



Sommaire

DEDICACE	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Sommaire	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction générale	1
CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique	3
I. Généralités sur la plaine de Saiss	4
1. Cadre géographique de la plaine de Saiss	4
2. Cadre climatique de la plaine de Saiss	4
2.1. Température	5
2.2. Précipitations	5
II. Pédologie de la plaine de Saiss	6
1. Sols minéraux bruts	7
2. Sols peu évolués	7
3. Vertisols	8
4. Sols calcimagnésiques :	8
5. Sols isohumiques	9
6. Sols hydromorphe	10
III. Eléments traces métalliques ETM	10
1. Définition des éléments traces métalliques (ETM)	10
2. Origine et cycle des ETM dans le milieu naturel	11
3. Teneurs naturelles des ETM / Normes	13
IV. Généralités sur la biologie du sol	14
1. Biologie des sols	14
2. Microorganismes du sol	14
2.1. Champignons	15
2.2. Bactéries	16
2.3. Actinomycètes	16
CHAPITRE II : Matériel et méthodes	18
I. Prélèvement des échantillons de sol	19
1. Préparation des échantillons pour analyse physico-chimique	19
2. Préparation des échantillons pour analyse microbiologique	21
II. Analyses physico-chimiques	22
1. Détermination du pH du sol	22



2.	Conductivité électrique du sol :	23
3.	Dosage de la matière organique totale par perte au feu PAF	23
4.	Dosage du calcaire par le calcimètre de Bernard	24
5.	Séparation granulométrique par tamisage sec	24
III.	Analyse géochimique – Attaque triacide	25
IV.	Analyses microbiologique	25
1.	Préparation des échantillons de sol	25
2.	Milieux de culture et ensemencement	26
3.	Dénombrement des colonies	26
CHAPITRE III :	Résultats et discussions	28
I.	Caractéristiques physico-chimiques des sols	29
1.	pH du sol	29
2.	Conductivité électrique du sol	30
3.	Teneur en matière organique	30
4.	Teneur en carbonate de calcium - % de CaCO ₃	32
5.	Texture du sol	33
II.	Analyse géochimique – Attaque triacide	34
1.	Présentation des résultats	34
1.1.	Cadmium	36
1.2.	Chrome	36
1.3.	Cuivre	37
1.4.	Nickel	38
1.5.	Plomb	39
1.6.	Zinc	40
III.	Caractéristiques microbiologiques	42
	Conclusion générale	44
	Références Bibliographiques	45
	Webliographie	46
ANNEXE		47
Annexe I		48
Annexe II		51



Liste des figures

Figure 01 : Carte illustrant les points de prélèvement dans la zone d'étude.....	04
Figure 02 : Courbe présentant la température à Fès-Sais.....	05
Figure 03 : Carte pédologique de la plaine de Saiss	06
Figure 04 : Définition des Eléments Traces Métalliques	11
Figure 05 : Cycle de l'acquisition des teneurs en ETM dans les sols.....	12
Figure 06 : Pourcentage des différents ETM dans l'environnement.....	13
Figure 07 : Photo prise par Google Map de la plaine de Saiss	19
Figure 08 : Prélèvement des échantillons.....	20
Figure 09 : Méthode manuelle de quartage (méthode du cône)	21
Figure 10 : Etape de l'attaque triacide	25
Figure 11 : Dilution en série des échantillons de sol	26
Figure 12 : Technique de Dénombrement.....	27
Figure 13 : % de la matière organique des échantillons étudiés	32
Figure 14 : % des carbonates dans les échantillons étudiés	33
Figure 15 : Histogramme des fractions granulométriques dans chaque échantillon.....	34
Figure 16 : Présentation de tous les éléments traces métalliques analysés	36
Figure 17 : Comparaison entre la teneur d'Cr en mg/kg dans les échantillons et naturelle....	37
Figure 18 : Comparaison entre la teneur d'Cu en mg/kg dans les échantillons et naturelle ...	38
Figure 19 : Comparaison entre la teneur du Ni en mg/kg dans les échantillons et naturelle ..	39
Figure 20 : Comparaison entre la teneur du Pb en mg/kg dans les échantillons et naturelle..	40
Figure 21 : Comparaison entre la teneur du Zn en mg/kg dans les échantillons et naturelle..	41



