a) Les sols calcimagnésiques

Les sols brun gypseux : Ces sols ne présentent pas d'horizon d'accumulation calcaire exprimée par des nodules. La teneur de gypse est très élevée (60 à 90%) et diminue avec la profondeur. Il existe des accumulations de gypse sous forme des croûtes, d'encroûtements, d'amas plus au moins calcaire. Ces types de sols sont relativement profonds (jusqu'à 20cm) et peuvent se développer sur du sable éolien gypseux, des dunes du Nabkha et des marnes gypseuses. Ils sont très fréquemment observés autour des sebkhas.

b) Les sols hydromorphes

- Sous classe des sols minéraux ou peu humifères
- Groupe à redistribution de calcaire ou de gypse

Ces sols présentent des caractères de l'hydromorphie (taches rouille et grisâtres) et ont été observés en bordure des chotts. La nappe superficielle est peu profonde et peu salée. On remarque souvent un horizon d'accumulation de gypse et parfois un encroûtement de calcaire au niveau de la zone du rabattement de la nappe superficielle. (Yahi, 2012)

2.4. Les sols halomorphes

Ce sont des sols caractérisés par des teneurs élevées en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profil ou par la dégradation de la structure de l'un ou de tous horizons sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels en particulier, le sodium (Aubert, 1976).

La classification de ces sols est basée sur le niveau de la salinité et la présence de l'encroûtement gypseux.

a) Les sols moyennement salins

Ces sols se développent sur les alluvions de texture variable présentant quelque fois des stratifications des caractères vertiques. La conductivité électrique est inférieure à 20 mmhos/cm en surface avec un profil salin descendant (Servant, 1975 in Halitim, 1988). Le gypse se rencontre sous forme d'amas ou pseudomyceliums, par contre le calcaire est diffus.

b) Les sols fortement salins

Ils sont localisés dans les chotts. Sont développés sur les alluvions et sur des marnes salées. La conductivité électrique atteint 60 mmhos/cm en surface et se manifeste par des pseudomyceliums et des amas gypso-salins. La salure est de type chloruré à sulfato-chloruré.

b) Les sols excessivement salins

Ces types de sols occupent les Sebkhass et présentent un profil salin non différencié en hiver. En été, on peut observer de fortes efflorescences salines pouvant aller jusqu'à des croûtes en surface. La conductivité électrique est supérieure à 60mmhos/cm avec une salure de type chloruré.

d) L'accumulation des sels au Hodna

L'accumulation des sels solubles dans les sols est un phénomène caractéristique et généralisé dans le bassin du Hodna (figure 3). Les sols sont affectés à différents degrés de salure :

- Origine lithologique : l'altération de la roche contenant des minéraux sodiques, potassique, magnésique, donne des sels souvent solubles tels que le gypse marneux.
- En rapport avec les eaux de la nappe phréatique : l'arrivée à surface des eaux de la nappe peuvent donner naissance à des terrains très salés.
- En rapport avec les eaux d'irrigation : Les sels dissous dans la nappe phréatique peuvent rendre les sols salés.

Origine éolienne : le vent peut causer l'apparition de phénomène de salure ; en y déposant les éléments pseudo sable sale et les cristaux de sel qui y sont mêlés et forment la surface des sols très alcali en particulier à la bordure de sebkha.



Figure 3: Efflorescences salines à la bordure sud du chott Hodna- photo

3. Les sols alluviaux

Un sol alluvial est un sol constitué généralement de dépôts alluviaux relativement récents. C'est un sol azonal de type (A) C ou AC, formé sur matériaux marins, fluviatiles ou lacustres, à horizon (A) faiblement développé ou parfois absent (Djili, 2004).

Les alluvions sont des formations déplacées et redéposées par l'eau dont le transport peut s'effectuer pour des distances très importantes. Pour cela, la composition des matériaux alluvionnaires est souvent très indépendante des matériaux du paysage en aval (Lozet et Mathieu, 2000). Il s'agit de matériau fin (argiles, limons et sables) reposant sur un matériau grossier (la grève alluviale) dans lequel circule une nappe phréatique (Cretien et Baize, 1992).

3.1. Les caractéristiques des fluvisols

Selon Cretien et Baize (1992), les sols alluviaux fluviatiles (ou fluvisols) se caractérisent par rapport aux autres sols non ou peu évolués par :

- Ils se situent souvent dans les endroits bas dans les paysages, celle des vallées, où ils constituent les lits mineurs et majeurs des rivières à l'exclusion des zones de terrasses (hors vallées).

- Une progression de la texture du sol le long de la rivière et sur ses côtés, suivant un tri qui s'effectue en fonction de la vitesse de l'eau dans la rivière et de la taille des particules transportées. Pour cela, les grosses particules se déposent généralement en amont, alors que les plus fines en aval de la rivière, où la vitesse de l'eau diminue.

Les alluvions peuvent être transportées sur de longues distances, ce qui influe sur la qualité minéralogique des sols déposés en aval. En général, ce sont des sols humides de type (A)C ou AC avec un horizon (A) faiblement développé (Djili, 2004).

Ils sont souvent rajeunis par les dépôts de matériaux neufs, en période d'inondation (Duchaufour, 2001).

- Ils sont développés dans des matériaux récents, mis en place par transport puis sédimentation en milieu aqueux et qui peuvent être relativement homogènes ou présentant une grande hétérogénéité minéralogique et granulométrique qui reflète la diversité des matériaux géologiques et pédologiques situés en amont du bassin versant (Aouam, 2007).
- Les fluvisols sont caractérisés par la présence d'une nappe phréatique permanente ou temporaire à fortes oscillations et ils sont inondables en période de crue (Duchaufour, 2001).
- Leur évolution pédologique est nulle ou faible et peut se traduire par de faibles altérations et redistributions de fer, de CaCO₃, de sels etc. (Duchaufour, 2001).

3.2. Profile de Référence

Il s'agit d'un sol gris alluvial dont l'humus est un mull, d'épaisseur très variable et avec un horizon minéral peu altéré (peu coloré, gris ou beige, en raison de la faible quantité de fer libre) (Duchaufour, 2001). Le sol peut être calcaire ou non, avec une texture souvent hétérogène le long de la rivière et en profondeur, et la structure n'est pas affirmée. La granulométrie du sol est variable suivant la vitesse de l'eau et peut être sableuse, limoneuse, mais rarement argilo-limoneuse. Ces sols ne disposent pas d'horizons de référence spécifiques mais on peut trouver :

- Des horizons A typiques ou atypiques (horizons Js).

- Horizons S assez typiques (fluvisols brunifiés) ou atypiques (horizons Js).
- Horizons H peu épais (moins de 40cm).
- Horizons G, g ou –g (à plus de 50cm).
- Des couches M et souvent des couches D (grève alluviale) qui constitue une discontinuité physique et mécanique dans le solum (Duchaufour, 2001).

3.3. Formation et évolution des sols alluviaux

Les sols dans les rivières sont affectés par le niveau d'eau en écoulement, la perméabilité et la position par rapport au lit, ainsi que la vitesse d'écoulement. Les fleuves et rivières ayant un débit très irrégulier et venant des zones plus humides, débordent et constituent dans les plaines basses des dépôts alluviaux souvent épais et d'un degré de fertilité élevé (Lavoie et al, 2006).

Les alluvions déposées sur les côtés des rivières diffèrent dans leurs taille et texture en fonction de la vitesse de l'eau et la position par rapport à l'écoulement principal. La qualité des alluvions (Figure 4) dépend de la qualité des roches du bassin versant ainsi que celle des sols parcourus par la rivière (Lavoie et al, 2006). On évalue que les apports annuels lors des crues sont de l'ordre de 0.5 à 3.5 cm par an en moyenne, ce qui provoque au cours des années un rehaussement du niveau des terrasses (Lavoie et al, 2006). Au niveau de la plaine d'inondation, les sédiments sont des dépôts par excès de charge et reflètent l'influence importante des conditions locales. Les sols alluviaux peu évolués présentent en fonction du milieu des faciès acides ou neutres à modérément alcalins (Duchaufour, 1977).

Les dépôts alluviaux sont souvent épais, dotés d'un potentiel élevé de fertilité et classés en fonction de leur texture et leur perméabilité (Aubert, 1960).

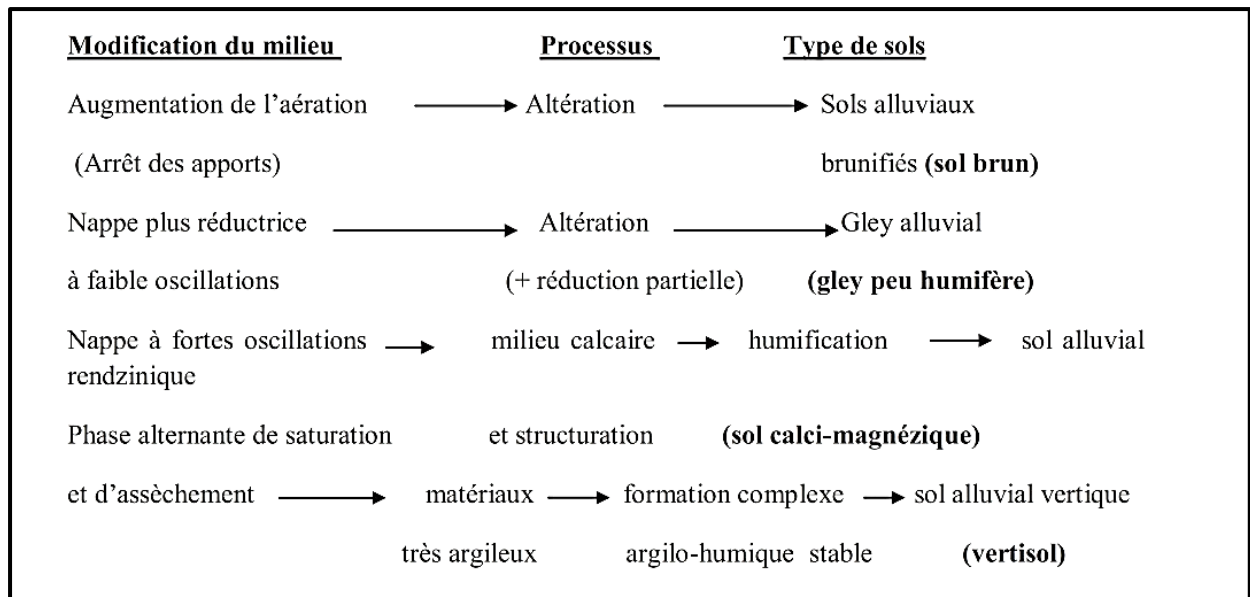


Figure 4: Évolution des sols alluviaux peu altérés et peu humifères
(Duchauffeur, 1977)

3.4. La classification des sols alluviaux

3.4.1. La classification américaine (U.S.D.A, 1998)

Cette classification est basée sur les propriétés pédogénétiques des sols, caractéristiques morphologiques, chimiques, minérales et naturelles, qui sont connus sous le nom d'horizons diagnostiques :

Ordre : Entisols.

Sous ordre : Fluvents.

Grands groupes :

- Torrifuvents (chaud et sec).
- Tropofluvents (chaud et humide).
- Udifluvents (humide). - Ustifluvents (semi-aride).
- Xerofluvents (climat méditerranéen).

En zones arides d'Algérie, les sols alluviaux sont rattachés aux groupes des Torrifuvents et Ustifluvents (Halitim, 1988 In Djili, 2004).

3.4.2. La classification Française (C.P.C.S, 1967)

Pour l'ancienne classification Française 1967 (Figure 5), les sols alluviaux sont classés comme suit :

- Classe : sols peu évolués.
- Sous classe : sols peu évolués d'apport.
- Groupe : sols alluviaux.
- Sous-groupes :
- Sols alluviaux à faible évolution hydromorphe :
 - Sols alluviaux peu humifères : sol alluvial gris et sol alluvial brunifié.
 - Sols alluviaux humifères : sol alluvial Rendzinique et sol alluvial chernozémique.

- Sols alluviaux hydromorphes
 - Sols alluviaux peu humifères, à Gley.
 - Sols alluviaux tourbeux ou à anmoor.

D'après Pouget in Djili (2004), dans les zones arides et semi arides de l'Algérie, on trouve les sols suivants :

- ❖ Les sols peu évolués d'apport alluvial modaux.
- ❖ Les sols peu évolués vertiques.
- ❖ Les sols peu évolués halomorphes

En effet, l'activité de sédimentation des cours d'eau a pour effet de rajeunir les sols et la végétation (Farine et Gerber, 2007). Selon DUCHAUFOR (1977), l'évolution pédogénétique des sols alluviaux qui est illustrée dans la figure suivante, reflète les principales tendances évolutives des sols alluviaux peu altérés et peu humifères

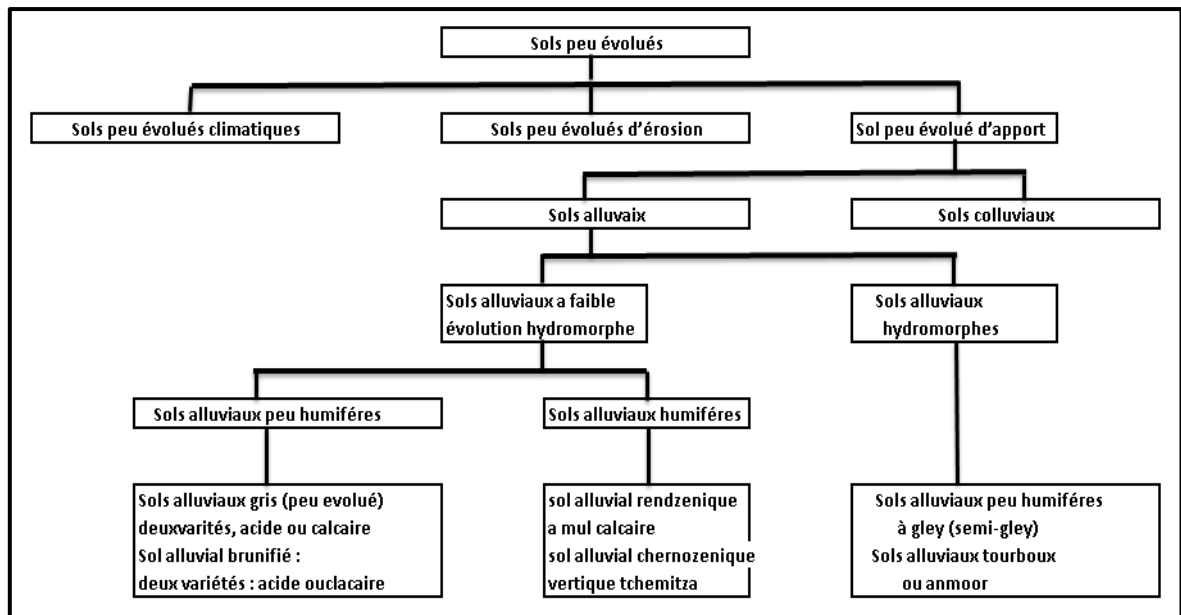


Figure 5: Les sols alluviaux dans la classification Française
(CPCS, 1967)

3.4.3. Classification des sols de la FAO

Elle est basée sur les horizons diagnostiques génétiques, et classe les sols alluviaux comme des sols peu évolués en fluvisols et parfois Vertisols (F.A.O., 1998).

3.5. Les sols alluviaux dans les zones arides

En zones arides, les sols alluviaux se trouvent dans les lits des oueds et dans les zones d'épandage. En zones arides Algériennes, les sols alluviaux se localisent dans les lits d'oueds et dans les plaines inondables par les crues (Figure 6).



Figure 6: Les alluviaux ont envahi une exploitation agricole à la commune de Houamed

(Photo prise le 24/03/2022)

4. L'introduction de SIG dans la pédologie

Le développement des Systèmes d'information géographique (SIG) a débuté vers 1980, en relation directe avec les performances de l'informatique connus durant ces dernières décennies.

Un SIG est une base de données numérisées dans laquelle sont stockées des informations variées mais ayant un dénominateur commun : elles sont toutes repérées par leur position géographique à la surface de la Terre. On dit, de ce fait, qu'elles sont géocodées ou géoréférencées ; d'où l'expression aussi employée de Système d'information géocodée.

Un SIG peut stocker des informations sur des objets de nature très diverse, par exemple : topographique, climatique, pédologique, agronomique, ou socio-économique.

Connaissant les relations spatiales existant entre ces objets, il est possible de croiser et de traiter ces données. Aussi l'utilisation d'un SIG correspond à une activité pluridisciplinaire.

Des données sur les sols ont été stockées depuis le début des années soixante-dix dans des bases informatisées par les services des sols de plusieurs pays (Tableau 1).

La fameuse société américaine ESRI (1984) a amorcé cette ère en pédologie avec la numérisation, sous format vecteur, de la carte de la FAO-UNESCO. En 1993, et dans le cadre du projet WISE (World Inventory of Soil Emissions), la FAO en coopération avec ISRIC (International Soil Reference and Information Centre) ont élaboré une carte numérique en mode raster avec une résolution de 30'×30' soit approximativement 55 km × 55 km à l'équateur. Cette base de données recèle jusqu'à 10 unités de sols dans chaque pixel avec leur distribution spatiale ainsi que leur pourcentage (Nachtergaele, 2000).

