

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de M'Sila



MEMOIRE

Présenté
A la Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques
Pour obtenir le Diplôme de

Master Académique en Sciences Agronomiques

Option : Science du Sol

Thème

**Cartographie de l'Hydromorphie du périmètre
irrigué de Ksob à partir des données d'une carte
pédologique détaillée**

Présenté par :

BOUAKAR Ferial

BOUKHADEM Dounia

Devant le Jury :

Président	HADJKOUIDER. B	MCA	Université de M'sila
Promoteur	TELLACHE S	MAA	Université de M'sila
Co promoteur	MERAH. F	MAA	Université de M'sila
Examineur	TIR Chafia	MAA	Université de M'sila

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH ﷻ le tout puissant de nous a donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire.

*Nous remercions notre rapporteur * **Mr TELLACHE SLLIMANE***, pour l'aide et pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.*

Nous exprimons nos sincères remerciements à :

****Mr HADJKOUIDER Boubakeur** de l'honneur qu'il nous fait de présider le jury.*

** **M^{lle} TIR Chafia** ; Pour avoir accepté de lire et corriger notre travail.*

*Au défunt Mr **HOUCEINI Rabah** pour nous avoir facilité l'utilisation des fonctionnalités de **SIG sur ARCGIS***

** Aux responsables, aux enseignants et les ingénieurs des laboratoires de département d'Agronomie pour leurs compréhensions et leurs aides.*

** Nos familles et Nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci



Dédicace

*A mes très chers parents, source de vie, d'amour et
d'affection*

*A mes chers frères (Azzedine, Hichem et Aboubaker),
source de joie et de bonheur*

A ma chère sœur (Amel), source de joie

*A toute ma famille, source d'espoir et de motivation A
tous mes amis, tout particulièrement (Ferial)*

Dédicace

*A mes très chers parents, source de vie, d'amour et
d'affection*

A mon cher frère, source de joie et de bonheur

A mes chères sœurs, source de joie

A toute ma famille A tous mes amis,

A mon marrie

A vous cher lecteur

Dounia



Table des matières

REMERCIEMENTS.....	I
LISTE DES FIGURES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX	V
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
1. INTRODUCTION-HISTORIQUE	3
2. DÉFINITION GÉNÉRALE.....	5
3. HORIZONS <i>DE</i> REFERENCE.....	5
3.1. Horizons réductiques G	5
3.2. Horizons rédoxiques –g.....	6
4. AUTRES HORIZONS DE RÉFÉRENCE.....	6
4.1. Désignation sols à caractère hydromorphie.....	7
4.2. Manifestations d'hydromorphie apparaissant A moins de 50 cm de profondeur (plus ou moins 10 cm) :	7
4.3. Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 50 et 80 cm de pr-7 fondeur :	7
4.4. Manifestations d'hydromorphie apparaissant entre 80 et120 cm-de profondeur :	7
5. CODER LES SOLS A CARACTERE HYDROMORPHE	8
5.1. Les principaux horizons des sols.....	8
5.2. Le type de sol renseigne sur l’assemblage des horizons.....	8
6. LES DIFFICULTES RENCONTREES POUR DEFINIR LES SOLS HYDROMORPHES.....	9
7. LES PRINCIPAUX SOLS HYDROMORPHES	10
7.1. Les sols hydromorphes minéraux	10
7.1.1. reductisols	10
7.1.2. redoxisols	10
7.1.3. Planosols	11
7.2. Les sols hydromorphes organiques.....	11
7.2.1. Histosols.....	11
7.2.2. Podzosols hydromorphes	12
8. METHODES D’ETUDE	12
8.1. Modalité d’étude.....	12
8.2. Modalité de caractérisation	13

9. CLASSIFICATION.....	13
10. ENGORGEMENTS SANS HYDROMORPHIE.....	14
CHAPITRE II : MILIEU PHYSIQUE	16
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	17
2. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	19
2.1. Relief.....	19
2.2. Hydrologie.....	21
2.3. Géologie.....	23
2.4. Pédologie	25
2.5. Climat	27
2.5.1. Pluviométrie.....	29
2.5.2. Température	31
2.6. Les autres facteurs climatiques.....	34
2.6.1. Les vents	34
2.6.2. La neige.....	34
2.6.3. La gelée blanche	34
2.7. La synthèse climatique.....	34
2.7.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	34
2.7.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER	35
2.7.3. Indice d'aridité de DE MARTONNE	38
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES.....	39
1. LE MATERIEL D'ETUDE	40
1.1. Choix de la zone d'étude.....	40
1.2. Les documents de base de l'étude	40
2. METHODES D'ETUDE :	42
2.1. Méthodes d'interpolation et de présentation des paramètre température et précipitation.....	42
2.1.1. Interpolation linéaire	42
2.1.2. Représentation des données interpolées.....	42
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	43
CONCLUSION GENERALE	44
BIBLIOGRAPHY	45

Liste des Figures

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude (source carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services)	18
Figure 2 : Classe des pentes de la zone d'étude (source : originale) carte de fond world street map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services).....	20
Figure 3: Réseau hydrographique de la zone d'étude (source carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services)	22
Figure 4 : Géologie de la zone d'étude (source : extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000. (FLANDRIN, 1952) Carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services)	24
Figure 5 : Pédologie de la zone d'étude source extrait des cartes pédologiques ; Pédologie1 (BOYADGIEV, 1975) et Pédologie2 Invalid source specified. carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services)	26
Figure 6 : Altitudes de la zone d'étude (source : originale carte de fond world street map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services)	28
Figure 7 : Répartition des précipitations moyennes annuelles dans la zone d'étude (source originale carte de fond carte de fond world street map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services)	30
Figure 8 : Répartition des températures moyennes dans la zone d'étude (source : originale, carte de fond world street map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services).....	33
Figure 9 : Les Diagrammes Ombrothermiques de la zone d'étude à 425 m et 725m.....	35
Figure 10 : Climagramme d'Emberger	37
Figure 11 : Les documents fournis par l'étude EFAGRARIA	41

Liste des tableaux

Table 1 : Les caractéristiques de la station météorologique de M'sila.....	29
Table 2 : Les précipitations moyennes mensuelles (1988-2008).....	29
Table 3 : Les précipitations interannuelles de la station de M'sila (1988-2008).....	31
Table 4 : Les régimes saisonniers	31
Table 5 : Les températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (°C).....	32
Table 6 : moyenne mensuelle de la vitesse du vent (station de M'sila, 1989-2007).....	34
Table 7 : nombre moyen de jours de gelée par mois (station de M'sila, 1988-2008).....	34
Table 8 : valeurs du Quotient pluviothermique	36
Table 9 : valeurs de l'indice (I) d'aridité de (DE MARTONNE (1926)).....	38



Introduction générale

Dans les sols, l'hydromorphie est une manifestation morphologique de l'engorgement en eau et du déficit d'oxygène. Elle prend la forme de taches, de ségrégations d'éléments, de colorations ou de décolorations. Ces traits morphologiques résultent de la dynamique du fer et du manganèse dont la forme chimique varie selon que le milieu est réducteur ou ré oxydé. L'hydromorphie est la conséquence d'un engorgement en eau qui peut être temporaire ou permanent, mais elle constitue un trait morphologique persistant dans les sols. En effet, l'hydromorphie est observable même lorsque l'engorgement a cessé (abaissement de la nappe, saison sèche, terrains drainés).

L'excès d'eau dans le sol a des causes diverses, externes au sol ou dépendantes des caractéristiques pédologiques. Dans le premier cas, il peut s'agir d'un excès de précipitations et d'éventuels apports complémentaires superficiels (ruissellement, inondation) ou profonds (remontée de nappe). La saturation du sol ou de certains horizons peut aussi avoir des causes internes au sol. L'évolution naturelle du sol a pu conduire à la présence d'horizons peu perméables (accumulation d'argile ou matériau parental peu perméable) et certains usages des terrains peuvent tasser le sol (passages d'engins agricoles, piétinement) et perturber la circulation de l'eau.

Les sols sont qualifiés d'hydromorphes lorsqu'ils présentent des traces d'hydromorphie dans tout ou partie de leurs horizons. Les sols sont considérés plus ou moins hydromorphes en fonction de la profondeur d'apparition des signes d'hydromorphie, de leur intensité et de l'épaisseur sur laquelle ils se manifestent.

Sur le plan agronomique, la saturation du sol par l'eau a des conséquences liées au déficit d'oxygène (gêne pour le développement des plantes cultivées, modification de la dynamique de la matière organique) ou aux modifications des propriétés mécaniques des sols qui affectent la possibilité et la qualité des travaux cultureux.

Notre travail consiste à déterminer lesquels des sols de la zone d'étude sont susceptibles de présenter les caractéristiques de l'hydromorphie permanentes ou temporaire en se basant sur les données topographiques et de la carte pédologique détaillée.

Mais à cause des restrictions imposées par la pandémie du Covid19 le travail n'a pas été achevé, il comprend les parties suivantes :

- Le premier est consacré à la synthèse bibliographique.
- Le deuxième fait l'objectif du cadre physique de notre zone d'étude.
- Le matériel et les méthodes utilisés constituent le troisième chapitre (non achevé).
- Et une conclusion

CHAPITRE I:
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE



1. Introduction-historique

Quand on relit les premiers numéros des Bulletins de l'AFES (Association Française pour l'Étude du Sol) de 1935 à 1939 puis ceux des premières années d'après-guerre, on constate, dans tous ces cas, que les mots "hydromorphie" et "hydromorphe" sont absents !

Chez Riedel (1950), par exemple, on trouve : « sols exagérément humides, sols asphyxiés imperméables », « sols mouilleux de plateau paralysés par l'excès d'eau », « sols mouilleux de pente ou de bas-fonds alimentés en eau profonde »....

Aux États-Unis, dans leur classification de 1949, Thorp et Smith considèrent le sous-ordre des "hydromorphic soils" au sein des "intrazonal soils". A la même époque, dans le Soil Survey Manual (USDA, 1951) "hydromorphic soils" n'apparaît qu'une fois sans être aucunement défini, dans un chapitre intitulé "relief and genetic profiles".

Dans le livre célèbre de Kubiena (texte rédigé en 1950, publié en espagnol en 1952 et en anglais en 1953), les mots hydromorphe et hydromorphie sont absents ! Il est question de sols semi-terrestres, de sols inondés, d'horizons détrempés, d'eau stagnante...

Riedel utilise l'expression "sols non hydromorphes" en 1955 dans un article publié dans *Économie rurale*.

Georges Aubert, un des pères de la pédologie française moderne et grand spécialiste des sols sous climats tropicaux, est certainement celui qui a véritablement introduit les termes et les notions liées à l'hydromorphie. Dans une petite note de 5 pages publiée en mars 1955 dans le Bulletin de l'AFES, les mots hydromorphie et hydromorphe apparaissent onze fois.

Quelques années plus tard, dans un article de 1962 consacré à la Classification pédologique française, Aubert développera sa pensée : « Certains phénomènes fondamentaux d'évolution, tels que l'hydromorphie (ou hydro-genèse) ou l'halomorphie (ou halo-genèse) diffèrent certainement des processus précédents en ce qu'ils sont, non pas vraiment transitoires comme il a été dit parfois, mais beaucoup plus rapides (...). Cependant ils peuvent être si développés qu'ils modifient entièrement le mode d'évolution du sol et son profil. En ce cas seulement, ils sont pris comme caractéristiques de classes de sols, moins intenses ou moins intensément exprimés, ils ne définissent que des groupes et surtout des sous-groupes (...) ».

Pour Aubert, l'hydromorphie est donc un processus pédologique majeur méritant d'être pris en compte au plus haut niveau de la classification. Mais, dans le même texte, quelques lignes plus bas, il fait mention de "taches d'hydromorphie" manifestation d'un processus secondaire.

La formule « sols hydromorphes » fait une timide apparition dans l'ouvrage de Duchaufour (1956) dans un titre de chapitre mais pas dans le texte. Quatre ans plus tard, le même auteur dans la première édition de son Précis de pédologie (1960), développe largement cette conception (p. 51-52), opposant « hydromorphie de surface », « hydromorphie de profondeur », « hydromorphie temporaire », etc. mais sans définir ce terme. « L'imperméabilité des horizons minéraux peut conduire à une saturation totale par l'eau de pluie des pores du sol (...) Le milieu dépourvu d'air devient asphyxiant et réducteur ; le fer passant partiellement à l'état ferreux (...) : le sol ou l'horizon gorgé d'eau prennent des propriétés particulières, ils sont dits "hydromorphes". On peut distinguer deux cas d'hydromorphie temporaire due à l'imperméabilité : - hydromorphie de surface (...) ; - hydromorphie de profondeur (...) ». Donc, dès 1960, et sous la plume du plus célèbre pédologue français de l'époque, l'ambiguïté s'installe entre hydromorphie et engorgement ! Car, dans cette citation, ce n'est pas l'hydromorphie qui est temporaire !



Dans le Dictionnaire des sols de Plaisance et Cailleux (1958) les termes « hydromorphe (sol) », « hydromorphe (processus) », « hydromorphie », et même « hydromorphique » figurent déjà. Il y est mentionné que hydromorphe s'oppose à xéromorphe terme qui, appliqué aux sols, est tombé en désuétude.

Hydromorphisme apparaît également chez Margulis (1963), et dans la classification (française) des sols CPCPS 1967, héritière directe de celle d'Aubert.