Liste des tableaux

Tableau 01 : Valeurs extrêmes des teneurs en ETM des sols (mg/Kg de sol sec) 15

Tableau 02 : Références, coordonnées des échantillons des sols prélevés..... 20

Tableau 03 : Références et coordonnées des échantillons des sols utilisés dans l'analyse microbiologique 22

Tableau 04 : Composition des milieux de culture, temps et température d'incubation 26

Tableau 05 : pH_{H2O} et pH_{KCl} des échantillons prélevés 29

Tableau 06 : Conductivité électrique des échantillons prélevés en $\mu\text{S}/\text{cm}$ 30

Tableau 07 : Résultats de le PAF de tous les échantillons 31

Tableau 08 : Qualification des sols en fonction du % de la matière organique 32

Tableau 09 : Résultats de l'essai granulométrique 33

Tableau 10 : Les résultats de l'ICP 34

Tableau 11 : Moyenne d'ICP en mg/Kg de chaque station..... 35

Tableau 12 : Concentrations du Cd dans l'échantillon et dans la nature 36

Tableau 13 : Concentrations du Cr dans l'échantillon et dans la nature 37

Tableau 14 : Concentrations du Cu dans l'échantillon et dans la nature 38

Tableau 15 : Concentrations du Ni dans l'échantillon et dans la nature 39

Tableau 16 : Concentrations du Pb dans l'échantillon et dans la nature 40

Tableau 17 : Concentrations du Zn dans l'échantillon et dans la nature..... 41

Tableau 18 : Dénombrement de la flore bactérienne totale, des actinomycètes et des champignons au niveau des sites S2, S3, S4 et S5. 42

Tableau 19 : Pourcentage de colonies bactériennes blanches et jaunes 43



Introduction générale

Le sol est un milieu naturel terrestre où naît la vie, aussi bien animale que végétale. C'est un mélange de fragments minéraux et de matières organiques plus ou moins décomposées ou en décomposition, sous l'influence des forces naturelles. La formation d'un sol dépend en plus de la roche-mère, de multiples interactions qui se passent entre le substratum minéral, le climat et les êtres vivants, en particulier les végétaux. Le sol est un milieu complexe, en équilibre avec les forces inertes et biologiques qui décomposent la roche et le substratum minéral. Il tient à la fois de la matière inerte et de la matière vivante.

Naturellement, le sol est une ressource lentement renouvelable. Par contre, Il est très sensible aux activités humaines : il se transforme très vite, et en particulier se dégrade rapidement, dès que les sociétés humaines interviennent sans précautions.

En effet, les sols ont la capacité de recycler, de filtrer et aussi d'accumuler toutes les substances organiques et inorganiques en contact ou transitant à travers ce milieu vivant de la Terre. Ces importantes fonctionnalités du sol ont des effets bénéfiques sur le vivant végétal et animal mais peuvent aussi produire des effets inverses comme l'accumulation de divers contaminants dans les différents compartiments du sol. Ces contaminants qui sont souvent de nature anthropique tels que les métaux lourds, les polluants organiques... peuvent s'accumuler dans les sols et provoquer leur baisse de qualité et leur dégradation.

A travers le monde, des sonnettes d'alarme se sont enclenchées pour nous sensibiliser sur la problématique de la dégradation de nos ressources naturelles (air, eau et sol) à cause de nos activités humaines et industrielles galopantes. Des thèmes de recherche concernant l'étude de l'impact de l'urbanisme et l'industrialisation sur la qualité des sols se sont développés ces dernières décennies (D. Baize, 2000).

