



Année Universitaire : 2009-2010



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Titre

Caractérisation granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols d'ouest de Fès

Présenté par:

Atika MOUADDINE

Encadré par:

- Mme RAÏS Naoual, FST Fès

Soutenu Le 25 Juin 2010 devant le jury composé de:

- | | |
|-------------------------|-------------|
| - Mme. Rais Naoual | Encadrante |
| - Mr. Jabrane Raouf | Examinateur |
| - Mr.Lahrach Abderrahim | Examinateur |
| - Mr. Saffaj Taoufiq | Examinateur |

Stage effectué au : Laboratoire de Géoressources et Environnement
Faculté des Sciences et Technique, Fès





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques
Nom et prénom: MOUADDINE Atika

Année Universitaire : 2009/2010

Titre: Caractérisation granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols d'ouest de Fès

Résumé

Le Saïs est l'une des grandes régions agricoles du Maroc intérieur ayant connue une intensification importante des cultures liée à sa richesse hydrique, circulant dans les formations superficielles. Cependant, la forte urbanisation et industrialisation de cette région du Maroc provoquent des nuisances environnementales sur les différents écosystèmes. La couverture pédologique est une des composantes les plus vulnérables de ces écosystèmes.

Dans le cadre de ce travail, on a voulu établir un premier diagnostic sur l'état de la couverture pédologique de la région Fès Ouest (plaine de Fès). Neuf échantillons ont été récoltés sur les deux rives de l'oued Fès suivant un échantillonnage aléatoire établi à partir d'une carte pédologique de la plaine de Sais numérisée par le logiciel Arc Gis 9. A partir de cette carte, on constate au niveau de la zone d'étude une prédominance des sols de classes calcimagnésiques, vertisols, isohumiques, et peu évolués. Les neuf échantillons récoltés représentent ces différentes classes.

Ces échantillons ont fait l'objet d'une analyse granulométrique par tamisage à sec pour les fractions grossières et par sédimentation pour les fractions plus fines (pipette de Robinson). Il en ressort que les échantillons ont une granulométrie moyenne à fine. La texture varie de limono-argileuse pour les vertisols au sablo-limoneuse pour les sols peu évolués. Le pH des sols étudiés est neutre à basique, leur conductivité électrique est faible. Ce qui indique que ces sols ne sont ni acides ni salins. Ils sont riches aussi en matière organique (5 à 15 %) et en carbonates qui peuvent dépasser les 50 % pour les sols peu évolués.

Ces échantillons ont fait ensuite l'objet d'une dissolution totale par attaque triacide pour analyse à l'ICP-AES. La caractérisation géochimique montre que les concentrations des ETMs est variable selon l'élément: les teneurs en Cd et As sont au dessous de seuil de détection, pour les éléments Ti, Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Pb, dans tous les échantillons sont des teneurs naturelles sauf pour un échantillon vertisol, qui contient des teneurs Cu, Ni, Cr, Pb plus élevés que les teneurs naturelles. Un cas particulier pour le Zn, où dans les 2/3 des échantillons on a des teneurs plus élevés que la teneur naturelle. Ceci s'expliquerait peut être par une utilisation d'engrais et de pesticides enrichis en élément toxique.

Mots clés: Pédologie, plaine de saïs, Granulométrie, les ETMs dans les sols, Méthodes d'analyses des sols.

Dédicace

Je dédie le présent mémoire :

A mes chers parents avec l'expression de ma profonde reconnaissance pour leurs aides et encouragement durant mes études.

Que dieu vous accorde longue vie et que ce travail soit un message d'amour et de respect.

A mes frères, pour toute l'aide financière et le soutien moral qu'ils m'ont accordé.

A mes sœurs, qui m'ont toujours apporté l'affection et l'encouragement.

A ma cousine Souad et son mari pour leur aide et leur soutien le long de ces deux années.

A tous les membres de ma famille à Béni-Mellal,

A mes meilleures amies

A mes chers amis

A mes respectueux enseignants

Remerciement :

C'est avec un grand plaisir que je tiens à exprimer mes remerciements et mon immense reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, à l'achèvement de ce travail.

Tout d'abord, je dois toute ma reconnaissance et ma gratitude à **Madame Naoual RAÏS, professeur à la FST de Fès**, qui m'a honoré d'accepter de diriger ce travail et m'a initié dans le domaine de recherche. Ses conseils et sa confiance tout au long de ce travail m'ont permis de persévérer.

Je suis profondément reconnaissante à Monsieur **Lahcen BENAABIDATE, professeur à la FST de Fès**, pour ces conseils très précieux tout au long de parcours de Master.

J'adresse mes sincères remerciements à **Monsieur Abderrahim LAHRACH, professeur à la FST de Fès**, d'avoir accepté de juger mon travail et de faire partie du jury de ma soutenance.

Je tiens à remercier aussi **Monsieur Raouf JABRANE, professeur à la FST de Fès**. Pour son participation de jury ce modeste travail.

Je tiens à remercier aussi **Monsieur Taoufiq SAFFAJ, professeur au CURI-Fès**. Pour son participation au jugement de ce modeste travail.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à **Messieurs Said AMIRI, et Rachid BOUABID, Professeurs à L'ENA de Meknès**, pour leur aide à la documentation.

Mes remerciements vont également à **Monsieur Mohamed LAAOUANE**, à la Faculté des Lettres et Sciences Humaines pour m'avoir aidé et facilité l'accès au matériel de la granulométrie du Laboratoire d'analyses et géo-environnementales.

Je remercie vivement l'ensemble du personnel qui m'ont aidé dans le laboratoire de Géo-ressources et Environnement à la **FST de Fès**, Omar El Aroussi, miriam Bellarbi, laïla Mesrar, sans oublier les Techniciens Mouloud Ouniss, et Halima Choukri.

Mes remerciements sont adressés à mes enseignants de la **FST de Béni-Mellal** et la **FST de Fès**, qui m'ont accompagné durant le parcours universitaire.

Je désire remercier particulièrement tous les membres du Centre Universitaire Régional d'Interface (**CURI**) de l'université Sidi Mohamed ben Abdallah, pour l'intérêt qu'ils ont apporté à mes échantillons et les Analyses qu'ils ont réalisé.

Que toutes les personnes m'ayant accueillie, aidée, enseignée, écoutée, conseillée, guidée et suivie se sentent personnellement et sincèrement remerciées.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	8
CHAPITRE I : ELEMENTS TRACES METALLIQUES DANS LES SOLS	13
I.1. DEFINITION	13
I.2. SOURCES DES ETM DANS L'ENVIRONNEMENT	13
I.2.1. Fond géochimique	13
I.2.2. Pollution des sols par les ETM.....	15
CHAPITRE II : CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET CLIMATIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	19
II.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SOCIOECONOMIQUE.....	19
II.2. CADRE CLIMATIQUE	22
II.2.1. La température :	22
II.2.2. Précipitation	23
II. 3. APERÇU HYDROLOGIQUE	23
II.3.1. Les oueds	23
II. 3.2. Les sources.....	25
II.3.3. Lacs ou Dayets.....	25
II.4. CADRE GEOLOGIQUE	26
II.4.1. Présentation	26
II.4.2. Description litho stratigraphique.....	27
CHAPITRE III : PEDOLOGIE DE LA PLAINE DE SAIS	31
III.1. INTRODUCTION	31
III.2. PRESENTATION DES UNITES PEDOLOGIQUES DE LA PLAINE DE SAIS.....	31
III.2.1. Classe des sols minéraux bruts	32
III.2.2. Classe des sols peu évolués.....	32
III.2.3. Classe des vertisols	33
III.2.4. Classe des sols calcimagnésiques	33
III.2.5. Classe des sols isohumiques.....	34
III.2.6. Classe des sols hydromorphes	34
III.3. CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES DIFFERENTES UNITES DU SOL	35
III.4. CARTE PEDOLOGIQUE DE LA PLAINE DE SAIS	35
CHAPITRE IV : ECHANTILLONNAGE ET METHODES D'ANALYSES	39
IV.1. ECHANTILLONNAGE.....	39
IV.1.1. Prélèvements des échantillons	39
IV.2. METHODOLOGIE	40
IV.2.1. Préparation des échantillons.....	40
IV.2.2. Analyses physico-chimiques du sol.....	41
IV.2.3. Granulométrie	45
IV.2.3. Mise en solution des sols par attaque acide.....	47
CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION	50
V.1. PH-METRE	50
V.2. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DU SOL.....	50
V.3. TEXTURE DU SOL	51

V.4. HUMIDITE RESIDUELLE.....	54
V.5. TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE	54
IV.6. TENEUR EN CARBONATE DE CALCIUM.....	55
V.7. CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTES CARACTERISTIQUES :	56
V.8. ANALYSES GEOCHIMIQUES DES SOLS	57
CONCLUSION.....	63
BIBLIOGRAPHIE.....	64

Liste des figures

Figure .1: Schéma de l'acquisition des teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols: Milieux naturels (Baize.D, 1997).....	14
Figure.2: Schéma de l'acquisition des teneurs totales en ETM dans les sols. Milieux anthropisés.....	15
Figure.3 : Carte de localisation de la zone d'étude	21
Figure.4 : Température moyenne mensuelle: station ABHS, Fès-Saïs (1978/2001)	22
Figure .5: Précipitations annuelles : station ABHS, Fès-Saïs (1971- 2009)	23
Figure.6 : Réseau hydrographique de la plaine de Saïs (Carte digitalisée à partir des cartes topographiques (O. Elaroussi, 2007))	25
Figure.7 : Carte géologique de la plaine de Saïs (ABHS, 2005).....	26
Figure.8: Colonne litho stratigraphique synthétique du bassin de Saïs (Ait Brahim, 1991)....	27
Figure.10: Carte pédologique (digitalisée par le logiciel Arcgis 9 et 9.2 à partir des cartes pédologiques (1/100 000), (étude pédologique au 1/100000 en vue de mise en valeur agricole dans les cercles de Fès-Banlieue, de Karia et de Tissa provinces de Fès et de Taounate, volume 1 et 2, SCET-Maroc 1967)	36
Figure.11: Carte illustrant la localisation des sites d'échantillonnage à l'amont de l'oued Fès	39
Figure.12: Méthode manuelle de quartage (méthode du cône).....	41
Figure.13 : courbe représente les différents fraction granulométriques dans chaque échantillon	52
Figure.14 : la courbe granulométrie de différents échantillons.....	52
Figure.15 : Triangle de GEPPA (Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquées) de texture de sols.....	53
Figure.16 : % d'humidité résiduelle des sols	54
Figure 17 : % de Matière organique des échantillons	55

Figure.18 : pourcentage de CaCO ₃ dans les échantillons	55
Figure .19 :différents caractéristiques des sols.....	56
Figure 20 : Teneur des différents éléments dans les sols	57
Figure.21 : comparaison entre la teneur de Cr en mg/Kg dans les échantillons et naturelle ..	58
Figure.22 : comparaison entre la teneur de Ni en mg/Kg dans les échantillons et naturelle ..	58
Figure.23 : comparaison entre la teneur de Cu en mg/Kg dans les échantillons et naturelle..	59
Figure.24 : comparaison entre la teneur de Pb en mg/Kg dans les échantillons et naturelle ..	59
Figure.25 : comparaison entre la teneur de Zn en mg/Kg dans les échantillons et naturelle..	60
Figure.26 : comparaison entre la teneur de Mn en mg/Kg dans les échantillons et naturelle.	60
Figure.27 : comparaison entre la teneur de Fe en mg/Kg dans les échantillons et naturelle ..	61
Figure.28 : comparaison entre la teneur de Ti en mg/Kg dans les échantillons et naturelle...	61

Liste des Tableaux

Tableau 1: Valeurs extrêmes des teneurs en ETM des sols (mg/Kg de sol sec) (Normes françaises in Baize .D 1997)	14
Tableau.2 : contexte pédologique et géologique des terrains traversés par l'oued Fès	37
Tableau.3: Tableau représentatif des échantillons	40
Tableau .4 : pH _{H₂O} et pH _{KCl} des différents échantillons	50
Tableau.5: conductivité électrique des échantillons par μ S/cm	51

INTRODUCTION GENERALE

Le sol est une ressource naturelle très peu renouvelable à l'échelle d'une génération humaine. C'est la partie meuble de la lithosphère qui constitue une composante majeure de la biosphère continentale. Cette couche superficielle, organisée et d'épaisseur variable, couvrant les substrats géologiques est essentielle pour la vie. La connaissance des ressources en sol d'un pays et de leurs aptitudes à différentes utilisations par les communautés humaines est un préalable pour l'aménagement du territoire et le développement durable.

Le sol est actuellement considéré comme une interface dans l'environnement et une ressource pour le développement (Robert, 1996). Il est considéré comme ayant une capacité d'absorption illimitée, les sols ont de plus en plus de difficultés à répondre aux fonctions multiples et vitales qui sont les leurs: production de biomasse agricole et forestière, milieu de vie, régulateur de l'écosystème.

Au Maroc, le sol est la ressource la moins connue par rapport aux autres ressources naturelles telle que l'eau, l'air, les mines et les forêts. Et pourtant, il est reconnu par les pouvoirs publics comme une composante principale de la planification de l'aménagement du territoire à travers l'utilisation rationnelle des terres.

La superficie totale du Maroc est d'environ 72 millions d'hectares. Mais, seuls 8,5 millions sont cultivables et une grande partie de cette superficie est sévèrement menacée par différents phénomènes de dégradation :

- Le premier phénomène est l'érosion, qui menace sérieusement environ 5,5 millions d'hectares dont 300 mille de sols cultivables.
- La dégradation des sols par la salinité et l'alcalinité provoquée par la gestion irrationnelle des eaux de l'irrigation. La salure affecte environ 10-15 % des superficies des périmètres irrigués (telle que le Tadla, la Moulouya et le Tafilalet).
- L'urbanisation qui consomme des quantités considérables de terres à haut potentiel de production.
- L'agriculture participe largement à la dégradation des sols, notamment à travers le défrichage, déforestation, le labour, l'irrigation, la diffusion d'engrais chimiques et de pesticides, le surpâturage ou encore le passage d'engins lourds.

-En milieu urbain, le rejet des polluants tels que les métaux lourds peut affecter les sols, de même que les anciens sites industriels laissent parfois des friches aux sols fortement pollués.

On constate en effet une augmentation de la teneur en polluants dans de nombreux sols. Ainsi, la pollution des sols par les métaux lourds progresse non seulement dans les zones critiques, (centres industriels ou décharges), mais également dans certaines régions rurales en raison de la pollution atmosphérique et agricole.

Le Saïs est l'une des grandes régions agricoles du Maroc intérieur ayant connue une intensification importante des cultures liée à sa richesse hydrique, circulant dans les formations superficielles. Néanmoins, cette région agricole subit les nuisances environnementales liées à la forte urbanisation et industrialisation de la région (deux importantes villes du Maroc : Fès et Meknès)

Problématique

La contamination des sols par les métaux lourds (plomb, cadmium, zinc, cuivre...) est le plus souvent attribuable à l'action de l'homme. Leur origine est multiple : rejets industriels, retombées atmosphériques, dépôts de déchets, engrais, produits phytosanitaires etc...

Il est aujourd'hui admis que le risque associé à leur présence dans les sols (transfert vers les nappes phréatiques, biodisponibilité, écotoxicité) dépend en premier lieu de leur mode de fixation.

C'est pourquoi une meilleure compréhension du comportement et de la mobilité de ces éléments apparaît nécessaire, ainsi qu'une estimation de la capacité du sol à accumuler les polluants métalliques.

La rétention des métaux lourds par les sols dépend des facteurs tels que la nature des constituants minéraux et organiques, la nature du métal, la composition de la solution de sol et son pH.

L'étude des propriétés physiques, physico-chimiques et géochimiques des sols est certes une nécessité, non seulement pour appréhender leurs qualités et leurs comportements vis-à-vis des différentes utilisations (agricoles ou non agricoles), mais aussi pour assurer leur préservation face aux facteurs qui menacent leur durabilité.

Objectifs :

Pour déterminer la capacité de rétention du Cu, Zn, Cd et Pb sur un sol contaminé par les eaux d'irrigation et d'identifier les compartiments du sol qui interviennent le plus dans la rétention

de ces éléments et par conséquent, déduire le risque de mobilité et de disponibilité lors d'un apport concentré en métaux.

C'est dans cet objectif que notre travail s'est intéressé au diagnostic de l'état des sols de la plaine de Fès, préalable à une étude plus approfondie sur la contamination de ces sols de la plaine de saïs irriguées par les eaux d'oued Fès.

Les étapes de cette étude se déclinent comme suit :

- Reproduction numérique de la carte pédologique de la plaine de saïs par le logiciel Arcgis 9 et 9.2, par la digitalisation des unités pédologiques de la plaine à partir des cartes pédologiques (scannées et géo-référencé).
- Echantillonnage aléatoire des sols situés sur les rives de l'oued Fès à l'ouest de Fès, à partir de 9 prélèvements, effectués à une profondeur de 0 à 20 cm.
- Etude granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols échantillonnés par différentes méthodes à savoir la préparation des échantillons, par homogénéisation, séchage et quartage, L'analyse granulométrique des échantillons de sols a été effectuée par tamisage à sec et par sédimentation humide à la pipette Robinson, après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée et décarbonatation par HCl.
- Le pH est mesuré avec un pH mètre, généralement dans une suspension sol/eau de rapport 1 : 2,5 et dans une solution KCl 1N avec le même rapport. La conductivité électrique déterminée dans les extraits de sols de rapport sol/eau=1 :5. La destruction de la matière organique par la perte au feu (T 375°C), dosage de carbonate de calcium par calcimétrie du Bernard, l'humidité résiduelle par séchage à l'étuve à 105 °C. Ces méthodes analytiques ont été effectuées dans le laboratoire de Géoscience et l'environnement à FST Fès, et dans le laboratoire FSH saïs.
- Tous les échantillons étudiés ont fait par la suite l'objet d'une caractérisation géochimique afin de déterminer leur teneurs en éléments traces métalliques. La préparation de ces échantillons pour analyse chimique s'est faite par attaque triacide des sols bruts au laboratoire de Géoscience et l'environnement. L'analyse des échantillons par ICP-AES a été réalisée au CURI.

Ce mémoire se subdivise en :

- ↳ Le premier chapitre est consacré à l'étude des ETMs dans les sols à savoir leur définition, teneur naturelle, et leur source dans l'environnement;
- ↳ Le second chapitre traite le cadre général de la zone d'étude à savoir situation géographique et socioéconomique, climat, l'hydrologie, et la géologie ;
- ↳ Le troisième traite la numérisation des différents types des sols rencontrés dans la plaine de Sais par Arc Gis 9 et 9.2;
- ↳ Le quatrième chapitre développe les différentes techniques de préparation et d'analyse des échantillons.
- ↳ Le cinquième chapitre détaille les différents résultats de notre étude et leurs interprétations.

Ce travail se termine par une conclusion qui englobe les principaux résultats.

Chapitre I : Eléments Traces Métalliques dans les sols

Chapitre I : Eléments Traces Métalliques dans les

I.1. Définition

Les éléments traces (ET) sont les 80 éléments chimiques, constituants de la croûte terrestre, dont la concentration est pour chacun d'entre eux inférieure à 0,1 %. Ils ne représentent à eux tous que 0,6 % du total, alors que les 12 éléments majeurs (O; Si; Al; Fe; Ca; Na; K; Mg; Ti; H; P; Mn) représentent 99,4 %.

Beaucoup éléments traces sont des métaux (ETM) (Cd, Cr, Zn, Pb, Cu.....), tandis que d'autres sont des non-métaux (As, Se, B..). Certains éléments traces sont indispensables aux processus biologiques donc à la production agricole végétale et animale: ce sont les oligo-éléments (Zn, Cu, Cr, Mo, B...). D'autres ne jouent aucun rôle utile: par exemple Cd, Pb, Hg, Sn. Néanmoins, ils sont tous potentiellement polluants, cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments...) et aussi de leur forme chimique (spéciation).

I.2. Sources des ETM dans l'environnement

I.2.1.Fond géochimique

Le fond géochimique est par définition "la teneur naturelle ou originelle en éléments traces dans un sol en absence de tout processus d'apport ou d'exportation vers ou hors d'un site considéré" (*Académie des sciences, 1998*).