En 1996, la FAO a produit sa propre version raster de la carte des sols du monde, elle est arrivée à une résolution de 5' × 5' soit 9 km × 9 km à l'équateur, avec une base de données complète sur les unités de sol, la texture de la surface des sols, classe des pentes, pH, Carbone organique, C/N, Capacité de stockage hydrique, profondeur, ... (Nachtergaele, 2000).

Toujours avec l'initiative de l'ISSS en 1984 le projet SOTER (The Soil and Terrain Digital Database) a vu le jour, il a pour objectifs :

- L'accessibilité des données pédologiques à tous les niveaux (chercheurs et décideurs) ;
- Les données pédologiques disponibles doivent être compréhensibles.

Table 1 Résumé des bases de données numériques des sols du monde
(GRUNWALD et al. 2011) *M = million

Produit	Date de publication	Actualités des données	Échelle	Variabiles	Modèle des données
Carte mondiale des ressources en sols	Mai 1990 (Version 1)	1981 +mises à jour	1/25M*	Vecteur	Classe de sol (suivant la légende FAO de la carte des sols révisée en 1988)
Base de référence mondiale (WRB) : Carte mondiale des ressources en sols	Jan. 2003	Jan. 2003	1/25M	Vecteur	Classes des sols (suivant WRB)
Carte numérique des sols du monde	Fév. 2007 (Version 3.6)		1/5M	Vecteur	Classes des sols (suivant WRB)
Base de données mondiale des propriétés dérivées du sol	Déc. 2005 (Version 3.0)		1/5M	Raster (Résolution 0,5°)	propriétés de sols à 0-30cm puis 30-100cm de profondeur
Base de données des propriétés dérivées des sols	Juin 2006 (Version 1.1)		1/5M	Raster (résolution 5 arc-min)	19 propriétés de sols à 20cm d'intervalle jusqu'à 100cm de profondeur
Base de données mondiale harmonisées des sols	Mars 2009 (Version 1.1)	1981 +mises à jour	1/5M	Raster (résolution 30 arc-sec)	Classe de sols harmonisés et 13 propriétés de sols

4.1. Construction d'une carte des sols

4.1.1. La Géomatique, Introduction et Concept

Le mot géomatique vient de « Géo » qui signifie « Terre », et "matique" vient de « informatique », qui signifie le traitement automatique de l'information géographique.

La géomatique dérive donc de la géographie qui a de tout temps, visé à expliquer les traces que l'homme laisse sur la planète : frontières, aménagements, modifications des espaces naturels etc. et à tracer les différentes caractéristiques des écosystèmes (sol, végétation, eau... etc.).

La géographie a créé des systèmes de repérages qui permettent d'identifier les points sur la terre et les relations entre ces points.

Au sens lexical, la géomatique signifie « application de l'informatique à la géographie (par exemple sous la forme de SIG) » ou encore, « La géomatique est un champ d'activités qui intègre, selon une approche systémique, l'ensemble des moyens d'acquisition et de gestion des données à référence spatiale requis pour effectuer les opérations scientifiques, administratives, légales et techniques dans le cadre du processus de production et de gestion de l'information sur le territoire. D'une manière générale et générique on peut dire que la géomatique se résume à l'acquisition, la production, la gestion et la diffusion d'informations géoréférencées. Elle couvre un ensemble de techniques telles que les levés cadastraux, la géodésie, la cartographie topographique et thématique, l'hydrographie, la télédétection, le traitement d'images et les systèmes d'information géographique (SIG). » (Paegelow, 2014)

4.1.2. La télédétection

C'est depuis le lancement du premier satellite civil en 1972 du programme spatial américain ERTS (*Earth Resource Technology Satellite*) baptisé LANDSAT par la suite, que l'utilisation des données satellitaires connaît une forte croissance dans des domaines d'intervention toujours plus vastes et diversifiés (Géologie, Agronomie, Foresterie, Cartographie, Aménagement, ...). Par la suite, il y a eu ERS (Européen et canadien), SPOT (Français), IRS (Indien),... dans le domaine de la télédétection passive qui capte l'énergie réfléchi par une cible du rayonnement solaire, ou alors émise par une cible de l'énergie thermique.

La télédétection peut également impliquer l'énergie émise et utiliser des capteurs non-imageurs qualifié de télédétection active. Dans le domaine de la télédétection active, les satellites RADAR (abréviation de *Radio Detection And Ranging*) ont été utilisés la première fois dans la mission SEASAT en 1978, SIR-A (1981), SIR-B (1984), ALMAZ (1987). Avec le lancement d'ERS-1 en 1991 marque une nouvelle ère de l'imagerie RADAR, il a été suivi par ERS-2, JERS (Japon), RADARSAT (Canada),...

La définition que l'on peut donner à la télédétection est la technique qui, par l'acquisition d'images, permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information, pour ensuite mettre en application cette information (PORNON, 2010)

Cependant, les données de télédétection peuvent être utilisées de différentes façons (BEN-DOR et al., 2009 ; MULDER et al., 2011)

- Elle peut aider à fractionner le paysage en plusieurs sous-ensembles plus ou moins homogènes (pédopaysage), dans lesquelles on peut évaluer la composition des sols par échantillonnage.
- Les données de télédétection peuvent être analysées sur des bases physiques ou empiriques (Combinaisons de bandes larges = indices de végétation NDVI) pour en déduire les propriétés des sols. (Principes de base de la télédétection)
- Les données de télédétection peuvent procurer des informations pertinentes pour la cartographie numérique des sols.
- La télédétection est pratique pour cartographier les sols des zones difficilement accessibles.

4.1.3. Program Satellite Landsat

Le programme Landsat est un des plus anciens programmes d'observation par satellite de la surface terrestre. Les états unis a lancé 8 satellites de type Landsat (tableau 2), actuellement juste Landsat 8 est opérationnelle, et dans le début de cette année le Landsat 9 a été mise en service le 6 janvier 2022.

Parmi les facteurs qui ont contribué au succès de Landsat, il faut mentionner une combinaison de capteurs avec des domaines spectraux façonnés pour l'observation de

la Terre (Tableau 2), une résolution spatiale fonctionnelle et une bonne couverture du globe (fauchée et répétitivité). La longévité du programme a permis d'accumuler des archives de données volumineuses sur les ressources terrestres, ce qui facilite la surveillance à long terme ainsi que le maintien des données historiques et de la recherche.

4.2. Analyse spatiale historique

L'analyse spatiale est l'un des aspects les plus intrigants et remarquables du SIG. Grâce à l'analyse spatiale, vous pouvez combiner les informations de nombreuses sources indépendantes et générer un jeu d'informations (résultats) totalement nouveau, en appliquant un ensemble d'opérateurs spatiaux élaboré. Cet ensemble complet d'outils d'analyse spatiale vous aide à trouver des réponses à des questions complexes dans ce domaine. L'analyse statistique permet de déterminer si les phénomènes ou tendances que vous observez sont significatifs. Vous pouvez analyser diverses couches afin d'évaluer l'adéquation d'un endroit pour une activité particulière. Grâce à l'analyse d'images, vous pouvez détecter les changements au fil du temps. Ces outils et de nombreux autres, qui font partie du programme SIG (ARCGIS, QGIS ...), vous permettent de répondre aux questions cruciales et de prendre des décisions importantes qui vont au-delà d'une simple analyse visuelle.

Table 1 : Les caractéristiques spectrales et spatiales du capteur ETM+

(Source : <http://landsat.usgs.gov>)

Satellite	Capture	Résolution	Bandes spectrales	Longueur d'ondes
Landsat 5	Thematic Mapper (TM)	Générale 30m	Bande 1 (Bleu)	0,45- 0,52µm
			Bande 2 (Vert)	0,52- 0,60 µm
			Bande 3 (Rouge)	0,63- 0,69 µm
			Bande 4 (Infra rouge)	0,76- 0,90 µm
			Bande 5 (Moyen infrarouge 1)	1.55-1.75 µm
			Bande 6 (Infrarouge thermique)	10.42-12.50 µm
Landsat 7	ETM+ (The Enhanced Thematic Mapper)	Générale 30 m	Bande 1 (Bleu)	0,45- 0,515 µm
			Bande 2 (Vert)	0,52- 0,605 µm
			Bande 3 (Rouge)	0,63- 0,69 µm
			Bande 4 (Infra rouge)	0,76- 0,90 µm
			Bande 5 (Moyen infrarouge 1)	1,55- 1,75 µm
			Bande 6 (Infrarouge thermique)	10,42-12,50 µm
			Bande 7 (Moyen Infrarouge 2)	2,09- 2,35 µm
			Bande 8 (Panchromatique)	0,50- 0,90 µm
Landsat 8	OLI (Operational land manager)	Générale : 30m	Bande 1 (Aérosol)	0.435-0.451 µm
			Bande 2 (Bleu)	0.452- 0.512 µm
			Bande 3 (Vert)	0.533- 0.590 µm
			Bande 4 (Rouge)	0.636- 0.673 µm
			Bande 5 (Infrarouge)	0.851- 0.879 µm
			Bande 6 (Moyen Infrarouge 1)	1.566- 1.651 µm
			Bande 7 (Moyen Infrarouge 2)	2.107- 2.294 µm
			Bande 8 (Panchromatique)	0.503-0.676 µm
			Bande 9 (Cirrus)	1.363- 1.384 µm
			Bande 10 (Infrarouge Thermique TIRS1)	10.60-11.19 µm
			Bande 11 (Infrarouge Thermique TIRS2)	11.50-12.51 µm

4.3. Les classifications d'images pixel à pixel

L'évolution qu'a connue le domaine de la télédétection spatiale et de la microinformatique ces dernières décennies a rendu cette « spécialité » ou technique un moyen très efficace et économique pour collecter et analyser les informations concernant des phénomènes diversifiés. Le but de l'analyse et de l'interprétation d'une image satellitaire est d'identifier, mesurer et analyser les objets contenus dans l'image afin de pouvoir extraire l'information utile (Raissouni, 2012).

Les méthodes de classification d'images les plus courantes utilisent l'information radiométrique d'une ou plusieurs bandes spectrales pour classifier chaque pixel individuellement. Ce type de classification standard est appelé reconnaissance de regroupements spectraux. L'image issue de la classification est composée de pixels appartenant chacun à un thème particulier (exemple : eau, forêt, bâti, etc.) (Figure 7).

Lorsqu'on parle de classes, il faut faire la distinction entre des classes d'information et des classes spectrales :

- Les classes d'information sont des catégories d'intérêt que l'analyste cherche à identifier dans les images, comme différents types de cultures, d'espèce d'arbres, différents types de caractéristiques géologiques, etc. (Algorithme)
- Les classes spectrales sont des groupes de pixels qui ont les mêmes caractéristiques spectrales (ou presque) en ce qui a trait à leur valeur radiométrique dans les différents canaux.

L'objectif ultime de la classification est de faire la correspondance entre les classes spectrales et les classes d'information. Dans ce contexte, l'analyste a le rôle de déterminer de l'utilité des différentes classes spectrales et de valider leur correspondance à des classes d'informations utiles.

La démarche de classification comporte ainsi trois étapes fondamentales :

- 1) Établissement de classes de signatures ou classes spectrales,
- 2) Classification des pixels en fonction des classes de signatures,
- 3) Vérification de la classification (fiabilité par rapport aux classes thématiques envisagées). (Traitement d'images - J-P Cherel 2010)

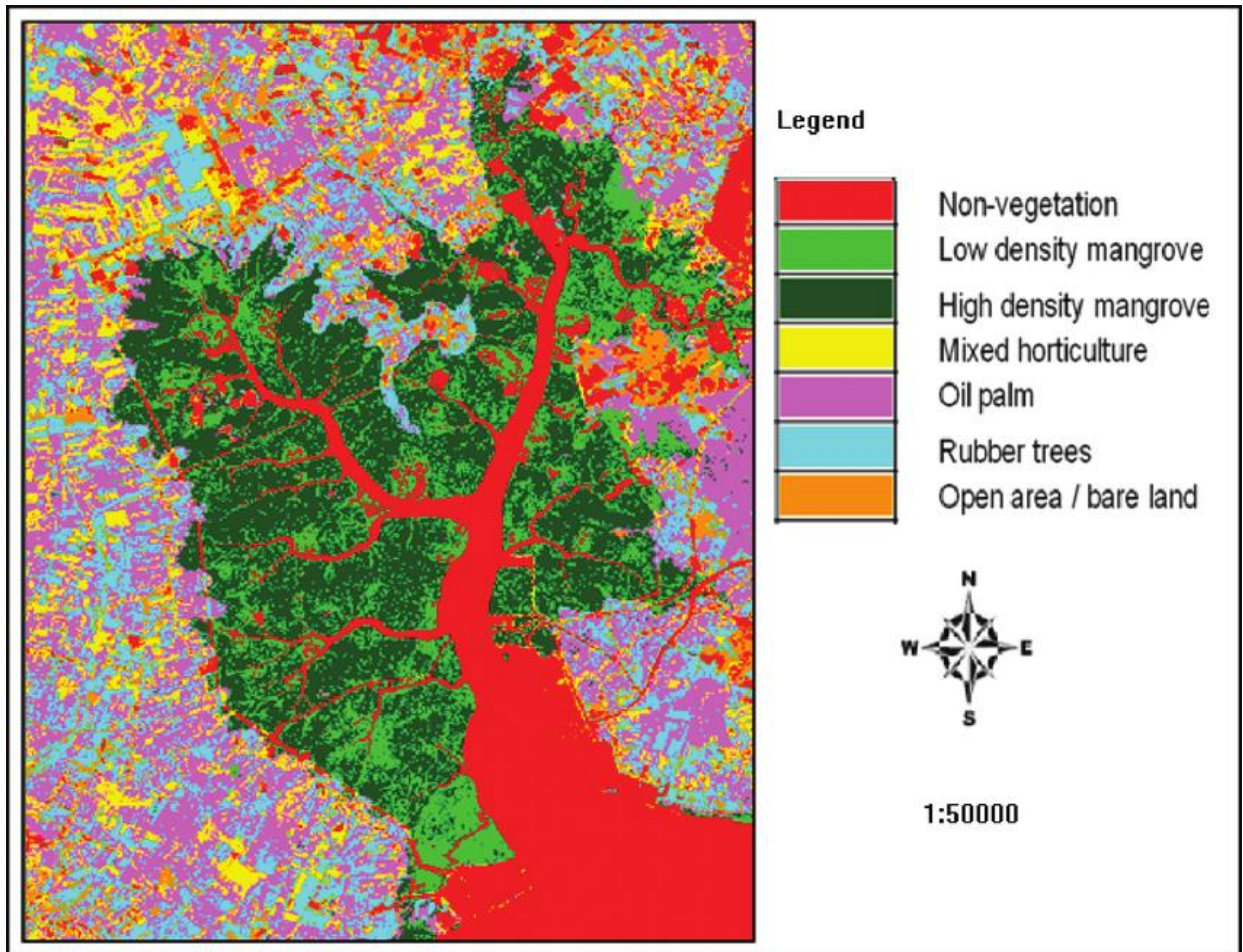


Figure 7: Exemple de résultat de classification non supervisé (Hasmadi, 2011)

Partie

Expérimentale

II. Partie expérimentale

1. Description de la région d'étude

Le périmètre du Grand Maadher fait partie des steppes arides du centre de l'Algérie, isolée de la mer méditerranéenne par 170 km de chaînes de montagnes, et entourée par la cuvette du Hodna au Nord (figure 1), le massif des Aurès à l'Est, les monts du Zab au Sud-Est, ceux des Ouled Nail au Sud-Ouest ; et passe graduellement à l'Ouest aux hauts plateaux algérois (Abdesselam, 2013) ; Il est parcouru par plusieurs Oueds, dont toutes les eaux convergent vers le Chott el –Hodna. Le périmètre de grand Maadher se trouve dans son ensemble sur une zone de plaine.

Administrativement le périmètre du grand Maadher se situe au sud de la cuvette du Hodna au centre de l'Algérie (figure 8). Il regroupe quatre (04) communes : Maarif au Nord-Est, Boussaâda au Sud-Est, Houamed au Sud-Ouest et Khoubana au Nord-Est (Figure 9).