Au Maroc, cette problématique est aussi d'actualité et plusieurs recherches s'y sont intéressées en se focalisant principalement sur l'impact des eaux usées et des effluents industriels sur la qualité des sols (Nejmeddine et al. 2005)

Toujours dans cette optique, d'autres auteurs (El Ass et al. 2004, Amri et al. 2006, Bellarbi et al ; 2010) se sont intéressés à la connaissance de l'état de pollution des sols urbains et périurbains de Fès et ont conclut à la présence de fortes teneurs d'ETM dans ces sols.



Dans le cadre de notre étude effectuée sur des sols échantillonnés le long d'Oued Fès et Oued Sebou, on a essayé d'évaluer l'impact de la pollution urbaine sur les fonctionnalités biogéochimiques des sols.

Les objectifs principaux de ce travail sont, d'une part, de caractériser les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols d'Oued Fès et d'Oued Sebou aux alentours de la ville de Fès. Et d'autre part, une étude microbiologique qui caractérise les microorganismes vivant dans le sol.

Dans le présent rapport de projet de fin d'étude de master en « Hydrologie de surface et qualité des eaux », les étapes suivantes ont été développées:

- Echantillonnage des sols situés le long de Oued Fès et Oued Sebou depuis la sortie Médina à une dizaine de Kms à l'aval de la confluence Oued Fès et Oued Sebou ;
- Caractérisation physico-chimique (analyse granulométrique, taux de la matière organique, calcimétrie, pH, conductivité électrique,...) dans le laboratoire de Géoressources et Environnement dans la Faculté des Sciences et Technique de Fès saïs ;
- Caractérisation Géochimique par analyses des métaux par ICP-AES (Attaque triacide)
- Caractérisation Microbiologique des sols échantillonnés ;
- Discussion et conclusion.

CHAPITRE I : Synthèse Bibliographique

I. Généralités sur la plaine de Saïss

1. Cadre géographique de la plaine de Saïss

La figure 1 présente la plaine de Saïss (Fig.1). Elle est limitée au Nord par les rides pré rifaines (J.Tghat 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 tous le bassin de Saïss (2100 km²), le reste (70.75 %) est représenté par le plateau de Meknès (1475.1 km²).



Figure 1 : Photo prise par Google Map avec les coordonnées de la plaine de Saïss : Latitude en degrés décimaux: 34 / Longitude en degrés décimaux : -5.08

2. Cadre climatique de la plaine de Saïss

L'identification des caractéristiques climatiques de la plaine de Saïss est d'une importance primordiale, vu son influence directe sur les cycles hydrologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude. Elle bénéficie d'un climat méditerranéen mais mâtiné de continentalité et subissant l'effet de versant des montagnes. La fraîcheur hivernale rappelle très souvent la neige abondante du Moyen Atlas à 60 km au sud de la ville de Fès. Cela se traduit par une forte amplitude thermique.

2.1. Température

La température est une donnée primordiale en hydrologie et en climatologie, 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'aire, nébulosité, saison.

Pour cette étude nous disposons des températures mensuelles et annuelles de la station de Fès Saïs, pour une période qui s'étale de 1978 à 2001.