(BAIZE, 2012)

Baize et Jabiol (1995) insistent : « au sens strict et originel, l'hydromorphie est la manifestation morphologique de l'engorgement (ancien ou actuel) sous la forme de taches, de concentrations, de colorations ou de décolorations, résultant de la dynamique des deux éléments colorés en milieu alternativement réducteur puis réoxydé : le fer et le manganèse. Donc, attention, ne pas confondre les causes et les effets, ne pas employer le mot "hydromorphie" pour désigner un engorgement. (...) en outre s'il n'y a pas de fer ni de manganèse dans un horizon, l'hydromorphie ne pourra pas se manifester. »

_hydromorphie et hydromorphe sont souvent employés à tort car il est fait confusion entre la morphologie de certains horizons de sols qui montrent des aspects liés à des engorgements par l'eau plus ou moins durables et l'engorgement lui-même. Voici quelques citations glanées sur internet.

« Le châtaignier occupe de nombreux types de sols qui malheureusement ne lui conviennent pas toujours. Il est très sensible aux excès d'hydromorphie... »

« La parcelle est trop argileuse, trop hydromorphe. Ses caractéristiques ne permettent pas le développement de maraîchage diversifié ».

« C'est dans les terrains légers, frais, au ph proche de 5, qu'il ((le robinier)) atteint la meilleure production mais il est prompt à coloniser toute station nouvelle pour peu que le sol ne soit pas trop compact, trop calcaire ou trop hydromorphe ».

« L'humidité des sols (...) se caractérise bien en télédétection notamment grâce à la bande du moyen infrarouge de spot 4 et 5 et aux données radar (...). Cependant certains sols hydromorphes dont l'hydromorphie est temporaire peuvent ne pas être détectés s'ils ne sont pas gorgés d'eau à la date de prise de vue. »

« Les sols souffrant d'hydromorphie sont généralement à dominante limoneuse (...) l'hydromorphie modifie les propriétés physiques du sol et ralentit son réchauffement au printemps (...) les solutions pour faire face à l'hydromorphie d'un sol sont : le drainage (...) » (Wikipédia, mai 2012).

Il faut disjoindre les deux concepts car nous verrons ci-après qu'il y a des situations hydro-pédologiques où il y a engorgement sans hydromorphie et d'autres où il y a hydromorphie sans engorgement.

Vient s'y ajouter la notion agricole d'excès d'eau qui recouvre deux types de problèmes : d'une part, la difficulté à circuler (portance) et à travailler la terre et, d'autre part, l'asphyxie des racines, vécus au quotidien de façon très subjective et très variable selon les situations.



(BAIZE, 2012)

2. Définition générale

Les "sols hydromorphes" (au sens large) comportent des horizons dont certains caractères sont attribuables à un excès d'eau. Celui-ci peut être dû au seul défaut de perméabilité d'horizon(s) empêchant l'infiltration des précipitations dans le solum ou résulter de la concentration dans ce dernier de flux d'origine extérieure (inondation, ruissellement, transferts latéraux, remontée d'une nappe souterraine).

L'excès d'eau entraîne la saturation des horizons par l'eau, c'est-à dire l'occupation de tout l'espace poral accessible. Il peut prendre des formes différentes suivant la porosité des horizons : eau liée (imbibition capillaire) dans ceux dépourvus de pores grossiers mais aussi eau libre (nappe, perchée ou souterraine, libre ou captive ...)

Lors' qu'il y a une bonne macroporosité. La saturation par l'eau est plus ou moins durable dans l'année, elle peut affecter une partie ou la totalité du solum.

La saturation par l'eau limite les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère.

Il peut en résulter un déficit en oxygène plus ou moins prolongé, qui entraîne :

- Le développement de processus d'oxydo-réduction qui modifient la mobilité différentielle des constituants du sol, d'où des redistributions particulières de certains éléments, notamment au fer ;

- Une évolution spécifique de la fraction organique lorsque la saturation intéresse la partie supérieure des solums.

L'anaérobiose provoque un ralentissement de l'activité biologique qui se traduit par une accumulation de matière organique et une production de substances propres à ces milieux saturés par l'eau.

(Favrot , et al., 1988)

3. Horizons *de* référence

3.1. Horizons réductiques *G*

Leur morphologie est attribuée à la prédominance des processus de réduction et de mobilisation du fer. Dans les horizons réductiques, la répartition du fer est plutôt homogène. Lorsque la porosité et les conditions hydrologiques permettent le renouvellement de l'eau en excès, ' ces horizons s'appauvrissent progressivement en fer. Parfois, il peut y avoir déferrification complète et blanchiment de l'horizon.

Une morphologie et un fonctionnement de type réductique peuvent se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d'autres processus de pédogenèse tels que l'humification ou l'illuviation, par exemple (horizons notes A_G ou B_{TG}).

Les horizons réductiques permanents (Gr) sont caractérisés par leur couleur qui peut être soit uniformément bleuâtre à verdâtre (sur > 95% de la surface), soit uniformément blanche a noire ou grisâtre, avec un chroma inférieur ou égal à 2.



Dans les horizons réductiques temporaires (Go) la saturation par l'eau est interrompue périodiquement. Des "taches de teintes rouille (jaune-rouge, brun-rouge), souvent pâles, sont observables pendant les périodes de non saturation, au contact des vides, des racines, sur les faces de certains agrégats. Il y a une redistribution centrifuge du fer, migrant lors du dessèchement de l'horizon, de l'intérieur des agrégats vers leur périphérie. Cette ségrégation de couleurs est fugace, elle disparaît quand l'horizon est à nouveau saturé d'eau.

(Favrot , et al., 1988)

3.2. Horizons rédoxiques –g

Leur morphologie résulte de la succession, dans le temps, de processus de réduction-mobilisation du fer (périodes de saturation en eau) et de processus d'oxydation-immobilisation du fer (périodes de non saturation)

Les horizons rédoxiques sont caractérisés par une juxtaposition de plages ou de trainées grises (ou simplement plus claires que le fond matriciel de l'horizon), appauvries en fer, et de taches de couleur rouille (brun-rouge, jaune-rouge), enrichies en fer. La répartition du fer est donc très hétérogène. La couleur des faces des unités structurales, plus claire que celle de leur partie interne, résulte d'une Redistribution centripète de fer migrant, lors des périodes de saturation, vers l'intérieur des agrégats où il s' y immobilise lors du dessèchement.

Ces ségrégations du fer sont permanentes, visibles quel que soit l'état hydrique de l'horizon. Les immobilisations se maintenant lorsque le sol est de nouveau saturé, elles tendent ainsi à former peu à peu des accumulations localisées de fer donnant des tâches rouille, des nodules ou des concrétions.

Le fer qui se redistribue dans ce type d'horizon peut provenir, dans des proportions variables, d'horizons sus-jacents ou voisins, en liaison avec les circulations verticales ou latérales des solutions du sol. Il y a alors enrichissement en fer. Un fort enrichissement et une forte hétérogénéité de la redistribution du fer peuvent conduire à la formation d'horizons ferriques non indurés (FE) ou indurés (FEM).

Une ségrégation de type rédoxique peut se surimposer aux traits pédologiques résultant du développement (actuel ou ancien) d' autres processus de pédogenèse tels que l'éluviation, l'illuviation, les altérations, etc. ... (Horizons Eg, Bt, SCig, Scag, Sg etc....).

On notera que -g est le principal cas dans le RPF d'un horizon de référence majeur pouvant être associé à presque tous les autres : ainsi BTg est à la fois un horizon textural et un horizon rédoxique ; Sg un horizon structural et un horizon rédoxique etc.

(Favrot , et al., 1988)

4. Autres horizons de référence

L'évolution en anaérobiose plus ou moins prolongée de la fraction organique se traduit par une accumulation de matières organiques et par la formation de substances propres à ces milieux saturés d'eau. cf. hydromull, hydromoder, hydromor, anmoor (An), horizons histiques



Après le nom de REFERENCE.

(Favrot , et al., 1988) (GISsol, 2015)

5. Coder les sols à caractère hydromorphe

5.1. Les principaux horizons des sols

Horizon R, M ou D : il correspond au matériau original non altéré, à la roche-mère « brute ». On distingue pour la roche dure et massive (granit, silex, grès), M pour la roche meuble (craie, marne) et D pour la roche formée d'éléments grossiers, durs, déplacés.

Horizon c : horizon minéral d'altération de la roche-mère (m, r ou d), à structure encore lithologique et non pédologique. La roche-mère altérée présente une structure non cohérente et fragmentée, encore apparentée à de la roche mais non à de la terre.

Horizon s : on nomme s l'horizon minéral développé à partir de l'altération de l'horizon c. l'altération de la roche-mère m, r ou d entraîne la différenciation d'un horizon c. l'horizon s est le produit de l'altération terminale de c : la structure lithologique a disparu, et est remplacée par une structuration pédologique généralisée. L'horizon s peut être peu perméable notamment lorsque les produits de l'altération sont des particules fines (argiles, limons). On peut alors observer la différenciation de S en go/gr en cas d'engorgement prolongé, ou seulement en Sg en cas d'engorgement temporaire.

horizon Bt : l'horizon Bt est un horizon d'illuviation, caractérisé par l'accumulation de particules d'argiles. L'enrichissement de la fraction argileuse de l'horizon Bt est donc dû à l'éluviation de l'horizon le surmontant. L'horizon Bt est donc toujours peu perméable.

horizon E : horizon minéral lessivé, dit « éluvial » en conséquence du processus d'éluviation (lessivage) qui le caractérise. La fraction de particules fines est alors entraînée plus en profondeur –dans l'horizon sous-jacent, et lorsque le processus est exacerbé, sont également entraînées la fraction organique et les éléments métalliques (aluminium et fer). Il est généralement limoneux brun clair voire sableux gris/blanchâtre lorsque le processus est exacerbé (cas des podzols).

horizon A : horizon organo-minéral, humifère, enrichi en matière organique par le processus d'humification au cours duquel la matière organique de la litière en décomposition est incorporée dans le sol, de façon plus ou moins rapide en fonction de l'activité biologique.

horizon O : horizon organique formé en condition aérobie. Cet horizon correspond à la litière. en fonction de son épaisseur (liée directement à l'intensité de l'activité biologique), on peut définir différentes formes d'humus (mull, moder, mor,...).

horizon H : horizon organique formé en conditions anaérobies, dans un milieu saturé par l'eau (> 6 mois).

(POLLET, 2009)

5.2. Le type de sol renseigne sur l'assemblage des horizons

Pour définir et nommer les différents types de sols hydromorphes, deux critères sont utilisés :



- la profondeur d'apparition des horizons de référence G et -g (nous ne tenons compte que des sols hydromorphes majeurs, dont l'hydromorphie apparaît à moins de 50 cm de profondeur)

Le nom du sol comportera donc :

- la présence d'autres horizons de référence importants tels que e (horizon lessivé dit « éluvial »), bt (horizon d'accumulation d'argile dit « illuvial »), etc., traduisant la coexistence d'autres processus pédogénétique.

On nommera donc un sol hydromorphe soit par :

L'appellation unique de reductisol, redoxisol, histosol, plansol, pour les types de sols dont le principal facteur d'évolution est lié à un excès d'eau, soit par :

L'association d'un des types hydromorphe précédents avec un autre type de sol si l'on veut expliquer une morphologie particulière (marquer la coexistence d'un autre facteur d'évolution important

(POLLET, 2009)

6. Les difficultés rencontrées pour définir les sols hydromorphes

La définition précise des sols hydromorphes et des tourbes est souvent difficile en raison de leur diversité.

La présence de matière organique en abondance entraîne la rareté des traces d'oxydoréduction (gris-bleu-vert) ce qui compliquent leur caractérisation. Cela dit, à la fois la situation topographique (rivière, cuvette, marais...) et la végétation très hygrophile permettent de les rattacher sans ambiguïté aux sols hydromorphes. De plus la saturation en eau est souvent la cause de l'abondance de matière organique au l'intensité des taches rouilles peut varier, des cas de confusion sont éventuellement possible avec la couleur des cailloux ou du substrat. L'hydromorphie de surface liée au tassement peut également entraîner une erreur d'appréciation. Un sondage suffisant (de l'ordre de 80 cm à 1 mètre) doit être réalisé.

Parfois, lorsque le sol est suffisamment drainant pour permettre la bonne circulation des eaux en excès, les traits d'hydromorphies n'apparaissent pas suffisamment pour permettre un sommet au sein du profil.

L'apparition des horizons réductiques est souvent difficile à apprécier et ne reflète pas toujours la hauteur de la nappe permanente. Quand l'humus est hydromorphe, on est certain que l'on est en présence d'un *sol à hydromorphie proche de la surface* caractérisation certaine et aisée.

Il s'agit par exemple :

- Des sols fluviaux (fluviosols), développés dans des matériaux très pauvres en fer le plus souvent calcaires ou sableux (alluvions grossières) et en présence d'une nappe circulante ou oscillante très oxygénée, pour les fluviosols hydromorphes, les habitats et la flore des grèves sont souvent remaniés par les crues, c'est donc la proximité du cours d'eau qui restera le meilleur indice pour signaler la présence de ce type de sol.