Cette teneur dépend aussi bien de la teneur de la roche originelle constituant le sol (roche dite primaire) que des processus, intervenus lors des périodes géologiques de formation du sol, qui ont pu lessiver ou concentrer l'élément en question. Dépendant de l'échelle spatiale considérée (région donnée, horizon de référence...).

Tous les sols contiennent naturellement des éléments traces métalliques. Ainsi, leur seule présence n'est pas indicatrice d'une pollution. (**fig.1**) La concentration de métaux lourds et métalloïdes dans des sols non contaminés par l'activité humaine est essentiellement liée à la géologie du matériau parent à partir duquel le sol s'est formé.

Ainsi, seule l'analyse directe des sols non contaminés peut indiquer les niveaux du fond géochimique (**Tableau.1**).

Notons qu'il est important de distinguer les teneurs moyennes obtenues dans les roches primaires ou métamorphiques (saines) de celles des roches de la zone d'oxydation. En effet, cette zone d'oxydation correspond à la couche de surface d'une « dizaine de mètres » présentant des circulations d'eaux de pluie chargées en oxygène. Dans cette zone, certains minéraux des roches primaires qui comprennent des éléments avec plusieurs degrés d'oxydations (Fe, Mn, S) sont instables au contact de l'eau de pluie.

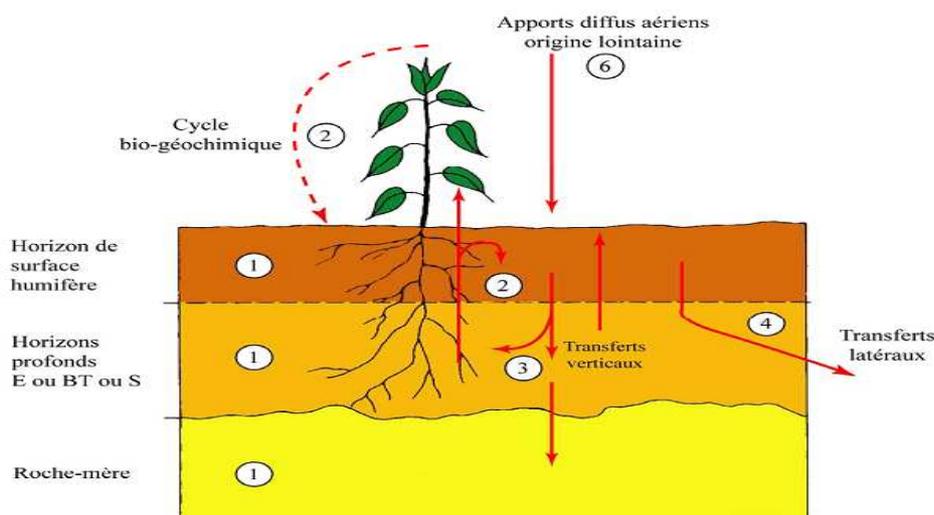


Figure .1: Schéma de l'acquisition des teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols: Milieux naturels (Baize.D, 1997)

Tableau 1: Valeurs extrêmes des teneurs en ETM des sols (mg/Kg de sol sec) (Normes françaises in Baize .D 1997)

Élément trace	Valeur limite réglementaire (mg /Kg)
Cd	2
Cr	150
Cu	100
Ni	50
Pb	100
As	6
Mn	1000
Ti	5000
Zn	90
Fe	30000

I.2.2. Pollution des sols par les ETM

On parle de *contamination* d'un sol lorsque sa teneur en élément trace est supérieure à la concentration "naturelle" de l'élément trace dans le sol, mais sans influence sur la qualité du sol. La concentration naturelle de l'élément trace dans le sol résulte de son évolution naturelle à partir de la roche initiale. Elle évolue verticalement et horizontalement lors de la genèse et l'évolution des sols (pédogenèse).

On parle de *pollution* de sols par un élément trace lorsque l'élément trace est présent à une dose constituant une menace pour l'activité biologique ou les fonctions du sol (**fig.2**).

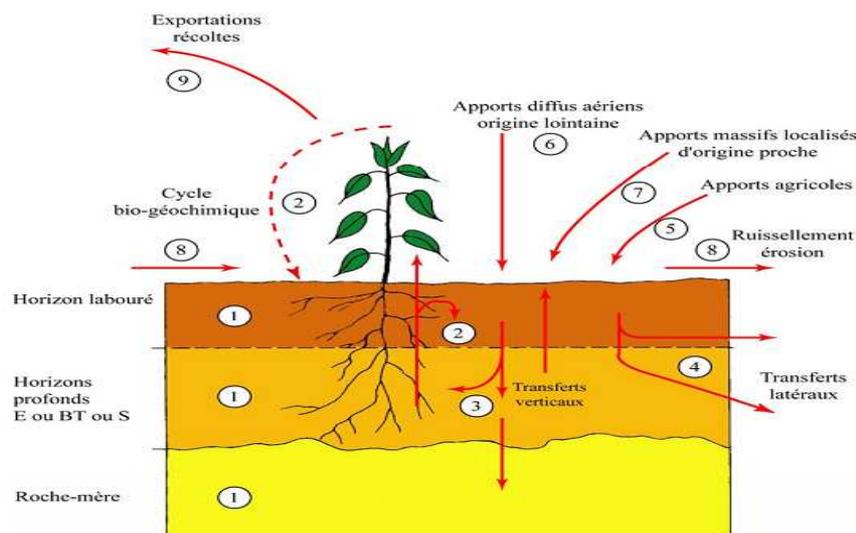


Figure.2: Schéma de l'acquisition des teneurs totales en ETM dans les sols. Milieux anthropisés

I.2.2.1 Origine de la pollution

I.2.2.1.1. Les retombées atmosphériques

Principalement issues de l'activité industrielle et de la circulation des différents moyens de transport, ces retombées représentent l'essentiel de la source d'ETM en zone urbaine. A ces retombées d'origine anthropique, s'ajoute un "bruit de fond" naturel lié à l'érosion éolienne des sols et aux éruptions volcaniques.

➤ L'industrie

Les retombées correspondent à l'émission atmosphérique de micropolluants par les principales sources suivantes :

- les usines d'incinération;
- les hauts fourneaux;
- la production de briques;

- la combustion du charbon et du pétrole.

Cependant, il faut noter que l'essentiel des émissions retombe sous forme de poussières dans un rayon relativement proche du site industriel émetteur (3 à 5 km). Ainsi, dans le cas d'un centre de métallurgie des métaux non ferreux, les quantités de plomb et de zinc accumulées dans les sols peuvent aller de plusieurs milliers de mg/kg de sol sec à proximité du site jusqu'à 100 mg/kg à 3 ou 4 km (pour le cadmium, les teneurs vont de quelques mg à 100 mg/kg de sol sec).

➤ **Les automobiles**

Les rejets de plomb par les gaz d'échappement sont une cause évidente de contamination des sols situés à proximité des grands axes routiers. 40 % du plomb particulaire émis est dispersé dans l'atmosphère, le reste se dépose sur la chaussée ou en bordure de celle-ci sur une largeur qui n'excède pas une centaine de mètres (pour un trafic de 8 à 10 000 véhicules par jour). Les particules qui résultent de l'usure des pneus sont aussi une cause d'accroissement des teneurs en zinc et cadmium des sols et de la végétation le long de ces axes.

1.2.2.1.2. Les apports anthropiques

➤ **Les matières fertilisantes**

Selon la réglementation en vigueur, ces matières regroupent :

- les engrais,
- les amendements,
- tous les autres produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques ou biologiques des sols,
- certains produits qui résultent de l'association de produits entrant dans les catégories précédentes,
- les supports de culture.

➤ **Les pesticides**

De nombreux pesticides ont contribué ou contribuent, de manière importante à la contamination des sols par les ETM. A titre d'exemple, les vignobles traités à la bouillie bordelaise (sulfate de cuivre et chaux), qui a une action fongicide, ont subi un enrichissement notable en cuivre des sols.

Les composés à base d'arsenic (principalement l'arséniate de plomb), longtemps employés pour contrôler les parasites des vergers et des vignes sont à l'origine de teneurs élevées en ces

éléments dans certains sols (plus de 25 à 50 mg/kg de sol sec alors que les teneurs normales sont inférieures à 10 mg/kg de sol sec).

De même, les sels de mercure et les organomercuriques (aujourd'hui interdits d'utilisation) employés comme fongicide, peuvent donner lieu à une élévation significative de la teneur en mercure total du sol, malgré des pertes par volatilisation estimées entre 30 et 50 %.

➤ **L'épandage des déchets**

Les composts d'ordures ménagères et les boues résiduares de stations d'épuration utilisés comme amendements organiques fertilisants, représentent une source reconnue d'ETM dans les sols agricoles.

➤ **L'épandage des déchets industriels et des boues de curage**

Il s'agit essentiellement d'ETM renfermés dans des déchets industriels variés stockés sur d'anciennes friches industrielles, ou de ceux existants dans des effluents liquides issus des industries agro-alimentaires qui font l'objet d'épandage. L'étalement des boues de curage des ports et des cours d'eaux constitue une source importante de d'ETM du fait de l'accumulation sédimentaires des éléments rejetés par les industries et les agglomérations des bassins versants.

Chapitre II :

Cadre géographique, géologique et climatique

de la zone d'étude

Chapitre II : Cadre géographique, géologique et climatique de la zone d'étude

II.1. Situation géographique et socioéconomique

La présente étude s'intéresse à la partie orientale du bassin de Saïs. Celle-ci est limitée au Nord par les rides pré-rifaines (J.Taghat 837m et J.Zalagh 900m), au Sud par les causses moyennes atlasiques tabulaires, à l'Est par la vallée de Oued Sebou, et à l'Ouest par le plateau de Meknès. Elle s'étend sur une superficie de 624.9 Km² ; soit 29.25 % de tout le bassin de Saïs (2100 km²), le reste (c.-à-d. 70.75 %) est représenté par le plateau de Meknès (1475.1 km²) (fig.3).

Notre zone d'étude se situe au niveau de la plaine de l'oued Fès. C'est une plaine drainée par l'oued Fès. Elle s'étend à l'Est de la flexure de Ras el Ma et limitée au Sud par la continuité de la flexure de Dar Ait Moussa jusqu'au Ain Chkef et les piémonts du causse d'Imouzzer, vers l'Ouest par la plaine de Douyet. L'oued Fès est l'un des principaux affluents de Sebou. Il prend sa naissance à la source de Ras-el-Ma et reçoit de sa descente d'eau d'un certain nombre de résurgences. D'autres grandes sources au niveau de la plaine de Saïs régularisent le débit de l'oued Fès. Actuellement, ces sources sont en grande partie canalisées pour l'alimentation de Fès en eau potable ou pour l'irrigation des terrains de la plaine.

Du point de vue socioéconomique, notre région d'étude se localise dans la région Fès–Boulemane qui compte 1 573 055 habitants (recensement 2004). La population urbaine en représente 69% et la rurale 31%, Sa densité moyenne est de 81 hab/Km. Sur le plan national, Fès se place en 2^{ème} position par le nombre des établissements qu'elle accueille (+600 unités). Il est à préciser que la localisation des unités industrielles à Fès est marquée par une dispersion assez prononcée qui s'explique par l'ancienneté des activités manufacturières dans la ville.

Le secteur agro-alimentaire représente près de 54% de la production industrielle de cette région. Quant au secteur du textile et du cuir, il en représente 32%.

Certaines de ces activités industrielles sont regroupées dans des quartiers industriels comme Aïn Nokbi, Sidi Brahmi, Aïn kadous, Doukkarat et Ben Souda. Quant à l'agriculture, elle se développe essentiellement hors du périmètre urbain de Fès et notamment dans la plaine de Saïs, qui regroupe neuf communes rurales, (Sbaa Rouadi, M'haya, Aïn Chkef, Aïn Bida,

Ouled Tayeb, Laqsir, Aïn Taoujdat, Aïn Cheggag, Kandar, Sidi Khiar), ou l'activité dominante est l'agriculture et l'élevage.

L'artisanat occupe la première place parmi les cités marocaines. Elle a un effectif de 38.300 artisans, repartis sur 205 métiers, dont les principaux sont: dinanderies, tissage traditionnel, babouche, argenterie, maroquinerie, boiserie, sculptures de bois et plâtre, zellige, poterie, couture traditionnelle, broderie, sellerie, cuivre, (*Baroo, 2001*).

De ce fait, Le bassin de Sebou est le bassin le plus pollué du Maroc, 40 % de cette pollution est représentée par les rejets de la région de Fès (ABHS, 2006). Dans la région de Fès, la pollution industrielle représente 23 Tonnes en matières oxydables par jour (53%), tandis que celle domestique 20 Tonnes en matières oxydables par jour (47%) (ONEP, 1994).

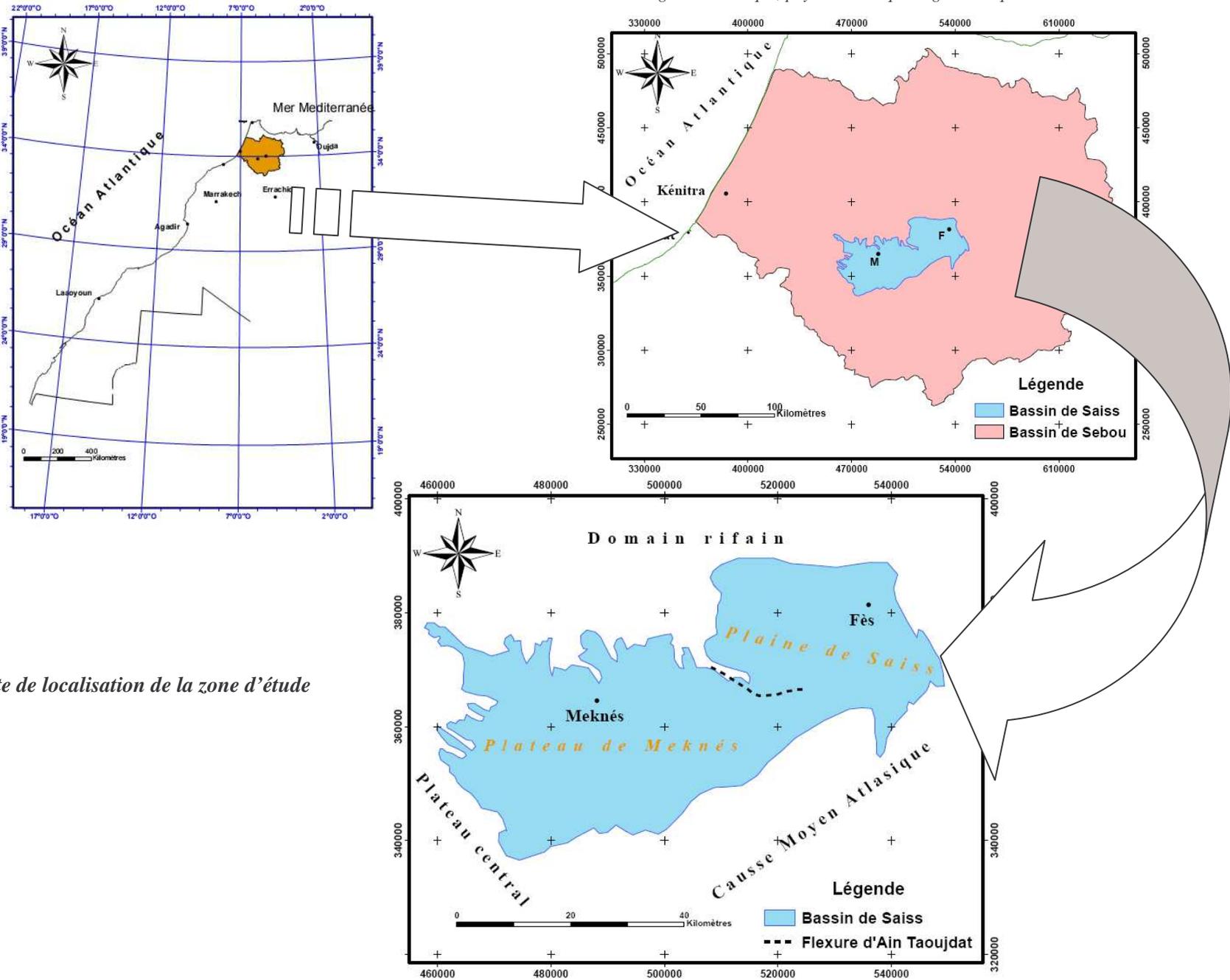


Figure.3 : Carte de localisation de la zone d'étude

II.2.Cadre climatique

L'identification des caractéristiques climatiques de la plaine de Saïs est d'une importance primordiale, vu son influence directe sur les cycles hydrologiques, hydrogéologiques et pédologiques de la zone d'étude. En effet, le climat de la région est considéré comme un climat de type méditerranéen semi-aride à hiver tempéré.

II.2.1. La température :

La température est une donnée importante, elle contrôle l'intensité de certains facteurs du cycle de l'eau, notamment, l'évaporation et la transpiration des végétaux, et elle dépend de deux types d'agents :

- ◆ Intrinsèques: latitude, relief, sol;
- ◆ Extrinsèques: masse d'air, nébulosité, saison.

Pour cette étude nous disposons des températures mensuelles et annuelles (**Fig.4**) de la station de Fès Saïs, pour une période allant de 1978 à 2001.

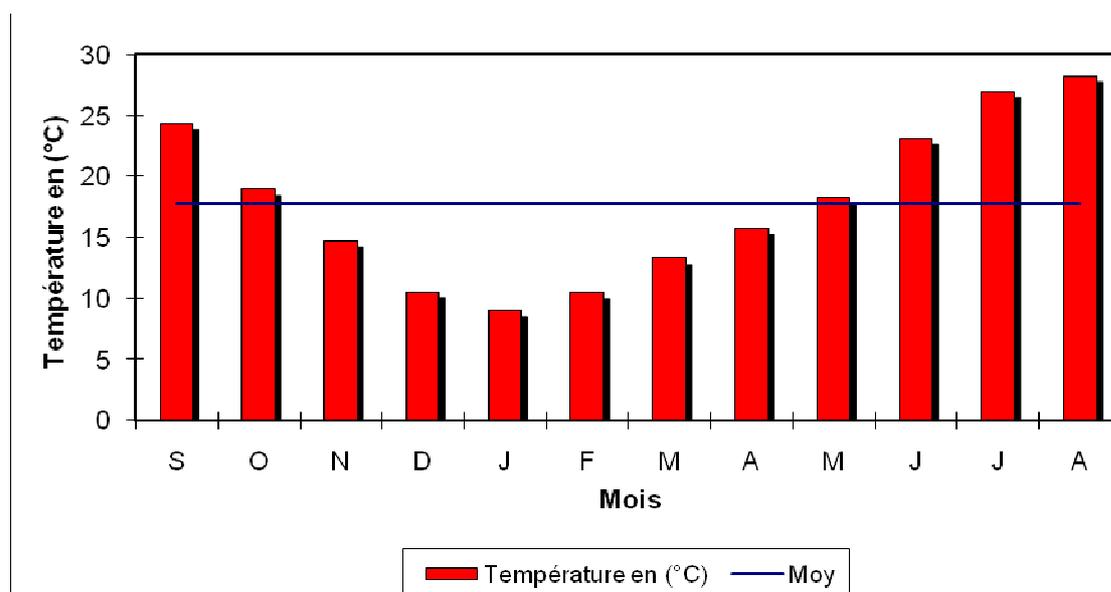


Figure.4 : Température moyenne mensuelle: station ABHS, Fès-Saïs (1978/2001)

D'une manière générale la température moyenne est de l'ordre de 17°C, marquant ainsi une température plus ou moins élevée. L'allure générale montre une augmentation thermique progressive du mois le plus froid (janvier) jusqu'aux mois les plus chauds (juillet et août)

II.2.2. Précipitation

Les précipitations forment un paramètre hydrologique d'une grande importance dans le fonctionnement d'un bassin versant, ces dernières jouent un rôle essentiel dans la recharge des nappes phréatiques, ainsi que dans le remplissage des oueds.

A l'échelle annuelle, le régime pluviométrique (**Fig.5**) de la plaine varie dans le temps et dans l'espace, avec une moyenne de 408,58 mm (valeur relativement élevée). Exceptionnellement, 2008 représente l'année la plus pluvieuse depuis 1978.