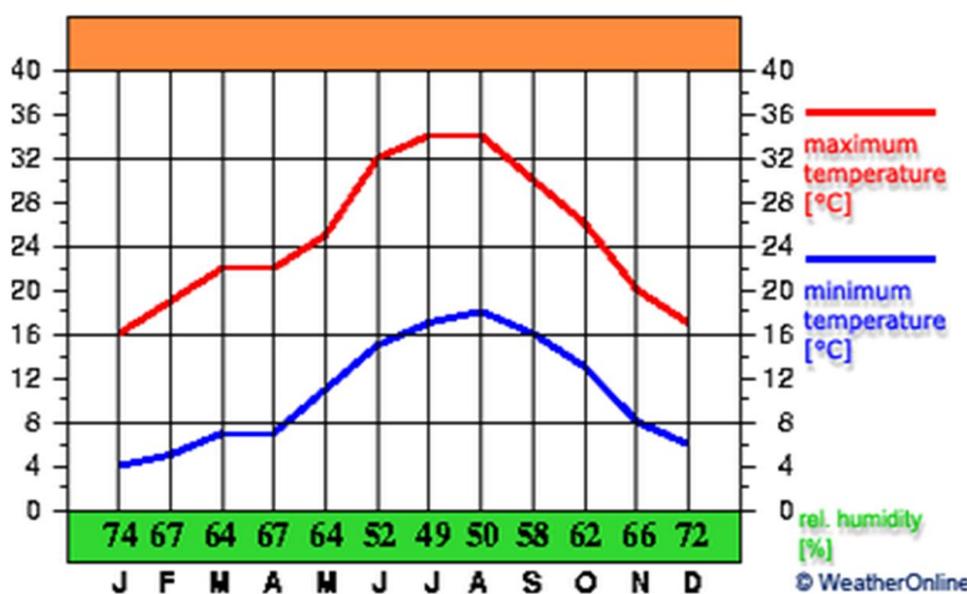


Figure 2 : Courbe présentant la température à Fès-Saïs (Aéroport) (579m)

La figure 2 regroupe les données concernant la température. La première remarque concerne la répartition des mois chauds et des mois froids. Décembre, Janvier et Février constituent les mois les plus froids. Juin, Juillet Août et Septembre forment la saison chaude.

L'allure générale de la figure 7 montre une diminution thermique progressive du mois le plus froid (janvier) et une augmentation dans les mois les plus chauds (juillet et août).

2.2. Précipitations

Les précipitations forment un paramètre hydrologique d'une grande importance dans le fonctionnement d'un bassin versant. Celles-ci, désignent toutes les formes variées sous

lesquelles l'eau solide ou liquide contenue dans l'atmosphère et qui tombe sur la surface terrestre. Les précipitations jouent un rôle primordial dans la recharge des nappes phréatiques.

II. Pédologie de la plaine de Saïss

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 sols, qui ont pu être étudiés dans les différents périmètres de reboisement de l'Arrondissement de Fès, appartiennent aux cinq grandes classes suivantes :

- ✓ Des sols minéraux bruts
- ✓ Des sols peu évolués
- ✓ Des vertisols
- ✓ Des sols calcimagnésiques
- ✓ Des sols isohumiques
- ✓ Des sols hydromorphes