- Des sols sableux pauvres et acides (podzosols), où les processus de lessivage provoquent la migration du fer (et de la matière organique) en profondeur. Ce lessivage (« éluviation ») du fer empêche de mettre en évidence l'hydromorphie à moins de 50 cm de la surface alors que ces sols peuvent également présenter une hydromorphie importante. Le



phénomène de lessivage de ces sols est rapide (à l'échelle du siècle). Pour les podzosols hydromorphes par exemple, on aura très souvent des landes humides ou tourbeuses à molinies, à joncs, ou à bruyère (ardennes), ou encore des boulaies humides à molinie. Pour ces types de sol, l'identification visuelle ne suffit pas toujours et des piézomètres sont parfois nécessaires pour mesurer la profondeur maximale du toit de la nappe ainsi que la durée d'engorgement. on concentrera donc les efforts sur les sols hydromorphes les plus simples : les sols présentant des traits visibles d'horizons rédoxiques (taches rouilles) ou d'horizons réductiques (couleur grisâtre-bleue-verdâtre) d'une part, et les sols dit « histiques » (tourbeux) d'autre part, c'est-à-dire composés exclusivement de matière organique

(POLLET, 2009)

7. Les principaux sols hydromorphes

7.1. Les sols hydromorphes minéraux

7.1.1. reductisols

On les rencontre en position de fond de vallées, de vallons, de dépression, d'émergence ou de résurgence de source, sur alluvions fluviales ou encore sur alluvions-colluvions récentes. La présence de l'horizon g réduit est liée à l'existence d'une nappe permanente plus ou moins profonde souvent en relation avec le système hydrographique de surface (cours d'eau, étangs, lacs). Ces conditions hydrologiques et sédimentaires font que les solums peuvent présenter toutes les textures et des perméabilités fortes ou faibles. Les reductisols peuvent présenter des profils différents, ce qui s'accompagne d'une dénomination adaptée, mais les signes caractéristiques des horizons réductiques g (go/gr) restent identiques.

ex. :

- reductisol typique, à remonter de nappe souterraine, un horizon go surmonte un horizon gr,
- reductisol stagnique en présence d'une nappe perchée, lorsque l'horizon gr surmonte l'horizon go (inversement par rapport à un reductisol typique),
- reductisol duplique lorsque le sol est affecté par deux niveaux distincts d'hydromorphie (une nappe perchée temporaire surmonte une nappe permanente). Un horizon -g surmonte alors les horizons go/gr

Les différents types de reductisols suivants présentent tous les traces caractéristiques d'hydromorphie des horizons réductiques g. (POLLET, 2009)

7.1.2. redoxisols

Par opposition à ce que l'on pourrait appeler des redoxisols « secondaires » (tels des luviredoxisols dont les traits d'hydromorphie débuteraient à plus de 50 cm de profondeur) qui couvrent de très grandes superficies sur matériaux divers, les redoxisols « primaires » sont peu fréquents. On ne les observe que sur des dépôts alluviaux et/ou colluviaux, présentant une discontinuité texturale propre à générer la formation d'une nappe perchée. Celle-ci, outre la pluie, est souvent alimentée par des apports latéraux provenant des versants situés en amont.

On peut distinguer deux sous-types plus précis :

- redoxisols-luvisol



Ce sont des sols lessivés à profil nettement différencié, résultant d'une éluviation superficielle (horizon e) et d'un entraînement des particules d'argile (liée au fer) en profondeur (horizon Bt). Ils présentent des horizons A, E et Bt plus ou moins développés suivant l'intensité du lessivage et l'action de l'érosion.

Un engorgement temporaire peut se manifester dans la partie supérieure du sol (eg et/ou Btg) en cas de substrat imperméable ou d'illuviation très importante. On les retrouve notamment sur la marge ardennaise et en argonomie.

- redoxisols-luvisols dégradés

Le terme « dégradé » décrit la présence de « langues » ou « digitations » prolongeant l'horizon e dans l'horizon Bt(g) et le dégradant (langues nommées « glosses » formant la limite de l'horizon e, d'où le terme d'horizon « glossique »). Lorsque l'horizon Btg est dégradé par ce processus glossiques, on le nomme Btdg (d pour « dégradé »). (POLLET, 2009)

7.1.3. Planosols

Ils cohabitent avec les luvisols dégradés mais sont développés dans un matériau très argileux (Sg si l'argile provient de l'altération de la roche-mère ou Btg si l'argile résulte d'une éluviation).

Ils se caractérisent par un horizon plancher très argileux et très imperméable (ex. : formation géologique à smectite dite « argile gonflante » ...) surmonté d'un horizon rédoxique lessivé en argile et en fer, blanchâtre, et différencié très brutalement (limite très nette en « plan »). Ces sols sont rapidement engorgés en surface (nappe perchée) en raison de l'horizon sous-jacent très argileux. Ils se caractérisent donc par un horizon rédoxique uniquement en surface. La difficulté d'identification apparaît lorsque tout le fer et l'argile ont été entraînés par lessivage (latéral) ce qui a pour conséquence l'absence de taches rouilles. Le lessivage latéral est dû au fait que le plancher est très compact et imperméable, ce qui limite la possibilité d'accumulation des particules fines dans un horizon illuvial sous-jacent (= horizon Bt). Le phénomène de lessivage de ces sols est lent, à l'échelle de quelques millénaires. Ces sols sont fréquents mais d'extension limitée, près des plateaux argileux, localement en champagne humide.

L'horizon « plancher » imperméable, est codé :

- S, si cet horizon est le produit de l'altération complète de la roche-mère (succède à l'horizon C),
- ou Bt si l'horizon résulte d'une accumulation d'argile provenant de l'horizon supérieur (=horizon E).

Dans les planosols, S ou Bt sont des horizons très compacts, au sommet desquels se différencient brutalement un horizon Eg rédoxique. (POLLET, 2009)

7.2. Les sols hydromorphes organiques

7.2.1. Histosols

Ce nom histosols, désigne tous les sols tourbeux et tourbes, acides ou alcalins. On les rencontre au niveau des sols de vallées ou d'émergence de source, à nappe permanente très superficielle, et à engorgement permanent.

La matière organique s'accumule, sa décomposition étant lente ou nulle dans ces milieux asphyxiants défavorables à la microflore aérobie. Quand la teneur en matière organique



dépasse 30 % dans les horizons superficiels (horizons historiques) et que l'épaisseur de la couche organique atteint plus de 40 cm, il se forme une « tourbe ». Suivant le degré de décomposition des fibres, on distingue des histosols fibriques, mesiques, sapriques. (POLLET, 2009)

7.2.2. Podzosols hydromorphes

D'extension limitée aux affleurements de sables et d'alluvions anciennes décalcifiées, ils peuvent aussi se développer sur la partie supérieure très appauvrie (sablo-limoneuse à sableuse) de certains luvisols dégradés ou de certains planosols (podzolisation secondaire).

Ces sols se caractérisent par une absence de fer dans tout le profil en cas d'engorgement permanent (landes tourbeuses), ou par des nodules ferrugineux (engorgement temporaire) en raison de la proximité d'un plancher imperméable, géologique ou pédologique, conditionnant un mauvais drainage (landes humides, boulaies oligotrophes humides à molinie).

De manière générale, les podzosols se caractérisent par la présence d'humus mal décomposé (horizon o épais) et par une dynamique de la matière organique, du fer (et de l'aluminium), qui migrent du haut vers le bas du profil pour aller recouvrir les grains minéraux (sables). On assiste donc à un horizon d'accumulation de matière organique caractéristique (bande noire, noté Bph) sous un horizon e cendres lessivé.

Bph : B = accumulation + ph = produits humiques (matière organique).

Sous l'horizon illuvial Bph se trouve un horizon d'accumulation de fer (et d'aluminium) noté Bps, car l'éluviation des produits métalliques précède celle des produits organiques, c'est pourquoi l'horizon Bps fini par être totalement blanchi en cas d'engorgement permanent, par départ total du fer réduit mobile.

Dans ce cas, il est nécessaire de procéder à une expertise des conditions hydrogéomorphologiques, c'est-à-dire identifier la profondeur maximum du toit de la nappe.

Lorsque la nappe est fluctuante, des nodules ferrugineux se forment et sont séquestrés au sein du profil ce qui permet de mettre en évidence facilement le caractère hydromorphe du solum. (POLLET, 2009)

8. Méthodes d'étude

8.1. Modalité d'étude

Lorsque des données ou cartes pédologiques sont disponibles à une échelle appropriée (1/1 000e à 1/25 000e), la lecture de ces cartes ou données vise à déterminer si les sols présents correspondent aux types de sols de zones humides mentionnés dans la liste de l'arrêté du 23 juin 2008 (cf. tableau suivant). Un espace peut être considéré comme humide si ses sols figurent dans cette liste. Il est nécessaire de vérifier non seulement la dénomination du type de sol, mais surtout les modalités d'apparition des traces d'hydromorphie.

Le nombre, la répartition et la localisation précise des points de sondage dépendent de la taille et de l'hétérogénéité du site. Chaque sondage pédologique sur ces points doit être d'une profondeur de l'ordre de 1 mètre. L'examen du sondage pédologique vise à vérifier la présence :



- d'horizons histiques (ou tourbeux) débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol et d'une épaisseur d'au moins 50 centimètres,
- ou de traits réductiques débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol,
- ou de traits rédoxiques débutant à moins de 50 centimètres de la surface du sol et se prolongeant ou s'intensifiant en profondeur.

Si ces caractéristiques sont présentes, le sol peut être considéré comme sol de zone humide. En leur absence, il convient de vérifier les indications fournies par l'examen de la végétation.

La fin de l'hiver et le début du printemps sont des périodes idéales pour constater sur le terrain la réalité des excès d'eau, mais l'observation des traits d'hydromorphie peut être réalisée toute l'année. (POLLET, 2009)

8.2. Modalité de caractérisation

La vérification des sol hydromorphe peut se faire, soit à partir de données et cartes pédologiques, soit par un sondage sur le terrain :

- vérification à partir de données et cartes pédologiques : les données ou cartes (à une échelle comprise entre le 1/1000e ou 1/25000e) doivent permettre de déterminer si les sols présents correspondent à un ou des types de sols de zones humides.

Il est nécessaire de prendre en compte non seulement la dénomination du type de sol, mais surtout les modalités d'apparition des traits histiques ou réductiques ou rédoxiques (à vérifier par la notice de la carte ou dans la base de données).

- vérification à partir de données sur le terrain : les investigations sur le terrain doivent porter prioritairement sur des points situés de part et d'autre de la frontière supposée de la zone humide, suivant des transects perpendiculaires à cette frontière. Les sondages doivent porter sur une profondeur de 1,20 mètre si possible. (POLLET, 2009)

9. Classification

Les sols hydromorphes ont droit à deux classes distinctes : les sols hydromorphes proprement dits, engorgés par l'eau, au moins saisonnièrement, à une distance d'au moins 30 cm de la surface. Dans ces conditions, le fer est réduit en fer ferreux et confère une teinte gris-vert à horizon caractéristique du gley. Si l'engorgement est tempo-

Classe des sols hydromorphes.

Sous-classe des sols hydromorphes organiques.

Groupe 1. des sols tourbeux

Sous-groupe sols tourbeux oligotrophes

eu-ou mésotrophes

Sous-classe des sols hydromorphes moyennement organiques.

Groupe 2. Des sols humiques à gley

Sous-groupe sols humiques à gley, salés

à anmoor acide

à anmoor calcique



Sous-classe des sols hydromorphes minéraux ou peu humifiées.

Groupe 3. Des sols hydromorphes peu humifères à gley

Sous-groupe sols à gley de surface ou d'ensemble

de profondeur

salés

lessivés

Groupe 4. des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley

Sous-groupe sols à tâches et concrétions

À carapace ou cuirasse

Groupe 5. Sols hydromorphes peu humifères à redistribution du calcaire et gypse

Sous-groupe sols à nodules calcaires ou gypseux

À encroûtement ou croûte calcaire, ou gypseux

Les sols hydromorphes organiques sont des sols observés dans des zones où le niveau de l'eau est au-dessus de la surface du sol, mais n'empêche pas le développement de la végétation. La matière organique est peu décomposée. Les propriétés, telles que les teneurs en bases échangeables, permettent de classer ces sols en oligotrophes et mésotrophes. Les premiers sont représentés en Côte-d'Ivoire (marais de l'Agneby), à Madagascar (lac Alaotra). Les seconds doivent leurs propriétés à l'influence d'une roche-mère calcaire proche et existent dans les parties sèches des zones intertropicale et méditerranéenne.

Les sols hydromorphes moyennement organiques ont un horizon organique bien évolué et généralement de type anmoor. Ces sols présentent un degré de fertilité variable dépendant du bassin versant qui alimente les rivières qui intéressent les sols. On les observe au Cameroun (plaine du Noun), à Madagascar (région de Marovoay), etc. Les sols hydromorphes minéraux sont très communs qu'ils soient à gley ou à pseudo-gley, en zone intertropicale. En région méditerranéenne, le calcaire, le *gypse* précipitent dans de nombreux sols hydromorphes.

La mise en valeur de ces sols, complètement ou partiellement immergés par l'eau, implique une maîtrise de celle-ci (assainissement, irrigation). Les cultures préconisées sont alors celles qui s'accommodent de conditions plus ou moins humides, comme le bananier, et surtout le riz. (SEGALEN, 1970)

10. Engorgements sans hydromorphie

Des situations d'engorgement sans hydromorphie se rencontrent dans un certain nombre de cas :

soit que l'engorgement est très éphémère ;

soit que la nappe d'eau est bien oxygénée et circulante (sols alluviaux) ;

soit que le sol (ou l'horizon) contient très peu de fer (cas de certains matériaux sableux ou limoneux, blanchâtres ou de matériaux constitués presque uniquement de calcaire).



On notera que l'hydromorphie se marque peu dans les matériaux très calcaires car le fer est d'autant plus mobile que le pH est bas.