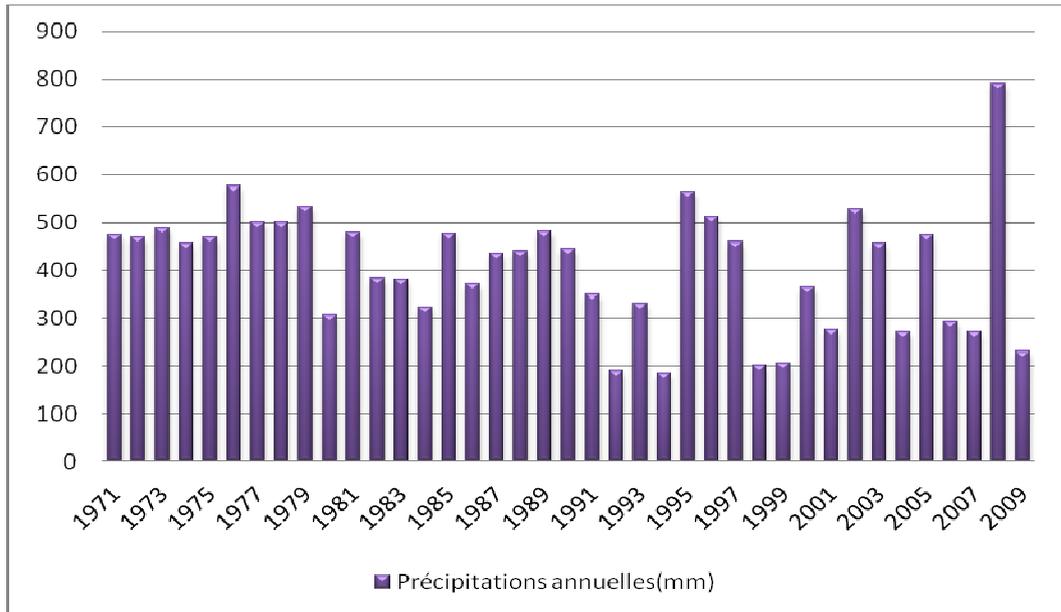


Figure .5: Précipitations annuelles : station ABHS, Fès-Saïs (1971- 2009)

II. 3. Aperçu hydrologique

La plaine de Saïs est traversée par un réseau hydrographique varié. L'oued Fès constitue la principale artère qui traverse la plaine selon une direction NE-SW. La majorité des cours d'eaux prennent naissance au pied du Causse Moyen atlasique et à partir des sources (**Fig.6**).

II.3.1. Les oueds

Les principaux oueds qui traversent la plaine sont :

➤ **Oued Sebou**

Le Sebou prend sa source dans le moyen Atlas, il prend naissance à la confluence Medez-Zloul, il draine les versants sud de la chaîne montagneuse du Rif et ceux du Nord Ouest du moyen- Atlas, après un parcours de 500 Km, il se jette dans l'océan, après avoir reçu de nombreux affluents en provenance du :

- Moyen-Atlas tabulaire et plissé: les oueds zloul, Fès et Mekkès;

- Moyen-Atlas et du Rif: Inaouène;
- Rif: les oueds Lebène et Ouergha;
- Plateau central: les oueds Beht et Rdom.

➤ **Oued Fès**

Il prend naissance à la source de Ras el ma, tout au long de son parcours, il reçoit les eaux de ses affluents et de plusieurs sources. Son bassin versant a une superficie de 400 Km² et une longueur de 28km.

➤ **Oued Boufkrane**

Il prend origine de la région de Bhalil, et suit une direction d'écoulement NW-SE, la superficie de son bassin versant est de l'ordre 49 km². Il reçoit l'eau de plusieurs sources.

➤ **Oued El Mahrez**

Il circule dans un bassin versant de superficie de 122 km² et ayant une longueur d'environ 10 km, il est presque sans débit notable en dehors des périodes pluvieuses.

➤ **Oued Aïn Smene**

Il prend son origine à partir de la source d'Aïn Smene. Il traverse la plaine de Fès dans la partie Ouest, cet oued est un affluent d'Oued Fès.

➤ **Oued Aïn Chkef**

Comme son nom l'indique, il prend son origine de la source d'Aïn Chkaf, généralement son écoulement à une direction N-S.

➤ **Oued Nja, Oued Al atchane, et Oued Ajouaou**

Ce sont les principaux affluents d'Oued Mikkés.

➤ **Oued Ain Cheggag**

Il prend naissance de la source d'Aïn Cheggag, son écoulement est de Sud vers le Nord.

La pente des cours d'eau est nettement trop faible. De ce fait, ils sont peu encaissés à l'exception de certaines vallées surimposées (effet tectonique). Cette pente faible peut causer par endroit la stagnation de l'eau, c'est le cas de l'étang Douyet, qui représente une zone mal drainée et marécageuse située à l'ouest de la ville de Fès.

II. 3.2. Les sources

Dans la plaine de Saïs, il existe un nombre important de sources, mais avec un débit faible. Ces sources constituent les exutoires naturels des aquifères Plio-Quaternaires et la plupart d'entre elles se trouvent dans les vallées des Oueds, (Aïn Ras Elma, Aïn Semen, Aïn cheggag, Aïn Ajouaou.....).

II.3.3. Lacs ou Dayets

Il existe deux lacs importants dans la plaine de Saïs :

- dayet El Kouchtam à 7 Km au Nord de Aïn betit, elle est temporaire et située sur un substratum marneux imperméable;
- l'étang de Douyet à 10 Km à l'Ouest de la ville de Fès, correspond à une cuvette synclinale subsidente, comblé par des dépôts quaternaires très peu perméables. La superficie de ce lac atteint 100 ha en hiver. (*Sendide, 1994*).

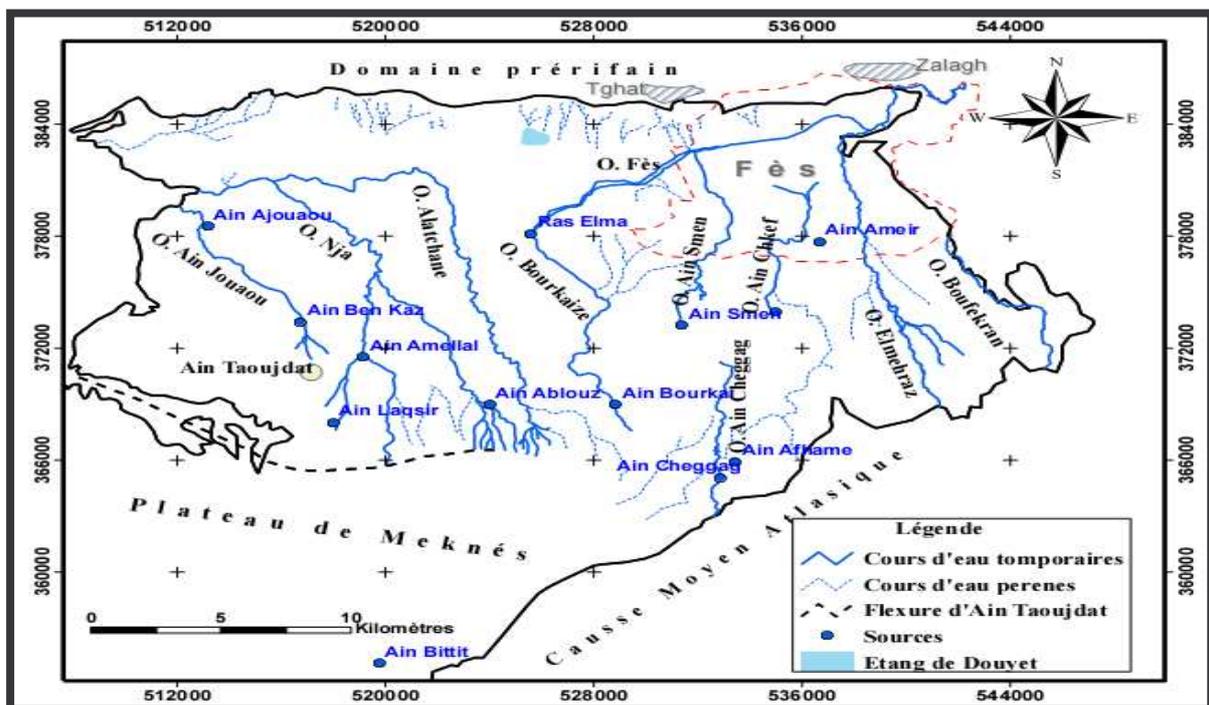


Figure.6 : Réseau hydrographique de la plaine de Saïs (Carte digitalisée à partir des cartes topographiques (O. Elaroussi, 2007))

II.4. Cadre géologique

II.4.1. Présentation

La plaine de Saïs est une dépression orientée généralement E-W. Elle est bordée par trois ensembles structuraux majeurs (**Fig.7**):

- Domaine atlasique au Sud;
- Domaine mésétien à l'Ouest;
- Domaine rifain au Nord.

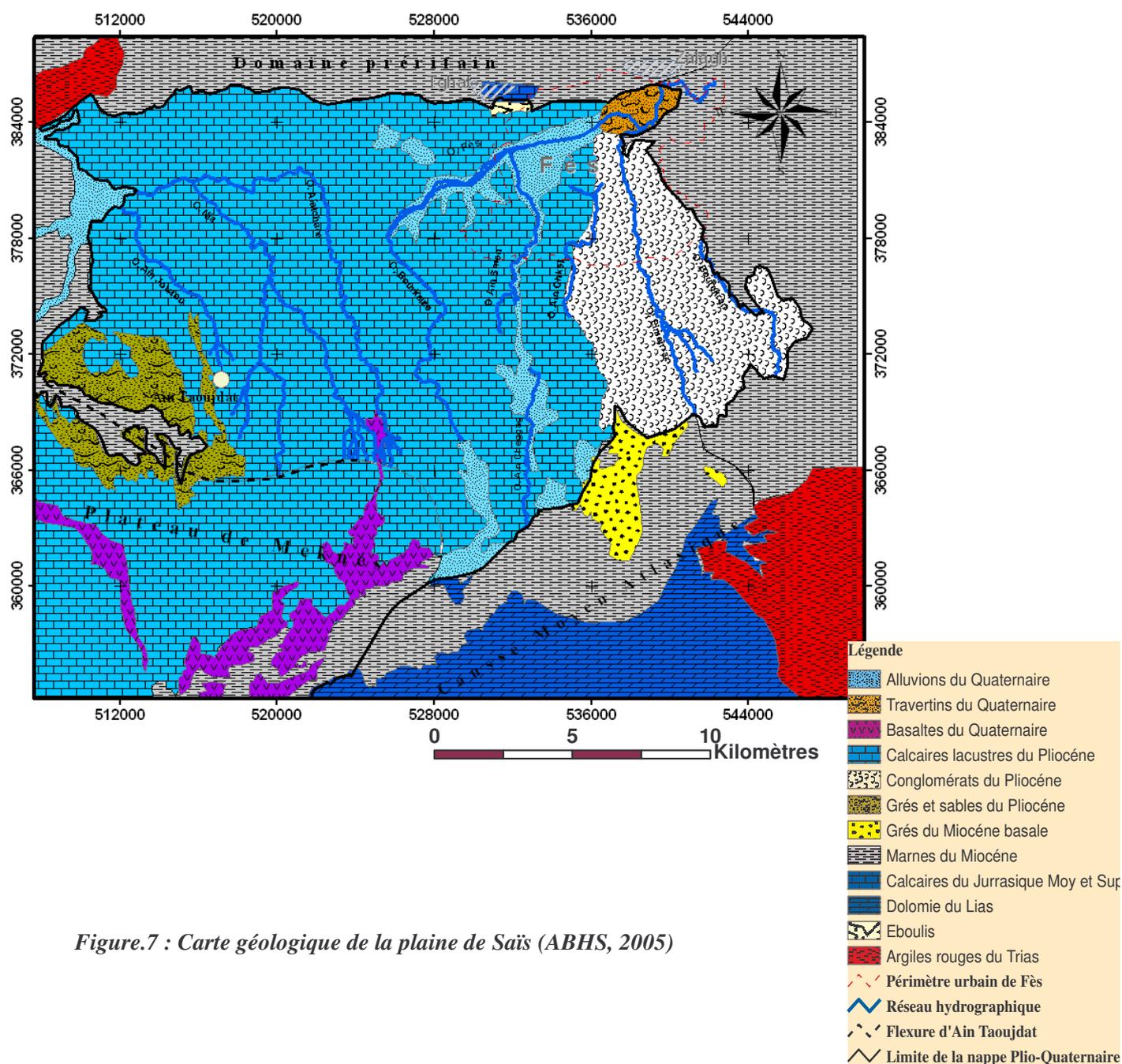


Figure.7 : Carte géologique de la plaine de Saïs (ABHS, 2005)

II.4.2. Description litho stratigraphique

Par sa position entre deux domaines structuraux très différents, le Moyen Atlas au Sud et le domaine Rifain au Nord (*Humphreys et al 1978*), la plaine de Saïs a fait l'objet de nombreuses études qui ont portées essentiellement sur la litho stratigraphie de ces formations (**Fig.8**).

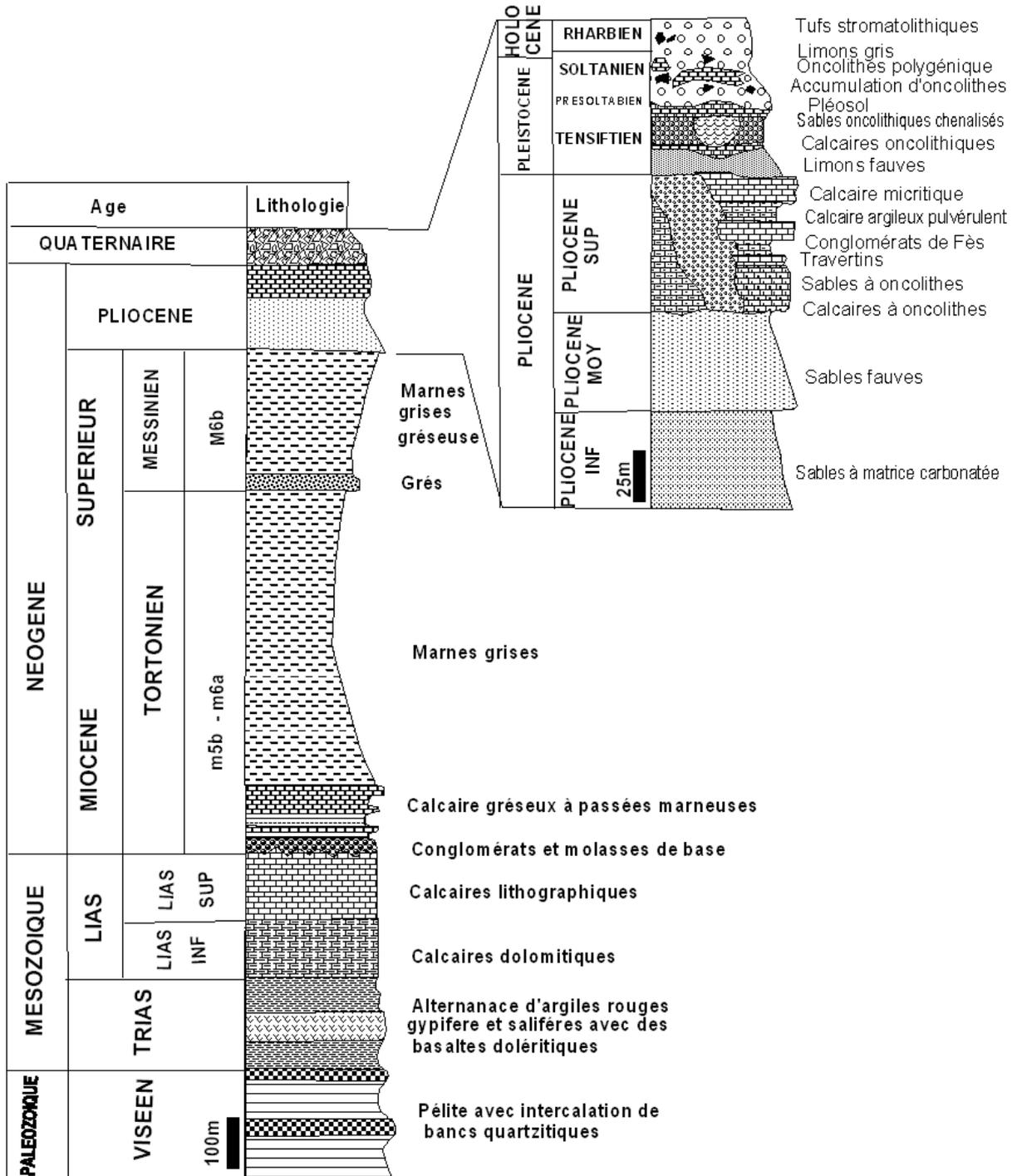


Figure.8: Colonne litho stratigraphique synthétique du bassin de Saïs (Ait Brahim, 1991).

II.4.2.1. Le Paléozoïque

Les formations paléozoïques affleurent largement, au Sud de la plaine de Saïs, à la faveur des accidents NE-SW, ou N-S qui affectent la partie méridionale du secteur. Sa lithologie renferme des roches métamorphiques, des schistes et des grés quartzitiques (*ressources en eau au Maroc Tome2, 1974*).

II.4.2.2. Le Mésozoïque

Les formations mésozoïques n'affleurent que dans les extrémités de la plaine, soit au Moyen Atlas soit au niveau des rides sud Rifaines (*A. Pique 1994*).

➤ **Le Trias**

Le Trias repose en discordance sur le socle paléozoïque fissuré, et dont la sédimentation mésozoïque commence par une série rouge triasique. Cette série comporte deux cycles; le premier comporte des argilites, siltites, avec parfois des lentilles conglomératiques à la base; et le deuxième comporte une sédimentation argilo évaporitique du Trias supérieur (*Taltass 1953*).

➤ **Le Lias**

Les formations liasiques s'enfoncent progressivement vers le Nord dans la plaine de Saïs à des profondeurs de plus en plus grandes, avant de se terminer brusquement au niveau du front de la nappe pré-rifaine. Ces formations sont affectées par un certain nombre de flexures à grande échelle, ces flexures sont orientées soit NE-SW, soit NW-SE (*A. Brahim, 1983*).

II.4.2.3. Le Cénozoïque

➤ **Le Miocène**

Les dépôts miocènes surmontent de manière discordante le Lias. Cette discordance est marquée par l'absence de dépôts d'âge jurassique moyen à Oligocène. L'épaisseur de la série miocène augmente progressivement vers le nord pour atteindre les 1000 m dans la bordure nord de la plaine de Saïs (**Fig.9**).

➤ **Le Pliocène**

-Pliocène marin

Il est constitué par des grés jaunes et des sables, le contact de ces dernières avec les marnes bleues du Tortonien représente le contact entre les terrains aquifères contenant la nappe phréatique et les terrains imperméables formant le mur de cette nappe.

-Pliocène continental

Il est représenté par les dépôts suivants :

- *Les conglomérats* : Ces conglomérats Mio-pliocènes occupent le versant sud du jbel Tghat s'étendent sur une bande Est-Ouest depuis la route de Moulay Yacoub et s'étend à l'Est sous les constructions de Ben Debab et jusqu'à la région de Jnanates (*A.Brahim, 1983*).
- *Les calcaires lacustres* : Ces calcaires sont discordants sur les marnes de Miocène, les majeurs affleurements sont localisés de part et d'autre de l'oued Aïn Smen et principalement à Bled Ben souda.

II.4.2.4.Le Quaternaire

Le quaternaire est représenté par divers dépôts: basaltes, éboulis, travertins, croûtes calcaires, dépôts marécageux et alluvions. L'épaisseur de ces dépôts est faible mais variable. Il ne dépasse généralement pas 100m mais elle peut atteindre 120m dans les zones marécageuses de l'étang de Douyet (*Sendide, 2000*).