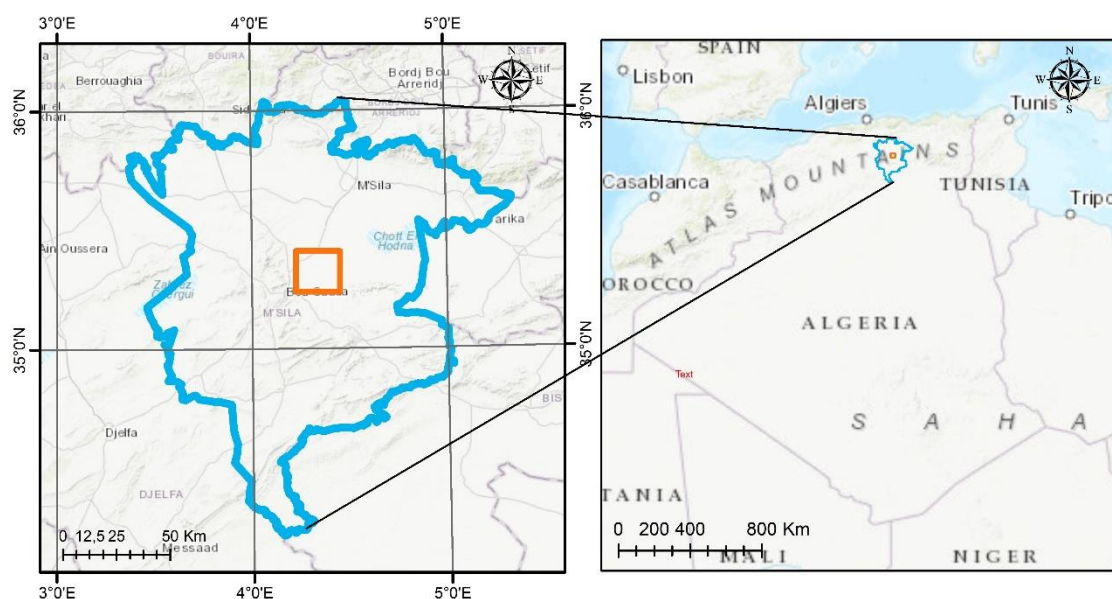


Figure 8 Carte de localisation géographique de la zone d'étude : grand maadher
Extrait d'ARCGIS online basemaps

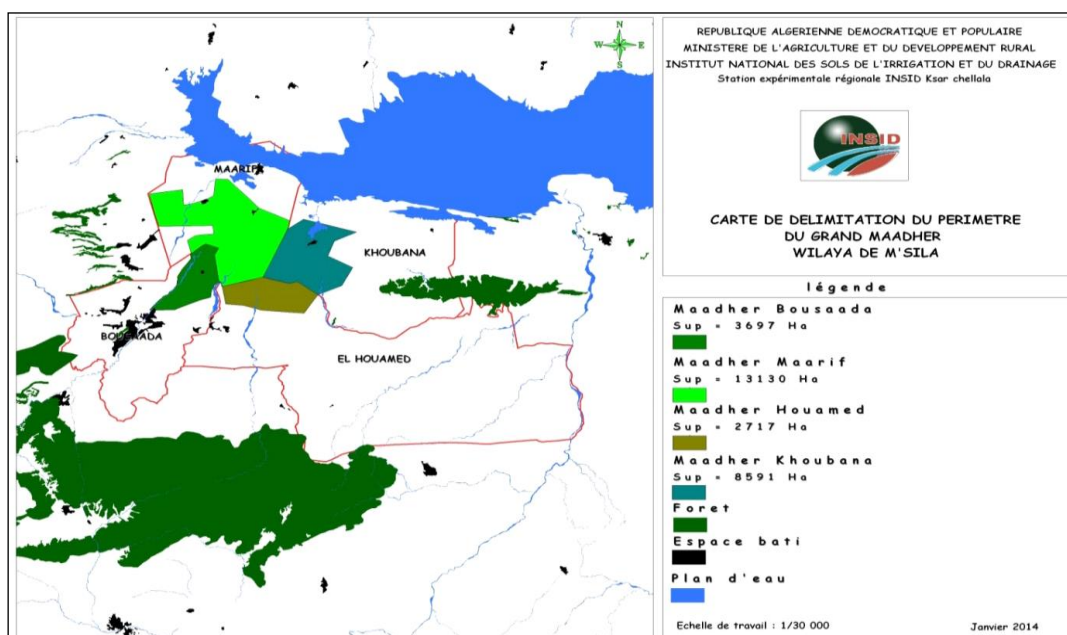


Figure 9 Carte Délimitation du périmètre du Grand Maadher (Source. INSID 2014)

1.1 Cadre géologique

Les plaines du Hodna sont entourées des formations quaternaires. La stratigraphie depuis le Trias au début du Secondaire jusqu'aux formations continentales du Néogène, les Grands ensembles Stratigraphique classiques (Trias. Jurassique. Crétacé) sont représentés dans la figure 10. Les alluvions anciennes constitués essentiellement par des sédiments fins, autrement- dit, des successions de glacia anciens, moyens et récents, qui sont respectivement des croûtes et encroûtements calcaires associés au gypse pulvérulent, des amas et des nodules du calcaire diffus et des sels solubles. (Aissou, 2019).

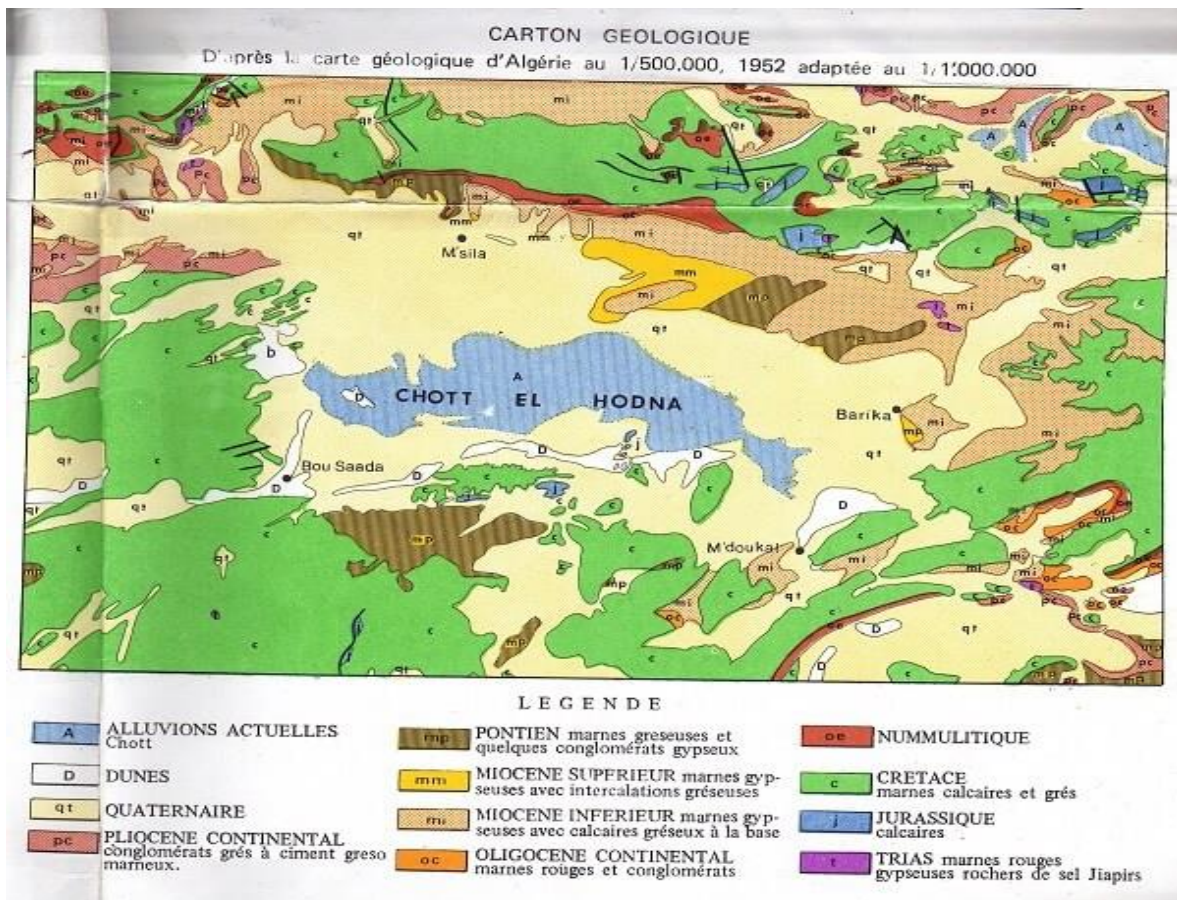


Figure 10 : Géologie de la région du Hodna, D'après Le Houerou et Claudin, 1972

1.2 Géomorphologie

Le périmètre de Maadher a doté d'un relief presque plat et d'un microrelief ondulé, et s'étend jusqu'à sebkha au Nord (Figure 11), au Ouest le des affleurements massifs de Sallet, au Sud les monts de Ouled Nail, et au Est des cordons dunaires (عرق)

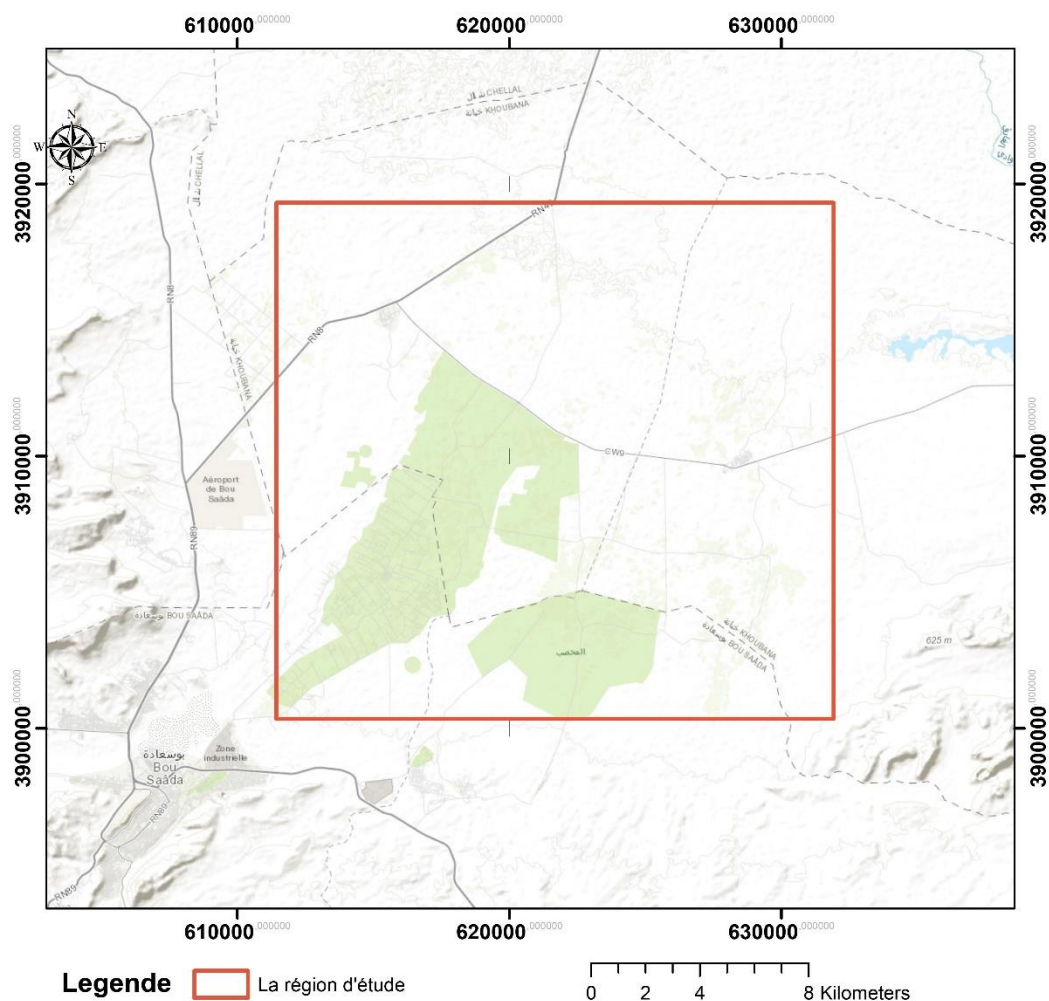


Figure 11 Carte topographique de la zone Sud-Ouest Hodna Extrait d'Arcgis online basemaps

1.3 Relief

L'observation de la carte des courbes de niveau (Figure 12) montre que la pente dans la majorité de la zone de Grand Maadher est inférieure à 1 %, et l'altitude comprise entre 560 m au sud et 420 m à la limite Nord du périmètre, traduisant un modèle presque plaine avec quelques zones vallonnées de collines.

Ainsi en remarquons petites courbures figurer dans les courbes de niveau représentant des oueds secs, ou l'altitude est différente de reste de la zone.

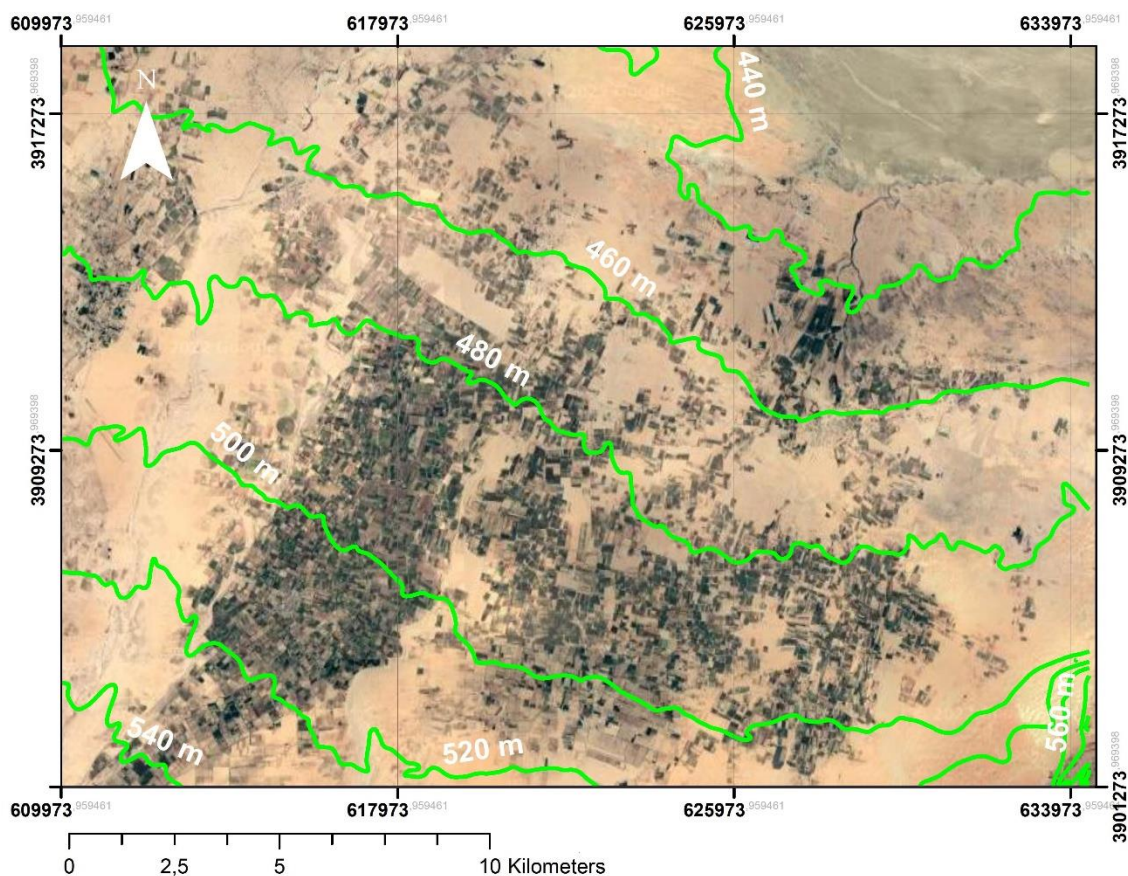


Figure 12 : Les courbes de niveau en grand Maadher : produites à partir de l'image satellite ALOS-POLSAR

1.4. Hydrogéologie

Le régime hydrologique du grand Maadher est lié au régime pluviométrique caractérisé par de fortes irrégularités. Le grand Maadher est alimenté par plusieurs oueds prend sources les monts au sud de la plaine. Il y a les trois majeurs oueds traversent le périmètre sont :

Oued de Boussaâda, Oued Maiter et Oued Mhasseb. Lors une précipitation importante sur les hauteurs multiplie les possibilités des crues qui passent à l'aval par la plaine du Maadher provoquant ainsi une importante érosion des berges d'Oued s en consommant d'importantes quantité de terres irriguées et irrigables ;

Le périmètre du Maadher repose sur la nappe profonde et la nappe phréatique du chott El Hodna alimentées des bassins versants de la wilaya de M'sila et des wilayas limitrophes

Le bassin de Hodna dont le grand Maadher fait partie de ce bassin, se distinguent de deux nappes :

Nappe superficielle :

L'aquifère dans le bassin du Hodna est constituée par des formations détritiques quaternaires. La nappe se trouve à une profondeur supérieure à 40 m. Dans la partie haute des plaines du bassin, est rapprochée de surface à moins de 3 m près de Sebkhha. Le résidu sec des eaux de la nappe varie de 0.5 à 280 g / l à 110° C. (Yahi, 2012)

Nappe profonde

Les eaux de cette nappe chloruro-sulfatée, Ces eaux ont une salinité modérée. Cette nappe se trouve à une profondeur supérieure à 40 m.