Dès 1967, Jamagne notait : « Certains sols sont soumis à l'influence d'une nappe à fluctuation très importante et très rapide, notamment en bordure de certaines rivières comme l'Aisne et la Marne. Leur économie hydrique est particulière (...) Ces sols peuvent être inondés une partie de l'année puis se ressuyer très rapidement à l'issue de la période hivernale. Leur texture est graveleuse et très calcaire. Ils ont la caractéristique de ne présenter pratiquement aucune trace d'oxydo-réduction et sont en période végétative favorablement drainés » (BAIZE, 2012)



CHAPITRE II:

MILIEU PHYSIQUE



1. Situation géographique

La zone d'étude représente le périmètre irrigué de Ksob, situé au nord de Chott el Hodna et englobe la ville de M'sila. Il est délimité par les coordonnées suivantes :

- Nord : Longitude 641699.773 m Latitude 3965684.663 m (UTM zone 31 wgs84)
- Sud : Longitude 639514.311 m Latitude 3940244.332m
- Est : Longitude 649404.455 m Latitude 3946985.332 m
- Ouest : Longitude 634884.093 m Latitude 3947741.327 m

La zone d'étude s'étend sur une superficie de 14500 ha avec un périmètre de près de 82 km. Voir figure (01)

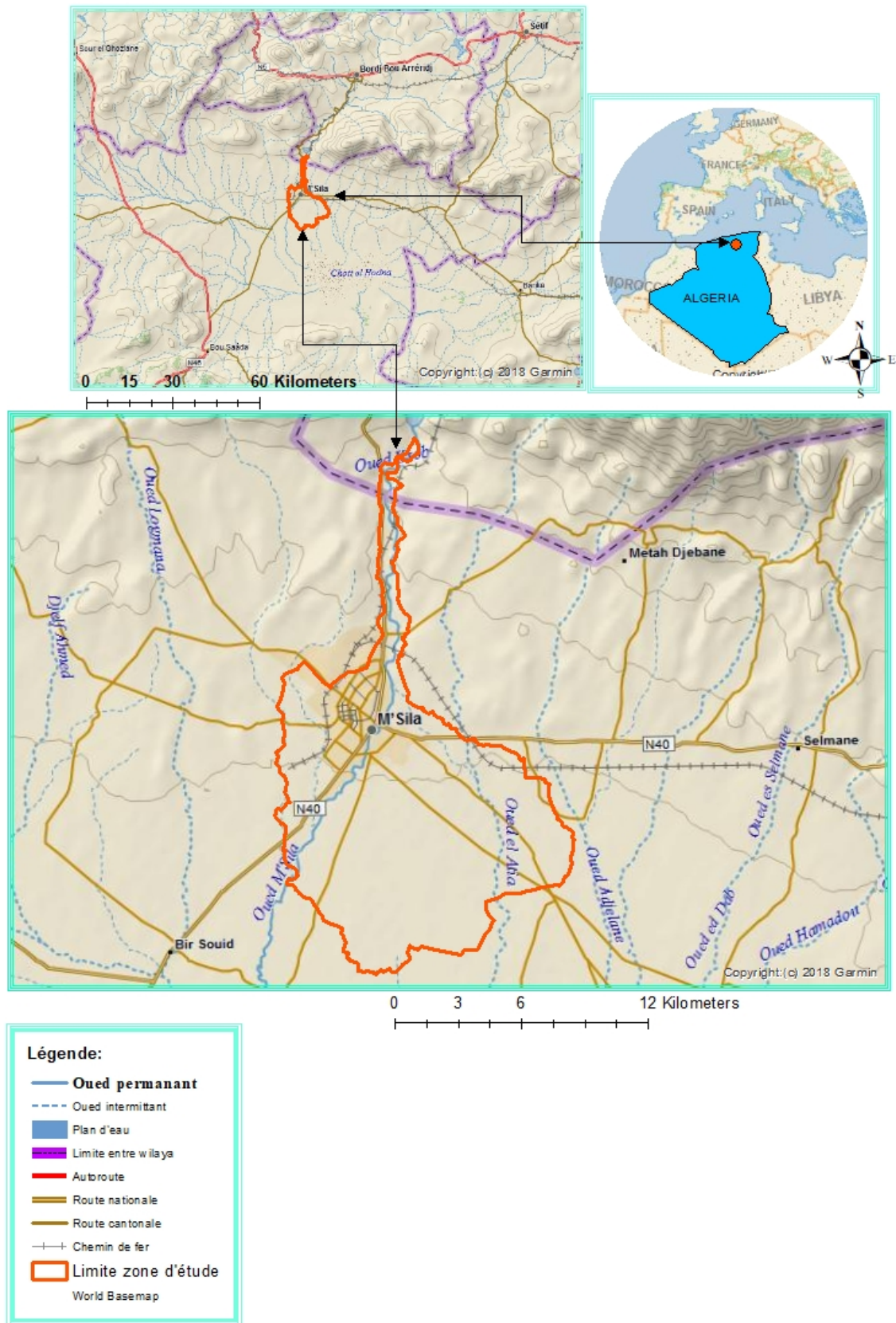


Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude (source carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



2. Les caractéristiques physiques

2.1. Relief

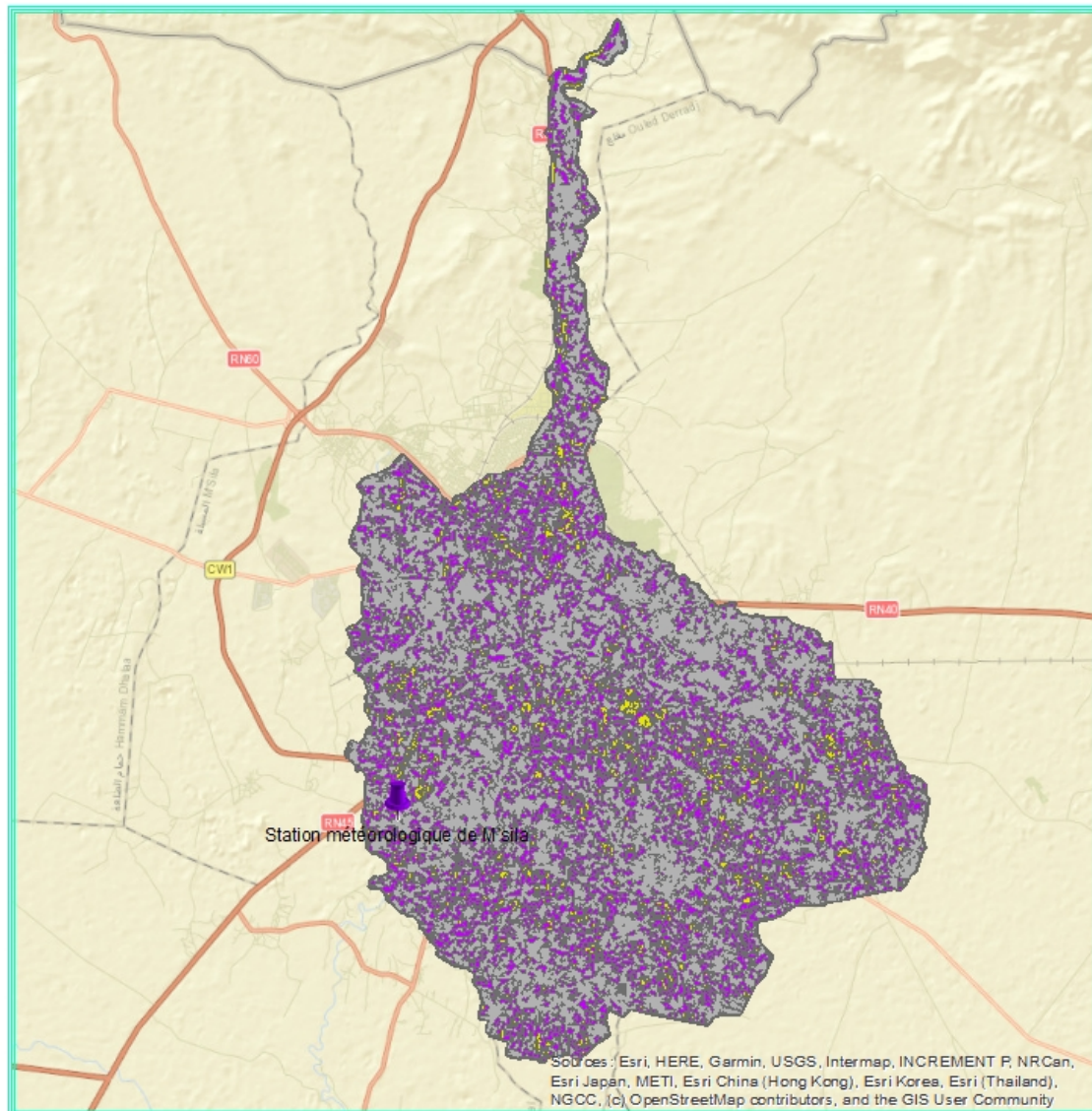
La zone d'étude est occupée en majeure partie par des plaines totalisant plus de 93% de la superficie totale, le reste (moins de 7 %) représente les piémonts (voir tableau 01), d'où la convenance de la zone à l'agriculture irriguée.

Tableau 1 : Classes de pente de la zone d'étude

La classe des pentes (%)	Superficie (%)	Le relief
0 - 3%	58.24%	Plaine
3 - 6%	35.02%	Plaine
6-12.5 %	6.63%	Bas piémonts
12.5- 25%	0.1%	Hauts piémonts

Source : original

Les surfaces des plaines occupent l'ensemble de la zone d'étude avec une dissémination irrégulière de petites surfaces des piémonts. (Voir figure02)



0 1.75 3.5 7 Kilometers

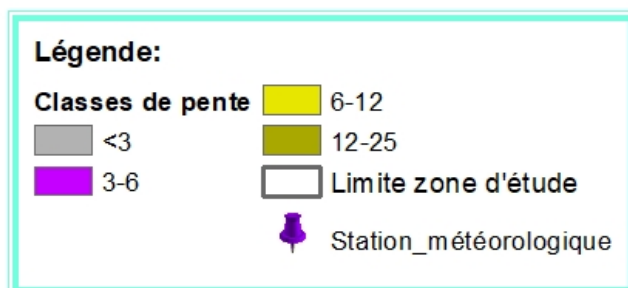


Figure 2 : Classe des pentes de la zone d'étude (source : originale) carte de fond world street map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>



2.2. Hydrologie

La zone d'étude est drainée par l'oued permanent de Ksob et son prolongement oued M'sila, et oued Attia qui est intermittent et passe à l'Est d'oued M'sila. (Voir figure 3)

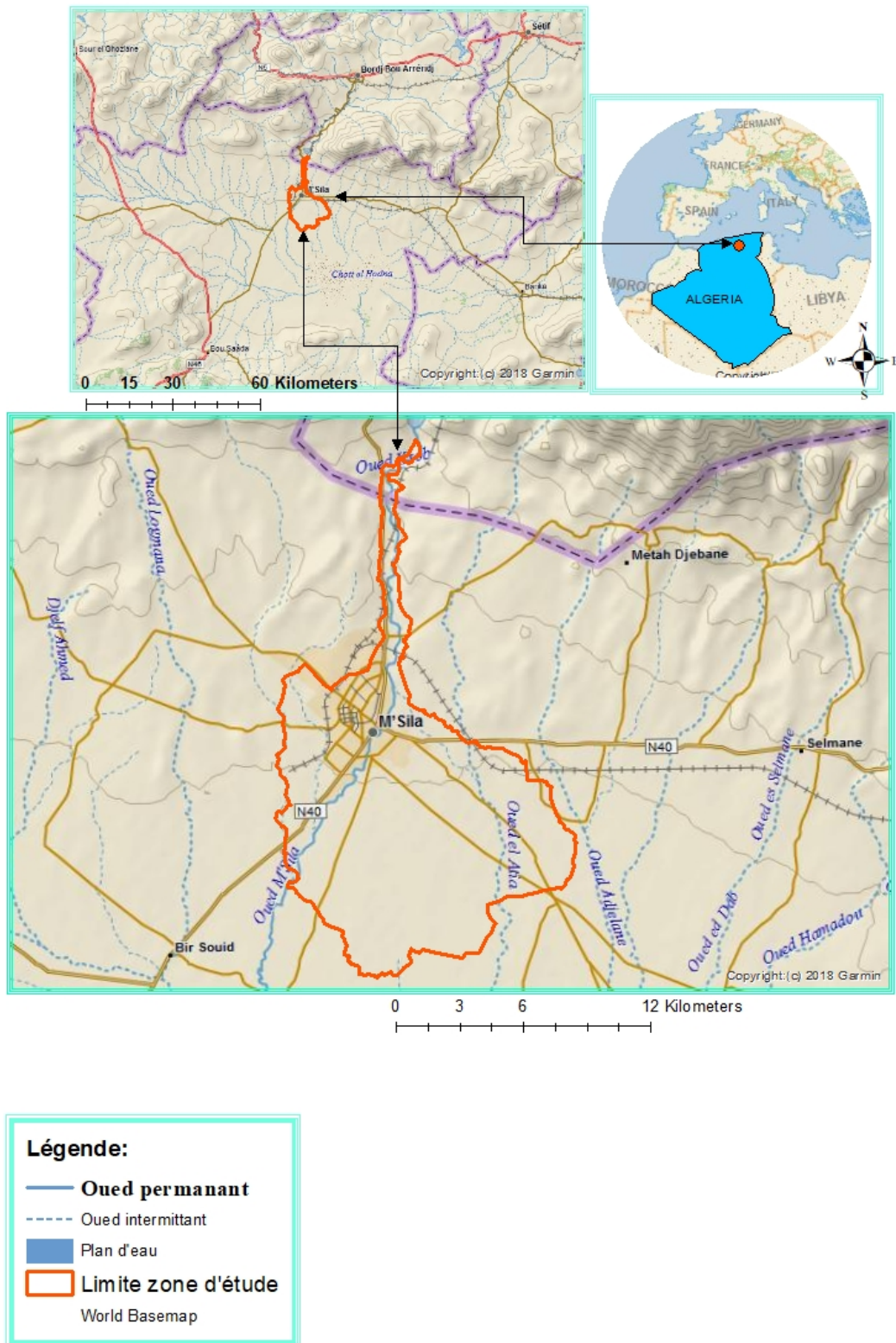


Figure 3: Réseau hydrographique de la zone d'étude (source carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



2.3. Géologie

La géologie de la zone d'étude est dominée par le quaternaire représenté par des alluvions fines suivie par de faibles apparitions au nord du pontien à marne gréseuse et à conglomérat gypseux, sans oublier les rares affleurements du cétaqué et du miocène.