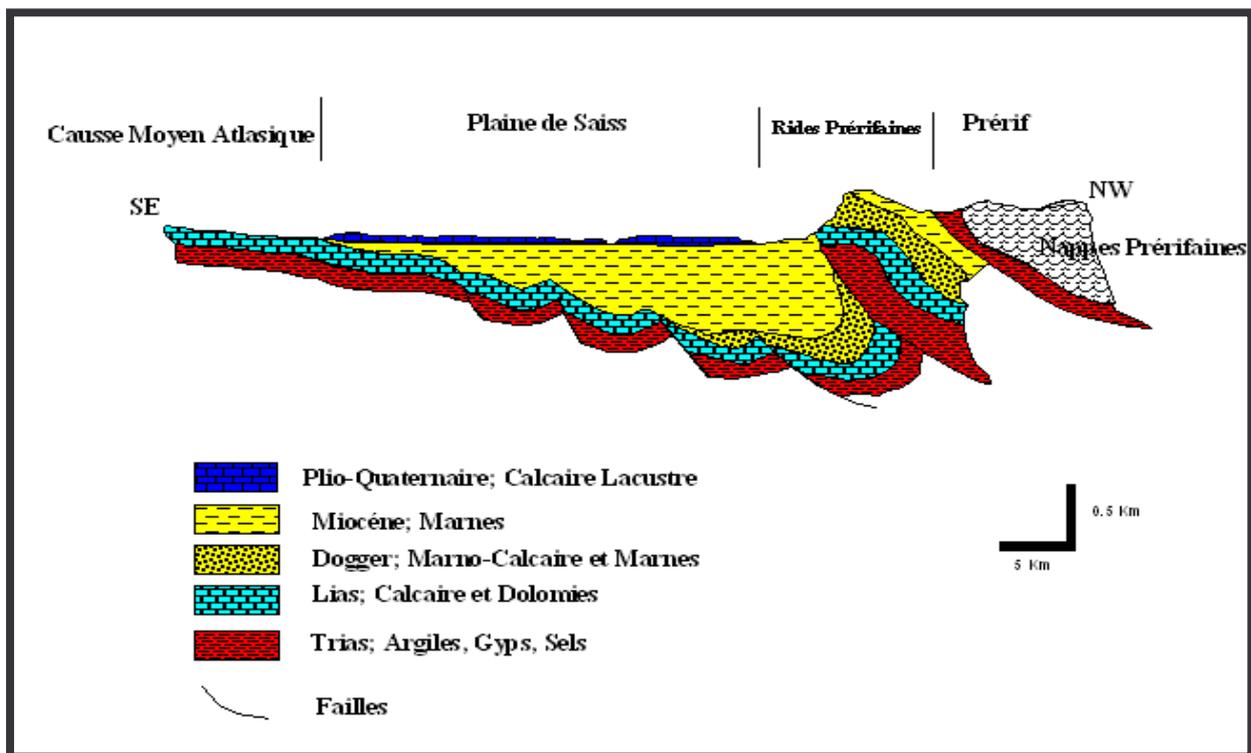


Figure.9: Coupe géologique schématique du Sillon Sud Rifain (Extrait des ressources en eau au Maroc, Tome 2, 1974).

Chapitre III : Pédologie de la plaine de Sais

Chapitre III : Pédologie de la plaine de

III.1. Introduction

Le sol est une pellicule d'altération recouvrant une roche. Il est formé d'une fraction minérale et de matière organique (humus). Et il prend naissance à partir de la roche puis il évolue sous l'action des facteurs du milieu, essentiellement le climat et la végétation.

Les premières classifications de sols, sous l'influence de l'école russe, groupaient les sols selon l'importance du climat et de la végétation dans leur formation. Puis, avec l'amélioration des connaissances en physique et chimie du sol, on a cherché à les caractériser par rapport à un composé chimique qu'ils accumulent (le calcaire ou le fer, par exemple).

En France, la première classification qui s'est imposée a été finalisée en 1967 par la Commission de pédologie et de cartographie des sols (CPCS) et a pris le nom de « CPCS ». Elle intègre comme critère de classification des sols le processus de pédogenèse des sols. Dans les années 90, la CPCS est progressivement remplacée en France par le Référentiel Pédologique de l'INRA qui privilégie les propriétés fonctionnelles du sol. Ce référentiel, dont la dernière version date de 1995, définit des références de sols selon leur morphologie, leurs propriétés de comportement et de fonctionnement et selon leurs processus de formation. Il comporte 73 horizons de référence qui ont permis de définir 102 Références de sols. Au niveau mondial la classification de la FAO s'est imposée lors de l'élaboration de la carte mondiale des sols au 1/5 000 000 de 1975. Elle définit 26 unités principales (qui sont ensuite subdivisées) présentées selon un degré croissant d'altération et d'évolution. Cette classification a été remaniée et a donné naissance au référentiel WRB (World Reference Base for Soil Resources) qui a été officiellement adopté par l'union internationale de science des sols en 1998.

III.2. Présentation des unités pédologiques de la plaine de Sais

Au Maroc, Les pédogénèses qui ont formé et forment encore les sols sont multiples et souvent complexes. On passera maintenant en revue les types de sols qu'elles produisent, en commençant par les plus fréquents et les plus importants dans ce pays: les sols isohumiques méditerranéens ou subtropicaux, les sols rouges méditerranéens, les sols calcomagnésimorphes, les vertisols, les sols hydromorphes, les sols bruns à mull, les sols

halomorphes. En y ajoutant les sols d'érosion, les sols peu évolués d'apport et les sols des régions désertiques, on aura fait le point des connaissances actuelles sur la question.

Au niveau de la plaine de saïs, Les sols représentatifs sont groupés dans les classes suivantes : les sols isohumiques, les sols calcimagnésiques et les sols à sesquioxydes. Par exemple, les sols calcimagnésiques, les sols fersiallitiques, les vertisols et les sols isohumiques représentent 63%, 15%, 11% et 7% de la superficie totale du plateau de Meknès respectivement (carte pédologique au 1/100.000 de la région de Meknès) (Thèse Moujahid, 2007.)

III.2.1. Classe des sols minéraux bruts

Les sols ne contenant que des traces de la matière organique. Deux unités de sols minéraux bruts sont distinguées (*société centrale pour l'équipement du territoire Maroc, 1967*):

- *Unité 1*: lithosols sur calcaires et dolomies du lais qui correspondent aux affleurements des crêtes rocheuses.
- *Unité 2*: régosols sur marnes, bad-lands qui correspondent aux affleurements des marnes argileuses ou calcaires.

III.2.2. Classe des sols peu évolués

Les sols de profils AC contenant plus que des traces de matière organique, dans les 20 centimètres supérieurs et/ou plus de 1 à 1,5% de matière organique sur plus de 2 à 3 cm.

Il n'y a jamais dans ces sols d'horizon A2, B. En fonction de la nature de la roche-mère, de la nature de l'apport et des matériaux apportés, ainsi que de certains caractères secondaires (vertiques ou hydromorphes) on a distingué 9 unités pédologiques dans la classe des sols peu évolués.

- *Unités 3 et 4*: Sols peu évolués d'érosion respectivement sur marne calcaires, et marnes argileuses.
- *Unités 5 et 6*: Sols peu évolués d'érosion respectivement sur flysch et sur grès avec de nombreux affleurements rocheux.
- *Unités 7, 8, 9*: Sols peu évolués d'érosion d'apport respectivement modaux, hydromorphes, et vertiques.
- *Unité 10*: Sols peu évolués d'érosion d'apport colluvial sur colluvions marneuses.
- *Unité 11*: Sols peu évolués d'érosion d'apport allu-colluvial à caractères brunifiés, hydromorphes, sur formation du pliocène, très graveleux.

III.2.3. Classe des vertisols

Ce sont les sols à profils A (B) C plus ou moins homogénéisés par des mouvements internes, s'exprimant par la présence de larges agrégats gauchis et à faces striées, au moins à la base du profil et souvent par celle d'un micro-relief. Leur horizon fentes de dessiccation est une structure polyédrique à prismatique grossière au moins en (B), dont la macroporosité est très faible et dont la cohésion ainsi que la consistance sont très fortes. La couleur est en général foncée.

Les sous-classes sont distinguées en fonction des conditions de drainage externe. Et elles sont regroupées dans les unités suivantes :

➤ **Vertisols topamorphes**

- *Unité 12*: vertisols modaux à drainage externe nul ou réduit sur formation argileuse des terrasses IVaires.

- *Unité 13*: vertisols vertiques à drainage externe nul ou réduit sur formation argileuse des terrasses IVaires.

➤ **Vertisols lithomorphes**

- *Unité 14*: vertisols vertiques à drainage externe possible sur marne argileuse, pente moyenne.

- *Unité 15*: vertisols, vertiques érodés sur marne argileuse, pente forte.

III.2.4. Classe des sols calcimagnésiques

Ce sont des sols dont les caractères morphologiques des horizons supérieurs sont déterminés par la présence d'ions alcalinoterreux mais dans lesquels la partie inférieure du sol, quand elle existe, ne montre ni les caractères des vertisols ni ceux des sols isohumiques.

Le profil est de type AR ou AC ou A et l'horizon sous-jacent est rapide. Les horizons profonds ne montrent jamais des faces de glissement et leur teneur en matière organique est très faible par rapport à celle des horizons de surface.

L'abondance des sols calcimagnésiques au niveau de la zone d'étude est liée à l'abondance des roches-mères riches en calcaires (marnes calcaires).

Les sols calcimagnésiques distingués appartiennent principalement à la sous-classe des sols carbonatés, groupes des sols bruns calcaires.

Les unités distinguées sont :

- *Unité 16*: sols bruns calcaires modaux, localement érodés ou vertiques, sur marnes calcaires, pente moyenne à forte.
- *Unité 17*: bruns calcaires modaux sur marnes sableuses du miocène supérieur, pente moyenne à forte.
- *Unité 18*: sols bruns calciques sur croutes quaternaires à topographie plane.

III.2.5. Classe des sols isohumiques

Ce sont des sols évolués à profils moyennement ou peu différenciés du type A(B) C, parfois ABC: l'horizon B est caractérisé le plus souvent par sa structure mais pouvant être plus argileux que l'horizon A.

L'ensemble des horizons, nettement marqués par la matière organique, constitue une part importante plus au moins la moitié du profil du sol jusqu'à son matériau original. Elle décroît progressivement jusqu'à la base du profil. La matière organique humifiée des sols isohumiques est de type évoluée très polymérisée.

Ils sont plus ou moins fortement et plus ou moins profondément décarbonatés au moins dans les horizons supérieurs. L'accumulation de calcaire n'est pas brutale mais relativement progressive.

La distinction de la sous classe est fondée sur les effets du pédoclimat du sol: Au niveau de la zone d'étude, les sols isohumiques appartiennent à la sous-classe des sols isohumiques à complexe saturé évoluant sous un pédoclimat frais pendant la saison calcaire, différenciation de la structure et libération plus forte des oxydes de fer, de la nature des roches-mères et de la profondeur des sols, on distingue les unités suivantes:

- *Unité 19*: sols bruns isohumiques vertiques sur alluvions quaternaires anciennes.
- *Unité 20*: sols bruns isohumiques modaux localement vertiques sur alluvions argileuses et caillouteuses des hautes terrasses à micro-relief.
- *Unité 21*: sols châtaîns rouges sur formation quaternaire ancienne.

III.2.6 .Classe des sols hydromorphes

Sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau en raison d'un engorgement temporaire ou permanent d'une partie ou de la totalité du profil

- *Unité 24*: sols moyennement profonds à profonds sur encrouement.

III.3. Caractéristiques pédologiques et physico-chimiques des différentes unités du sol

Voir annexes tableau classification, pédologie, et caractéristiques physico-chimique de chaque unité (SCET-Maroc, 1967).

III.4 .carte pédologique de la plaine de sais

À partir des cartes pédologiques (1/100 000 de Fès-Banlieue, de Karia et de Tissa provinces de Fès et de Taounate), On a établi une carte pédologique digitalisée par Arcgis 9 et 9.2 sur laquelle sont représentées les différentes unités pédologique de la plaine de sais (**fig.10**).

Il ressort de cette carte qu'en général, dans la région de Fès, les sols calcimagnésiques se situent au Ouest de Fès, isohumiques se situent dans le sud Est de Fès, par contre autour des oueds, on a les sols peu évolués, et les vertisols.

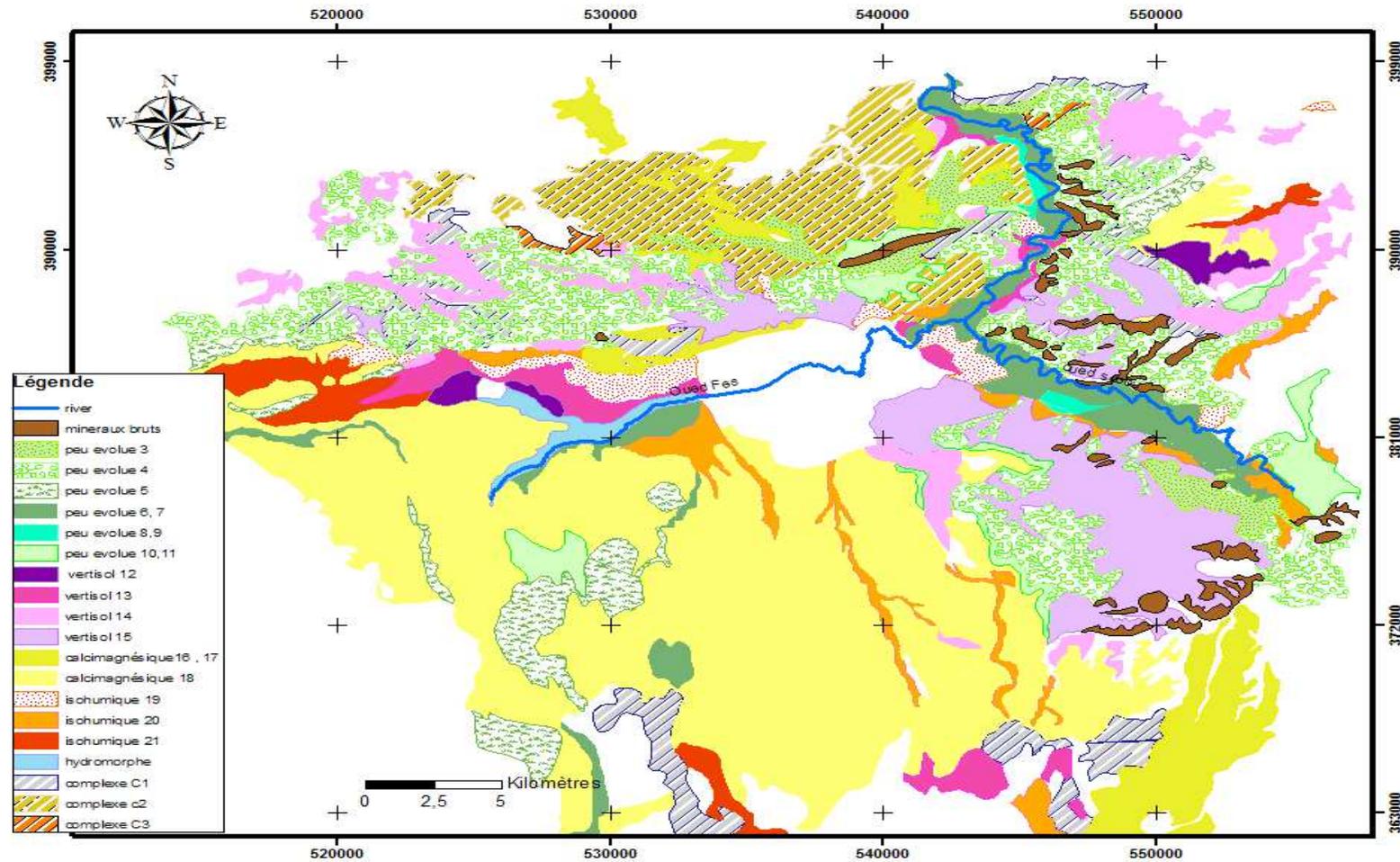


Figure.10: Carte pédologique (digitalisée par le logiciel Arcgis 9 et 9.2 à partir des cartes pédologiques (1/100 000), (étude pédologique au 1/100000 en vue de mise en valeur agricole dans les cercles de Fès-Banlieue, de Karia et de Tissa provinces de Fès et de Taounate, volume 1 et 2, SCET-Maroc 1967)

Ces différents sols se sont développés sur des roches mères qui sont principalement de nature carbonatée (calcaires et marnes du miocènes, travertins du quaternaire..., tab. 2)

Ces sols présentent un profil différencié se développant sur des matériaux calcaires tendres.

Tableau.2 : contexte pédologique et géologique des terrains traversés par l'oued Fès

Localisation	Contexte pédologique	Contexte géologique
Amont d'oued Fès	vertisols peu évolués calcimagnésiques	Les calcaires lacustres sur les marnes de Miocène
Moyen d'oued Fès	sols hydromorphes sols	Le quaternaire sur des dépôts: basaltes, éboulis, travertins, croûtes calcaires, dépôts marécageux et alluvions.
La zone de Medina	Vertisols	Travertins du Quaternaire
Avant la confluence avec oued Sebou	Peu évolués isohumiques vertisols	Marnes du miocène

Plusieurs types génétiques de sols peuvent être associés sur un même substrat géologique et évolué ainsi différemment. Et c'est là tout le problème de la genèse des sols de la région où sur un même substrat, on peut avoir aussi bien des sols calcimagnésiques, des sols isohumiques que des vertisols.

Les sols calcimagnésiques les plus fréquents sont associés et s'étendent sur toutes les positions topographiques sur crêtes, sur pentes et sur les fonds de vallées. Leur extension nous paraît exagérée sur la carte pédologique (Fig.9). Les vertisols sont rencontrés aussi bien sur replats à pente faible suffisante pour assurer un drainage externe correcte mais à drainage interne relativement ralenti, et sur des positions très indentées par les entailles des talwegs de versant. Ils présentent des variations relatives à leur épaisseur et à leur richesse en argiles en fonction de leur situation sur le modelé (SCET-Maroc, 1967).

Chapitre IV : **Echantillonnage et méthodes d'analyses**

Chapitre IV : Echantillonnage et méthodes d'analyses

IV.1. Echantillonnage

IV.1.1. Prélèvements des échantillons

A l'amont d'oued Fès, 9 échantillons de sols ont été récoltés sur les rives de l'oued: SV1, SV2, SV3, SC1, SC2, SC3, SC4, SP1, SP2 (**fig.11**).

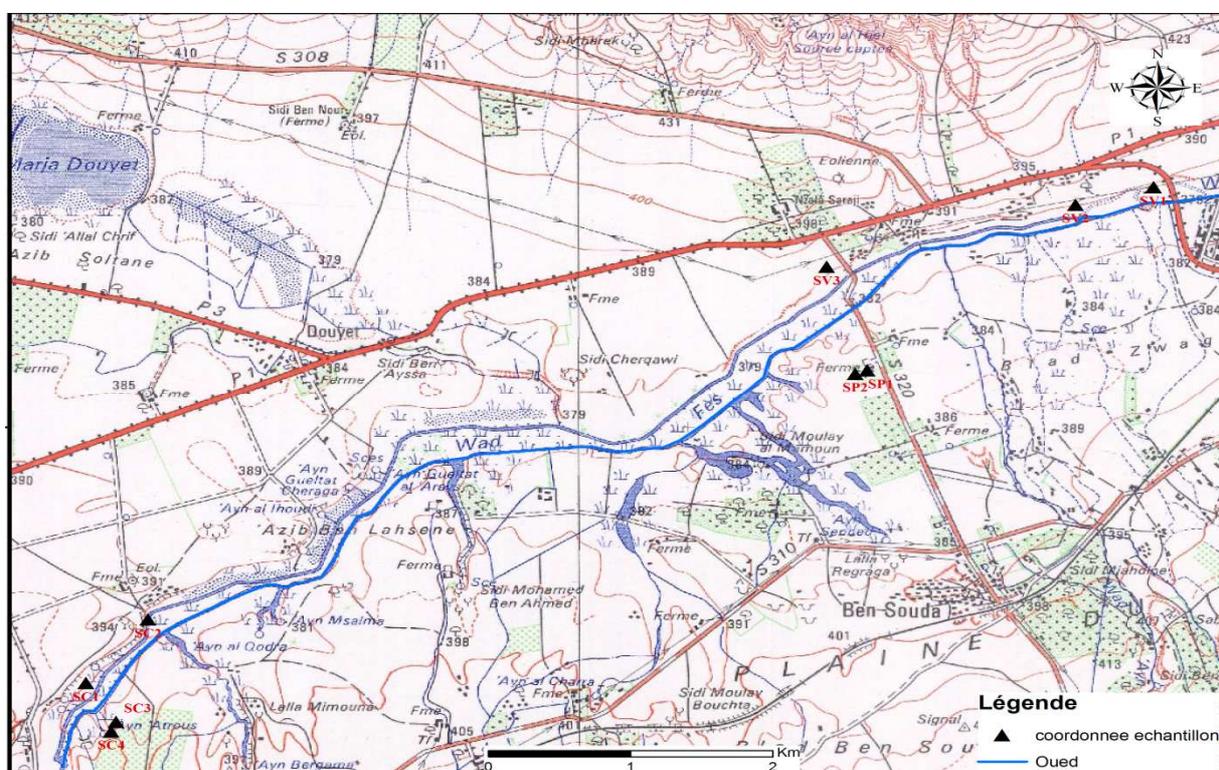


Figure.11: Carte illustrant la localisation des sites d'échantillonnage à l'amont de l'oued Fès

Pour chaque site, le prélèvement du sol s'est effectué sur une profondeur de 0 à 15 cm.