2. Les données climatiques de la région du Grand Maadher

Le climat de la région de Bou-Saadâ est du type continental, il est caractérisé par un été sec, très chaud et un hiver très froid.

2.1 Les températures

Les températures estivales les plus élevées sont celles des mois de juillet et Août, Le mois le plus chaud est juillet avec une température maximale égale à 45.6 °C enregistré en l'année 2002. Les températures hivernales mensuelles les plus basses sont enregistrées dans les mois de décembre et janvier. La température moyenne mensuelle la plus basse est celle du mois de janvier de l'année 2005, est égale à 4.6 °C. La figure 13 montre la variation mensuelle de la température.

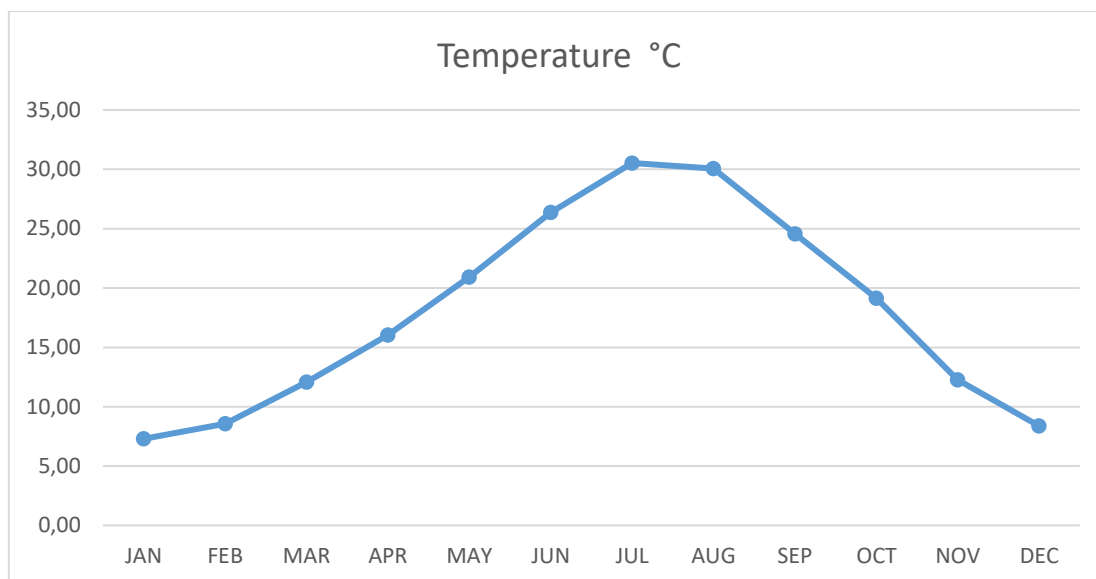


Figure 13 Courbe de la température mensuelle pour la période (1995-2019)

2.2 La pluviométrie

La région de sud du Hodna se caractérise par une pluviométrie faible et irrégulière (Figure 14). Les mois les plus pluvieux sont septembre, octobre, Avril et Mai. La quantité annuelle des pluies varie de 104 mm à 259 mm. La moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois de d'Avril (21.16 mm) et la plus basse est enregistrée durant le mois de Juillet.

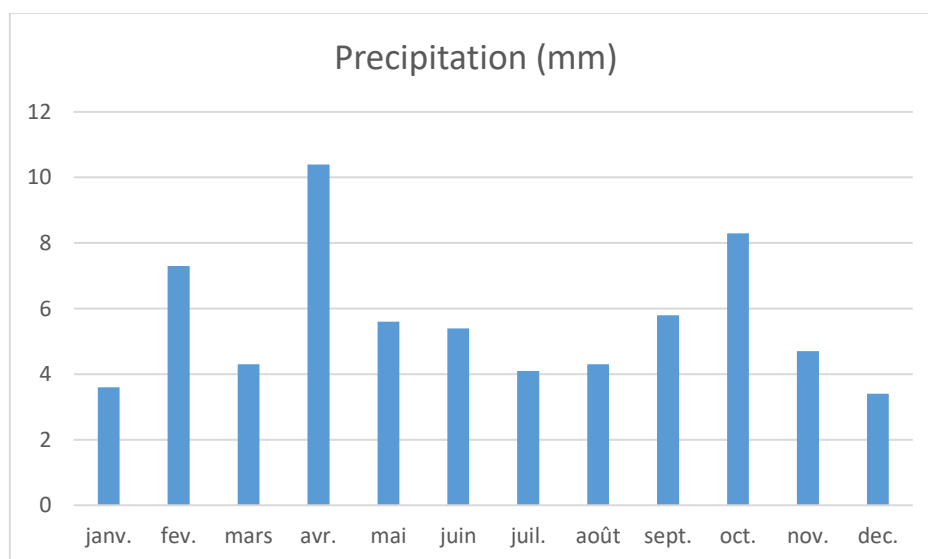


Figure 14 Variations mensuelles des précipitations pour la période (1995 - 2019)

2.3 Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Goussen

Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité. Celle-ci est appréciée à travers un indice de sécheresse S (Indice ombro-thermique) calculé en faisant la différence entre les courbes P et T pour le et les mois les plus secs ($P=2T$).

Selon le diagramme ombro-thermique (Figure 15), la période de sécheresse pour la région s'étale de Mai au Septembre.

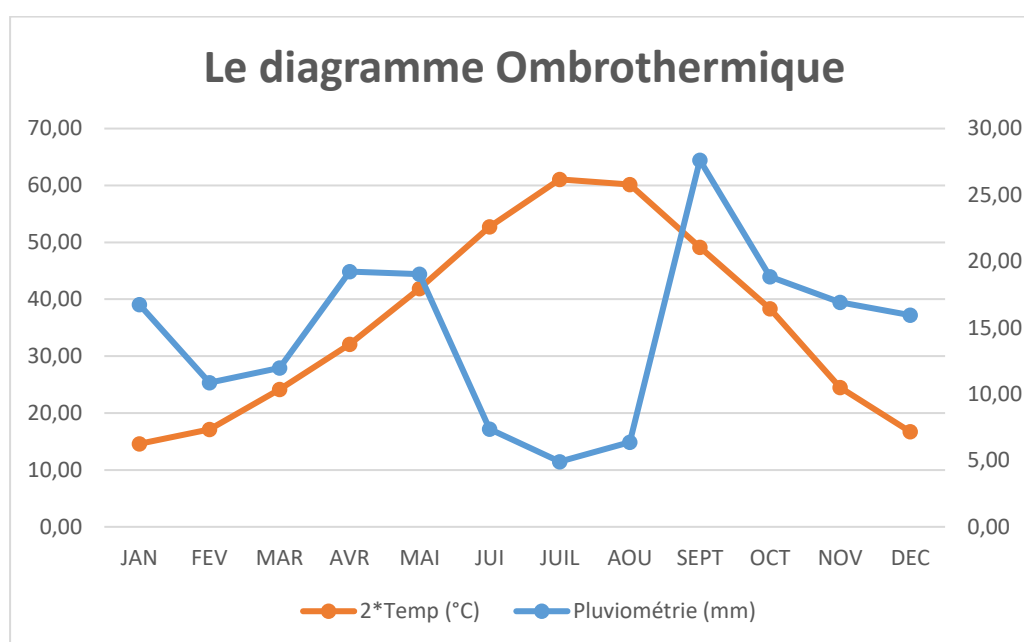


Figure 15 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Goussen de la période (1995 -2019)

2.4 Données climatiques secondaires

2.4.1 Humidité relative :

L'humidité relative : L'humidité relative est plus élevée entre les mois de Décembre et janvier où elle est supérieure à 72%. Durant le mois de juillet (Figure 16), elle est inférieure à 31 %.

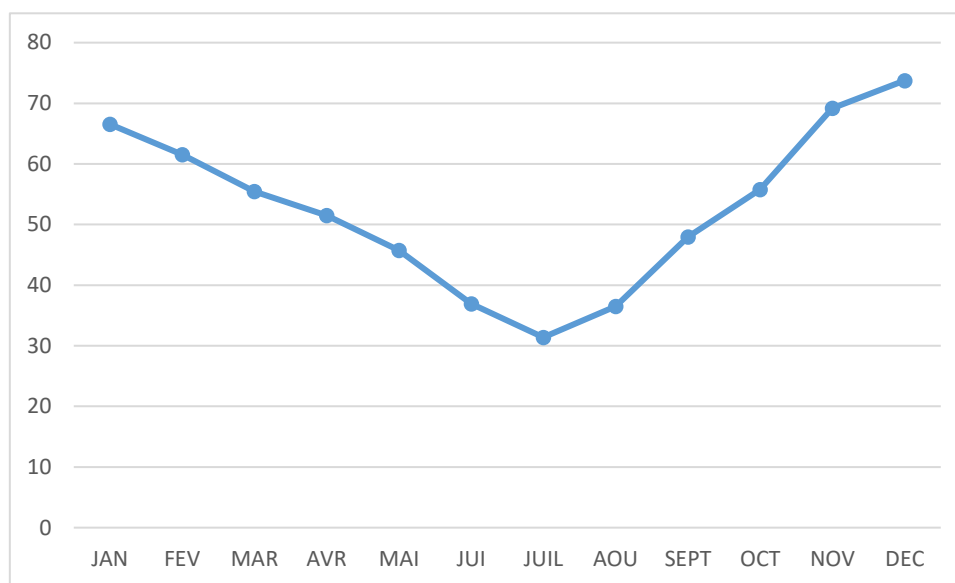


Figure 16 Variations mensuelles de l'humidité relative en (%) SM Bou Saada (2011-2019)

2.4.2 Les gelées

Les dégâts causés aux cultures par les gelées sont à l'origine des pertes des rendements. Ainsi, le nombre annuel de jours de gelée est important dans la région d'étude, dans la période (2011-2019) il varie entre 09 à 33 jours/an et la moyenne annuelle est de 16,11 jour/an. Au mois de décembre où le nombre de jour de gelée est le plus important (3.33 jours en moyenne). Les gelées printanières sont présentes au mois de mars (0.2 jour en moyenne), ces gelées tardives causent des pertes aux cultures.

L'insolation : Les rayonnements solaires atteignant le sol ont un impact important sur le monde animal et végétal. La durée d'insolation moyenne est de 8,5 heures par jour et le nombre d'heures d'ensoleillement est de 3080,617 heures/ an. La durée d'insolation la plus longue est celle du mois de juillet (332,9167 /mois), et la durée la plus courte est celle du mois de décembre (5,5 heures/jour).

2.4.3 Les vents

En général, les vents ont une vitesse plus ou moins faible, avec une des moyennes ne dépassent pas 2.68 m/s. Les vents dominants de l'hiver et du printemps de direction nord-ouest sont relativement humides. Ceux de l'été soufflant de l'est sont chauds et secs, et parfois accompagnés de sable.

2.4.4 L'évaporation

L'évaporation est influencée essentiellement par la température. Elle est très importante en été et faible en hiver respectivement 308 mm et 36.7mm.

En conclusion, les caractéristiques du climat de la zone de d'étude sont :

- Les températures sont élevées en été notamment en juillet (31.9 °C), et basses en hiver surtout décembre et janvier (10.3°C) ;
- La pluviométrie est faible et irrégulière avec une moyenne annuelle de 149,9 mm ;
- L'humidité relative est élevée en novembre, décembre et janvier (72%au maximum) et basse en juillet (31%) ;
- Les gelées sont plus ou moins importantes (16,11 jours/an) avec une grande variabilité de nombre de jours entre les années ;
- Les vents sont relativement faibles, humides en hiver et au printemps, secs, et parfois accompagnés de sable en été.

3. Présentation de la région d'étude.

Le périmètre d'El-Maadher situe au sud des hautes plateaux, sise sur l'axe routier Bou-Saâda - M'Sila, constitue une région de formation steppique, à caractère rural où l'activité principale demeure le pastoralisme, est comme nous a indiqué auparavant, le périmètre regroupe quatre communes Bou-Saâda, Maarif, Khoubana et Houamed, s'étend actuellement sur une superficie de plus de 28000 ha (INSID1, 2014), et cette superficie ne cesse de s'augmenter, en exploitant de nouvelles terres, considère précédemment difficile de s'affranchir.

Le choix de la limite de la zone d'étude (Figure 17) a été pris selon l'extension de la superficie de l'activité agricole en Grand Maadher, et cette superficie est de l'ordre de 38840 ha.

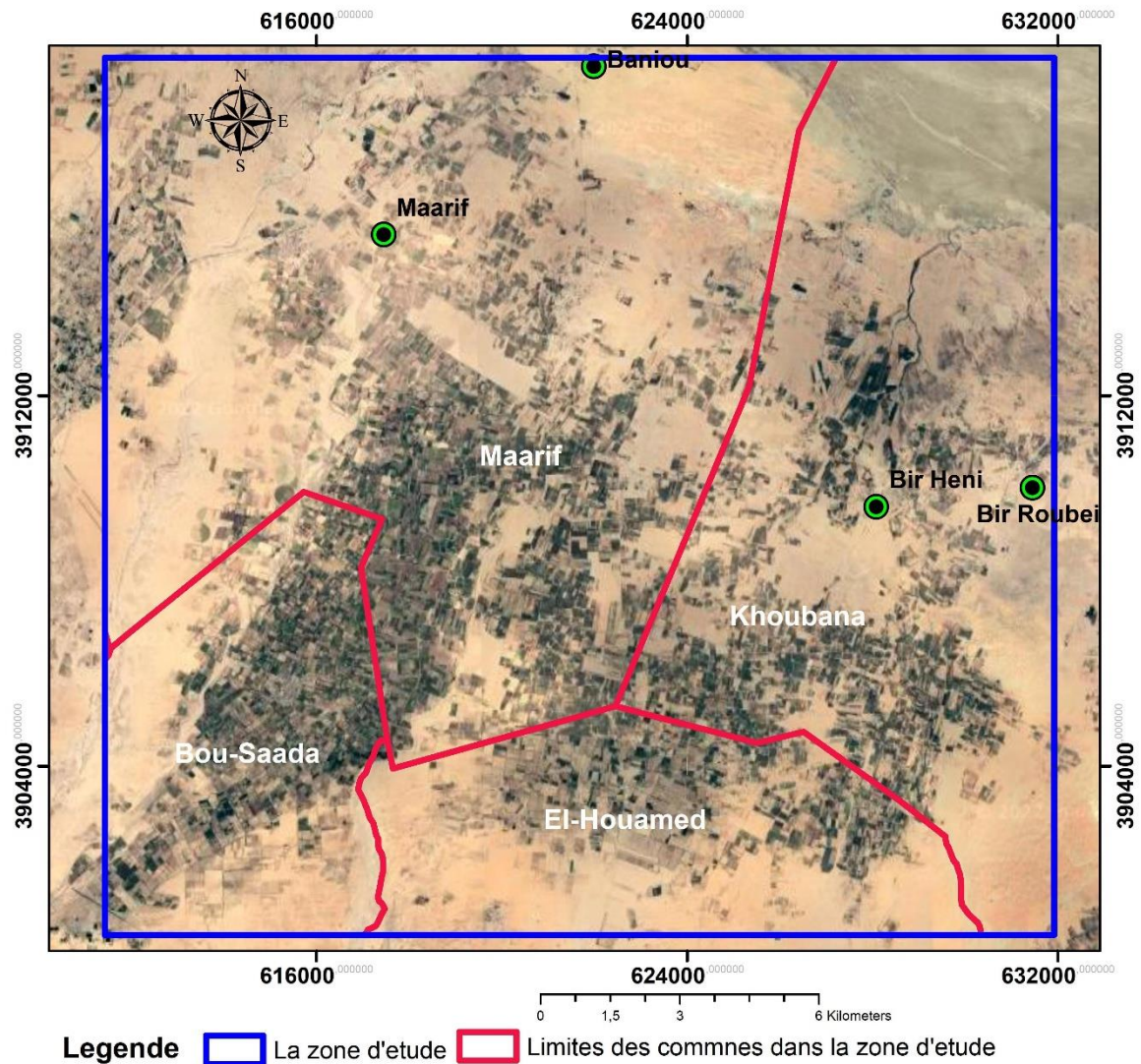


Figure 17 : les limites des communes du périmètre de Grand Maadher
(Extrait du Google Earth)

4. Politique de la mise en valeur des terres agricoles en Grand Maadher

La politique de mise en valeur agricole, lancée depuis la promulgation de la Loi portant Accès à la propriété foncière agricole (APFA) en 1983 a été à l'origine de la généralisation de cette opération sur l'ensemble de l'espace steppique. Bien que les éleveurs de la région, ne possédant pas le savoir-faire nécessaire en matière d'agriculture, ont adhéré massivement à cette politique dont les objectifs étaient, à la fois, l'augmentation de la surface agricole utile et de la productivité. (Ali Daoud, 2014)

Cet enjeu s'est amplifié davantage après l'application du Plan national du développement de l'agriculture (PNDA) en 2000, dans la mesure où ce programme finance généreusement l'équipement des exploitations (construction de bassins de stockage d'eau, installation du système de type goutte à goutte, creusement de puits...)