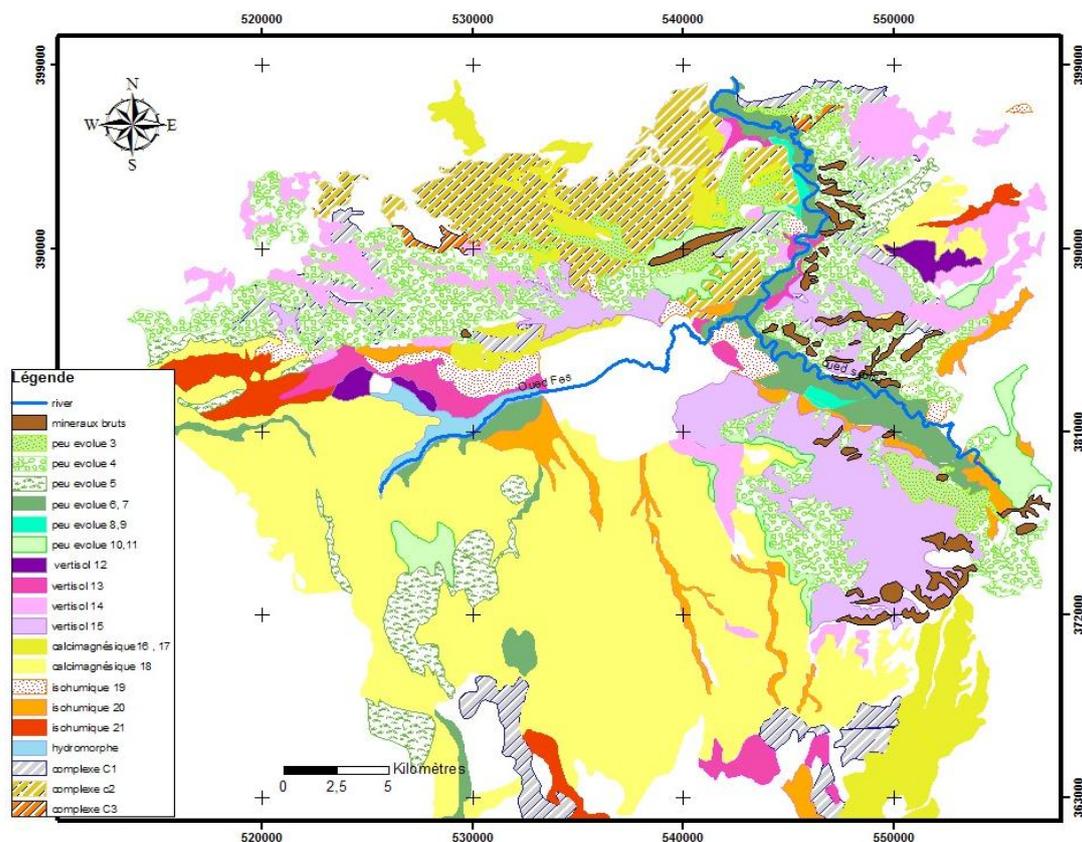


Figure 3 : Carte pédologique de la plaine de Saïss (Atika MOUADDINE-PFE MST)

1. Sols minéraux bruts

Par définition ce sont des sols de profil (A) C ne contenant que très peu de matière organique dans les 20cm supérieurs. La roche mère subit peu d'altération chimique, mais elle se désagrège sous l'action des facteurs climatiques et, soumis à l'érosion, les horizons supérieurs du sol n'ont pas le temps de se développer que déjà les matériaux désagrégés sont emportés par les eaux de ruissellement.

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.

2. Sols peu évolués :

Ce sont des sols de profil AC pauvres en matière organique dans les horizons de surface. La roche mère a été fragmentée par des phénomènes de désagrégation et il n'est pas possible de distinguer d'horizon B ou même (E).

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.

3. Vertisols

Ce sont des sols de profil A(B)C ou A(B)Cg, où la structure très grossière caractérise un horizon (B). Ils présentent dans cet horizon de larges fentes de retrait dues à la présence de fortes quantités d'argile dont une forte proportion est du type montmorillonite. Ils ne sont cependant pas très foncés du fait d'un taux de matière organique généralement très faible et d'une position topographique généralement en pente, peu propice à l'installation d'une couverture végétale dense du fait d'un drainage externe important.

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.

4. Sols calcimagnésiques :

Les roches calcaires ou magnésiennes, quand elles libèrent des quantités suffisantes de calcaire actif, sont à l'origine des sols calcimagnésiques, encore appelés sols calcimorphes.

On distingue généralement trois types de sols calcimagnésiques que l'on classe en fonction de leur richesse en humus et de leur profil :

- Les rendzines, humifères (horizon A unique, de 30 cm d'épaisseur, coloré en noir sous couvert forestier, en gris sur les causses, en brun rouge si le fer est abondant : terra fusca et terra rossa)
- Les sols bruns calcaires et les sols bruns calciques, peu humifères. Ce sont des sols plus profonds et surtout beaucoup plus riches, initialement, en argile que les rendzines vraies. Cette richesse en argile influe sur les processus de décarbonatation qui sont favorisés et entretenus.

-
- Les sols humo calcaires, humo calciques et litho calciques, très humifères. Ce sont des sols qui se forment en montagne, principalement parce que le climat humide et froid qui règne pendant un long temps en altitude empêche la dégradation de la matière organique qui s'accumule.