Les échantillons ont été prélevés à l'aide de pelle en plastique et placés dans des sacs en plastique de « qualité alimentaire ».

Tableau.3: Tableau représentatif des échantillons

<i>Zone d'échantillonnage</i>	<i>Référence d'échantillon</i>	<i>Types du sol</i>	<i>Fond géochimique</i>
Proche de pont de Marjane	SV1	Vertisol, Brun.	Alluvions du quaternaire
Douar sidi Amira	SV2	Vertisol Marron clair,	
Station Lbyad	SV3	Vertisol, Brun.	
Amont douar Mechraa krem	SC1	Calcimagnésiques, Rouge.	Calcaires lacustres du pliocène
Douar Mechraa krem	SC2	Calcimagnésiques, Rouge.	
Aïn Atrous	SC3	Calcimagnésiques, Brun.	
Amont Aïn Atrous	SC4	Calcimagnésiques, Brun.	
Ferma sidi el Abed	SP1	Peu évolués Gris.	Calcaires lacustres du pliocène
Ferma sidi el Abed	SP2	Peu évolués Grise.	

IV.2. Méthodologie

IV.2.1. Préparation des échantillons

Les échantillons de sol ont été séchés à l'air ambiant et tamisés à 2mm. Ensuite, on a procédé à un quartage des échantillons. Le quartage a comme but de diviser une certaine quantité de matière meuble en deux portions de poids égaux. L'une des portions peut, à son tour, être divisée (et ainsi de suite) jusqu'à l'obtention de la quantité réduite désirée, qui sera toujours représentative de l'échantillon de départ.

*Quartage par la méthode du cône :

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

- verser l'échantillon en un cône régulier sur une feuille;
- à l'aide d'une petite pelle ou d'une lame de papier rigide, séparer le cône verticalement par son sommet en deux moitiés symétriques et écarter l'une des deux moitiés de quelques centimètres en prenant garde à ce qu'un minimum de poudre reste sur la feuille de base;

- scinder ensuite les deux moitiés par un nouveau plan vertical perpendiculaire au premier, puis séparer l'échantillon de sorte que l'on obtienne quatre quarts de cône identiques;
- prélever et rassembler les quarts 2 et 4 (**Fig.12**) avec lesquels l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.

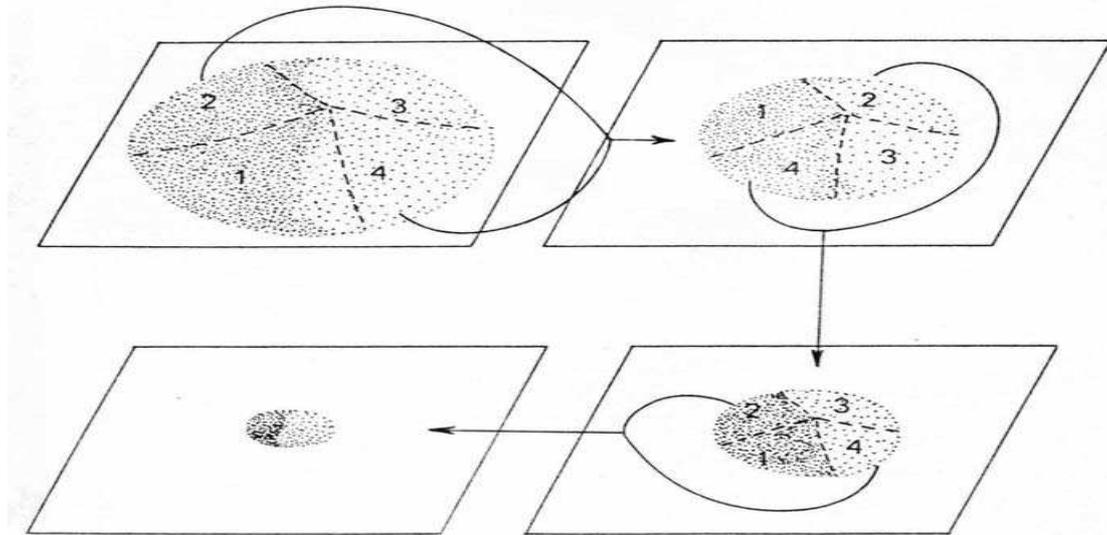


Figure.12: Méthode manuelle de quartage (méthode du cône) (CAUL 2009)

IV.2.2. Analyses physico-chimiques du sol

IV.2.2.1. Détermination de l'humidité résiduelle

La détermination de l'humidité du sol s'applique à tous types d'échantillons de sols (CIRAD, NF ISO 11465).

***Principe**

Les échantillons sont séchés à l'étuve à $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante. Une nuit, soit environ 16 heures, suffit généralement. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial.

***Procédures**

1. Peser le bécher en verre;
2. Peser environ 10 g de sol dans le bécher en verre;
3. Mettre au four à 105°C pendant 16h;
4. Peser;
5. Obtenir la masse de sol sec par soustraction

$$\text{Masse sol sec} = (\text{Masse de bécher vide} + \text{sol sec}) - \text{Masse de bécher vide}$$

6. Calculer le % d'humidité du sol.

***Calculs**

- Calcul pour obtenir le % d'humidité du sol:

$$\% \text{ Humidité du sol} = (\text{Masse humide} - \text{Masse sec}) / (\text{Masse humide}) * 100$$

- Calcul pour obtenir la masse équivalente sèche d'un échantillon humide dont on connaît déjà le pourcentage d'humidité:

$$\text{Masse équivalente sec} = (1 + (\% \text{ humidité})) / (\text{Masse humide})$$

IV.2.2.2. Détermination du pH dans l'eau et dans le KCl 1M du sol

***Définition**

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène.

$$pH = -\log_{10} a_{H^+}$$

Il est mesuré à l'aide d'une électrode de verre, dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogènes suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé pH-mètre.

Cette méthode instrumentale de mesure du pH est appliquée à tous les types de sols séchés à l'air selon les protocoles *AFNOR X 31-103* et *AFNOR X 31-104*.

La mesure s'effectue à l'aide d'une électrode de verre combinée trempée dans une suspension de sol dans:

- Une solution KCl 1mol /l: pH_{KCl}
- L'eau distillée: pH_{H_2O}

***Principe**

On réalise une mise en équilibre ionique entre la phase solide et la phase liquide. La mesure est effectuée dans des conditions déterminées (rapport sol/solution=1/2:5).

***Mode opératoire**

pH sol/ KCl

- tamiser 20g de sol sec tamisé à 2mm;
- mettre dans un bécher avec 50 ml d'une solution de KCl 1N et un barreau aimanté;

- placer sur un agitateur magnétique pendant 30mn;
- mesurer avec l'électrode après étalonnage du pH-mètre.

pH sol/H₂O

- tamiser 20g de sol sec tamisé à 2mm;
- mettre dans un bécher avec 50 ml d'eau distillé et un barreau aimanté;
- placer sur un agitateur magnétique pendant 30mn;
- mesurer avec l'électrode après étalonnage du pH-mètre.

IV.2.2.3. Conductivité électrique du sol

***Définition**

La conductivité électrique (CE) est une mesure de la matière dissoute dans une solution aqueuse, ce qui a trait à la capacité du matériau à conduire le courant électrique à travers celle-ci. L'unité de la conductivité est Siemens/surface (MS/cm) ou microSiemens par centimètre ($\mu\text{S/cm}$).

***Principe**

La détermination de la conductivité électrique (CE) est réalisée avec une cellule de conductimètre par mesure de la quantité des ions solubles dans le sol.

***Mode opératoire**

- peser 10g de sol sec tamisé à 2mm;
- mettre dans un bécher avec 50 ml d'eau distillé et un barreau aimanté;
- placer sur un agitateur magnétique pendant 30mn;
- étalonner le conductimètre selon les instructions du fabricant en utilisant le KCl comme solution tampon pour obtenir la constante de la cellule;
- mesurer avec l'électrode la conductivité de la suspension du sol.

IV.2.2.4. Dosage de la matière organique totale par perte au feu (PAF)

***Principe**

C'est une détermination pondérale basée sur la calcination de la matière organique totale en condition sèche. Les échantillons sont placés à 375°C pendant 16h. A cette température, la matière organique est détruite et la perte en eau structurale des argiles et carbonates, à même de fausser la mesure, est minime, (*NF ISO 14235*) (*Ball, 1964*).

***Mode opératoire**

- peser 10g d'échantillon dans une coupelle de porcelaine, sur une balance de précision au $1/1000^{\text{ème}}$;
- Déposer les coupelles dans l'ordre, toujours de haut en bas, de gauche à droite dans le four à moufle;
- afficher la température: 375 °C;

- attendre 16h;
- ouvrir la porte du four et laisser refroidir;
- mettre les échantillons dans un dessiccateur pour laisser refroidir à l'abri de l'humidité de l'air;
- peser chaque coupelle en le sortant du dessiccateur juste avant la pesée.

***Calcul**

$$\%MO = \frac{(\text{Pds coupelle+terre}) - (\text{Pds coupelle+terre calciné})}{\text{Pds terre utilisé}}$$

IV.2.2.5. Dosage du calcaire par Calcimétrie du Bernard

La connaissance du pourcentage de calcaire dans un sédiment est utile dans de nombreux cas, que ça soit dans des sédiments continentaux ou marins. Le principe d'analyse repose sur l'action de l'acide chlorhydrique sur le carbonate de calcium. Le volume de gaz carbonique dégagé lors de l'attaque chlorhydrique d'un poids connu de sédiments permet de calculer le pourcentage de carbonate de calcium total présent dans le sédiment.



L'appareil utilisé est le Calcimètre Bernard, qui permet d'effectuer rapidement une série d'analyses, avec une précision satisfaisante.

***Mode opératoire**

- peser exactement 0.250 g de calcite sec, a but d'étalonner l'appareil. Au début et à la fin d'une série de mesures (4 ou 5 échantillons);
- broyer une même quantité d'échantillon à 1 mm et sécher (0.250g);
- introduire avec beaucoup de précaution dans un erlenmeyer de 100 ml propre et sec;
- remplir un tube de verre aux $\frac{3}{4}$ avec l'acide chlorhydrique à 30 %;
- boucher soigneusement l'erlenmeyer avec le bouchon relié au tube gradué du calcimètre;
- amener au même niveau le liquide du tube gradué et celui de l'ampoule, on note la division **d₁**.
- incliner l'erlenmeyer de façon à ce que l'acide du petit tube se répande sur l'échantillon. La stabilisation du niveau du liquide dans le tube indique la fin de la réaction; on note la division **d₂**.

La valeur d_2-d_1 est le volume de CO_2 dégagé.

$$\% \text{ CaCO}_3 = V * 100 / v$$

v = volume de CO_2 dégagé par la calcite;

V = volume de CO_2 dégagé par le poids P d'échantillon.

IV.2.3. Granulométrie

IV.2.3.1. Texture

*Définition

Caractérise la composition granulométrique de la terre fine du sol ($< 2\text{mm}$). Les particules élémentaires du sol sont classées selon leur taille: *argiles* ($< 2 \mu\text{m}$), *limons fins* ($2-20 \mu\text{m}$), *limons grossiers* ($20-50 \mu\text{m}$), *sables fins* ($50-200 \mu\text{m}$), *sables grossiers* ($200-2000 \mu\text{m}$).

Au-delà de 2mm , on a les éléments grossiers qui constituent le refus. Les classes de texture sont déterminées par les pourcentages relatifs ou la dominance des constituants granulométriques (argileuse, limoneuse, sableuse, argilo-sableuse...).

IV.2.3.2. Séparation granulométrique par tamisage sec

*Définition

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,050** et **2mm**.

→ On appelle :

- o *REFUS* sur un tamis: quantité de matériau retenue sur le tamis;
- o *TAMISAT* (ou passant): quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

*Principe

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de *tamis* un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme numérique et sous forme graphique.

La granulométrie est une technique qui permet d'étudier la fréquence des grains de différentes dimensions, et faciliter ainsi les analyses du contenu pétrographique et minéralogique du sol référence (*Rouiller et al. 1972*).

***Préparation des échantillons (AFNOR X 31-107)**

-Destruction de la matière organique

Cette méthode nous permet d'évaluer le taux de matière organique présent dans un échantillon. La destruction de MO se fait par attaque à l'eau oxygénée de concentration de 10%, sur une plaque chauffante à agitation magnétique, réglée à 80°C pendant deux à trois heures selon la quantité de MO dans l'échantillon. Après la fin de la réaction, on lave l'échantillon à l'eau distillée et on le met dans l'étuve dont la température ne doit pas dépasser 80°C.

-Destruction du carbonate de calcium

La décarbonatation se fait par l'acide chlorhydrique à 10% jusqu'à la fin de l'effervescence, sous agitation, afin d'éviter les surconcentrations locales. Le pH est contrôlé tout au long de l'attaque à l'aide de papier pH universel, lorsque celui-ci vire au rose (couleur indiquant la dissolution des carbonates) l'attaque doit être arrêtée. (*Pomerol et Odin, 1974, In Meyer et al 1977*).

Remarque: Les deux traitements éventuels précédents nécessitent l'élimination des réactifs en excès. Le lavage est par ailleurs nécessaire pour purifier l'échantillon en le débarrassant des composés et ions solubles. Après avoir laissé décanter et éliminer le liquide surnageant, rincer plusieurs fois à l'eau distillée, recueillir soigneusement le culot des godets puis étuver à 80°C.

***Mode opératoire**

- 1- peser 150 g d'échantillon dépourvu de matière organique et de carbonate par attaque préalable;
- 2- verser cette quantité dans le tamis à 2 mm situé en haut de la colonne de tamis, après l'installation de fond de tamis, on ferme le tout à l'aide d'un couvercle;
- 3- régler la secoueuse à 15 min avec régime permanent et vitesse maximale;
- 4- après l'arrêt de la machine, récupérer le refus de chaque tamis et on le pèse.

Les résultats obtenus sont représentés sous deux formes (Histogramme et courbes cumulatives).

IV.2.3.3. Analyse granulométrique par sédimentation

➤ Méthode de pipette de ROBINSON

Toutes les analyses par sédimentation, d'après la loi de stock, acquise au bout d'un certain temps par toute particule se déplaçant dans un fluide sous l'effet d'accélération. Cette vitesse

limite est rapidement atteinte dans le cas de particules sédimentaires fines dispersées dans l'eau distillé immobile, et soumise à la pesanteur. Elle dépend du poids apparent des particules (densité relative entre milieu dispersant et milieu dispersé) (**Rouiller et al. 1984**).

L'utilisation de la pipette de robinson a pour objectif la détermination du pourcentage de limons et d'argiles. La méthode consiste à prélever, à un instant et à une profondeur donnés, un certain volume de la suspension en cours de sédimentation et d'y doser la quantité de particules (**AFNOR X 31-107**).

*** Mode opératoire**

- peser 30g d'échantillon sec < à 0,05 mm
- verser l'échantillon dans l'éprouvette graduée, ajouter de l'eau distillée et agiter plusieurs fois à la main;
- placer l'éprouvette sous la pipette, descendre cette dernière jusqu'à ce que la pointe touche le niveau supérieur de la suspension;
- descendre la pipette de 10cm et aspirer 10ml, verser dans une capsule tarée;
- évaporer à l'étuve et peser le résidu.

Opérer de la même façon 8h après, à une température de 20° C.

IV.2.3. Mise en solution des sols par attaque acide

Le dosage des métaux lourds a été effectué par spectroscopie d'absorption atomique qui nécessite une solubilisation des éléments à analyser (**Norme AFNOR NFX31-147**).

***Mode opératoire**

La préparation de l'échantillon consiste à procéder comme suit:

- après broyage du sédiment (200µm), une prise d'essai environ 0,5g d'échantillon est attaquée dans une capsule en téflon à froid;
- après homogénéisation, on ajoute 5ml d'acide nitrique, 5 ml d'acide perchlorique et 10 ml d'acide fluorhydrique (HF);
- on couvre et on laisse agir à froid pendant une nuit sous la hotte;
- les béchers sont ensuite placés sur une plaque chauffante (100°C sans atteindre l'ébullition), pour évaporer les acides;
- on commence à chauffer légèrement jusqu'à apparition de vapeurs blanches de HClO₄.

- la présence de grains non solubilisés au fond des béchers indique la présence de matière organique. Après l'évaporation, on refroidit les échantillons et on ajoute 2 ml de H₂O₂ à 35% pour attaquer la matière organique persistante;
- on augmente la température jusqu'à assécher tout le liquide et l'obtention d'un mélange visqueux;
- on laisse refroidir, puis on ajoute 2,5ml d'acide nitrique et on reprend l'évaporation totale (on obtient une perle);
- On met le culot en solution avec 5ml d'acide nitrique à 50% et 10ml d'eau distillée, et on porte à ébullition pendant 5min;
- on transvase dans une fiole jaugée de 100 ml, après refroidissement, on jauge avec l'eau bidistillée;
- On ajoute 10 gouttes de HNO₃ concentré et on met les fioles au réfrigérateur à 4°C.
- La solution est prête pour le dosage des éléments traces.

La caractérisation est effectuée via ICP-AES au Centre Universitaire de Recherche et d'Interface à Fès.

La caractérisation granulométrique, minéralogique et géochimique des échantillons solides et celle physico-chimiques des échantillons liquides ont nécessité le recours à plusieurs modes opératoires de préparation d'échantillon avant de procéder aux différentes analyses. La lecture des résultats ainsi que leurs interprétations sont détaillées dans le chapitre suivant.

Chapitre V :

Résultats et discussion

Chapitre V : Résultats et discussion

La caractérisation granulométrique, minéralogique et géochimique des sols ont nécessité le recours à plusieurs modes opératoires de préparation d'échantillon avant de procéder aux différentes analyses. La lecture des résultats analytiques obtenus ainsi que leurs interprétations sont détaillées dans le chapitre suivant.

L'interprétation des résultats est basée à partir des articles Revue Méditerranéenne de l'environnement.

V.1. pH-mètre

Dans les différents échantillons, le pH_{H₂O} neutre à basique

Le pH_{H₂O} (mesuré dans l'eau) ne rend pas compte de la totalité des ions acides fixés sur le complexe d'échange argilo-humique. Ces ions fixés (H⁺, Al⁺⁺⁺) constituent l'acidité potentielle effective du sol (ou l'acidité d'échange au pH du sol). Ils peuvent être déplacés par un échange avec un ion tel que K⁺. ΔpH (pH_{KCl} - pH_{H₂O}) est un paramètre utile pour apprécier la réactivité du complexe absorbant du sol. Pour le cas de nos échantillons, ΔpH est négatif, de ce fait dans le complexe absorbant il y a prédominance des charges négatives donc une capacité d'échange cationique dominante (Tab.6).

Vu la différence entre pH eau et pH KCl est inférieur à 1 donc ces sols sont saturés, et influencés par le calcaire.