5. Situation juridique

La Loi portant sur l'accession à la propriété foncière agricole (APFA) :

Cette loi, promulguée le 13 août 1983, consiste à donner le droit, à tout individu, d'acquérir des terres agricoles ou à vocation agricole pour les mettre en valeur par des travaux d'aménagement, de défrichement, de mobilisation de l'eau, d'équipement et de plantation... Cependant, l'acquéreur ne devient propriétaire qu'après la réalisation du travail de mise en valeur, au bout de cinq années. Le champ d'application de cette loi porte sur des terres relevant du domaine public.

Le périmètre du Grand Maadher a été créé dans le cadre de cette politique, est aujourd'hui considéré comme un exemple de réussite de la politique de mise en valeur par le modèle de l'agriculture familiale. Des milliers d'agriculteurs ont bénéficié de petites exploitations (3 hectares en moyenne) créées ex-nihilo dans des périmètres aménagés initialement par l'État sur un vaste territoire qui totalise aujourd'hui plus de 28000 hectares. Quatre types de systèmes de production agricoles peuvent être distingués dans le périmètre. Le premier, nettement dominant, est spécialisé dans les cultures maraîchères, le deuxième est à dominante arboriculture fruitière et le troisième est basé sur l'élevage bovin laitier et un quatrième est mixte.

Ce périmètre est aujourd'hui parmi les plus dynamiques des zones steppiques.
(Daoudi, 2014)

6. Réalisation des cartes

6.1 Étude spatiotemporelle des changements de couverture végétale en grand Maadher :

Ce chapitre a comme objectif l'utilisation l'outil de télédétection pour identifier l'impact des fluctue de l'action anthropique sur le paysage de la région d'étude, par l'étude de l'évolution spatiotemporelle de l'occupation du sol.

6.2 Les matériels utilisés

Afin de réaliser ce travail nous avons en recours aux :

6.2.1 Logiciels et applications

- Des logiciels de système d'information géographiques tel que : QGIS, ArcGis, Global Mapper, SNAP Desktop, et Google Earth.
- Des applications sur web nos a fournis des images satellitaires : Alaska satellite facility (ASF) et U.S. Geological Survey (USGS).

6.2.2 Données utilisées

Choix et prétraitement des données

- Image mosaïque était téléchargée à partir du satellite japonais ALOS PALSAR afin de produire une carte de courbe de niveau de la zone d'étude.
- Des imageries satellitaires obtenues du satellite Landsat de trois différentes dates et capteurs :
 - ❖ Cartes pédologiques de la FAO 1974.
 - ❖ Imagerie Landsat 5 prise le: 20/05/1995
 - ❖ Imagerie Landsat 8 prise le: 20/05/2013
 - ❖ Imagerie Landsat 8 prise le: 10/05/2021

6.3 Méthodes utilisés

6.3.1 Carte d'occupation et de changement du sol

Pour la FAO (1998) l'occupation du sol désigne « la couverture (bio-) physique de la surface des terres émergées » et donc le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'Homme. La mosaïque paysagère est cartographiée en identifiant les types homogènes des milieux (ex : zones artificialisées, zones agricoles, forêts ou landes, zones humides, etc.).

La connaissance précise de cette occupation du sol est un enjeu crucial pour beaucoup de travaux de recherche. La possibilité offerte par la télédétection spatiale d'accéder à une vue d'ensemble de grandes régions de façon récurrente constitue donc un atout majeur pour la production de cartes d'occupation du sol.

Les approches automatiques de production de cartes d'occupation du sol à partir d'images de télédétection sont souvent basées sur des méthodes de classification d'images. Cette classification peut être :

- supervisée : on utilise des zones pour lesquelles on connaît l'occupation du sol comme des exemples pour un apprentissage ; La classification supervisée fournit souvent de meilleurs résultats.
- non supervisée : on regroupe les pixels de l'image par similarité et on reconnaît les classes ensuite.

La classification d'une image satellitaire est basée sur l'identification et le regroupement de différents thèmes d'après leurs signatures spectrales. Dans le cas de la classification supervisée, l'opérateur définit a priori les classes qu'il désire constituer et recueillir un certain nombre de réalités de terrain se rapportant à chacune des classes qu'il envisage de mettre en évidence (Bensaid, 2006).

Une classification supervisée par maximum de vraisemblance a été appliquée sur une composition colorée des images de satellite Landsat de trois années (1995, 2013, 2021) ; dans cette étude l'occupation du sol est classifiée en quatre (4) classes : Agriculture, Terre nue, sable et Chott.

On a pris en considération le niveau de l'intensité de l'activité agricole lors le choix des dates de téléchargement des images du périmètre de Maadher, généralement le

périmètre et en plein activité au mois de Mai, afin d'éviter les terres en repos ou en abondance pour minimiser la marge d'erreurs.

6.3.2 Production d'une carte pédologique à partir d'une carte de La FAO 1974 FAO

Afin de préparer une carte des sols du monde comme demandé par l'IUSS (*Union internationale des sciences du sol*) en 1968, la FAO a élaboré une légende supranationale qui a été utilisée comme un système international de classification des sols. La FAO a fait un travail immense pour réaliser une carte mondiale du sol, c'est une base de données historique se réfèrent aux données et aux cartes compilées à partir d'enquêtes de terrain corroborées par des données de télédétection et environnementales, des avis d'experts et des analyses de laboratoire. La majeure partie des informations sur les sols ont été recueillies de cette façon,

Les avancées technologiques en matière de télédétection, d'ordinateurs, d'analyses de terrain, de géostatistique, l'intégration de données des systèmes d'information géographique (SIG) et l'instrumentation ont permis d'atteindre une fiabilité et une utilité sans précédent des cartes numériques des sols. Il existe une quantité croissante de données numériques disponibles sur Internet ou dans de grands ensembles de données sur format numériques, que ce soit des conversions numériques directes de cartes papier ou de bases de données ou même des produits numériques.

La carte mondiale des sols donne des informations directes sur la composition de chacune des unités cartographiques quant aux types de sols qui y dominent, y sont associés ou inclus, à la texture de l'horizon superficiel du type de sol dominant (trois classes : grossier, moyen et fin), à la pente de l'unité (trois classes : 0 à 8 pour cent, 8 à 30 pour cent et supérieur à 30 pour cent) et, le cas échéant, à la phase de sol présente (salique, sodique, phases de profondeur, etc.),(FAO.org)

Dans cette partie de travail on a digitalisés une carte pédologique du sud Hodna réalisé par la FAO en 1974, le périmètre du grand Maadher fait partie dans cette carte, nous avons extrait la zone d'étude (le périmètre du Grand Maadher) à partir de la carte du FAO, tous les composants existés dans cette carte sont digitalisés et vectorisées. Nous avons enregistré plus de 250 entités, représentent différents types de sol et des phénomènes pédologiques ou naturels, formant une carte active prés à analyser et

l'utiliser comme une référence avec le changement qu'a subi récemment le grand Maadher.

La figure 18 est une photo scannée de la carte FAO 1974. Pour les spécialistes cette carte est pleine d'information qu'on peut retenir sur le sol de la région Sud du Hodna avant que le périmètre soit installé et exploiter, est devenu une zone d'activité agricole, après plusieurs décennies d'activité anthropique le sol a subi un changement que ce soit physique ou chimique qu'on doit prendre en considération.

6.3.2.1 Digitalisation et géoréférencement des cartes pédologique du FAO :

Les démarches de la Numérisation :

La numérisation permis d'encoder la carte sur un support papier en couches vectorielles possédant une référence spatiale ; A pour but de constituer une carte dynamique, qu'on peut extraire différents phénomènes pédologiques qu'a subi le sol dans le sud de Hodna grâce à l'outil de SIG.

6.4. Géo référencement :

La procédure standard pour le géoréférencement d'une image implique la sélection de plusieurs points sur le raster, en spécifiant leurs coordonnées et en choisissant la transformation appropriée

Cependant, il est toujours nécessaire d'encoder un minimum de 4 points de calage (de préférence 6) avant de commencer la numérisation. Ces points seront identifiables avec précision sur la carte et le plus dispersés possible sur (ou, mieux, autour de) la zone d'intérêt.

6.5. La digitalisation

Notre géoréférencement maintenant effectué, nous pouvons commencer la saisie des polygones manuellement. La première précaution est de s'assurer que le pointeur est en mode absolu (Where You Point Is Where You Go), c'est à dire que chaque point du raster doit correspondre à une seule coordonnée de numérisation.

² Les entités seront ensuite numérisées sous forme de polygones polygones ou points en cliquant à chaque nœud (pour indiquer tout changement de direction). On peut tracer les lignes en procédant objet par objet, ou segment par segment. Le plus important est de choisir une méthode et de s'y tenir afin d'éviter les répétitions ou les oublis, par exemple, toujours prendre l'objet le plus à droite. La procédure qu'on a suivie et de diviser la carte sur plusieurs carrées, et finir les taches carrée par carrée.

6.6. Vectorisation

Consiste à dessiner sur le raster les différentes unités homogènes (Figure 19) et pointer les phénomènes cités dans la carte, l'avantage de la vectorisation c'est de construire plusieurs couches dans le logiciel SIG d'une manière séparée, est par les outils de l'analyse spatiale on peut analyser et interpréter la relation entre différents événements qui se produisent dans le sol et les afficher séparément ou même afficher les interactions entre ces phénomènes d'une façon rapide et précise.

Une fois la vectorisation de raster est finie, on peut exploiter la carte.

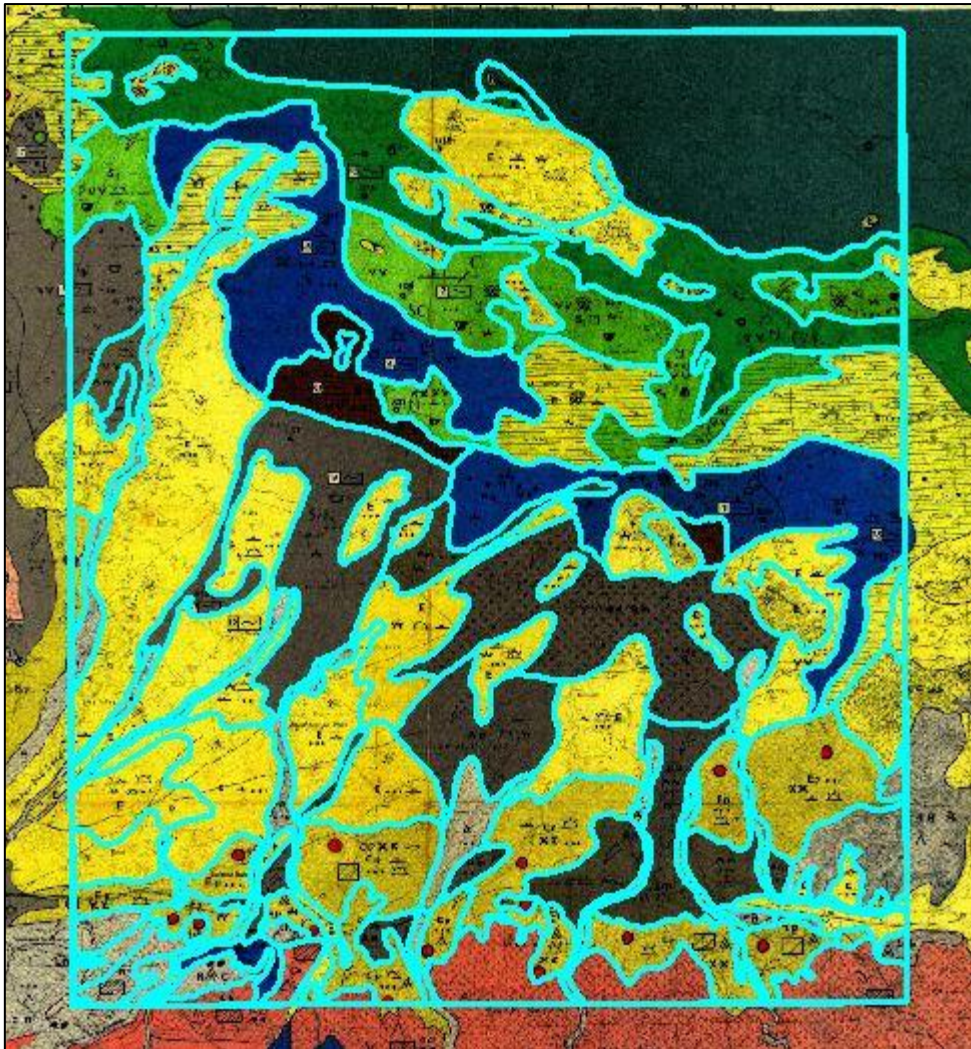


Figure 19 : Exemple de digitalisation des polygones sur la carte de FAO 1974

Résultats

et

Discussion

III. Résultats et discussions

1 Évolution de l'activité agricole en grand Maadher

Le secteur agricole du grand Maadher a connu une évolution remarquable durant les trois dernières décennies, cette évolution est traduite par une augmentation importante de la superficie agricole dans cette zone.

Comparer des images issues de deux capteurs différents représente une tâche ardue en raison à la fois de la différence de résolution des capteurs, et de l'étendue couverte d'une scène à l'autre. La superposition des images implique à la fois une correction géométrique et un redimensionnement de l'ensemble des données-images afin de les rendre comparables (Zitova et Flusser, 2003 ; Joly, 1987).

Après de l'établissement des différents types de liaisons entre les trois dates, nous avons calculé les taux de changement entre les surfaces des classes d'occupation du sol dans les dates 1995, 2013 et 2021. Les ont été superposées sur la carte FAO dans le but de corréliser entre l'activité agricole et le type du sol.

2. Carte d'évolution de l'occupation du sol au périmètre de grand Maadher

Le tableau 3 issu de la carte d'occupation du sol au périmètre de grand Maadher (Figure 23) a nous a permet d'illustrer le changement de l'occupation du sol.

En 1995 la superficie agricole a été d'environ de 4758 ha, et lors la superposition de la couche d'activité agricole avec celle de la carte FAO ; on a remarqué que la grande majorité de l'activité agricole a eu lieu sur les sols de type peu évoluée non climatique d'apport alluvial selon la feuille FAO du Sud de Hodna.

La superficie choisie de la zone d'étude est d'environ 38840 Ha.

Table 2: la superficie de l'activité agricole durant les périodes d'études

Année	Superficie (Ha)	Pourcentage de couverture végétale	Augmentation de la superficie agricole
1995	4758	13%	
2013	8748	25%	83%
2021	19624	51%	124%
Superficie	33130	89%	

On doit mentionner une légère activité agricole à la limite Sud du Chott, où le type de sol est Halomorphe moyennement salin (S1), même remarque dans les zones où le type de sol est Hydrmoprphe minéraux ou peu humifères à redistribution de calcaire ou de gypse (Hg). Dans cette zone les agriculteurs ont la pratique d'installer le système de drainage et de creuser des tranchées pour évacuer les eaux salées par lixiviation, et aussi l'excès d'eau dans les sols Hydrmoprphe et puis l'exploiter (Figure 20), ce qui nous donne l'idée que la nappe est l'origine de la salinité.



Figure 20 : Un system de drainage installé par les agriculteurs

En 2013 l'activité agricole a augmenté considérablement par 83 % de la superficie précédente, est été d'environ 8748 ha, l'activité reste concentrée dans les sols de type peu évolué non climatique d'apport alluvial selon la feuille FAO. L'extension de l'activité agricole dans les sols près chott a augmenté aussi.

En 2021, la superficie trouvée par la classification supervisée a été doublé. Elle a augmenté de 124 %, et par conséquent la superficie a atteint environ 19624 ha.

La superposition de la couche vectrice de l'activité agricole en 2021 sur la carte FAO montre que l'extension des terres irriguées a touché d'autre type de sol considérés auparavant comme sols non fertiles, ce sont les sols minéraux bruts xériques inorganisée d'apport (E).

Une hausse intéressante de l'activité agricole dans les zones où le type du sol est Hydromorphe minéraux ou peu humifères à redistribution de calcaire ou de gypse (Hg), on peut conclure que ce type des sols ont subi un changement et sont devenues des sols agricoles, reste à approuvé que l'hydromorphie n'est plus un problème qu'on peut l'aperçus au Nord du périmètre.

D'après la figure 21, l'évolution de la superficie agricole a connu une hausse considérable autour de l'année 2013.