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.

5. Sols isohumiques

Ce sont des sols épais, noirs, très riches en matières organiques qui se forment en région tempérée au climat sec (pluviométrie inférieure à 500 mm par an), sur un pédoclimax de prairie ou de steppe, de fruticées épineuses ou de forêt claire. Ces sols sont des chernozems ou des brunizems. Ils donnent des terres agricoles très fertiles.

Ces sols sont peu propices à l'installation des forêts, mais d'avantage à des formations graminéennes de type steppes. Le chevelu racinien des graminées est particulièrement favorable à une forte activité biologique de décomposition de la formidable quantité de matière organique produite. L'humification est très intense et aboutit à des humus gris très stables. Cette stabilité est liée au fait que les sols isohumiques produisent des argiles néoformées de type illite et montmorillonite. Ces argiles légèrement gonflantes piègent les hydroxydes de fer entre leurs feuillets. Les ponts argile humus ainsi formés sont particulièrement stables puisque, dans les chernozems, on admet souvent que les humus de surface peuvent être âgés de plus de mille années et de plus de cinq mille ans en profondeur.

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.

6. Sols hydromorphe

Les sols hydromorphes sont caractérisés, d'une part, par le fer qui est réduit en milieu asphyxique (couleur verte du fer ferreux) et oxydé en milieu aéré (couleur rouille du fer ferrique) et, d'autre part, par la faible vitesse de décomposition et d'humification de la matière organique qui va donc s'accumuler.

Les sols hydromorphes se forment naturellement :

- Dans les stations basses qui subissent la battance des nappes phréatiques comme les fonds de vallée, les cuvettes, etc. (sols à gley, tourbes).
- Dans les stations où les sols sont très riches en argiles lesquels s'opposent au drainage et créent les conditions requises à l'hydromorphie (Pélosols et planosols).
- Dans des sols lessivés dès lors que l'entraînement et l'accumulation des argiles dans l'horizon Bt crée les conditions d'une nappe perchée plus ou moins permanente (sols à pseudogley ou sols glossiques).

On distingue une seule unité :

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

III. Eléments traces métalliques ETM

1. Définition des éléments traces métalliques (ETM)

Les ETM sont des éléments chimiques omniprésents sur la surface terrestre à de très faibles concentrations : <0,1%.

La plupart d'entre eux présentent la double propriété d'être à la fois des oligo-éléments et des éléments toxiques aussi bien pour le règne animal que végétal.