La géologie nous renseigne sur la présence du calcaire du gypse et éventuellement du sel, Voir (figure 04) ces critères jouent un rôle important dans la pédogenèse des milieux arides. (HALTIM, et al., 1983)

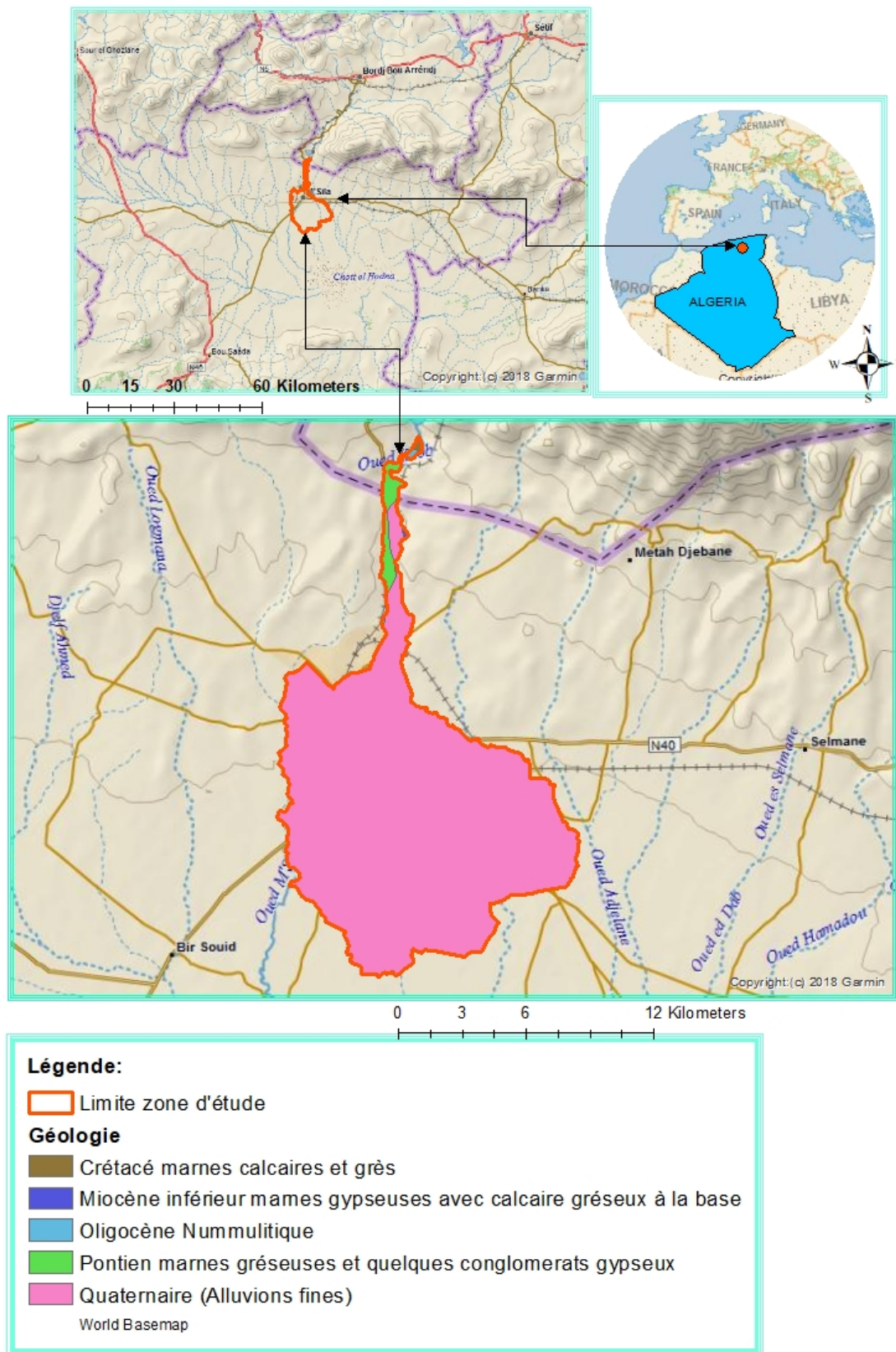


Figure 4 : Géologie de la zone d'étude (source : extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000. (FLANDRIN, 1952) Carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



2.4. Pédologie

Les sols de la zone d'étude figurent sur deux cartes l'une établie par Bouyadgiev qui englobe la presque totalité de la zone et l'autre qui couvre une petite portion située à l'extrême nord réalisée par le bureau national d'étude et de développement des zones rurales. (BNEDER, 2007) Ces cartes révèlent la présence des sols suivants :

- **Classe 1 : sols minéraux brutes :**

Sols de profil AC, ne contenant que des traces de matières organiques dans les 20 centimètres supérieures, ils sont localisés à l'extrême nord de la zone d'étude.

- **Classe 2 : Sols peu évolués alluviaux :**

Sols de profil AC contenant plus que des traces de matière organique dans les 20 premiers centimètres, formés par apport alluvial ils constituent la majeure partie des sols de la zone d'étude.

- **Classe 3 : sols calcimagnésique :**

Ce sont des sols dont les horizons supérieurs sont riches en alcalinoterreux (Ca et Mg), le profil est de type AC. AR. A(B)R ; la matière organique de l'horizon A est fortement liée à la matière minérale (formation d'une bonne structure). Ce sont les sols à encroûtement calcaire localisés à la partie ouest de la carte et associés aux lithosols un plus au nord.

- **Classe 4 : Sols isohumiques :**

Sont caractérisés par l'incorporation profonde (au moins jusqu'au matériel originale) de la matière organique, en milieux arides ils sont représentés par les Sierozems visible sur la partie centrale de la carte.

- **Classe 5 : Sols Halomorphe :**

Caractérisés par la présence des sels solubles dans la solution du sol avec un concentration de l'extrait de pate saturée supérieure à 4 mmhos/cm.

- **Classe 6 : Sols Hydromorphe :**

Sols engorgés en eau caractérisé par la présence d'horizon réduit de couleur bleue ou vert (hydromorphie permanente) ou bariolé par les couleurs rouge et bleue (hydromorphie temporaire).

(Voir figure 05)

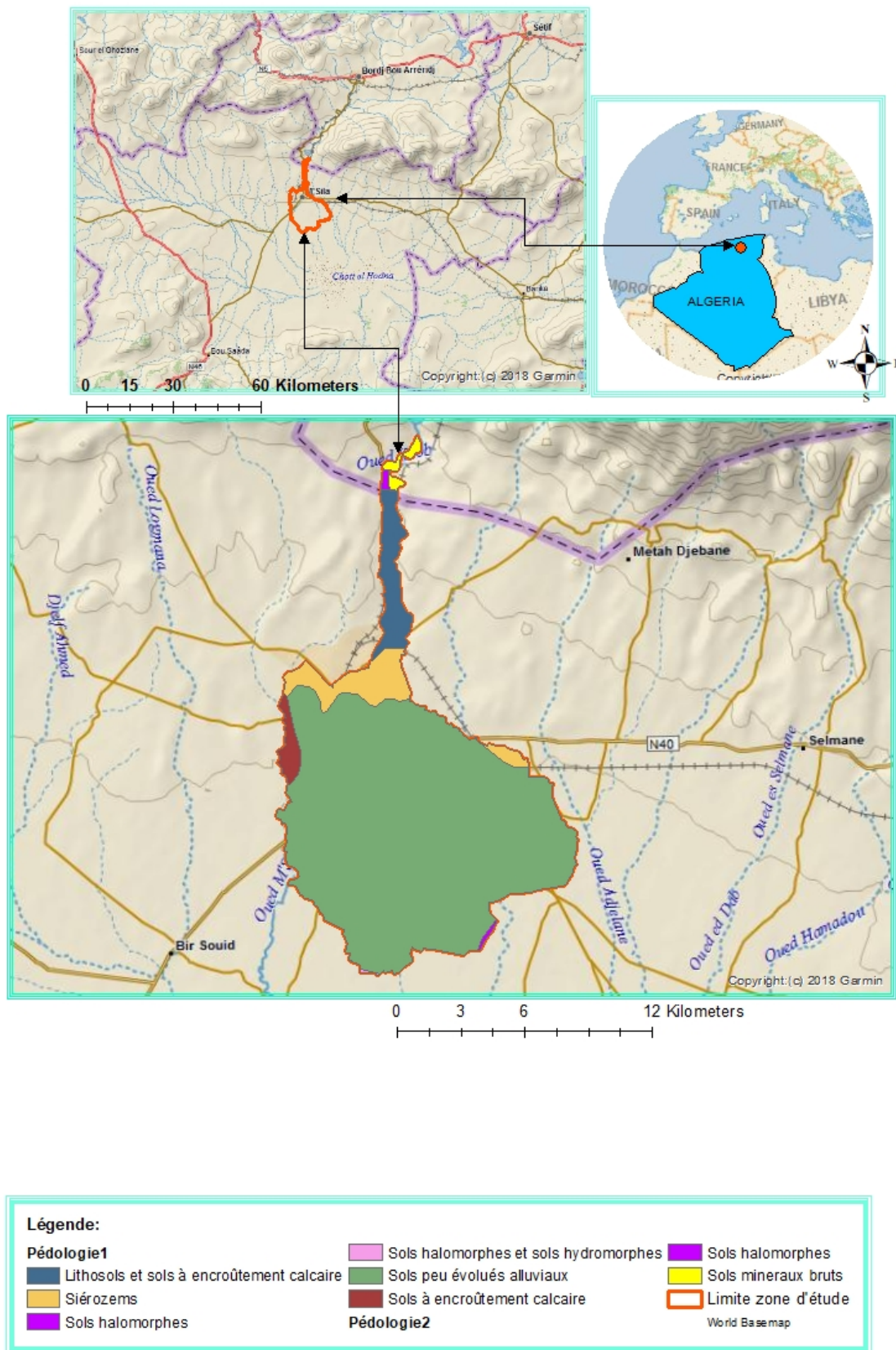


Figure 5 : Pédologie de la zone d'étude source extrait des cartes pédologiques ; Pédologie1 (BOYADGIEV, 1975) et Pédologie2 Invalid source specified. carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



2.5. Climat

Pour l'étude climatique, nous avons utilisé les données récentes fournies par la station météorologique de M'sila située à 441 m et nous les avons extrapolés pour les altitudes de la zone d'étude voire figure (06)

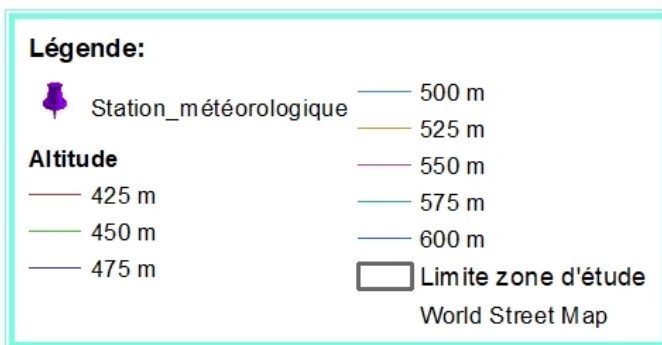
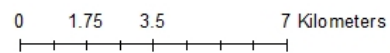
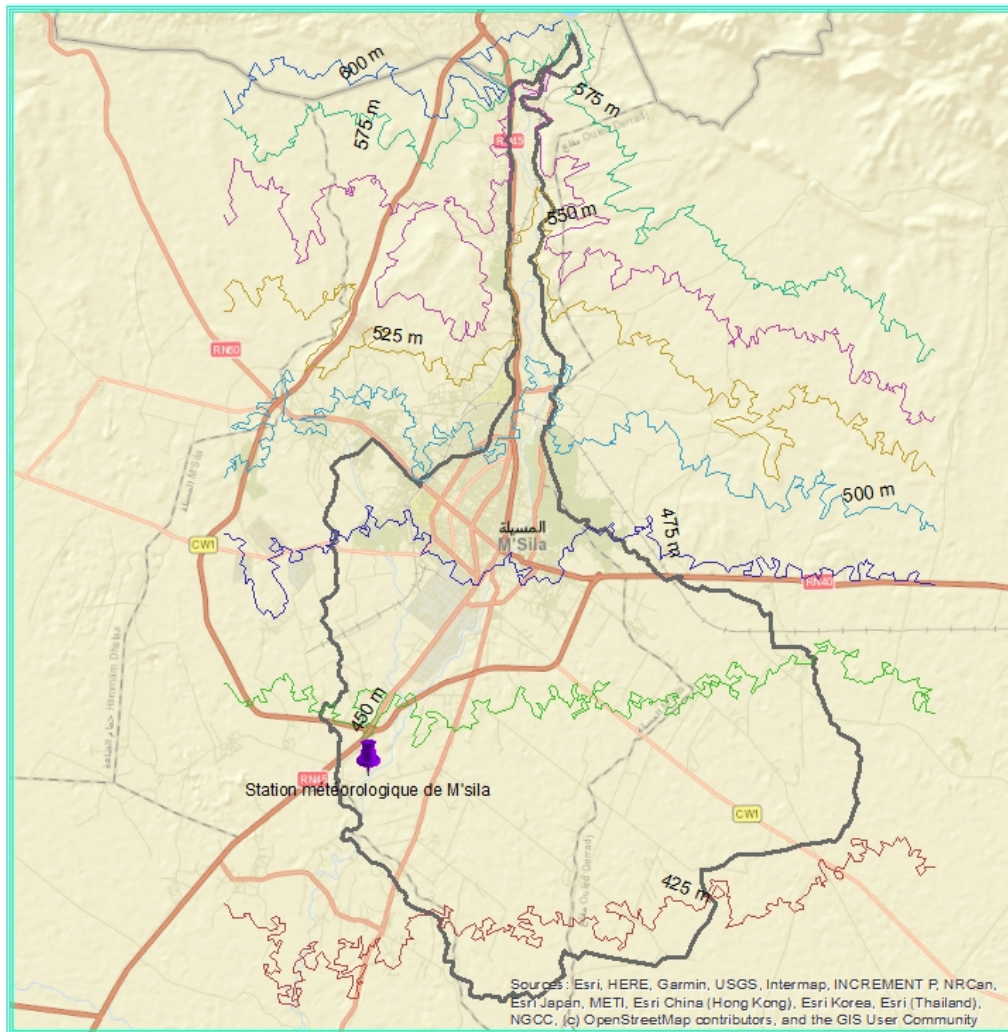