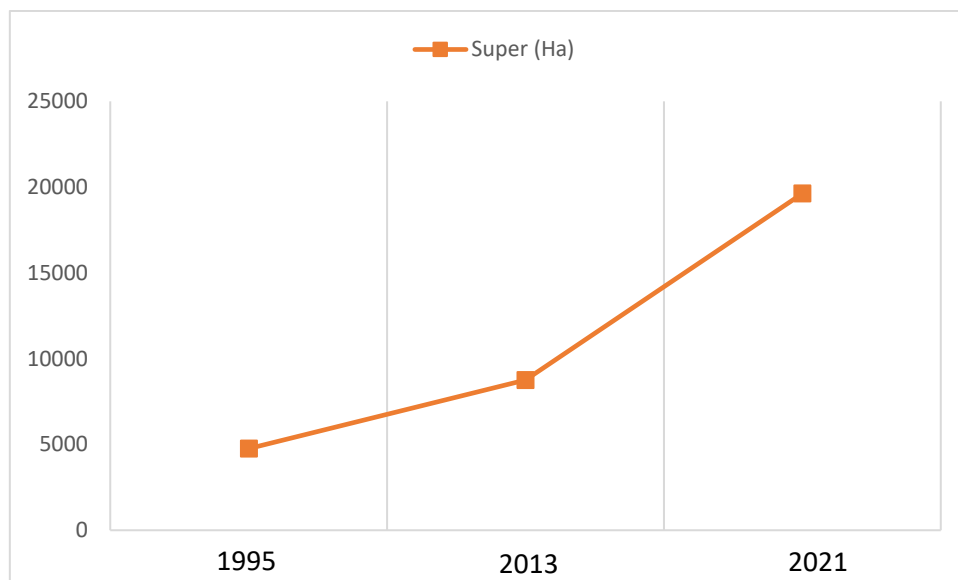


Figure 21: Courbe d'évolution de l'activité agricole en Grand Maadher

La figure 22 nous montre une activité agricole (plantation des arbres fruitiers) dans les sols près de Chott, sols halomorphe S1 moyennement salin, les coordonnées géographiques de la photo : **latitude** : 35,361926 **longitudes** : 4,40944



Figure 22: L'activité agricole au niveau de la périphérie du Sebkh

On peut relier ce changement à un facteur principal qui a contribué à cette transformation. On constate une baisse excessive de niveau de la nappe sur cette zone, d'après la feuille FAO le niveau de l'eau sous terrain était autour de 2 mètre et même moins, ce dernier temps la baisse de la nappe a permis le drainage des terres, ce qui a donné aux agriculteurs l'occasion d'exploiter ces terres en utilisant le système d'irrigation par aspersion sur les cultures des céréales.

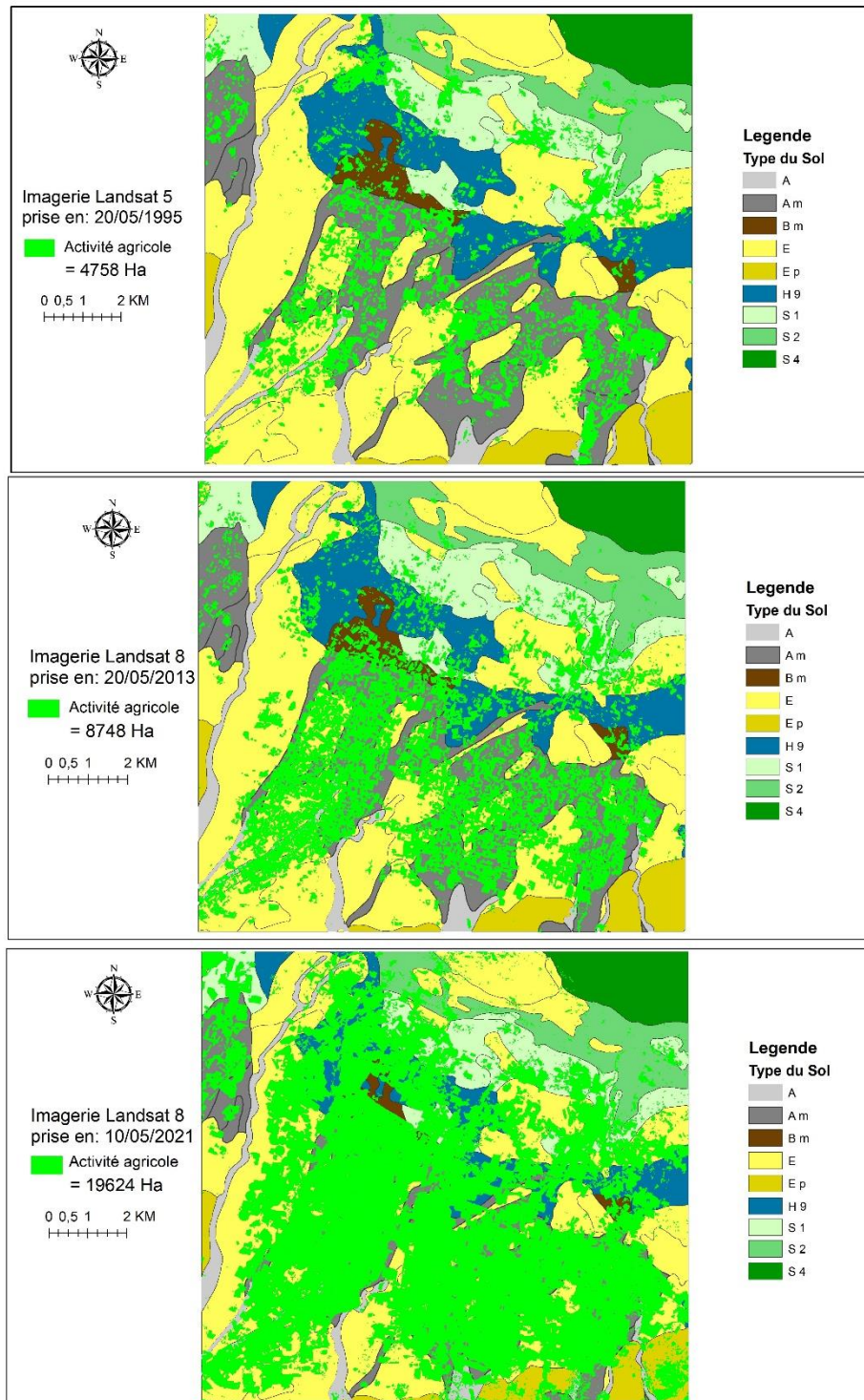


Figure 23: Carte d'évolution de l'occupation du sol au périmètre de grand Maadher
Durant les 1995-2013-2021

3. Carte des sols alluviaux

La couche des sols alluviaux ont été extraits de la carte FAO, la carte (Figure 24) nous expose bien le rôle des alluviaux dans la formation des sols, elles contribuent au rajeunissement du profile et réduire l'évolution de sols. (Diane Saint-Laurent et Luc Lavoie 2009).

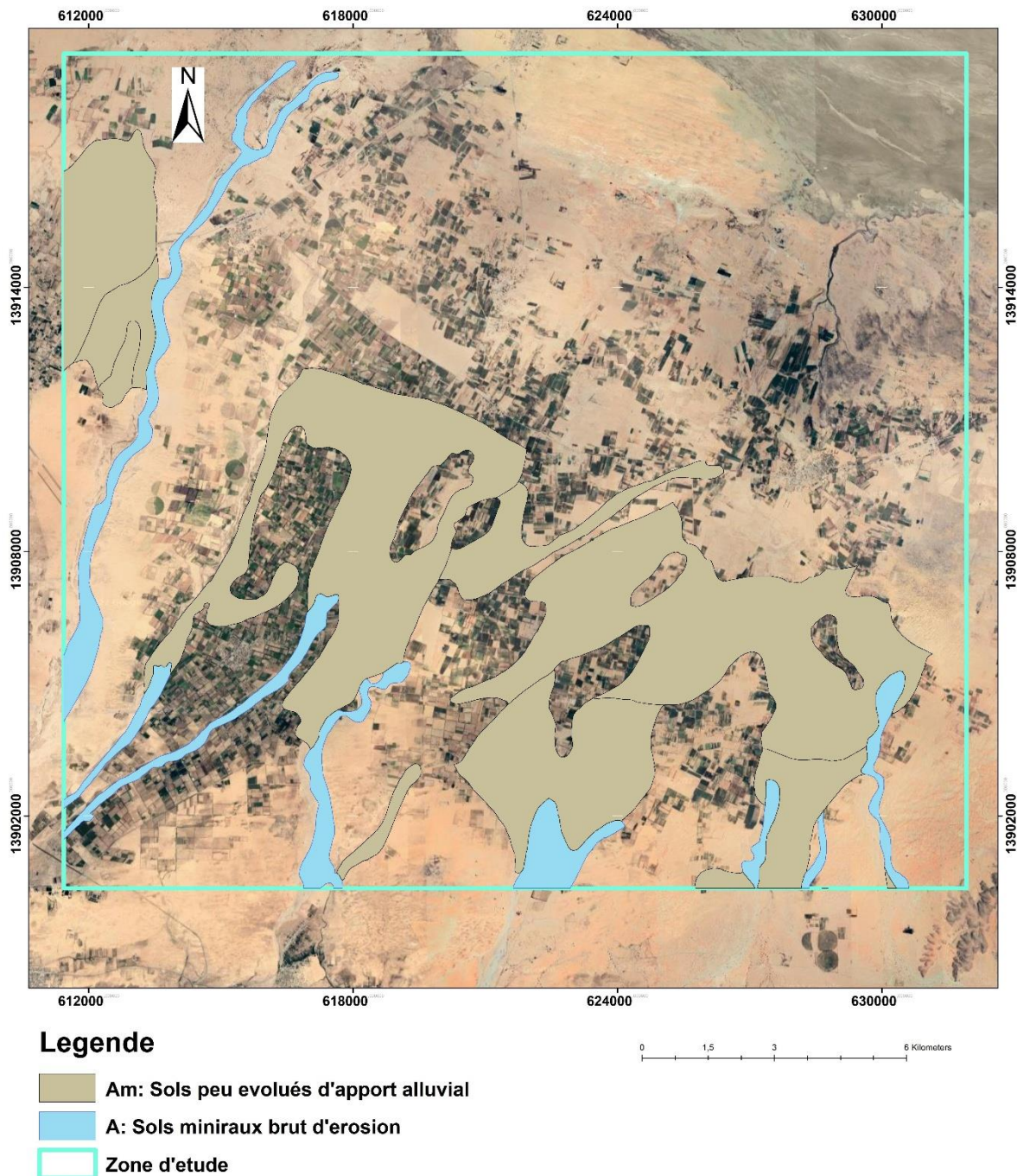


Figure 24 : une carte pédologique représente les sols alluviaux en Grand Maadher

La zone en couleur bleu représente les oueds secs dont le sol est de type minéraux brut d'érosion, ces oueds transportent les matériaux en suspension, est qui seront ensuite déposer sur une zone presque plaine (Figure 25, 26), la faible pente ralentisse la vitesse des courant, formant un sol peu évolué d'apport alluviale (couleur vert)

Les dépôts alluviaux sont souvent épais, dotés d'un potentiel élevé de fertilité et classés en fonction de leur texture et leur perméabilité (AUBERT, 1960).



Figure 25 : Des apports alluviaux au périmètre agricole du Maiza Commune de Houamed (avril 2022)

Durant notre travail cette année, on a constaté dans certains lieu une production intéressante des cultures céréalières dans les zones qui ont été touchées par les apports alluviaux même c'était une agriculture pluviale, notons une précipitation intéressante au mois d'Avril.



Figure 26: Des apports alluviaux submergés une exploitation agricole
(Commune de Houamed)

4. Carte pédologique de périmètre de grand Maadher

La carte pédologique de périmètre de grand Maadher (Figure 27) est un inventaire des sols du périmètre, chaque entité ou polygone représente un type du sol, la carte indique que les sols de type minéraux brut inorganisés d'apport (E) occupe une superficie importante du périmètre, selon la classification CPCS 1967 ces sols sont des dunes diverses de toutes dimensions (ex. Erg), de texture grossière sableux, constituent de sable quartzeux. Les déflations éolien et d'accumulation qu'on peut rencontrent sont : les Microdunes, Nebkha de sable ou Micronebkha de sable. Le nebkha est une dune de sable qui se forme autour de la végétation, c'est une structure construite et façonnée par l'action du vent, formé un relief éolien.

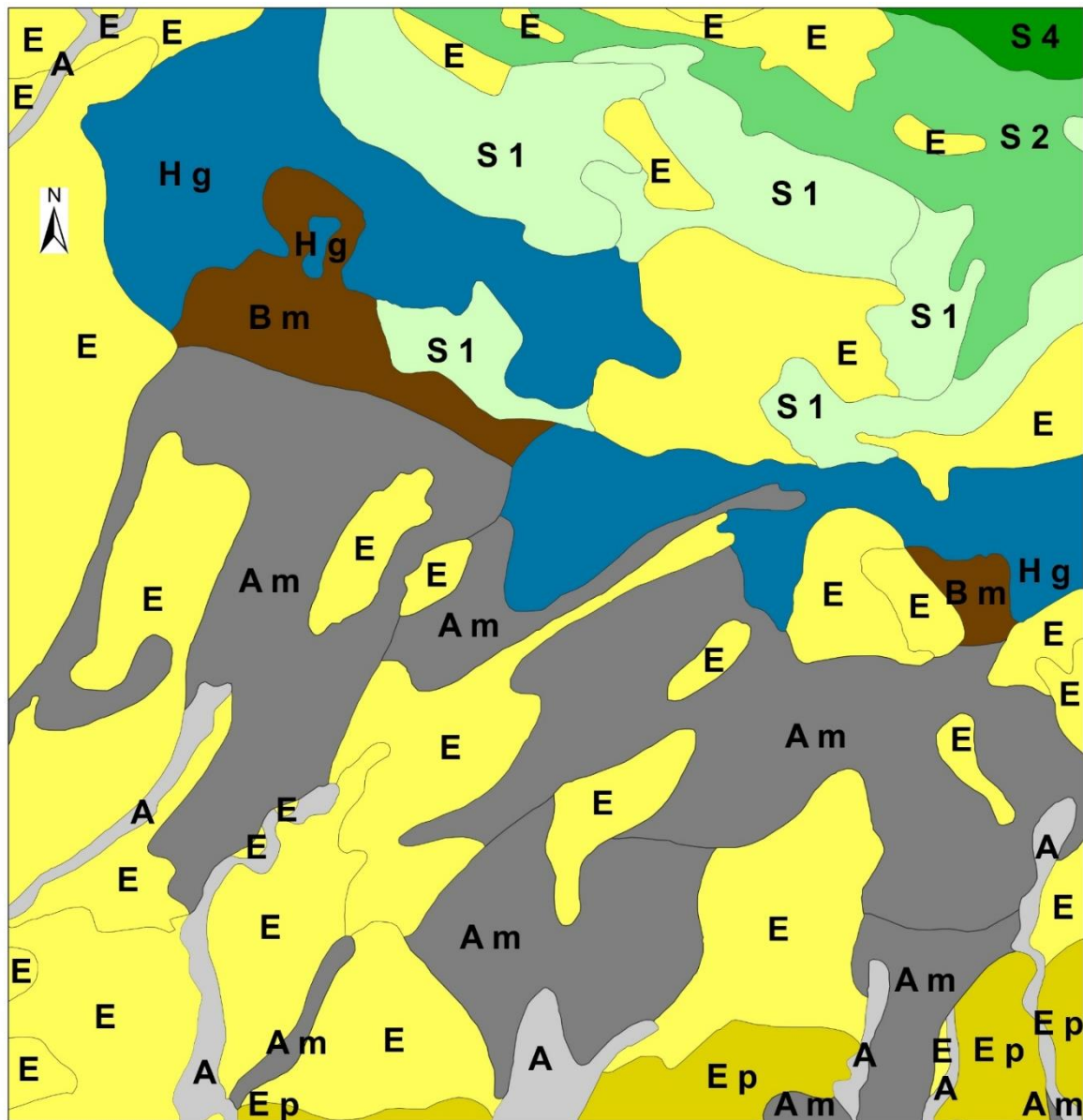
Ce type du sol considéré comme un sol pauvre, nécessite des intrants agricoles pour les rendre exploitable à l'activité agricoles.

Les sols peu évolués non climatiques d'apport alluvial (Am) sont les plus concernées par la mise en valeur des terres agricoles, et constitué une superficie importante du périmètre, ces sols ont une texture grossière, du sable, des nebkha et micronebkha

du sable sont très répandus, peut être justifiés par les voiles d'éolisations signalés dans la carte. Quelques taches ferrugineuses et des amas taches et galeries gypseux.

Ces sols sont riches en matière organique qui peut contribuer à la constitution d'une bonne structure grumeleuse, le niveau de la nappe est proche à la surface (9 m), l'extension de l'activité agricole durant ces trois dernières décennies été autour de cette zone. Le facteur limitant des sols d'apport alluvial c'est la surface restreint, et les agriculteurs ont été obligent d'affranchir d'autres type du sol pour les mettre en profit.