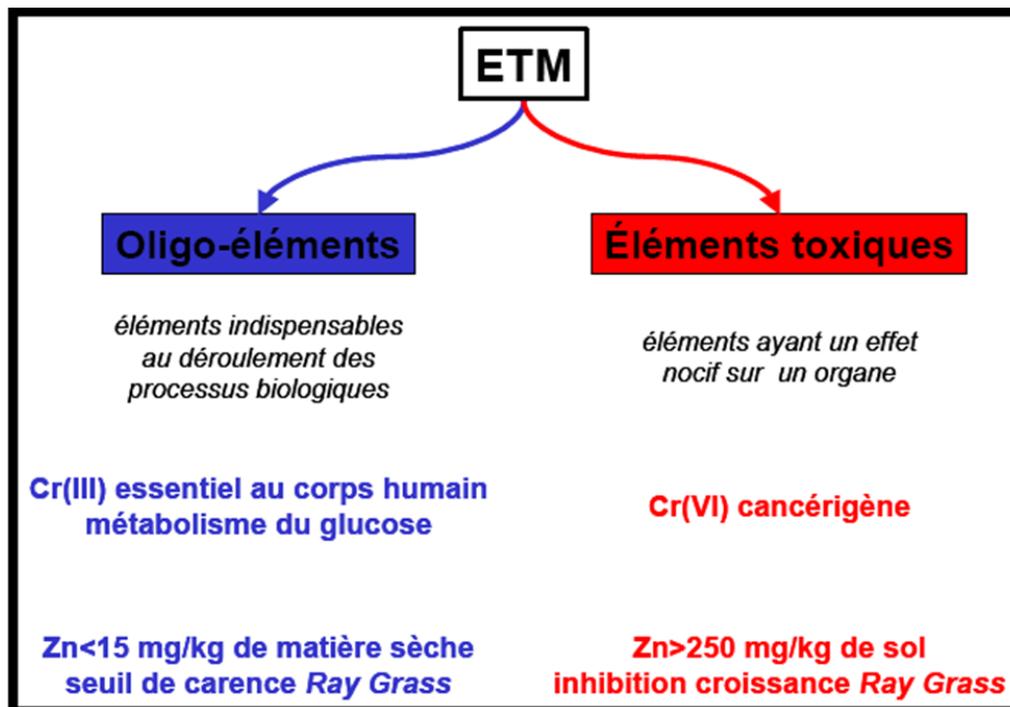


Figure 4 : Définition des Eléments Traces Métalliques

Certains 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: Cd, Pb, Hg, Sn.

Ils sont tous potentiellement polluants, cela dépendra de leur concentration dans le milieu considéré (sols, air, eau, sédiments) mais surtout de leur forme chimique (spéciation).

2. Origine et cycle des ETM dans le milieu naturel

Sur la figure 10, nous avons reporté l'ensemble des facteurs qui participent au cycle de l'acquisition des teneurs en ETM dans les sols. Cette présentation est issue de l'ouvrage de D.Baize consacré à l'étude des teneurs en ETM des sols.

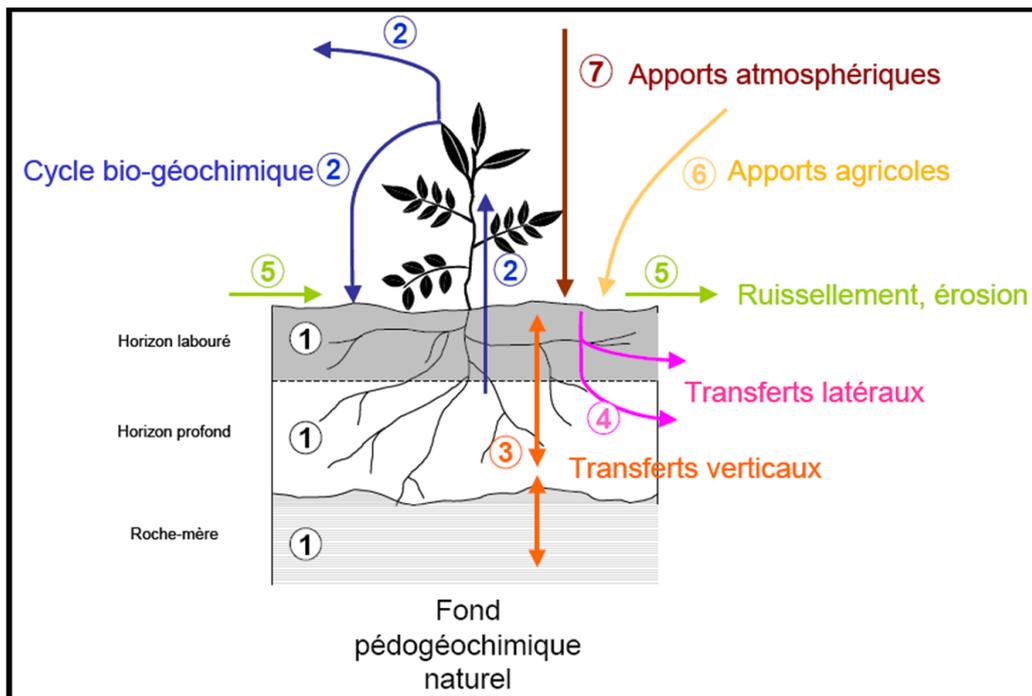


Figure 5 : Cycle de l'acquisition des teneurs en ETM dans les sols (adapté de Baize 1997)