Figure 6 : Altitudes de la zone d'étude (source : originale carte de fond world street map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



D'après le rapport de la **F.A.O** sur la région du Hodna, on relève un gradient de précipitation de 40mm par 100 mètres pour la partie nord et de 20mm par 100 mètres pour la partie sud. (DJEBAÏLI, S, 1984)

Et selon **SELTZER (1946)**, pour l'Algérie non littoral la température maximale diminue de 0.7°C /100m et la température minimale diminue de 0.4°C/100m. (DJEBAÏLI, S, 1984)

Table 1 : Les caractéristiques de la station météorologique de M'sila

Caractéristique de station	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Donnée disponible	Période	Sources des données
	Latitude	Longitude				
M'sila	35°.40'Nord	4°.30'Est	441m	P - T	1988-2008	Station météorologique

P : pluviométrie (mm). T : température (°c).

2.5.1. Pluviométrie

On désigne sous le terme général de pluviométrie la quantité totale de précipitations (pluie, gèle, neige) reçue par unité de surface et unité de temps.

Elle constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, pour le fonctionnement et la réparation des écosystèmes terrestre. (RAMADE, 2009)

Les données pluviométriques de 21 ans sont regroupées dans le tableau n° 2

Table 2 : Les précipitations moyennes mensuelles (1988-2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Total
Station météorologique de M'sila (1988-2008)													
441	18,9	12,7	15	20,8	27,5	9,3	4,2	8,2	27,5	22	20,4	20,5	207
La zone d'étude													
425	18.6	12.50	14.77	20.48	27.07	9.16	4.14	8.07	27.07	21.66	20.08	20.18	203.80
500	19.9	13.42	15.86	21.99	29.07	9.83	4.44	8.67	29.07	23.25	21.56	21.67	218.80
600	21.82	14.66	17.32	24.01	31.75	10.74	4.85	9.47	31.75	25.40	23.55	23.66	238.80

Les quantités pluviométriques sont réparties d'une manière relativement assez homogène pour les périodes pluvieuses c'est-à-dire du mois de Septembre jusqu'au de Mai (à l'exception pour le mois de février qui enregistre une valeur relativement faible).

Nous remarquons que les minimums pluviométriques sont observés au mois de juillet pour la station de M'sila (4.2 mm) et la zone d'étude (4.14mm à 425m et 4.85mm à 600m d'altitude), et les maximums des pluies sont enregistrés au mois de Septembre et Mai (27.5mm) pour la station de M'sila et respectivement 27,07mm à 425m et 31.75mm à 600m d'altitude.

Les moyennes des précipitations annuelles enregistrées pendant la série (1988-2008) sont comme suit 207mm à la station de M'sila (441m), 203.80mm à 425m,



218.80mm à 500m et 238.8mm à 600m d'altitude au niveau de la partie nord de la zone avec une dénivelée de précipitation d'environ 30 mm voire figure 07.

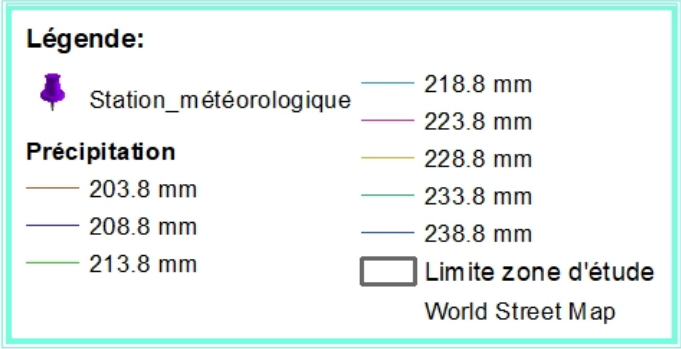
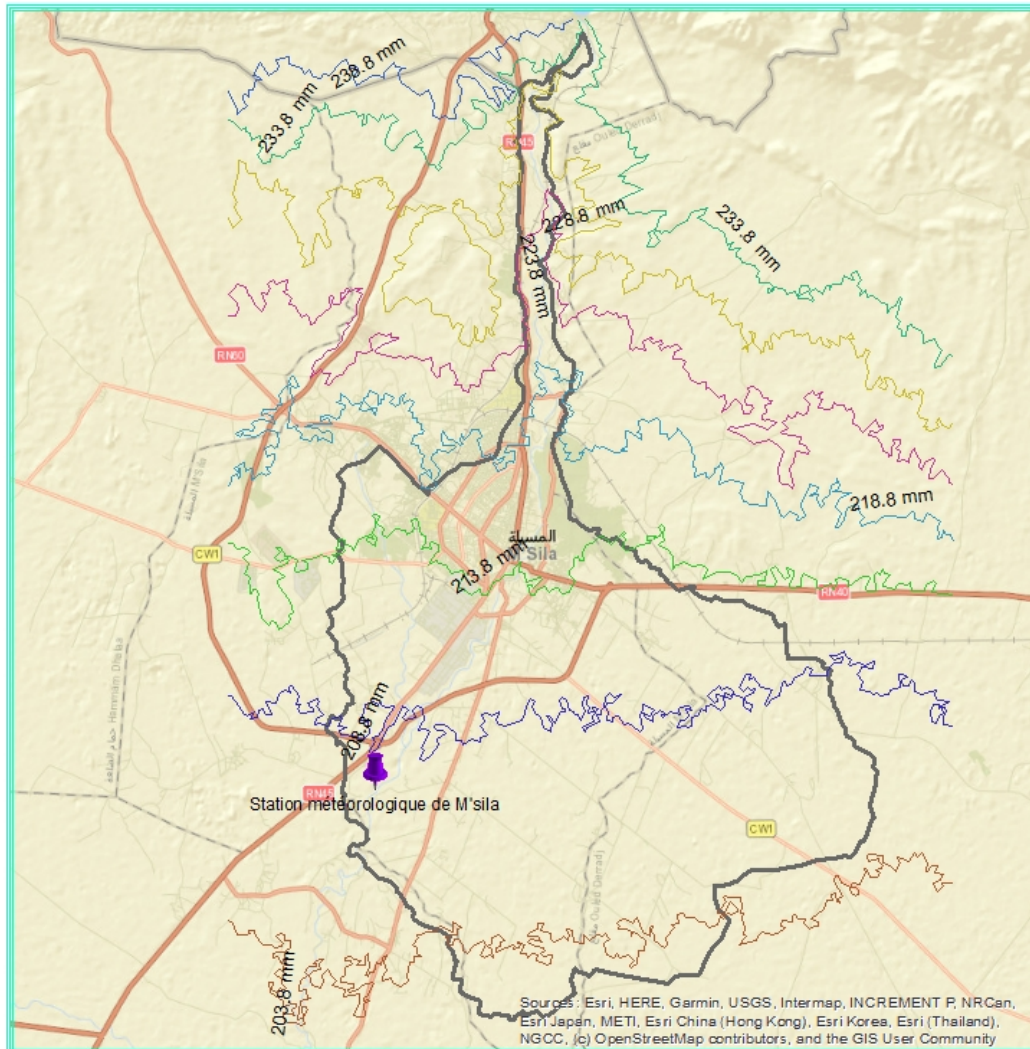


Figure 7 : Répartition des précipitations moyennes annuelles dans la zone d'étude (source originale carte de fond carte de fond world street map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



L'examen des totaux des précipitations interannuelle fait ressortir une certaine irrégularité de précipitation d'année en année, avec un maximum de 317mm en 1997 et un minimum de 105 mm en 1993 et un écart moyen de 52.57 voire tableau (03).

Table 3 : Les précipitations interannuelles de la station de M'sila (1988-2008)

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
P(mm)	213	195	275	258	183	139	177	138	238
Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
P(mm)	317	213	282	146	157	105	348	252	125
Année	2006	2007	2008	Moyenne	Écart moyen				
P(mm)	225	188	171	207	52.57				

Le régime de la station de M'sila et la zone d'étude est du type **A.P.H.E**. Les précipitations estivales sont nettement plus faibles que celles des autres saisons. L'Automne est plus humide que les autres saisons. Voir tableau (04)

Table 4 : Les régimes saisonniers

Saison	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Total	Indicatif saisonnier
Altitude Station météorologique de M'sila (1988-2008)						
441	52.10	63.30	21.70	69.90	207	A.P.H.E
La zone d'étude						
425	51.29	62.32	21.37	68.81	203.80	A.P.H.E
600	60.14	73.08	25.06	80.70	238.80	A.P.H.E

A = Automne / E = Eté / P = Printemps / H = Hiver

2.5.2. Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivant dans la biosphère (RAMADE, 2009).

Les températures moyennes minimales et maximales (1988-2008) sont consignées dans le tableau suivant :



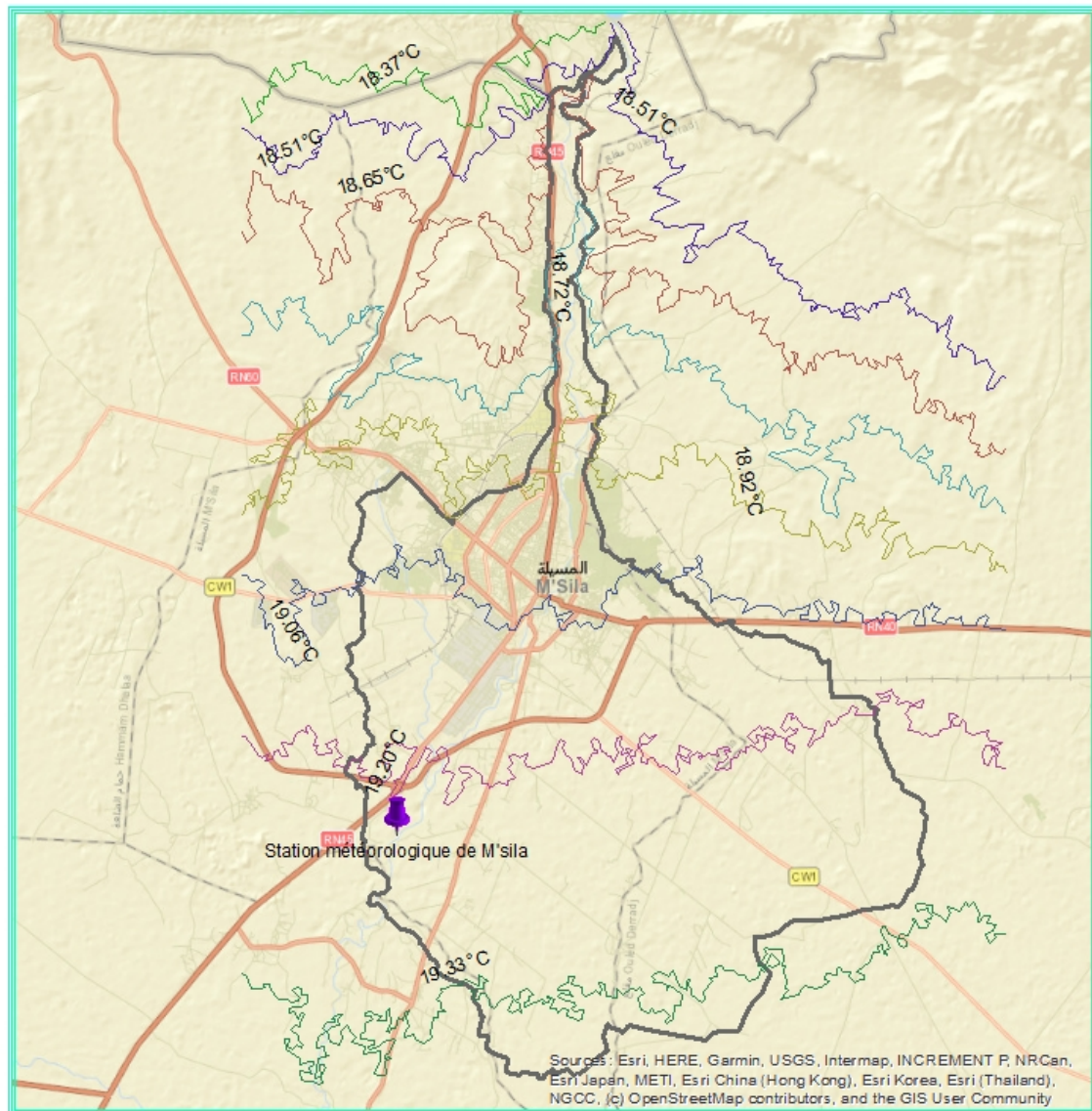
Table 5 : Les températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (°C)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
Station météorologique de M'sila (1988-2008) à 441m d'altitude													
T.min	3.2	4	7.3	10.3	15.6	20.6	24.1	23.9	18.9	14.3	8.1	4.4	12.9
T.max	14.2	16.5	20.7	23.5	28.3	35	38.8	38.3	32.6	26	19	14.3	25.6
M+m/2	8,7	10.3	13.9	16.8	22	27.8	31.6	31	25,7	20.2	13.5	9.4	19.2
La zone d'étude a 425m													
T.min	3.3	4.1	7.4	10.4	15.7	20.7	24.2	24.0	19.0	14.4	8.2	4.5	13.0
T.max	14.3	16.6	20.8	23.6	28.4	35.1	38.9	38.4	32.7	26.1	19.1	14.4	25.7
M+m/2	8.8	10.3	14.1	17.0	22.0	27.9	31.5	31.2	25.8	20.2	13.6	9.4	19.3
La zone d'étude a 500m													
T.min	3.0	3.8	7.1	10.1	15.4	20.4	23.9	23.7	18.7	14.1	7.9	4.2	12.7
T.max	13.8	16.1	20.3	23.1	27.9	34.6	38.4	37.9	32.2	25.6	18.6	13.9	25.2
M+m/2	8.4	9.9	13.7	16.6	21.6	27.5	31.1	30.8	25.4	19.8	13.2	9.0	18.9
La zone d'étude a 575m													
T.min	2.7	3.5	6.8	9.8	15.1	20.1	23.6	23.4	18.4	13.8	7.6	3.9	12.4
T.max	13.3	15.6	19.8	22.6	27.4	34.1	37.9	37.4	31.7	25.1	18.1	13.4	24.7
M+m/2	8.0	9.5	13.3	16.2	21.2	27.1	30.7	30.4	25.0	19.4	12.8	8.6	18.5