Les entités en bleu sont les sols hydromorphes minéraux ou peu humifère a redistribution de calcaire ou de gypse (Hg), selon CPCS 1997 ces sols se caractérisent par une nappe permanent à faibles oscillations, sols présentant à moins de 1,30 m un horizon de Gley (G) : horizon à engorgement relativement prolongé où la réduction l'emporte sur l'oxydation. Le fer est réduit à l'état ferreux (de couleur gris-vert) et peut ou non s'accumuler, Les plans d'eau indiquent ont une profondeur autour de 1.5 - 7 m.



Legende

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> A : Sol minéraux brut d'apport alluvial Am : Sol peu évolué d'apport alluvial (Modal) Bm : Sol isohumique E : Sols minéraux bruts inorganisés d'apport Ep : Sol peu évolué d'apport eolien (calcimorphe) | <ul style="list-style-type: none"> Hg : Sol hydromorphe (a encrouement ou croute gypseux) S 1 : Sol halomorphe (moyennement salin) S 2 : Sol halomorphe (fortement salin) S 3 : Sol halomorphe (très fortement salin) S 4 : Sol halomorphe (excessivement salin) |
|---|--|

Extrait de la carte pédologique de la FAO 1974
 Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 31S
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 Unit: Meter

Figure 27: Carte pédologiques du sol dans le périmètre du grand Maadher
 Réalisée sur une carte de la FAO 1974.

La salinité signalée dans la carte est sulfatée et différentes d'un lieu à l'autre, une diminution avec la profondeur et dans d'autre lieu on marque une augmentions avec la profondeur. A texture est varient entre moyenne à grossière. Des roches de sable gypseux sont communes dans cette zone, et les micronebkha sont moins répandus par rapport aux autres types du sol dans le périmètre.

L'exploitation de ces terres est limitée par la baisse de la nappe, ce qui est possible de le voir à l'œil nue ce dernier temps.

L'image prise en 2021 nous montre une activité agricole considérable sur les sols Halomorphes, selon la carte FAO ces sols sont Halomorphes a structure non dégradée et/ou dégradée, de type S1 moyennement salin et S2 fortement salin, salinisation de type chloruré à chlorure sulfaté, et leur taux varié d'un lieu à autre, une augmentation vers la profondeur et dans d'autres lieu une augmentation vers la profondeur. La carte indique plusieurs inclusions de gypse cristallisé et roses de sable ainsi des amas, tache et galeries gypseux, dans certaines places y eu des roches gypseuses. Une texture diversifiée entre une texture fine et grossière.

On doit mentionner que la classification CPCS 1967 rattachée ces sols aux sols calcimagnésiques en raison de peu de sodium et présence de gypse dans ces sols. (Photo).

L'activité agricole de ce type du sol a considérablement augmenté, peut être aussi justifié par la baisse des eaux salé, dans ce dernier temps on ne peut plus voir l'eau sur le Chott.

5. Juxtaposition des sols

Une juxtaposition de sols est un ensemble des sols dont chacun d'eux ne comporte qu'une surface petite à l'échelle de la carte et dont la coexistence ne paraît dépendre d'aucune règle de répartition précise. (Informations sur la carte pédologique de france p.ségalen). La carte (Figure 28) montre une juxtaposition de sol peu alluviaux sur un sol isohumique, dont on peut l'expliquer par des apports alluviaux qui ont été déposées sur le sol isohumique, CPCS 1976 se caractérise les sols isohumique par le pseudogley, le plan d'eau mentionner dans la carte est autour de 3.5 m. et des inclusions de gypse cristallisé et rose de sable, des amas et/ou nodules de calcaire.

Une autre juxtaposition celle de sols hydromorphe sur des sols minéraux brut non climatique,

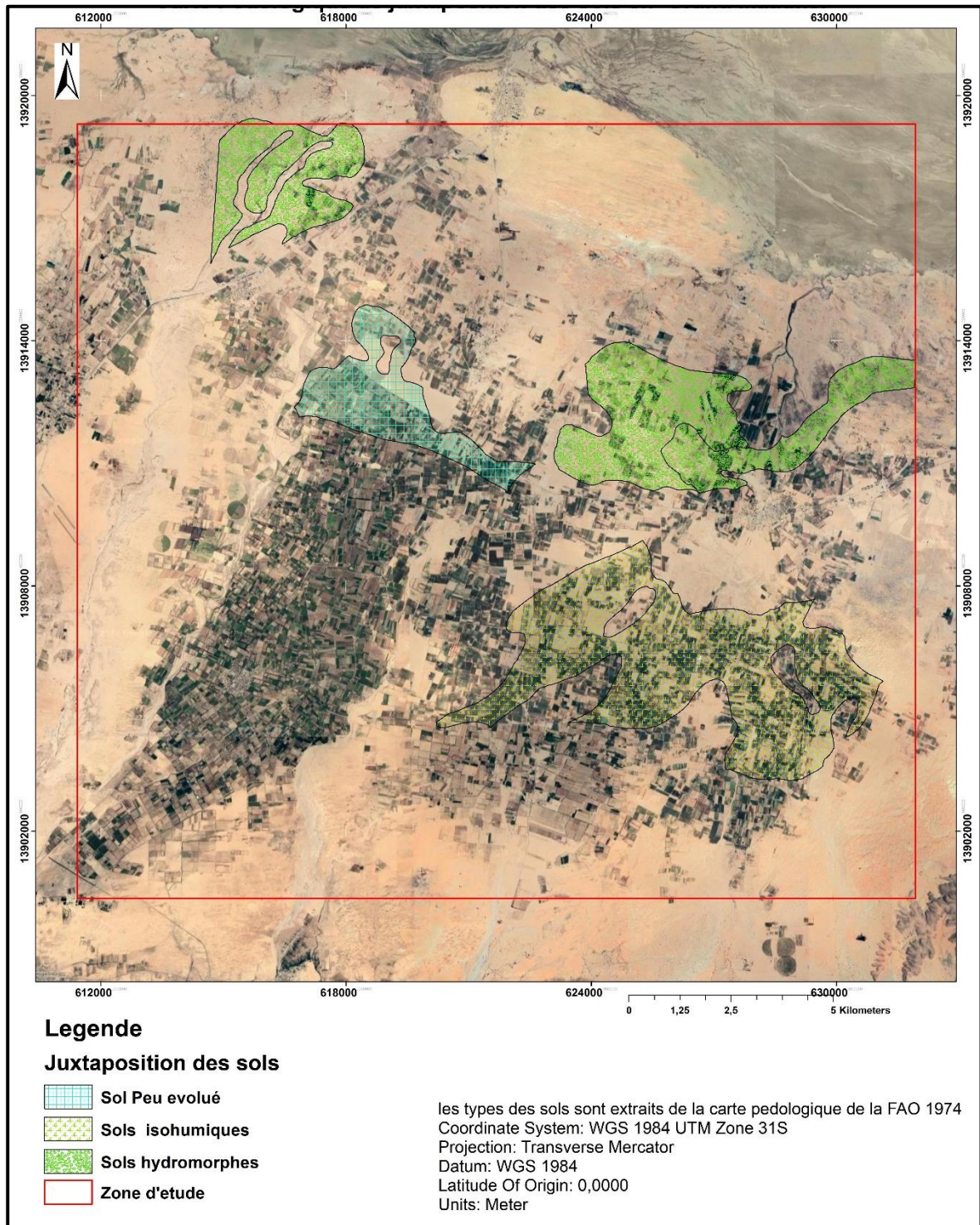


Figure 28: Carte de superposition des sols sur image de Google Earth

6. Carte à symboles ponctuels des entités pédologiques au périmètre du Grand Maadher

Ce type de carte montre la localisation d'objets géographiques, dans notre étude, ces objets sont des entités pédologiques représente différents phénomènes pédologiques ou naturelles. Le symbole est placé sur la carte à l'endroit où se trouve l'objet à partir de son coordonnées géographiques (X, Y) (Figure 29). De ce fait, la symbologie thématique est plus abstraite. La couleur, la taille et la forme des symboles étant variés, les entités cartographiques les plus grandes sont les plus évidentes et les relations quantitatives et qualitatives entre les données sont claires. Le concepteur cherche avant tout à communiquer clairement entre les données ainsi que le message qu'il désire véhiculer via la carte.

La quantité d'information contient la carte FAO 1974 est énormes, la carte enregistre un large nombre d'entités pédologiques et des points d'échantillonnages, dans notre étude nous avons digitalisé toutes les entités mentionnées dans la région d'étude, et établis une couche séparée contient juste la symbologie, et le fond de la carte était extrait d'une image récente de Google Earth, ou la couche de différents types des sols.

Les observations qu'on a prises de la carte :

L'encroutement gypseux a été aperçu sur les sols du nord du périmètre, sols de type : Hydromorphe Hg, Halomorphe S1 et S2 ou la salinité

La grande majorité des sols dans le périmètre ont une texture grossière

Voile d'éolisation sont partout, mais se localise particulièrement dans la zone sud du périmètre, cela, peut expliquer le type du sol : Peu évolué d'apport éolien Ep.

Les micronebkha et nebka du sable indique une activité végétative, cette activité est présente même dans le sol de type halomorphe S2 (fortement salin)

Les amas, taches et galeries gypseux sont fréquent dans les salins halomorphe et hydromorphe et peu dans les sols alluviaux.

Les amas et/ ou nodules de calcaire sont courant dans les sols de type peu évolué d'apport éolien, les nabkhas de sable sont proches des masses de calcaire.

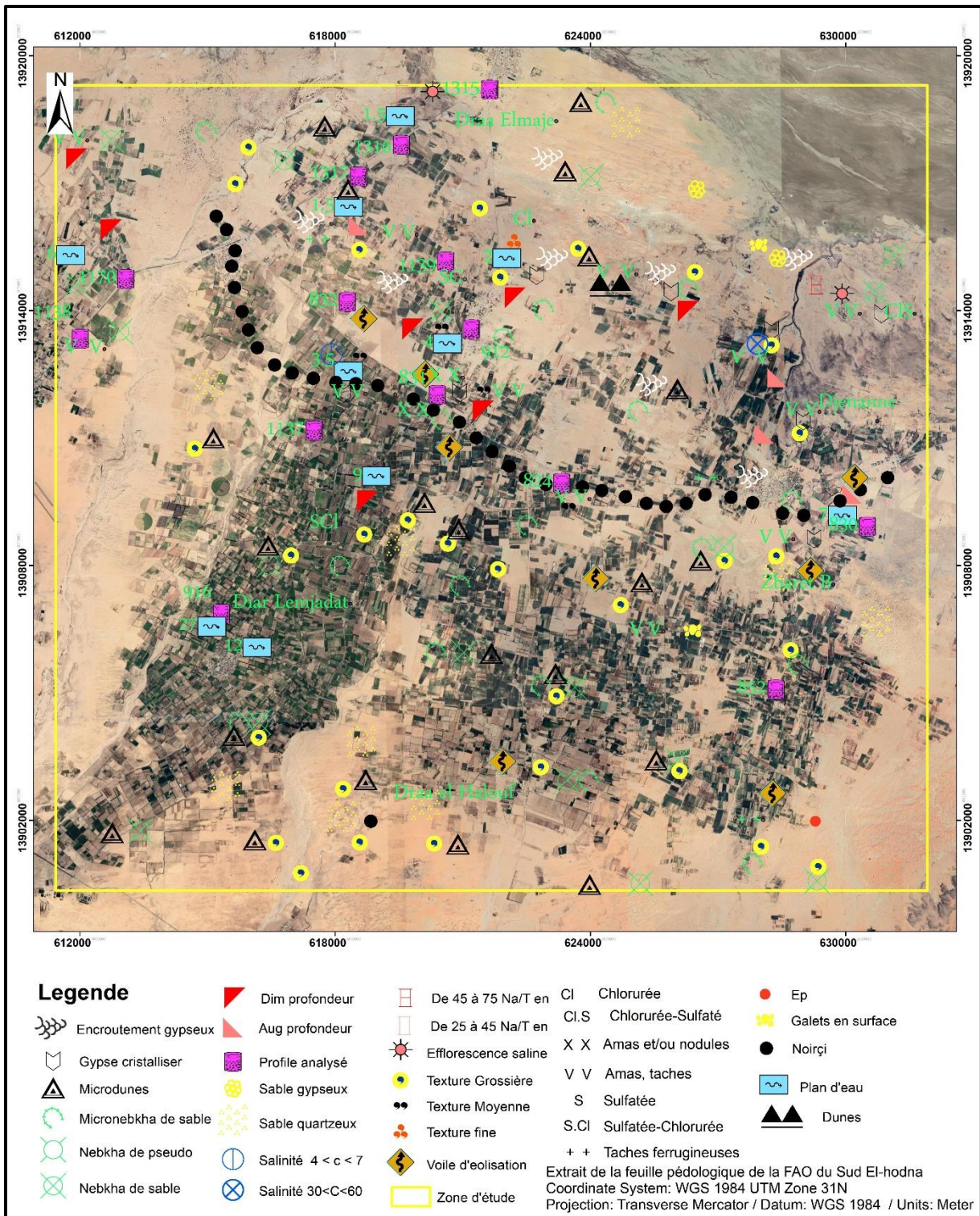


Figure 29: Carte des différents phénomènes pédologiques au périmètre de Grand Maadher (Extrait de la carte FAO 1974)

Conclusion

Conclusion

En Algérie, les zones arides représentent près de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride. Ces chiffres traduisent à eux seuls l'intérêt de ces régions. La mise en valeur de ces surfaces et leur aménagement est d'une importance capitale pour l'avenir économique du pays.

Le premier objectif de ce travail était de construire une carte des sols numériques avec des méthodes modernes alliant les SIG et la télédétection, une tâche devenue plus facile à réaliser.

La numérisation d'une fraction de la carte FAO 1974 du sud Hodna à nous à montrer le travail colossal faites par les experts lors de sa production, et l'emploi de cette carte dans toutes les recherches académiques sur cette région prouve leur grandeur, un travail pareil est plus nécessaire lors l'exécution des plans de mise en valeur des terres agricoles.

Production une carte d'évolution et occupation du sol n'été pas possible sans recours au free applications dont nous a permis de télécharger et utiliser des images impressionnantes de différent date, et de free applications.

La cartographie de l'évolution de l'occupation du sol du périmètre de grand Maadher durant la période étudiée a confirmé la réussite des plans de mise en valeur des périmètres agricoles, de même que le plan de développement agricole lancé par l'état au début des année 2000 surtout coté de mobilisation des ressources hydriques, qui a favorisé les gens de s'installer et d'accroitre leur terrain agricole, on a constaté une augmentation évidente de la surface agricole utilisé.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- Aissou, K.E., 2019. Rapport du TP Cartographie de Bousaada. (University of Science and Technology Houari Boumediene).
- Aouam, H. 2007 : Étude minéralogique et micromorphologique des sols alluviaux de la région de Guerrara.
- Aubert G. 1960 Les sols de la zone aride. Étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et leur conservation.
- Aubert G. 1976 : Les sols sodiques en Afrique du nord p1.
- Baize and Girard., 2008 : Référentiel pédologique. AFES, France
- Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014 Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques Mise à jour 2015.
- Bensaid A 2006 : SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de Naâma (Algérie. Thèse de doctorat en géographie, Université Es Senia Oran Algérie, in BOULTIF M. 2018 : thèse de Doctorat 3ème cycle SIG et Modélisation pour la Cartographie des Zones Vulnérables à la Sécheresse et à La Désertification dans un Ecosystème Méditerranéen Semi-Aride : Application dans la Zone d'El Hodna.
- Bensaid A. 2006 Sig et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride : le cas de la wilaya de naâma (Algérie). Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Joseph Fourier-Grenoble 1 P19
- Bonneau et SOUCHIER 1979 : Pédologie ; t2, Constituants et propriétés du sol
- Boultif Meriem 2018 SIG et Modélisation pour la Cartographie des Zones Vulnérables à la Sécheresse et à La Désertification dans un Ecosystème Méditerranéen Semi-Aride : Application dans la Zone d'El Hodna. Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3ème cycle
- Chalifoux et al. 2006 : cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire LANDSAT en hydrogéologie
- Cherel, J-P 2010 : Traitement d'images - classification d'images de télédétection.
- Classification des sols CPCS 1976.
- Cretien, J., et Baize, D. 1992. Référentiel pédologique, P183
- Daoudi Ali, 2014 : Radioscopie d'une success story de l'agriculture familiale Le cas du périmètre irrigué du Grand Maadher - M'sila, Algérie.
- Denis Baize, Bernard Jabiol 2011 Guide pour la description des sols P6.
- Diane Saint-Laurent et Luc Lavoie 2009 : Récurrence des inondations et édification des plaines alluviales des bassins du centre-sud du Québec (Canada) Flood recurrence and aggradation of flood plains of south-central Québec basins (Canada), Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science.
- Djili B. 2004 : Étude des sols alluviaux en zones arides. Cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique.