Tableau .4 : pH_{H₂O} et pH_{KCl} des différents échantillons

Référence d'échantillon	pH KCl	pH H ₂ O	ΔpH (pH KCl - pH H ₂ O)
SV1	7,07	7,49	-0,42
SV2	7,47	7,62	-0,15
SV3	7,11	8,38	-1,27
SC1	7,25	8,34	-1,09
SC2	7,73	8,51	-0,78
SC3	7,4	8,4	-1
SC4	7,44	8,59	-1,15
SP1	7,65	8,46	-0,81
SP2	7,81	8,38	-0,57

V.2. Conductivité électrique du sol

Pour les sols étudiés, la conductivité électrique mesurée varie entre 122,4 μ S/cm et 273 μ S/cm, avec une moyenne de 158 μ S/cm (Tableau.6),

En outre, les résultats de conductivité on classe la salinité des sols se faisant comme suit:

- $CE \leq 2$ dS/m : Les sols ne sont pas salés ;
- $2 < CE \leq 4$ dS/m : les sols sont faiblement salés ;
- $4 < CE \leq 8$ dS/m : les sols sont moyennement salés ;
- $CE > 8$ dS/m :. Les sols sont halomorphes,

(Norme FAO, 1989 in Douaoui et Hartani, 2006).

Donc d'après ces résultats on constate que, les sols étudiés ne sont pas salés, puisque leurs conductivités sont faibles.

Les conductivités électriques varient entre 0,064 et 0,174 mmho/cm des échantillons ayant les mêmes localisations que nos échantillons, **(Y. MOUJAHID, 2007).**

Avec $1 \text{ mmho/cm} = 10^3 \mu\text{S/cm}$.

Tableau.5: conductivité électrique des échantillons par $\mu\text{S/cm}$

<i>Référence d'échantillon</i>	<i>Conductivité par $\mu\text{S/cm}$</i>
SV1	157,8
SV2	181,8
SV3	135,2
SC1	124,2
SC2	273
SC3	122,4
SC4	141,5
SP1	138,5
SP2	152,8

V.3. Texture du sol

D'après l'analyse granulométrique sur les sols, on construit une courbe de pourcentage de toutes les fractions pour chaque échantillon (**fig.13**), Les sols sont composés :

- Sable grossier (2 mm – 0,63 mm) ;
- Sable moyen (0,63mm – 0,315 mm) ;
- Sable fin à très fin (0,315mm – 0,05mm) ;
- Limons (0,05 mm - 0,002 mm) ;
- Argiles (< 0,002 mm).

Les sols sont contiennent une fraction fine ($<63\mu\text{m}$) proche, dans la plupart des cas, de 50%.

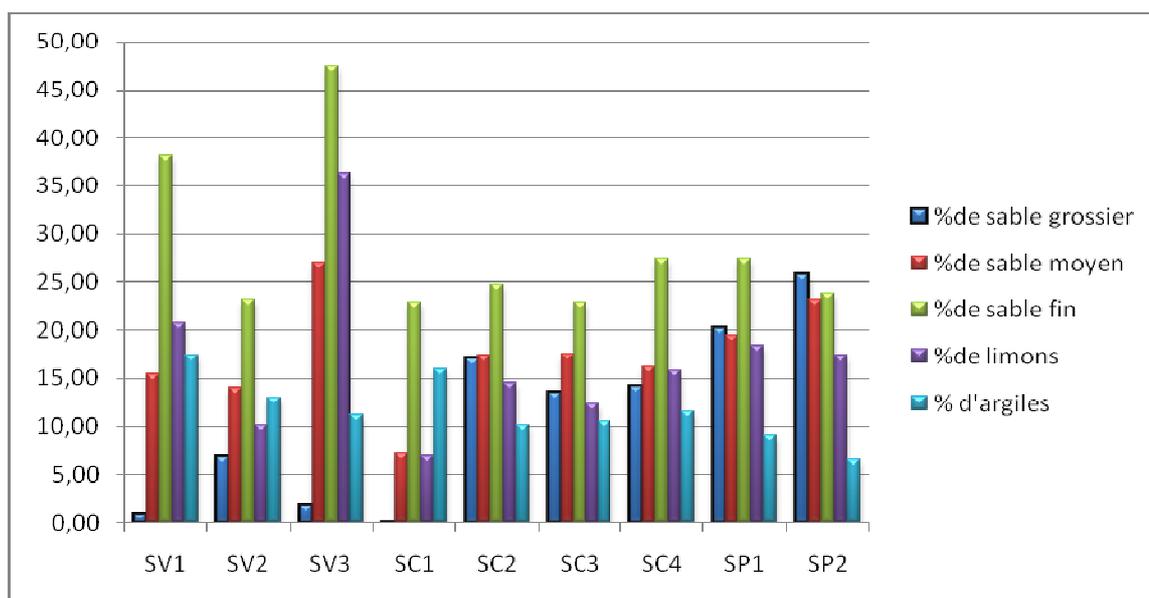


Figure.13 : courbe représente les différents fraction granulométriques dans chaque échantillon

D'après le calcul de pourcentage de tamisat cumulé pour chaque échantillon, on a effectué le courbe cumulatif de la granulométrie. Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats cumulés sur une feuille semi-logarithmique (fig.14) :

- en abscisse : les dimensions des mailles, échelle logarithmique
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

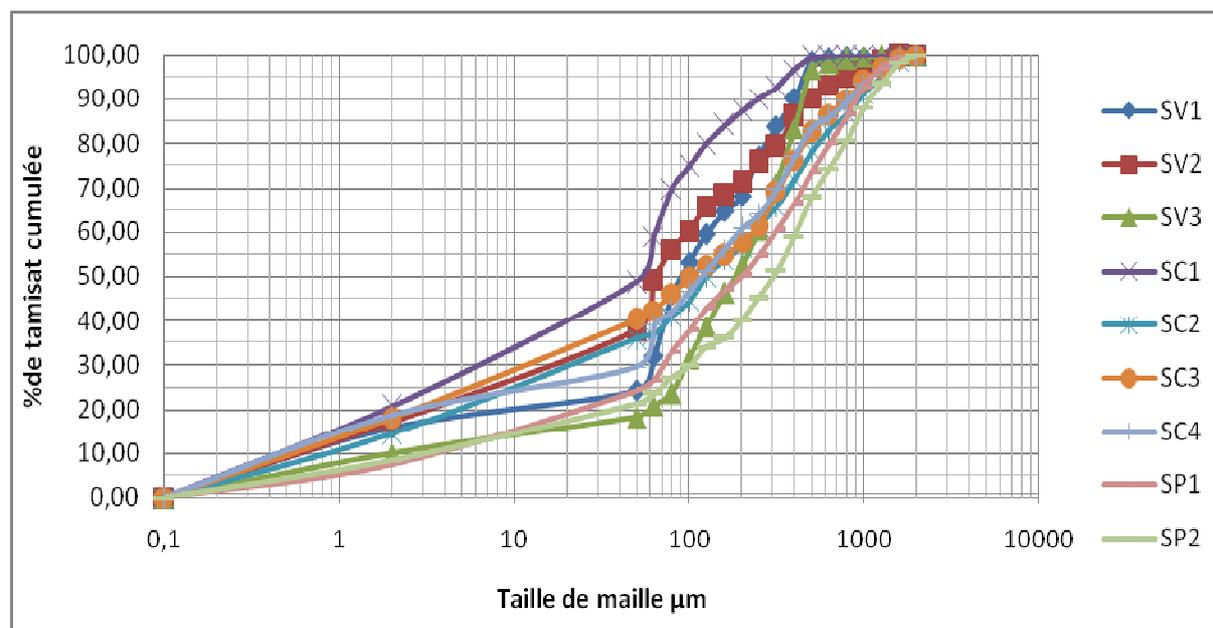


Figure.14 : la courbe granulométrie de différents échantillons

La détermination des textures de sol s'effectue en deux étapes. Dans un premier temps, la gamme granulométrique est subdivisée en intervalles, formant une échelle texturale. Par la suite, les trois classes texturales les plus significatives sont retenues pour la constitution d'un triangle textural (**fig.15**). Ces trois classes définissent alors un triangle textural regroupant toutes les combinaisons possibles des diverses fractions de la terre fine (sable, limon et argile) et à l'intérieur duquel l'échantillon de sol étudié pourra être situé.

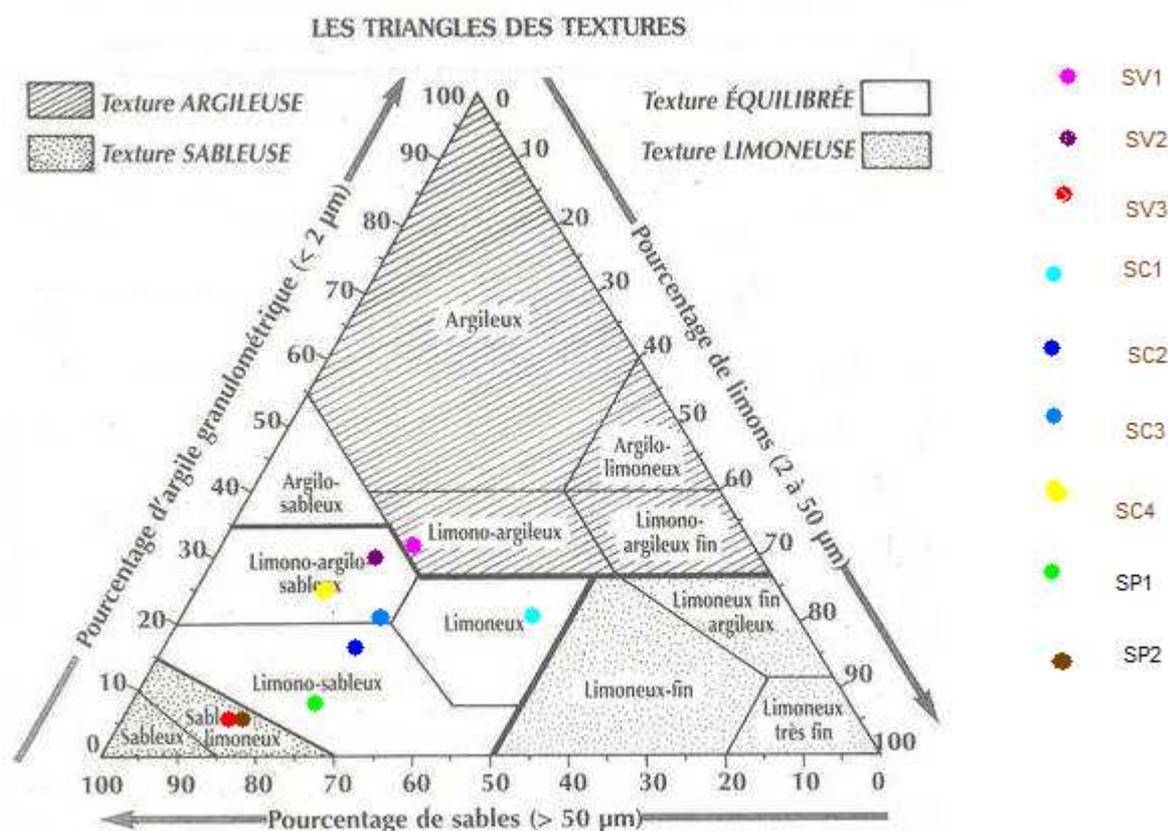


Figure.15 : Triangle de GEPPA (Groupe d'Etude des Problèmes de Pédologie Appliquées) de texture de sols

L'utilisation de triangle textural montrant les pourcentages d'argiles, de limons et de sables Confirme que les textures déjà observées sur le terrain. On constate ainsi qu'en, SV1 est limono-argileux, SV2 est limono-argilo-sableux, SV3 est sablo-limoneux, SC1 est limoneux, SC2 est limono-sableux, SC3 est limono-argilo-sableux, SC4 est limono-argilo-sableux, SP1 est limono-sableux, et SP2 est sablo-limoneux.

V.4. Humidité résiduelle

L'humidité varie entre 17,56 et 6,47%, respectivement pour (SV1) et (SP2), avec une moyenne de 11,43 % (**fig.16**). On peut dire que l'humidité est variée en fonction de la texture des sols pour les sols argileux le cas de SV1, et les sols sableux sont moins humides, Donc l'humidité varie en fonction de la texture.

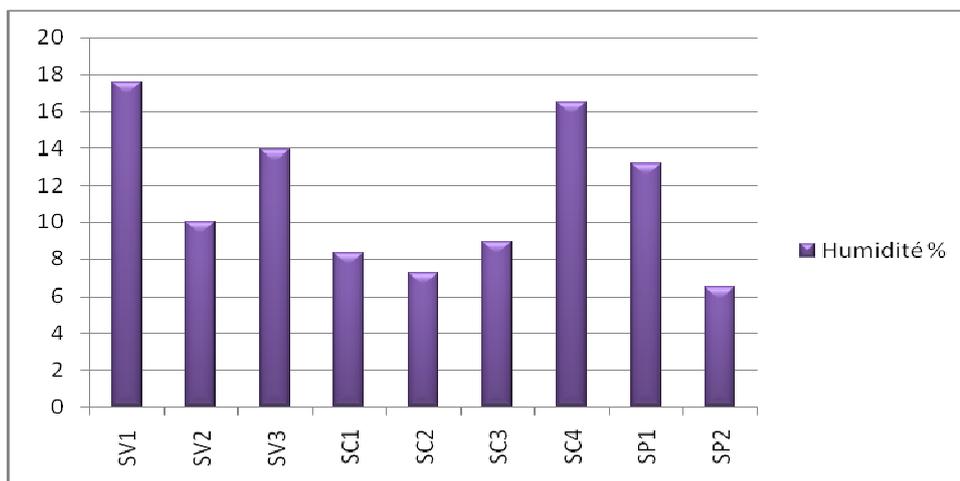


Figure.16 : % d'humidité résiduelle des sols

V.5. Teneur en matière organique

Qualification	teneur en matière organique	Qualification	teneur en calcaires
très tourbeux	10% → 50%	très calcaire	10% → 25%
tourbeux	5% → 10%	calcaire	5% → 10%
peu tourbeux	1% → 5%	peu calcaire	2% → 5%

1.3 – Qualification des sols en fonction de leur teneur en matières organique et en calcaire

Tableau de qualification des sols en fonction de leur teneur en matières organiques et en calcaire pour référencé nos échantillons.

D'après ce tableau on peut dire que nos échantillons très tourbeux à tourbeux puisque les teneurs en matière organique varient entre 5% à 15%.

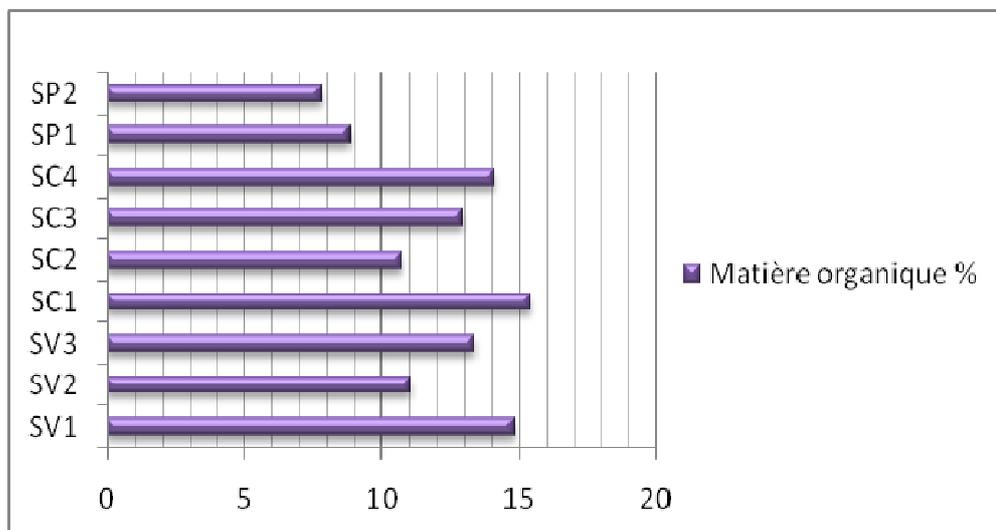


Figure 17 : % de Matière organique des échantillons

IV.6. Teneur en carbonate de calcium

Les teneurs en CaCO_3 sont dues à la nature calcitique de la matrice. En effet la (Fig.18) montre que les échantillons ont des teneurs en CaCO_3 comprises entre 58,44% et 17%.

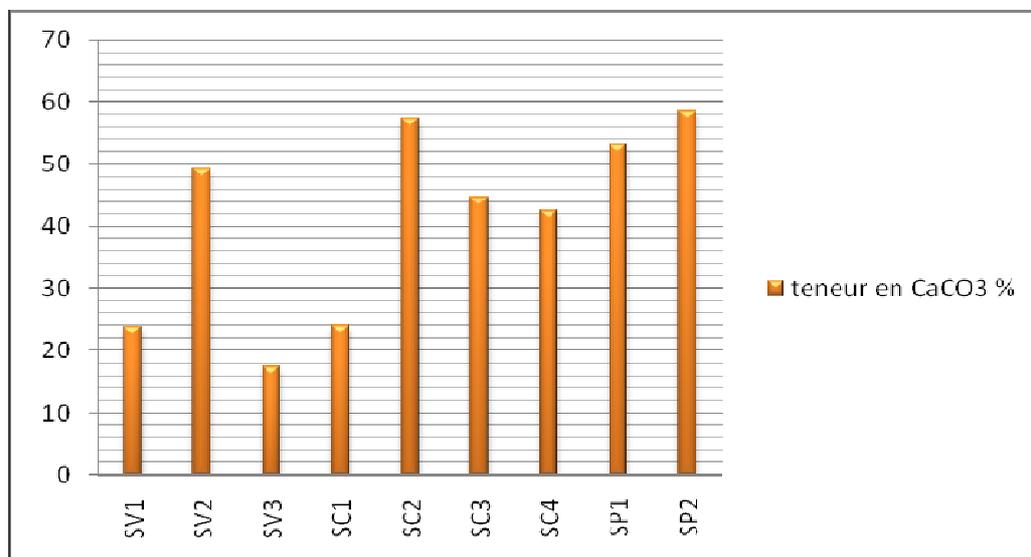


Figure.18 : pourcentage de CaCO_3 dans les échantillons

V.7.Corrélation entre les différentes caractéristiques :

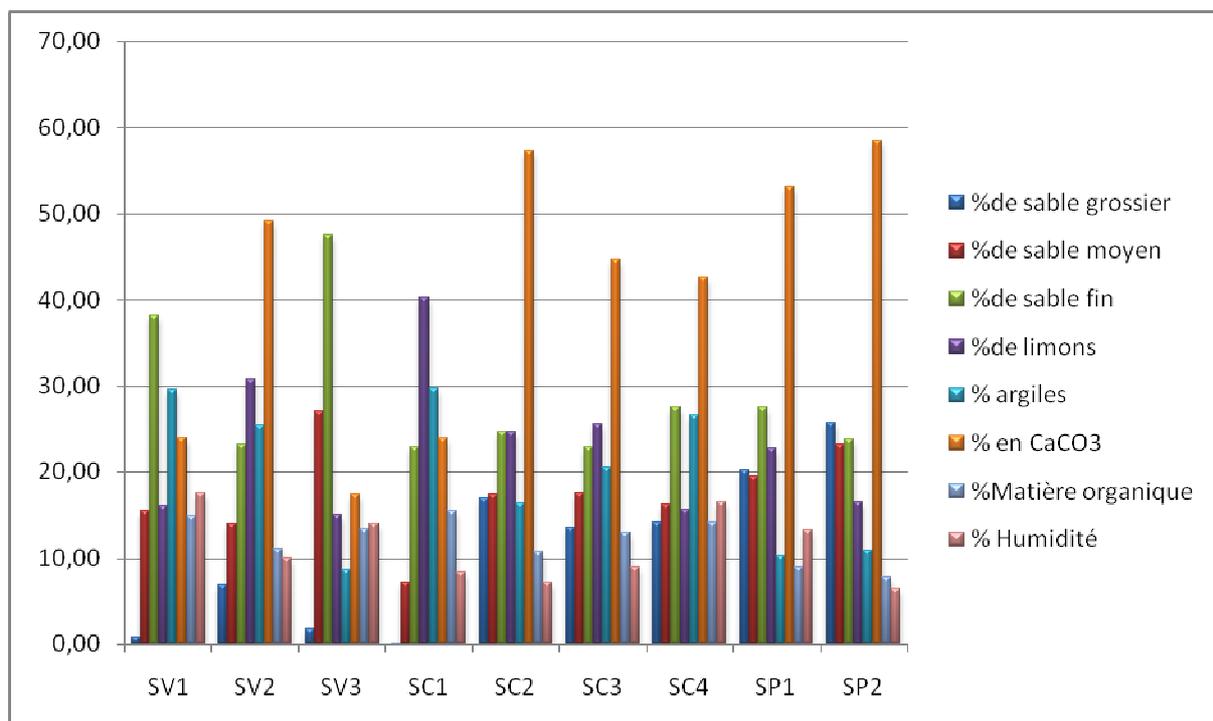


Figure .19 :différents caractéristiques des sols

D'après les résultats (**fig.19**), les échantillons sont riches en élément fins et en CaCO_3 . les sols peu évolués (SP1,SP2) montrent en général des taux de calcaires élevés semblables à ceux des sols calcimagnésiques (SC1,SC2,SC3,SC4) puisqu'ils reposent sur des calcaires lacustres du pliocène, leurs teneurs, restent supérieures à celles des vertisols (SV1,SV2,SV3) qui reposent sur des alluvions de quaternaire, cette richesse en carbonate de calcium est liée au fond géologique de chaque type de sols qui est calcaire.