Les données thermiques sur 21 ans nous permettent de distinguer les observations suivantes :

- Le maximum de température est enregistré en juillet.
- Le minimum de température est enregistré en janvier.
- Les moyennes thermiques mensuelles sont plus basses en janvier (le mois le plus froid) et les plus élevées en juillet (le mois le plus chaud).
- Les températures moyennes annuelles sont respectivement de 19.2°C à la station de M'sila, 19.3°C à 425m, 18.9°C à 500m et 18.5°C à 575m d'altitude à la zone d'étude.

Voire figure ()



0 1.75 3.5 7 Kilometers

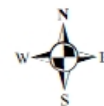
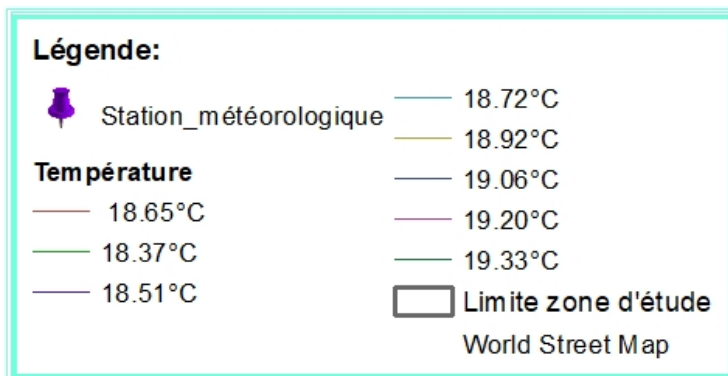


Figure 8 : Répartition des températures moyennes dans la zone d'étude (source : originale, carte de fond world street map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)



2.6. Les autres facteurs climatiques

2.6.1. Les vents

La région de M'sila est dominée par des vents (vitesse moyenne 4.1m/s), sont généralement de l'Est secondés par ceux du Nord-est en période hivernale (25-30%) et diminue en Eté (5-10%).

Le vent du Sud domine en Eté (20%) et diminue en Hiver jusqu'à (5%).

Le vent chaud dit « SIRROCO » apparait durant les mois de Juin, Juillet et Aout (FAO, 1992)

Table 6 : moyenne mensuelle de la vitesse du vent (station de M'sila, 1989-2007)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moyenne
Vitesse du vent (m/s)	3.6	3.9	4.3	5.2	4.6	4.6	4.4	4.1	3.8	3.7	3.6	3.8	4.1

2.6.2. La neige

La durée d'enneigement moyen au sol exprimé par le nombre de jours où le sol est couvert de neige, est une donnée très utile à connaître car plus la neige persiste au sol et plus le potentiel hydrique de celui-ci augmente. Assurant ainsi aux végétations une meilleure alimentation en eau. (DJEBAÏLI, S, 1984).

A la région d'étude la durée d'enneigement est de 10 j/an de neige pendant la période hivernale qui donne un bon effet sur la végétation et l'infiltration de l'eau dans le sol.

2.6.3. La gelée blanche

Le nombre de jour de gelée est de 12 jours par ans, moitié en janvier (6 jours) suivie de décembre (3jours), février (2jours) et enfin mars (1jour).

Table 7 : nombre moyen de jours de gelée par mois (station de M'sila, 1988-2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Nombre de jours gelés blanches	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3

2.7. La synthèse climatique

2.7.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme Ombrothermique de **BAGNOULS et GAUSSEN (1953)** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec $P=2T$.

La figure (09) porte sur le Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 21 ans, à 425 m et 575m



La période sèche s'étale lorsque la courbe de pluviosité se trouve en dessous de la courbe de température ; il s'agit le plus souvent d'une saison sèche estivale (OZENDA, 1982).

La saison sèche se prolonge sur 10 mois dans la zone d'étude de février à novembre, les mois humides sont décembre et janvier voire figure (09) l'ampleur de l'humidité est plus importante en altitude (675m). Durant ces deux mois l'excès d'eau provoque un écoulement susceptible d'engendrer des hydromorphies.

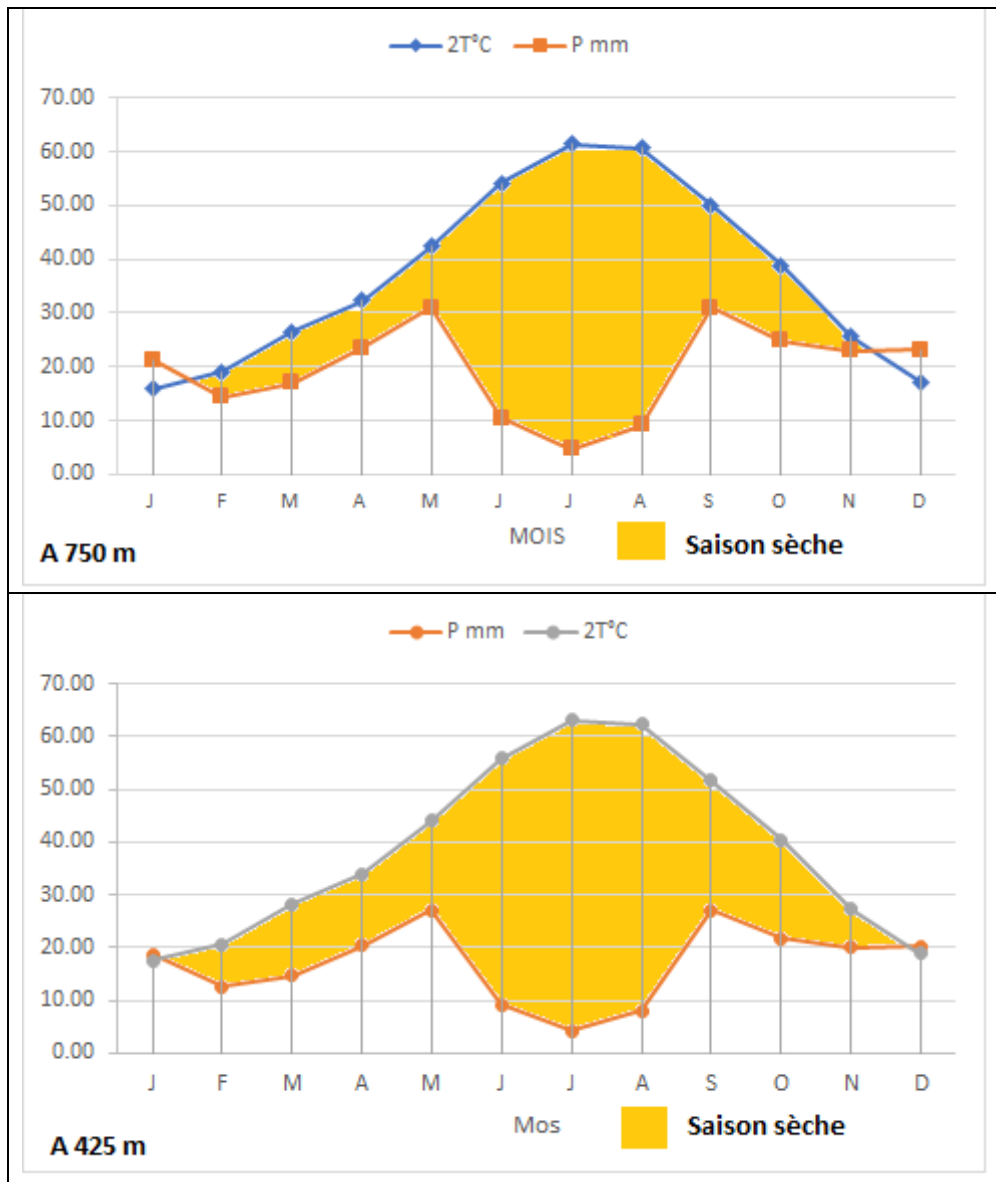


Figure 9 : Les Diagrammes Ombrothermiques de la zone d'étude à 425 m et 725m

2.7.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER

L'interférence entre la température et l'évaporation a conduit les biogéographes à proposer divers indice pluviothermique ayant pour objet de mesurer la plus ou moins grande humidité (ou aridité climatique). Le quotient pluviothermique d'Emberger



(1923) (symbolisé par I_p ou encore Q_2), établi initialement pour les régions méditerranéennes, prend en considération le fait que l'évaporation annuelle est d'autant plus élevée, toutes choses égales par ailleurs, que l'amplitude thermique est plus grande. (RAMADE, 2009)

L'expression du Quotient pluviothermique d'EMBERGER est la suivante :

$$I_p = 1000 * [P / ((M+m)/2) * (M-m)]$$

Soit encore :

$$Q_2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

Q_2 : Quotient pluviothermique d'EMBERGER.

P : La pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : La moyenne des maximums du mois le plus chaude en degrés kelvin.

m : La moyenne des minimums du mois le plus froid en degrés kelvin. « Les températures sont exprimées en degrés kelvin : $t^{\circ} k = t^{\circ} c + 273^{\circ} c$ ».

- L'usage du Quotient pluviothermique permis à son auteur de proposer une classification des climats méditerranéens qui est fort utile en écologie. (RAMADE, 2009)

D'après (LE HOUEROU, 1995):

- La zone semi-aride :
Pluviosité moyenne annuelle : 400 à 600 mm
Longueur de la saison pluvieuse : 15 à 100 jours.
 Q_2 : 40 à 80.
- La zone aride :
Pluviosité moyenne annuelle : 100 à 400 mm
Longueur de la saison pluvieuse : 15 à 100 jours.
 Q_2 : 10 à 45.
- La zone hyperaride :
Pluviosité moyenne annuelle : inférieure à 100 mm
Longueur de la saison pluvieuse : 0 à 15 jours.
 Q_2 : inférieure à 10.

Table 8 : valeurs du Quotient pluviothermique

Station	P (mm)	m° k	M° k	Q2	Etage bioclimatique
M'sila 441 m	207	276.2	314.8	18.15	Aride inferieure à hiver tempéré
La zone d'étude					
425m	203.80	276.3	314.9	17.86	Aride inferieure à hiver tempéré
500m	218.80	276	314.4	19.30	Aride inferieure à hiver frais-Tempéré
575m	233.80	273.2	313.9	19.57	Aride inferieure à hiver frais



Le tableau montre que la zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique aride inférieure à hiver frais à tempéré.