- DJILI K., 2000. Contribution à la connaissance des sols du nord de l'Algérie. Création d'une banque de données informatisée et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la valorisation des données pédologiques. Thèse Doc. D'Etat, INA, Alger, P243
- Duchaufour Ph. 1977 : Pédologie - 1 Pédogénèse et classification, P 116
- Duchaufour, P., 1977. Pédologie. Tome I. Pédogénèse et classification,
- Falipou P. et J.-P. Legros 2002 : Le système STIPA-2000 d'entrée et édition, des données pour la base nationale de sols DONESOL II, P57.
- Falipou, P. et Legro, J.P., 2002. Le système STIPA-2000 d'entrée et édition des données pour la banque nationale de sols DONESOL II P60
- FAO-UNESCO (Volume VI Afrique, 1976) P68
- Farine et Gerber, 2007. Dynamique de mise en place des sols en plaine alluviale du Rhône supérieur. Mémoire de diplôme universitaire. Institut de biologie. Université de Neuchâtel – Suiss.
- Faure P 1989 : Cartographie pédologique thématique assistée par ordinateur : le logiciel FORBAN P81.
- Gaddas F., 2001. Proposition d'une méthode de cartographie des pédopaysages. Application à « la moyenne vallée du Rhône ». Thèse, INA Paris-Grignon. P212
- Girard 1995 : Apport de l'interprétation visuelle des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols P9
- Girard M-C, 1995 : Apport de l'interprétation visuelle des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols
- Grunwald S., Thompson J.A., Boettinger J.L., 2011. Digital soil mapping and modeling at continental scales: Finding solutions for global issues. Soil Science Society of America Journal: SSSAJ: Volume 75: Number 4, pp 1201-12013.
- Halitim., 1988 : les sols des régions arides D'Algérie. Ed. O.P.U, Alger, 384p
- Lotfi M., Kazi-Tani, L. M., 2016 Cartographie numérique des sols à l'échelle du paysage. Cas de la région des Traras orientaux (Nord-Ouest de l'Algérie) these doctorat 2016.
- Lavoie, L., Saint-Laurent, D. et St-Laurent, J. 2006. Analyse pédologique et sédimentologique des sols alluviaux et paléosols des terrasses d'inondation. Can. J. Soil Sci. 86 : 813–826.
- Legros, J. P., 1996 : Cartographie des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires P1. P11, P12, P20
- Les sciences 1976 : La grande encyclopédie alpha des sciences et des techniques N : 102
- Lozet et Mathieu, 2011 Dictionnaire encyclopédique de science du sol (5e ed) P20.
- Martin Paegelow 2004: Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective. Habilitation à Diriger des Recherches ; P18.
- Mohd Hasmadi Ismail, 2011: Universiti Putra Malaysia Remote Sensing for Mapping RAMSAR Heritage Site at Sungai Pulai Mangrove Forest Reserve, Johor, Malaysia.

- Nachtergaele, 2000 in Lotfi M., Kazi-Tani, 2016 : Pour l'obtention du titre de Docteur en Foresterie
- Raissouni, A., (2012), modélisation et cartographie de la sensibilité et de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale par sig et usle (rif nord occidental, maroc). These pour l'obtention du doctorat en sciences et techniques discipline : géosciences de l'environnement spécialité : géomatique appliquée à l'environnement. Université abdelmalek essaadi. faculté des sciences et techniques de Tanger ufr : océanologie et climatologie de part et d'autre du détroit de Gibraltar.
- Ségalen, P., (1964) Informations Sur La Carte Pédologique De France. Centre ORSROM de Bondy
- Yahi M, 2012 : Contribution à l'évaluation de la fertilité naturelle des sols des régions arides (Hodna)

Annexes

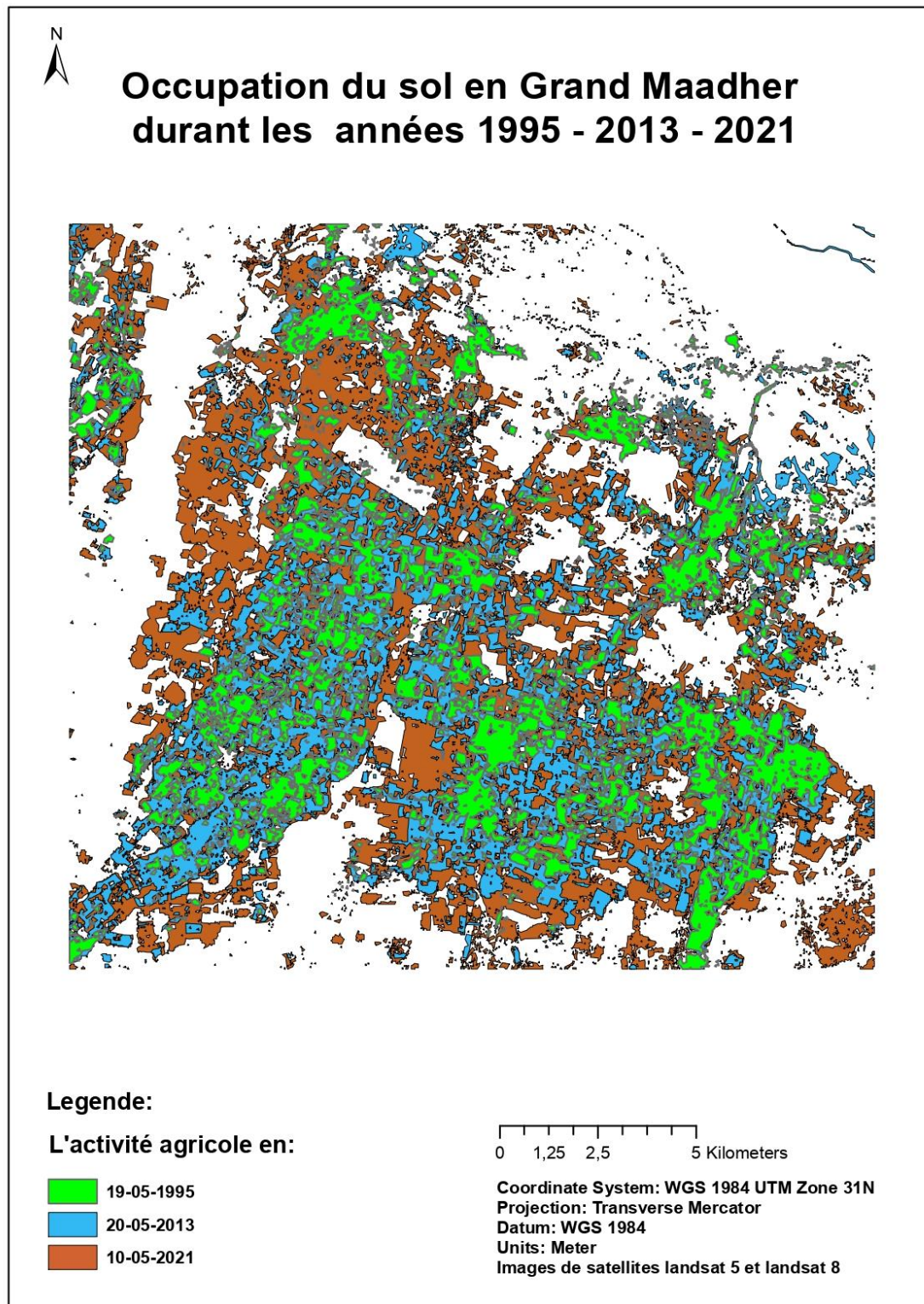


Figure 30: Juxtaposition de l'activité agricole au périmètre de grand Maadher (durant les années (1995-2013-2021))

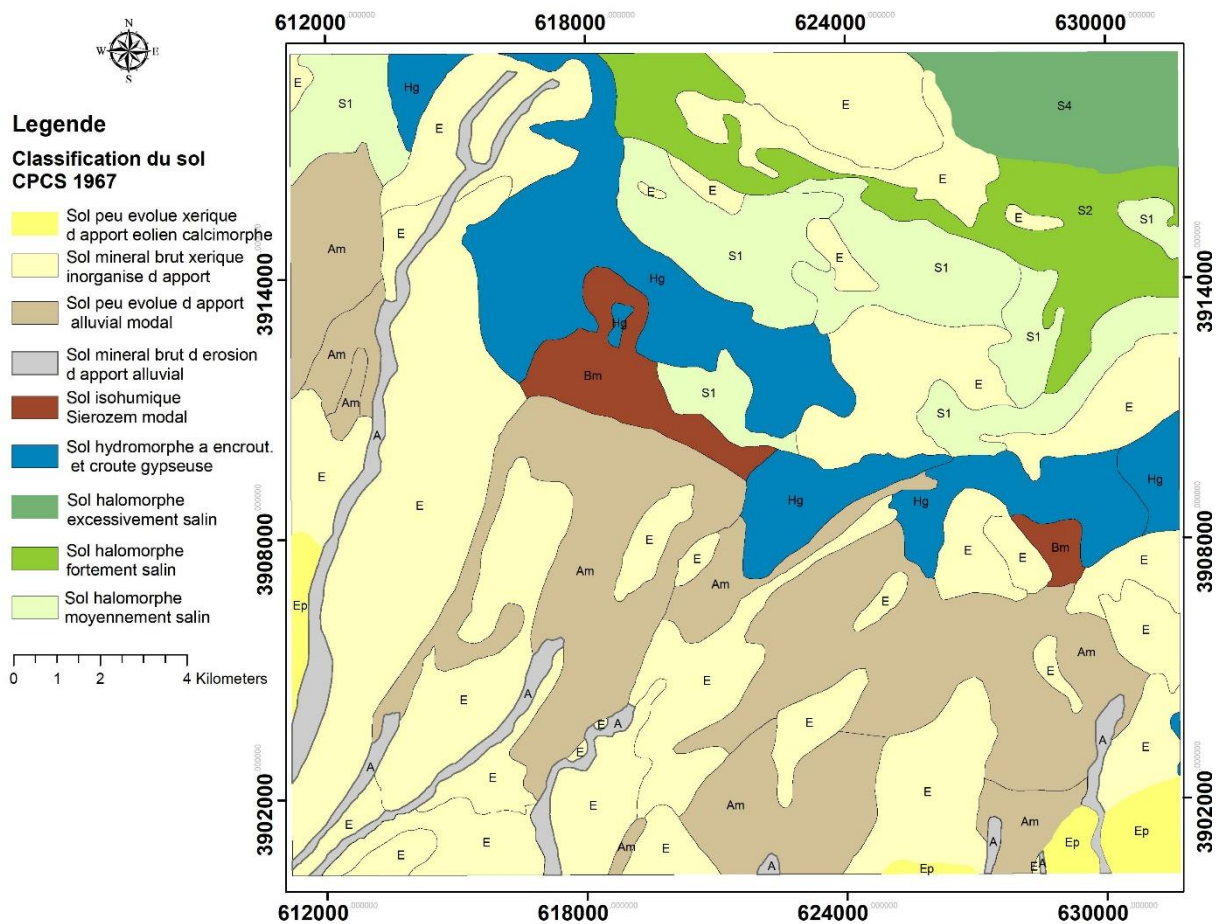
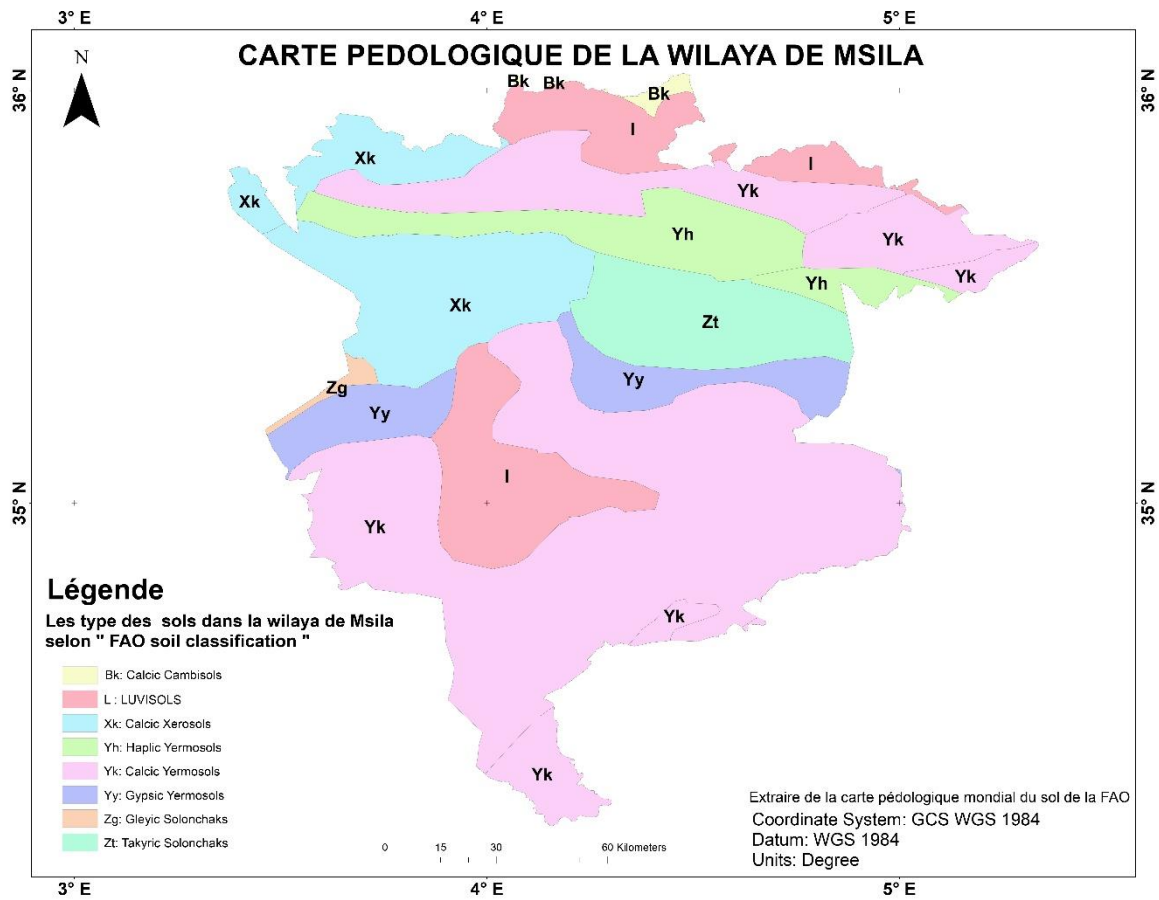


Figure 31 : Classification CPCS 1967 du sol du périmètre Grand Maadher



ملخص

تواجه الجزائر حاليا العديد من التهديدات المتعلقة بتغير المناخ، وتزايد الضغط الاجتماعي والاقتصادي مع الإفراط في استخدام الموارد الطبيعية، نتج عن ذلك تدهور المحيط مثل الجفاف والتصحر خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو استعمال المختصين لأدوات الجيوماتيك من أجل: تثمين الاعمال السابقة للخبراء و ذلك بالقيام بعملية ترقيم الخرائط المنتجة سابقا و التي تحمل معلومات دقيقة و فريدة فيما يخص عمل النظام البيئي في ذلك الوقت. حماية النظام البيئي بأكمله من الزوال والانقراض لأسباب خارجية مختلفة خاصة المتعلقة بنشاط الانسان. انتاج قاعدة بيانات مرقمة لها أولوية، تسمح هذه البيانات بتسجيل جميع التغيرات في تكوين و خصائص التربة على مستوى محلي و وطني و تساعد في الاستخدام العقلاني للمحيطات لمواجهة التحديات الكبرى التي تندرج ضمن سياسة التنمية المستدامة و الحفاظ على الموارد الطبيعية.

Résumé

Actuellement, l'Algérie est confrontée à plusieurs menaces liées aux changements climatiques, aux pressions socioéconomiques croissantes et à la surexploitation des ressources naturelles. Les régions arides et semi-arides ont subi des effets immenses de dégradation tel que la sécheresse et la désertification.

Le principal objectif de ce travail est d'utiliser l'outil géomatique afin de valoriser les anciens travaux menés par les experts de la pédologie par la numérisation des cartes anciennes qui ont apporté une information unique et directe sur l'histoire des écosystèmes.

Protéger le patrimoine naturel indiqué dans ces travaux de la disparition causée par les facteurs intrinsèques notamment l'anthropisation.

Produire de bases de données spatiales permettant d'enregistrer les variations pédologiques des sols à l'échelle locale pour permettre une gestion raisonnée des territoires face aux grands enjeux actuels qui s'inscrit dans la politique du développement durable, et la préservation des ressources.

Mots clés : cartographie-pédologie-classification du sol-Chott hodna-

Abstract:

Currently, Algeria faces several threats related to climate change, growing socio-economic pressures and overexploitation of natural resources. Arid and semi-arid regions have suffered immense effects of degradation such as drought and desertification.

The main objective of this work is to use the geomatics tool to enhance the old work carried out by soil science experts by digitizing old maps which have provided unique and direct information on the history of ecosystems.

Protect the natural heritage indicated in these works from the disappearance caused by intrinsic factors, in particular anthropization.

Produce spatial databases to record soil variations on a local scale to allow reasoned management of territories in the face of major current issues that are part of the policy of sustainable development and the preservation of natural resources.