La variation d'humidité est corrélée avec la texture des sols, aussi les sols de texture équilibrée sont riches en matière organique.

V.8. Analyses géochimiques des sols

Une analyse géochimique des éléments métalliques a été effectuée par ICP-AES, sur les sols. Pour avoir les teneurs en métaux lourds (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb, Ti, Zn, et Fe) enregistrées dans ces sols.

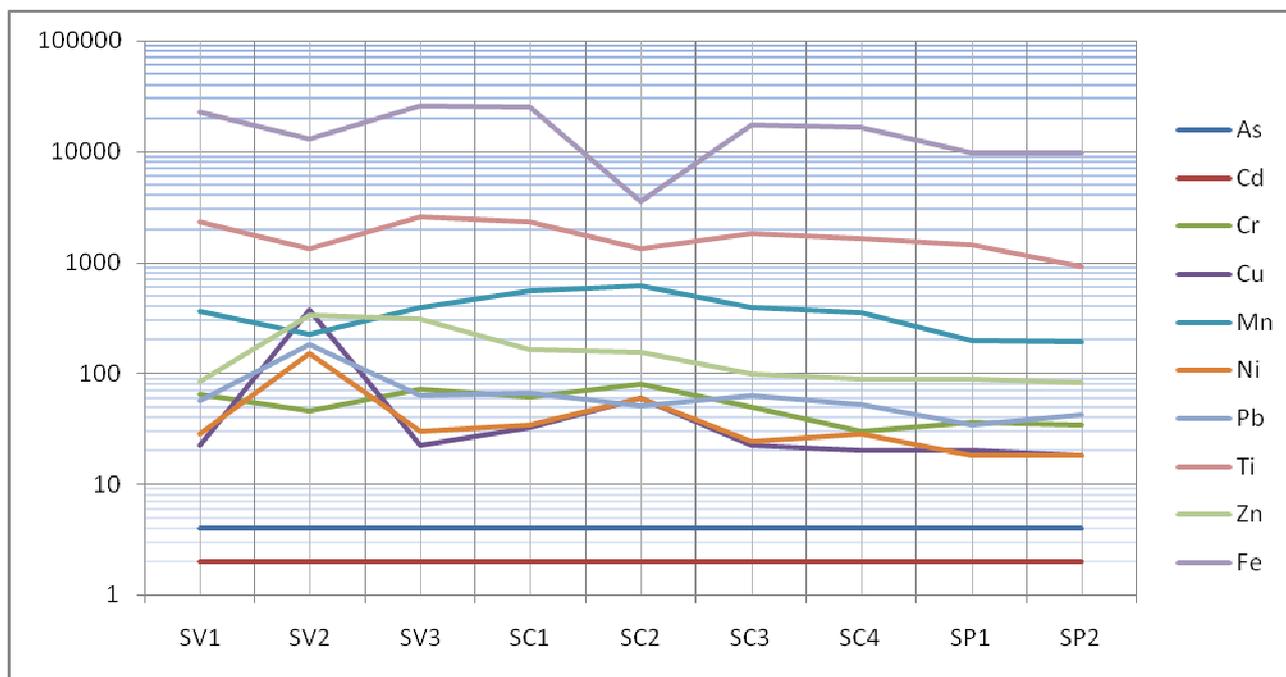


Figure 20 : Teneur des différents éléments dans les sols

*Arsenic

Les concentrations en arsenic détectés dans tous les échantillons avec une valeur < 5 mg/Kg.

Cela signifie que l'appareil d'analyse n'arrive pas au seuil de détection d'As.

*Le Cadmium

Les concentrations du cadmium varient de 2 à <5 mg/Kg. Cela signifie que l'appareil d'analyse n'arrive pas au seuil de détection de Cd, puisque la valeur normale est de l'ordre de 2 mg/Kg (Baize .D 1997).

*Le Chrome

Les teneurs du chrome varient de 8 à 78 mg/Kg dans les sols étudiés, ayant une moyenne de l'ordre de 52 mg/Kg. Toutes les valeurs sont inférieures à la concentration normale dans les sols estimée à 150 mg/Kg (*Baize .D 1997*), ce qui dénote que les sols ne sont pas contaminés par cet élément.

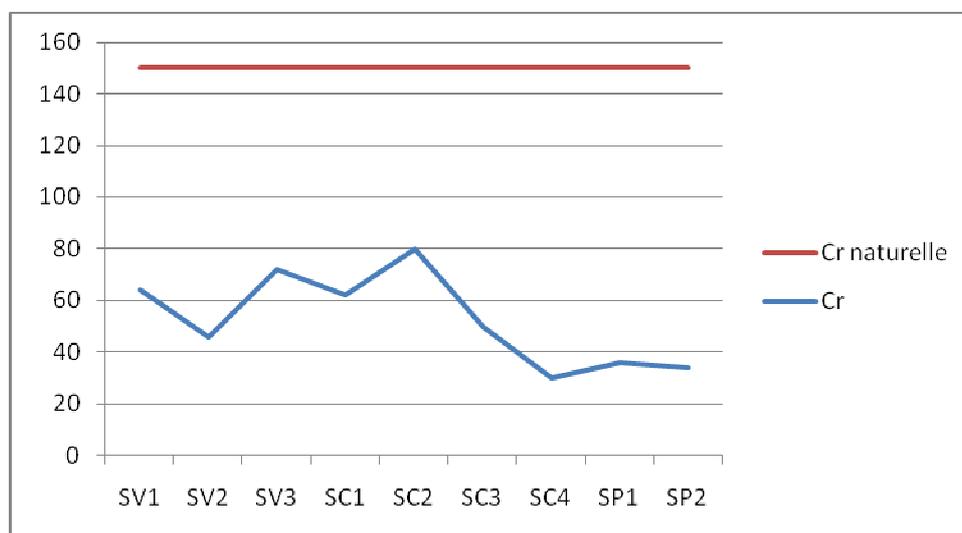


Figure.21 : comparaison entre la teneur de Cr en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

*Le Nickel

Les concentrations du Nickel sont faibles variant entre 6 et 34 mg/Kg, dans tous les échantillons. Elles restent toujours inférieures à la concentration normale du nickel dans sols qui est de l'ordre de 50 mg/Kg .A l'exception d'échantillon SV2 avec un teneur de 150 mg/Kg (*Baize .D 1997*).

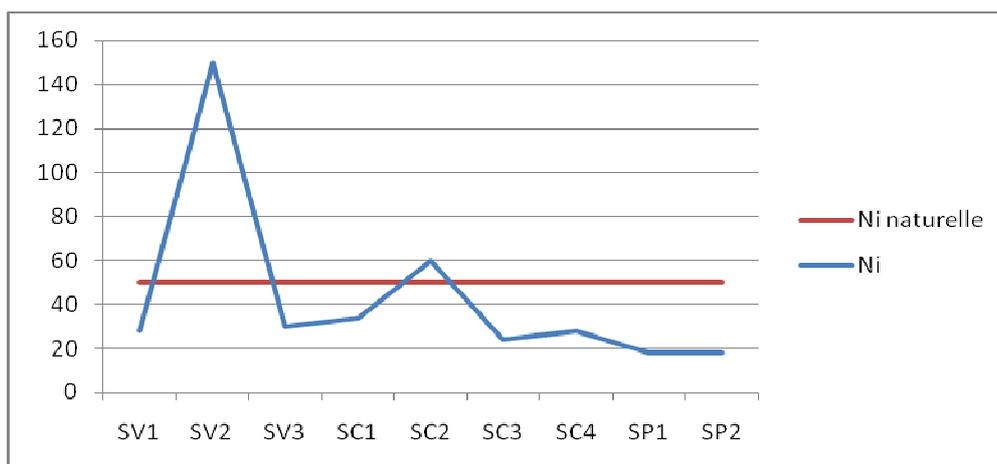


Figure.22 : comparaison entre la teneur de Ni en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

*Le Cuivre

Les teneurs en cuivre sont de l'ordre de 6 à 32 mg/Kg. Par ailleurs, les valeurs obtenues sont moins par rapport à la concentration de cet élément dans les sols (100 mg/Kg (*Baize .D 1997*)). A l'exception d'échantillon SV2 avec un teneur de 378mg/Kg.

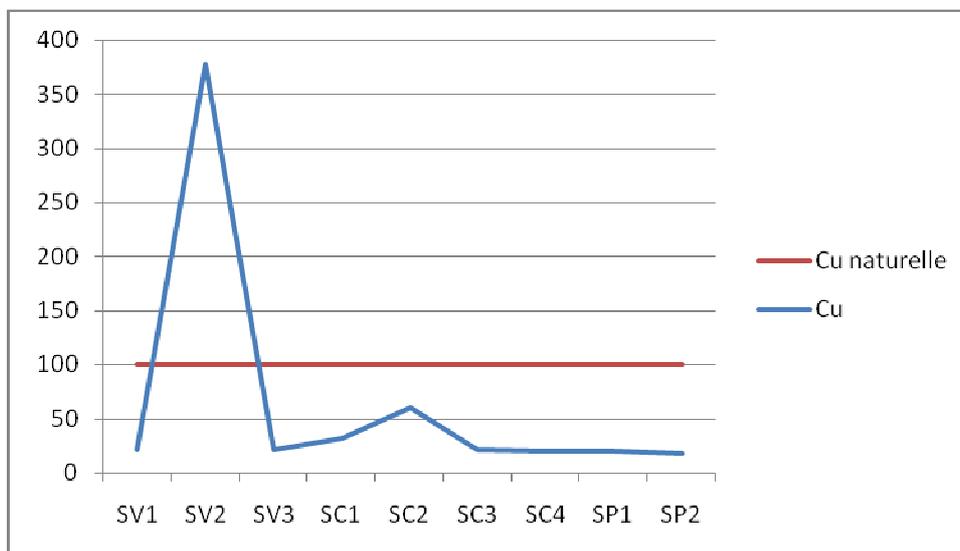


Figure.23 : comparaison entre la teneur de Cu en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

*Le Plomb

Les teneurs en plomb dans les sols varient de 5 à 66 mg/Kg. Les teneurs en plomb sont faibles par rapport à la concentration normale du plomb dans les sols qui est de l'ordre de 150 mg/Kg (*Baize .D 1997*). A l'exception d'échantillon SV2 avec un teneur de 180 mg/Kg.

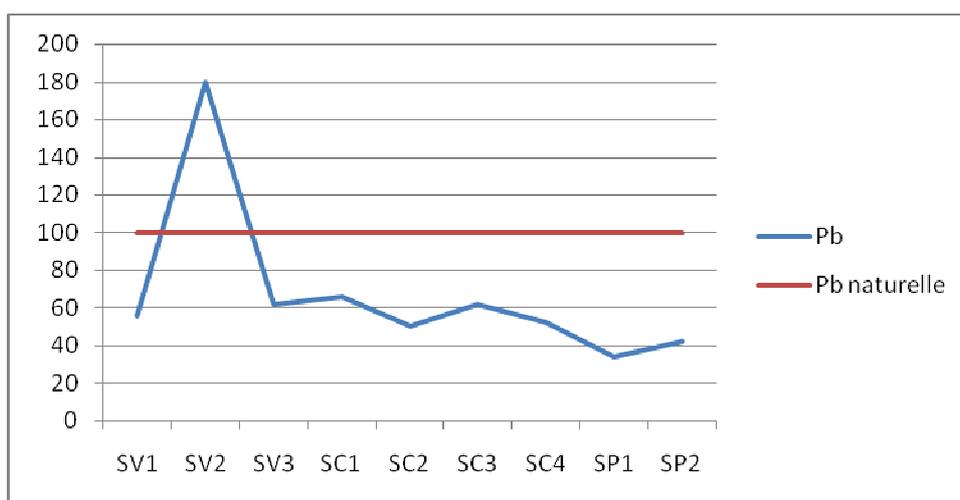


Figure.24 : comparaison entre la teneur de Pb en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

*Le Zinc

Les concentrations du zinc dans des échantillons sont élevés comprises entre 100 et 338 mg/Kg, et d'autres échantillons sont des teneurs à la concentration normale de cet élément dans les sols 90 mg/Kg (*Baize .D 1997*).

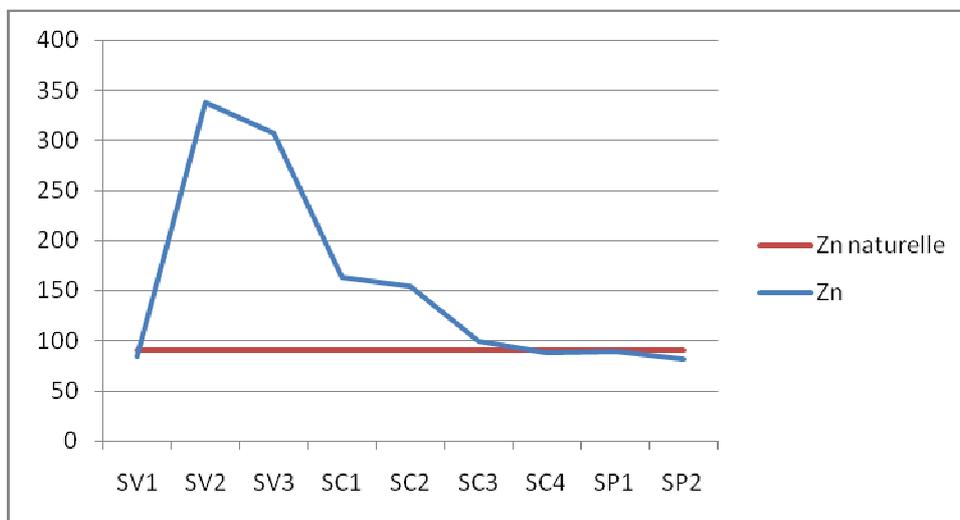


Figure.25 : comparaison entre la teneur de Zn en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

***Le manganèse :**

Les concentrations en manganèse sont normales varient entre 192 et 620 mg/Kg, comparés avec La teneur naturelle dans les sols sec 1000 mg/kg

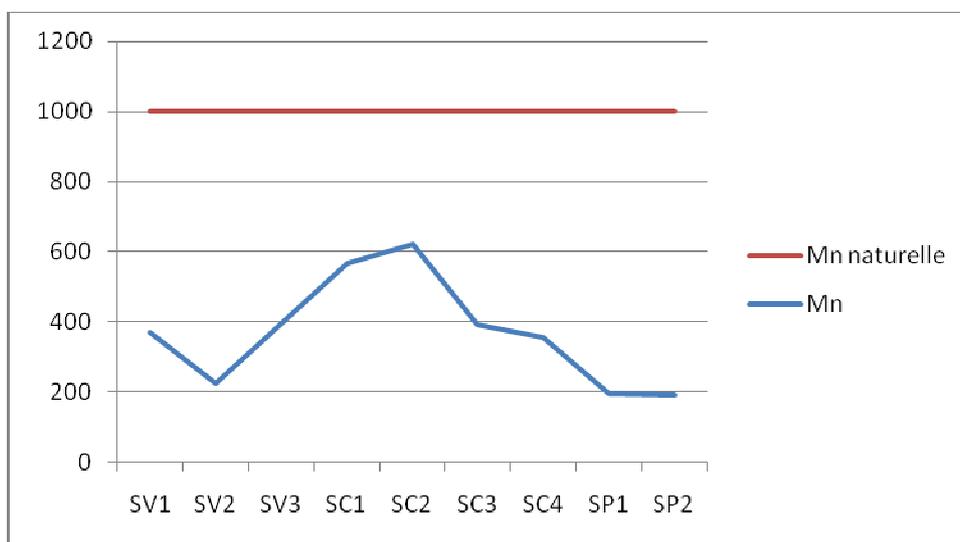


Figure.26 : comparaison entre la teneur de Mn en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

***Le Fer**

Les concentrations en fer sont normales varient entre 3600 et 26000 mg/Kg, comparés avec la teneur naturelle dans les sols sec 30000 mg/kg (*Baize .D 1997*).

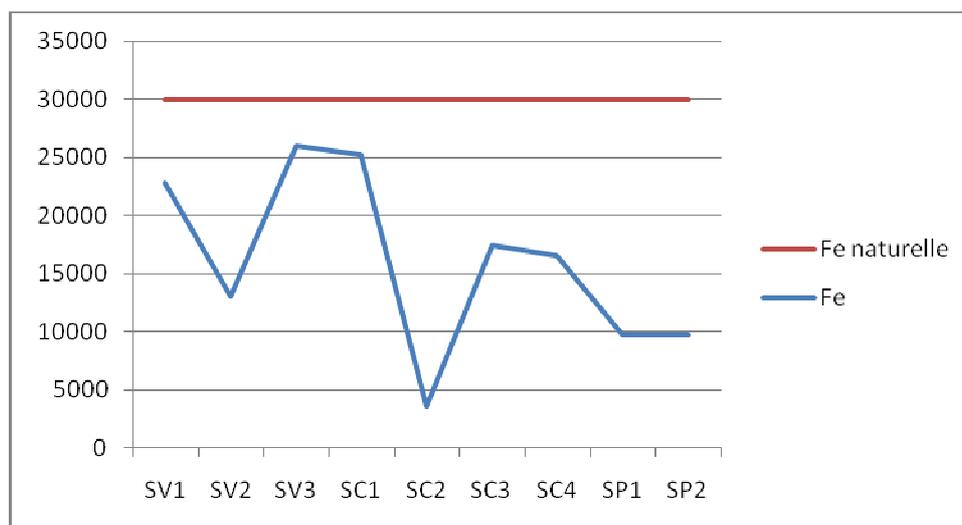


Figure.27 : comparaison entre la teneur de Fe en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

*Titane

Les concentrations du zinc dans les sols sont moyennes, comprises entre 134 et 2606 mg/Kg, comparés avec la teneur naturelle 5000 mg/Kg (*Baize .D 1997*).

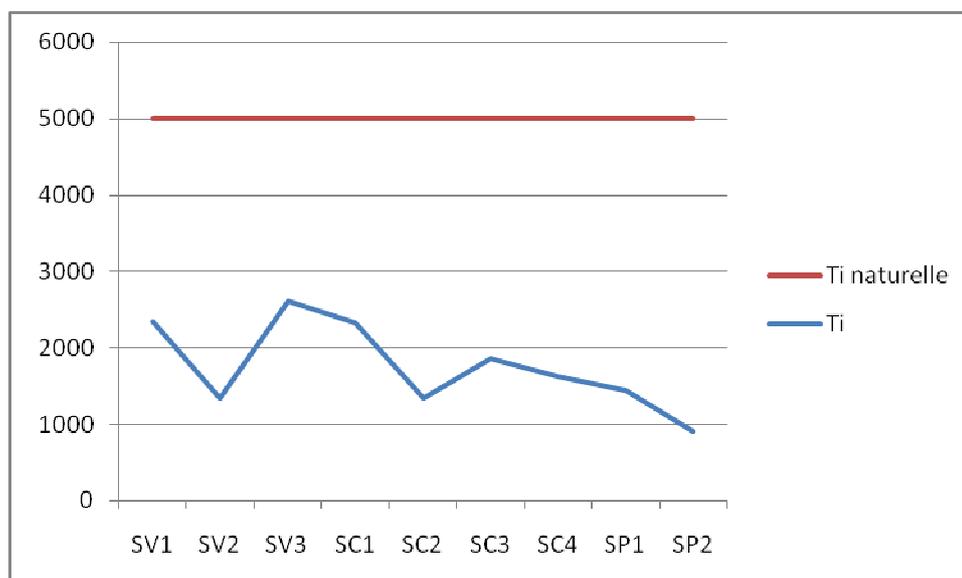


Figure.28 : comparaison entre la teneur de Ti en mg/Kg dans les échantillons et naturelle

D'après la comparaison entre les teneurs naturels et les teneurs qu'on a trouvés dans nos échantillons, on constate d'une part qu'il y a des éléments :

Cd et As au dessus de seuil de détection,

Pour les éléments majeurs Ti, Fe, Mn : ayant des teneurs normales dans les sols,

Pour les ETMs Cu, Ni, Cr, Pb, dans tous les échantillons sont des teneurs naturelles sauf pour l'échantillon SV2, qui contient des teneurs plus élevés que les teneurs naturelles,

Pour le Zn, dans tous les échantillons on a des teneurs plus élevés que la teneur naturelle sauf dans les échantillons SC4, SP1 et SP2.