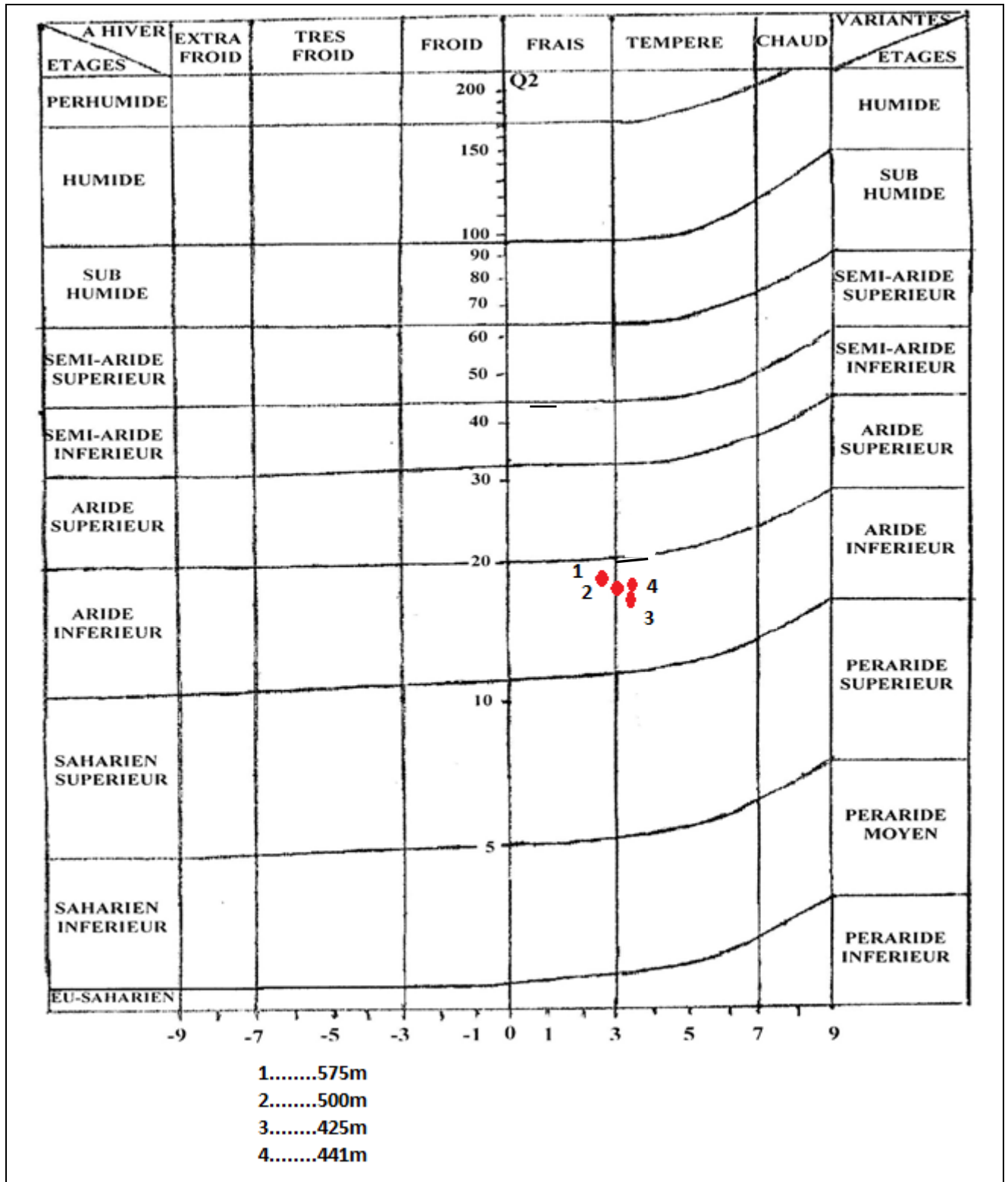


Figure 10 : Climagramme d'Emberger



2.7.3. Indice d'aridité de DE MARTONNE

L'indice d'aridité (I), a été défini par **DE MARTONNE (1926)** pour des études hydrologiques, mais il est parfois utilisé pour souligner les grandes variabilités climatiques et biogéographiques. Les valeurs obtenues sont d'autant plus basses que le climat est aride. Un indice supérieur à 20 indique une humidité suffisante ; la tendance à la sécheresse s'affirme entre 10 et 20 ; au-dessous de 10 c'est l'aridité et au-dessous de 5 un climat hyperaride.

$$I = P/(T+10)$$

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation annuelle moyenne (mm).

T : Température annuelle moyenne (°c).

(FOUCAULT, 2009)

Table 9 : valeurs de l'indice (I) d'aridité de (DE MARTONNE (1926))

Station	P (mm)	T (°c)	I
Station météorologique de M'sila à 441m	207	19.2	7.09
Zone d'étude à 425m	203.8	19.3	6.96
Zone d'étude à 500m	218.8	18.9	7.57
Zone d'étude à 575m	233.8	18.65	8.16

L'aridité dans la zone d'étude diminue avec l'altitude. L'indice est de 6.96 à 425m et augmente à 8.16 à 575m donc notre zone est aride.

CHAPITRE III:
MATERIEL ET
METHODES



1. Le matériel d'étude

1.1. Choix de la zone d'étude

Notre choix a été motivé par la disponibilité de données (cartes, données sur les caractéristiques du sol) et la proximité du lieu nous permettant le cas échéant de nous déplacer pour vérifier les paramètres étudiés.

Le choix a porté sur le périmètre irrigué de Ksob voire figure (01) qui répond plus ou moins aux besoins de la présente étude.

1.2. Les documents de base de l'étude

Le périmètre irrigué de Ksob fait partie des zones concernée par l'étude de la FAO 1975 (BOYADGIEV, 1975) utilisée comme source de la carte pédologique, il a aussi fait l'objet d'une étude détaillée par un bureau d'étude Italien 'EFAGRARIA entre 1966 et 1967 (EFAGRARIA, 1967) qui nous a fourni la carte pédologique à grande échelle (1/20000) et le rapport des données analytiques et d'observations concernant les sols de la zone d'étude.

L'hydromorphie des sols dépend des caractéristiques topographiques de la zone d'étude (condition de station) ainsi que les propriétés intrinsèques du sol en relation avec ses fonctions de pédotransfert.

Les documents utilisés pour analyser le relief de la zone d'étude : Le MNT de la zone d'étude télécharger à partir du site : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>

Les documents issus de l'étude (EFAGRARIA, 1967) sont : (voire figure (11)

- Cartes pédologiques au 1/10000 au nombre de six couvrant l'ensemble de la zone d'étude.
- Fiches analytiques et d'observations des 121 profils types décrit et analysés.
- Notice explicative sur les méthodes utilisées pour la réalisation de l'étude agro pédologique.

Carte géologique de l'Algérie 1/500000 (FLANDRIN, 1952)

Carte pédologique du Hodna 1/800000 (BOYADGIEV, 1975)

Hydrographie de la zone d'étude extraite de la carte de base à partir du site : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>



2. Méthodes d'étude :

2.1. Méthodes d'interpolation et de présentation des paramètres température et précipitation

2.1.1. Interpolation linéaire

Les valeurs des deux paramètres sont interpolées en fonction de l'altitude de la zone d'étude comme suit :

- Les valeurs des précipitations annuelles augmentent de 20mm par 100m d'altitude par rapport à l'altitude de référence (station météorologique)
- Les maxima de température diminuent de 0.7°C tous les 100m d'altitude par rapport à l'altitude de référence (station météorologique)
- Les minima de température diminuent de 0.4°C tous les 100m d'altitude par rapport à l'altitude de référence (station météorologique)

Nous avons utilisé l'interpolation linéaire simple pour générer les valeurs des précipitations et de température en fonction de l'altitude en tenant compte des valeurs caractéristiques (minimum, maximum et étendue).

$$P_{\text{lieu}} = P_{\text{ref}} + (\text{Alt}_{\text{Lieu}} - \text{Alt}_{\text{ref}}) * 0.2 / M_{\text{Lieu}} = M_{\text{ref}} - (\text{Alt}_{\text{Lieu}} - \text{Alt}_{\text{ref}}) * 0.7 / m_{\text{Lieu}} = m_{\text{ref}} - (\text{Alt}_{\text{Lieu}} - \text{Alt}_{\text{ref}}) * 0.4$$

P_{Lieu} : Précipitation moyenne annuelle d'un lieu ayant une altitude donnée (mm)

P_{ref} : Précipitation moyenne annuelle de la station météorologique de référence

Alt_{lieu} : Altitude du lieu concerné (m)

Alt_{ref} : Altitude de la station météorologique de référence

M : température maximale, m : Température minimale les indices des lettres 'M' et 'm' ont la même signification que ceux de la lettre P

2.1.2. Représentation des données interpolées

***CHAPITRE IV:
RESULTATS ET
DISCUSSION***



Conclusion générale

L'hydromorphie est une contrainte à la production agricole qui se manifeste surtout comme un facteur limitant la disponibilité en oxygène pour les cultures.

La zone d'étude est caractérisée par un déficit climatique accrue, rendant l'agriculture pluviale impossible. Le recours à l'irrigation est donc obligatoire afin d'assurer une production soutenue.

Sous irrigation le fonctionnement hydrique des sols influe sur la production des cultures et les rendements.

La connaissance de la répartition des contraintes liées à l'hydromorphie au niveau de la zone d'étude permet des interventions ciblées et précises corrigeant la défaillance des propriétés du sol.

La présence d'autres contraintes comme la salinité qui pourrait se superposer à l'hydromorphie, rend l'intervention plus spécifique.

Malheureusement, les restrictions liées à la pandémie du covid 19 nous ont empêchées de terminer ce travail nous souhaitant qu'il soit terminé ultérieurement.



Bibliography

- Aubert, G. 1960.** *Les sols de la zone aride ,étude de leur formation ,de leur conservation actes coll .unesco de paris sur le probleme de la zone aride.* paris : s.n., 1960. p. 127.
- BAIZE, Denis. 2012.** Hydromorphie. *Les mots de l'agronomie.* [En ligne] 2 Juin 2012.
[Citation : 12 mai 2020.]
[https://loexplor.istex.fr/Wicri/Europe/France/InraMotsAgro/fr/index.php/Hydromorphie.](https://loexplor.istex.fr/Wicri/Europe/France/InraMotsAgro/fr/index.php/Hydromorphie)
- BNEDER. 2007.** *Carte pédologique.* Alger : Direction générale des forêt, 2007.
- BOYADGIEV, T.G. 1975.** *Les sols du Hodna, Etude des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie. .* ROME : FAO, 1975.
- DJEBAILI, S. 1984.** *Steppe algérienne, phytosociologie et écologie.* Alger : Office des publications universitaires (OPU), 1984. p. 182.
- EFAGRARIA. 1967.** *Etude de la mise en valeur de l'aire d'irrigation de Ksob. Annexe II Etude Agropédologique.* Direction du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole . Rome : s.n., 1967. p. 161.
- FAO. 1992.** *Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain.* ROME : FAO, 1992.
- Favrot , JC et Vizier , Jean-François. 1988.** Les sols à caractère hydromorphe (ensemble cognat). [auteur du livre] AFES. *Référentiel pédologique français .* Paris : s.n., 1988, pp. 105-112.
- FELLER, Christian. 2013.** *GEORGE AUBERT ET LES SOLS.* Paris : IRD INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DEVELOPPEMENT, 2013.
- FICCIDC. 1988.** *the proposed standard for digital cartographic data. the american cartographer.* 1988. pp. 1-18. Vol. 15(1).
- FLANDRIN, J. 1952.** *Carte géologique de l'Algérie.* Alger : Service de la carte géologique, 1952. Carte.
- FOUCAULT, Alain . 2009.** *Climatologie et PaléoClimatologie.* Paris : Dunod, 2009. p. 308.
- GISsol. 2015.** Critère relatif à l'hydromorphie des sols. *Les zones humides.* [En ligne] 10 09 2015. [Citation : 12 mai 2020.] [http://www.zones-humides.org/identifier/identifier-2/delimiter-pour-la-reglementation-2/critere-relatif-a-l-hydromorphie-des.](http://www.zones-humides.org/identifier/identifier-2/delimiter-pour-la-reglementation-2/critere-relatif-a-l-hydromorphie-des)
- HALTIM, A, ROBERT, M et PEDRO, G. 1983.** Etude expérimentale de l'épigenèse calcaire des silicates en milieu confiné - caractérisation des conditions de son développement et des modalités de sa mise en jeu. *Sciences Géologique - Mémoire.* 1983, Vol. 71, pp. 63-73.



- LE HOUEROU, H.N. 1995.** Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. *Secheresse*. 1995, Vol. 6, pp. 167-182.
- OZENDA, P. 1982.** La cartographie de la végétation des Alpes, centre de gravité d'une étude phytogéographique des montagnes européennes. *Veröff. D. forstl.* 1982, Vol. 26, pp. 113-133.
- Peck A.J. 1983.** *field variability of soil physical properties*. s.l. : Adv.irrigation 2, 1983.
- PLAISANCE, G et CAILLEUX, A. 1958.** *Dictionnaire des sols, agronomie, écologie, foresterie, géographie, géologie, géomorphologie, minéralogie, pédologie, travaux publics*. . Paris : La maison rustique, 1958.
- POLLET, Emmanuel. 2009.** *Vademecum des sols hydromorphes*. s.l. : ONEMA Office national de l'eau et du milieu aquatique, 2009. p. 37.
- RAMADE, François. 2009.** *Éléments d'écologie*. Paris : DUNOD, 2009.
- RAMADE, S. 2003.** *Éléments d'écologie, Ecologie fondamentale*. 3eme Edition DUNOD : s.n., 2003. p. 690.
- REGIS, C et COLLET, C. 2005.** *Analyse spatiale de d'information géographique*. 1er éditon. Italie : s.n., 2005. ISBN.
- SEGALEN, P. 1970.** LA CLASSIFICATION DES SOLS. [auteur du livre] Pierre Ségalen, et al. Paris : ORSTOM, 1970, pp. 115-133.
- Toutain, François. 2016.** *role de la matiere organique dans les sol*. l'ecole national du génie rural. 2016. p. 02.