D'après l'analyse des ETMs, on a une forte teneur en Cu, Ni, Pb, et le Zn dans l'échantillon SV2, donc on a soupçonné que cette contamination est due à l'utilisation intensive des engrais et des pesticides au niveau de la zone agricole échantillonné.

Conclusion

Dans l'objectif d'un diagnostic préalable sur l'état des sols de la plaine de Sais, on a suivi les étapes de travail qui se déclinent comme suit:

- Une reproduction numérique de la carte pédologique de la plaine de saïs par le logiciel Arcgis 9 et 9.2, par la digitalisation des unités pédologiques de la plaine afin de localiser et classer nos échantillons appartenant aux trois classes pédologiques à savoir les vertisols, les calcimagnésiques, et les peu évolués. Les premiers reposent sur les alluvions du quartenaire et les deux autres sur les calcaires lacustres.
- Un échantillonnage aléatoire de neuf sols sur les deux rives de l'oued Fès qui ont fait ensuite l'objet d'étude granulométrique, physico-chimique et géochimique.

Les résultats de ces études nous indiquent que Les sols étudiés sont de texture de limono-argileuse à sablo-limoneuse. Le pH de nos sol est neutre à basique donc est en bonne qualité, dû à la saturation du complexe absorbant. Ce type de sol est très fertile (AFES, 1995), leur conductivité électrique est faible ce qui indique que les sols ne sont pas salins, leurs humidités sont corrélées avec la texture des sols. Ils sont aussi riches en matière organique. Leur teneur en calcaire varie selon la nature de leur fond géochimique, en effet, on a les sols calcimagnésiques et les sols peu évolués qui repose sur les calcaires lacustres sont plus riches en calcaire, que les sols vertisols qui repose sur les alluvions du quartenaire.

La caractérisation géochimique montre que les concertations des ETMs est variable selon l'élément: les teneurs en Cd et As sont au dessus de seuil de détection, pour les éléments Ti, Fe, Mn, Cu, Ni, Cr, Pb, dans tous les échantillons sont des teneurs naturelles sauf pour un échantillon vertisol, qui contient des teneurs Cu, Ni, Cr, Pb plus élevés que les teneurs naturelles. Un cas particulier pour le Zn, où dans les 2/3 des échantillons on a des teneurs plus élevés que la teneur naturelle. En effet, on sait que Les engrais améliorent la disponibilité de certains éléments nutritifs tels que le phosphore le fer, le zinc et le cuivre dans les sols basiques donc sont très utilisés en agriculture. Tous les engrais et amendement commercialisés contient des concertations élevés en Cu et Zn (**Houot et Schwartz, 2002**).

Donc on peut déduire que les fertilisants utilisés par les agriculteurs est la principale source de la contamination par le zinc.

Bibliographie

- ABHS : (2007)** Etude de modélisation de nappe de la plaine de Fès-Meknès le rapport de mission I.
- ABHS : (2005)** Etude de synthèse hydrogéologique pour l'évaluation des ressources en eau souterraine de la plaine de Fès-Meknès. Rapport mission I.
- AFES, 1995**, Référentiel pédologique, techniques et pratiques, INRA éditions, 332p
- ALLOWAY B.J. (1997)**. The mobilisation of trace elements in soils. In Prost R. (ed) Contaminated Soils. Proceedings of the third international conference on the biogeochemistry of trace elements. Paris, 15-19 May 1995. Paris: INRA, p. 133–146.
- AIT BRAHIM, (1983)** : Etude de la déformation du Néogène à l'actuel sur la bordure Sud rifaine dans le contexte de rapprochement des plaques Afrique- Europe (bassin du Saïs, Rides sud rifains et bassin post nappe du rif central), thèse de 3eme cycle, Rabat. Maroc.
- BAIZE D. (1997)**. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Paris : INRA, 408 p.
- CENTRE D'ANALYSES MINERALES UNIVERSITE DE LAUSANNE-CAMUL, (2009)** : Méthode de quartage d'échantillons.
- CENTRE DE COOPERATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE AGRONOMIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT (CIRAD, 2004)** : catalogue d'analyses courantes des sols.
- CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC**, Lignes directrices concernant l'application des contrôles de la qualité en physico-chimie, DR-12-SCA-01, Ministère de l'Environnement du Québec, Édition courante.
- CIRAC, P (1987)** : Le bassin sud rifain occidental au Néogène supérieur. Evolution de la dynamique sédimentaire et de la paléogéographie au cours d'une phase de comblement. Mém.Inst Géo Bassin d'aquitane. N°21, Bordeaux. France.
- COLINET G., 2003** – Éléments traces métalliques dans les sols. Contribution à la connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse belge, 139p.
- ELAROUSSI.O, 2007-** Évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines moyennant du S.I.G, DESA, FSLH Sais 106p.
- GUIDE DES TECHNIQUES DU LABORATOIRE DE GEOLOGIE MARINE** : Faculté des sciences de Marseille
- GAULTIER J.P., LEYDECKER J P., ISAMBERT M., NAHMANI J., VAN OORT F., 2002**. Bases de données géo référencées. In D. BAIZE et M. TERCÉ

HARTANI T.1, DOUAOUI A.2, KUPER M.3, HASSANI F.1 (2007) : Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff cas du périmètre de Ouarizane Article, 16p.

INRA ÉDITIONS, PARIS AUGUST 1998: Références et stratégies d'interprétation. 410 p. Soil Science, Symposium 17, Montpellier, France.

INRA ÉDITIONS, PARIS, 299-312 : Les Éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales.

INRA ÉDITIONS, PARIS, 455-469 : Les Éléments traces métalliques dans les sols. Approches fonctionnelles et spatiales.

KRAUSKOPF K.B. (1982) –Introduction to Geochemistry. Second Edition. International Student Edition. McGraw-Hill Book Company, 545 p.

LATRILLE C., 1998. Localisation des éléments traces métalliques dans les sols. Application au fond géochimique naturel. Thèse de doctorat université Nancy. 140 p.

LOUDY : les sols dans la zone de Meknès, article.

MOUJAHID Y.2007 :Physico-chimie, minéralogie et dynamique de phosphore et du potassium dans quelques sols Marocaines, thèse doct. à Faculté des Sciences Rabat. 105p.

PIQUE, A (1944) : Géologie du Maroc, les domaines régionaux et leur évolution structurel, Edit. PUMAG, Marrakech, 284p

RACHID. A, 1997 : Les bassins Néogènes du sillon Sud-Rifain et du Rif Nord-orientale(Maroc) : sédimentologie, paléogéographie et évolution dynamique, thèse doct. à Faculté des Sciences Dhar Mehraz-Fès ,259p.

SENDIDE, O. (1994) : Relation urbanisation eaux souterraines de la ville de Fès, évolution, caractérisations et moyens de protection, DEA, ENI. Sfax. Tunisie, Département géologie.

SERVICE DE GEOLOGIE DU MAROC, (1974) : Ressources en eau du Maroc, plaine et bassin du Maroc atlantique (Tome 2).

SOCIETE CENTRALE POUR L'EQUIPEMENT DU TERRITOIRE MAROC (SCET-Maroc), 1967: Etude pédologique au 1/100000 en vue de la mise en valeur agricole dans les cercles de Fès-Banlieue, de Karia et de Tissa provinces de Fès et de Taounate, rapport de mission.

TALTASS. P, (1953) : Recherche géologique dans le bassin de Fès-Meknès, thèse doct. En se. Notes et mémoires n° 115 serv. Geol du Maroc 300p.

Annexe 1

Tableau : classification, pédologie, et caractéristiques physico-chimique de chaque unité (SCET-Maroc 1967)

Unités	Pédologie	Caractéristiques physico chimique
Unité 3 : Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'érosion Sous-groupe : régosoliques Famille : sur marne calcaire Série : sols peu profonds à très peu profonds, pente très forte, limoneux, très calcaires.	pentés très fortes, reposent sur la marne altérée très vulnérables à l'érosion hydrique, couleur claire, fortement calcaires.	Peu à très peu profonds et, texture limoneuse, structure polyédrique fine peu nette, humidité élevée, pH moyennement basique, MO moyenne sur les premiers centimètres et très faibles en profondeur, C.E.C élevée, le complexe adsorbant saturé en calcium.
Unité 4 : Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'érosion Sous-groupe : régosoliques Famille : sur marne argileuse (Miocène, crétacé) Série : sols peu à moyennement profonds, argileux, pente forte.	Développent sur les marnes argileuses Pentes moyennes à faibles, Couleur brun-olive gris-olive, Très favorable à la vertisolisation	Moyennement profonds Texture argileuse à très argileuse Structure prismatique grossière L'humidité élevée pH moyennement basique M.O faible C.E.C élevée Complexe adsorbant est saturé en calcium.
Unités 5 et 6 Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'érosion Sous-groupe : lithosoliques Famille : Unité 5 : sur Flyschs du jurassique Unité 6 : sur grés miocène ou conglomérat Série : sols peu profonds à très peu profonds, affleurement rocheux nombreux.	Pente forte Affleurement de la roche mère en surface, Résultat d'érosion hydrique Caillouteux	Très peu profonds Structure peu développée de tendance massive MO est faible
Unités 7 et 8 Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'apport alluvial Sous-groupe : unité 7 : Modaux Unité 8 : Modaux à risque d'engorgement par la nappe alluvial Famille : unité 7 : alluvions limoneuse et calcaires des basses terrasses récentes Unité 8 : alluvions limoneuses à lit sableux des basses terrasses inondables Série : sols peu très profonds, limoneux et battant, calcaires non caillouteux, topographie plane.	Développe sur des alluvions récentes Couleur claire topographie plane Fortement calcaire	Très profonds texture limoneuse Structure peu développée de tendance massive MO faible pH faible à moyenne basique C.E.C élevée de 20 à 30 meq par 100g de sol
Unité 9	Pente légère à nulle	Très profonds

<p>Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'apport alluvial Sous-groupe : vertiques Famille : alluvions argileuses et calcaires des basses terrasses Série : sols très profonds, texture argilo-limoneuse, topographie plane.</p>	<p>Se développent sur des alluvions argileuses Fortement calcaire</p>	<p>Non caillouteux Texture limono-argileuse Structure prismatique grossière Humidité très élevée pH basique M.O faible à moyenne C.E.C élevée Complexe adsorbant saturé en calcium</p>
<p>Unité 10 Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'apport colluvial Sous-groupe : modaux Famille : colluvions argilo-limoneuse calcaires et caillouteuses. Série : sols profonds, texture argileuse à équilibré, pente forte.</p>	<p>Pente très forte Se développe sur des matériaux de colluvionnement Très calcaire</p>	<p>Profonds Texture argileuse M.O moyenne pH moyennement basique CEC moyenne Complexe adsorbant saturé en calcium</p>
<p>Unité 11 Classe : peu évolués Sous-classe : non climatiques Groupe : d'apport allu-colluvial Sous-groupe : à caractère brunifiés hydromorphes Famille : formation allu-colluvial des hautes terrasses plio-villafranchiennes gravelo-caillouteuses, non calcaires Série : sols profonds, texture sablo-graveleuse, micro-relief, très caillouteux.</p>	<p>Se développe sur des dépôts très anciens du plio-villafranchien, Topographie variable entre micro-relief et micro-dépression, Très caillouteux et graveleux, Non calcaires,</p>	<p>Profonds, Texture argileuse, M.O faible, pH faiblement acide à neutre, CEC faible, Complexe adsorbant saturé en calcium et en magnésium</p>
<p>Unités 12 et 13 Classe : vertisols Sous-classe : a drainage externe nul ou réduit –topomorphes – Groupe structure arrondie en surface Sous-groupe unité 12 : modaux Unité 13 : vertiques Famille : développés sur formations des terrasses IVaires Série : sols très profonds, argileux à très argileux, topographie plane, caillouteux pour l'unité 12</p>	<p>Se développe sur des dépôts argileux du Quaternaire, Topographie plane Plus ou moins caillouteux Plus ou moins décarbonatés</p>	<p>Profonds Texture argileuse M.O moyenne pH moyennement basique CEC très élevée Complexe adsorbant saturé en calcium et magnésium</p>
<p>Unité 14 Classe : vertisols Sous-classe : a drainage externe possible –lithomorphes – Groupe : structure arrondie en surface Sous-groupe : vertiques Famille : marnes argileuses du Miocène supérieur ou du Crétacé Série : sols profonds très profonds, argileux à très argileux, pente faible à moyenne.</p>	<p>Se développe sur des marnes argileuses bleues ou grises du Miocène supérieur Pente variable Non caillouteux Couleur noir grisâtre Moyennement calcaire</p>	<p>Profonds à très profonds Texture argileuse Structure prismatique grossière M.O moyenne pH moyennement basique CEC très élevée Complexe adsorbant saturé en calcium</p>
<p>Unité 15 Classe : vertisols</p>	<p>Se développe sur des marnes argileuses altérées</p>	<p>Moyennement profonds Texture argileuse</p>

<p>Sous-classe : a drainage externe possible –lithomorphes – Groupe : structure arrondie en surface Sous-groupe : vertiques érodés Famille : marnes argileuses du Miocène supérieur ou du Crétacé Série : sols profonds très profonds, argileux à très argileux, pente forte, non caillouteux.</p>	<p>Pente plus forte Très sensible à l'érosion Non caillouteux Couleur grise à brun olive Moyennement calcaire</p>	<p>Structure prismatique grossière Humidité élevée M.O faible pH faiblement basique CEC très élevée Complexe adsorbant saturé en calcium</p>
<p>Unités 16 et 17 Classe : calcimagnésiques Sous-classe : carbonatés Groupe : bruns calcaires Sous-groupe : Unité16 : modaux, localement érodés ou vertiques unité 17 : modaux Famille : Unité16 : marne calcaire du Tertiaire unité 17 : marne sableuse (Faciès sahélien du Miocène supérieur) Série : sols peu à moyennement profonds, texture limoneuse à argileuse, calcaires à très calcaires, non caillouteux, pente moyenne à forte.</p>	<p>Se développe sur des marnes calcaires, Pente plus forte Très sensible à l'érosion Non caillouteux Couleur foncée Fortement calcaire (20 à30%)</p>	<p>Moyennement profonds Texture limono-argilo-sableux Structure prismatique grossière Humidité élevée M.O élevée pH faible à moyenne basique CEC très élevée Complexe adsorbant saturé en calcium</p>
<p>Unité 18 Classe : calcimagnésiques Sous-classe : carbonatés Groupe : bruns calcaires Sous-groupe : calciques à croutes Famille : Formation fluvio-lacustre du plateau du saïs et des plates-formes assimilées. Série : sols peu profonds sur croutes, texture équilibré, moyennement caillouteux, topographie plane.</p>	<p>Se développe sur des dalles quaternaires, Topographie plane caillouteux Couleur brun à brun-rouge Peu calcaire</p>	<p>Peu profonds Texture équilibré Structure polyédrique subangulaire fine et grumeleuse Humidité moyenne, M.O moyenne, pH faiblement à moyennement basique, CEC moyenne à élevée, Complexe adsorbant saturé en calcium.</p>
<p>Unité 19 Classe : isohumiques Sous-classe : complexe saturé évoluant sous un pédo-climat frais pendant la saison pluvieuse Groupe : bruns subtropicaux Sous-groupe : vertiques Famille : Alluvions anciennes argileuses Série : sols peu profonds, texture argileuse, topographie plane</p>	<p>Se développe sur des alluvions argileuses, Topographie plane Non caillouteux Couleur brune foncé Décarbonaté en surface</p>	<p>Très profonds Texture argileuse, Humidité élevée à très élevée, M.O moyenne, pH moyennement basique, CEC moyenne à élevée, Complexe adsorbant saturé en calcium.</p>
<p>Unité 20 Classe : isohumiques Sous-classe : complexe saturé évoluant sous un pédo-climat frais pendant la saison pluvieuse Groupe : bruns subtropicaux Sous-groupe : modaux, localement vertiques Famille : Alluvions argileuses et</p>	<p>Se développe sur des alluvions argileuses et caillouteuses (galets de grés), Topographie tourmentée avec des dépressions Très caillouteuses Couleur brune foncé Décarbonations totale</p>	<p>Peu profonds Texture argileuse équilibré Humidité élevée, M.O moyenne, pH faiblement basique, CEC élevée, Complexe adsorbant saturé en calcium.</p>

caillouteuses des hautes terrasses.		
Unité 21 Classe : isohumiques Sous-classe : complexe saturé évoluant sous un pédo-climat frais pendant la saison pluvieuse Groupe : châtaîns Sous-groupe : vertiques Famille : Alluvions argileuses des terrasses moyennes du IVaire Série : sols très profonds, texture argileuse, topographie plane, peu à non caillouteux.	Se développe sur des terrasses argileuses du quaternaire moyen, Topographie plane Peu à non caillouteux Couleur brun rouge Décarbonations partielle.	Très profonds Texture argileuse Structure prismatique Humidité élevée, M.O moyenne, pH faiblement à moyennement basique, CEC élevée à très élevée, Complexe adsorbant saturé en calcium.
Unité 22 Classe : sols à sesquioxydes de fer Sous-classe : fersiallitiques Groupe : à réserve calcique Sous-groupe : bruns légèrement hydromorphes Famille : sur grés du Miocène Série : sols très profonds, texture sableuse sur texture argileuse, pente faible à nulle.	Se développe sur de niveaux gréseux du miocène supérieur, Pente faible à nulle Non caillouteux Couleur brune Décarbonations totale.	Profonds Texture sableuse à limono-sableuse, Humidité faible M.O faible pH neutre (à 7) CEC faible Complexe adsorbant saturé en calcium
Unité 23 Classe : sols à sesquioxydes de fer Sous-classe : fersiallitiques Groupe : à réserve calcique Sous-groupe : modaux Famille : formation conglomératiques des terrasses du IVaire anciennes Série : sols très profonds, texture sableuse en surface et argileuse en profondeurs, topographie plane	Se développe sur des conglomérations du Quaternaire, Pente faible, Caillouteux, Couleur rouge vive, Très riche en oxyde de fer, Décarbonations totale.	Très profonds Texture sableuse, Structure cubique, Humidité moyenne, M.O faible CEC élevée, Complexe adsorbant saturé en calcium
Unité 24 Classe : sols hydromorphes Sous-classe : peu humifères Groupe : à gley profonds, vertiques Sous-groupe : alluvions argileuses encroutés Famille : alluvions Série : sols moyennement profonds, texture très argileuse, dépression- Douyet.	Se développe sur des une dépression entre la dayat de Douyet et l'oued Fès, Pente faible, Non caillouteux, Couleur noir, Très minéralisé, Fortement calcaire.	Profonds Texture argileuse, Humidité très élevée, pH alcaline, M.O faible, CEC élevée, Complexe adsorbant saturé en calcium
Unité C1 : association entre les unités 2 et 3	Se développe sur des versants, Pente très forte, Favorisé à l'érosion hydrique,	Très peu profonds, Ayant les mêmes caractéristiques que les unités 2 et 3.
Unité C2 : association entre les unités 3 et 6	Se développe sur la marne altérée, Pente forte, Fortement calcaire.	Peu profonds, Texture limoneuse à argileuse, Ayant les mêmes caractéristiques que les unités 3 et 16.

Annexe 2 : photo de prélèvements d'échantillons



Moyens de prélèvement



GPS pour les coordonnées des échantillons



Test de carbonate