En 1 est représenté le fond pédogéochimique naturel qui est l'héritage de la roche mère soumise aux processus géologique et pédologiques. Les ETM peuvent être élaborés par les racines des plantes 2 puis distribués dans les différents organes. Ils peuvent retourner dans le sol par décomposition des racines ou à la surface du sol par retombée des parties aériennes formant la litière. Les récoltes occasionnant le départ des ETM absorbés par les plantes dans les feuilles, les grains, les racines ou tubercules. Les transferts verticaux 3 sont importants dans les régions où les précipitations l'emportent sur l'évapotranspiration des végétaux. Les transferts pédologiques latéraux 4 s'expliquent soit par l'engorgement temporaire ou permanent du sol soit par l'acidité du sol. Les transferts latéraux par ruissellement ou érosion à la surface 5 se font en association avec des particules entraînées à la surface des sols et occasionnent soit des pertes soit des apports selon la position topographique du site. Les apports agricoles 6 du type engrais, amendements calcaires, fumiers, lisiers, épandages, produits phytosanitaires peuvent être riches en ETM. Les apports diffus aériens d'origine lointaine 7 de type aérosols peuvent également enrichir les sols en ETM.

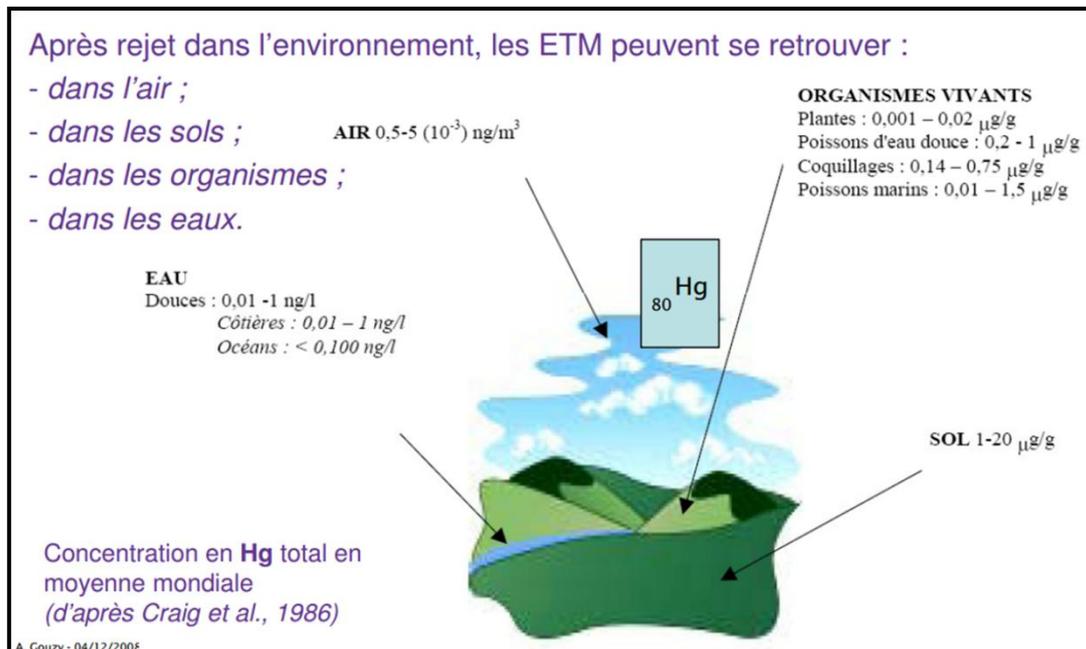


Figure 6 : Pourcentage des différents ETM dans l'environnement (E.DOELSCH 2004)

3. Teneurs naturelles des ETM / Normes

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.

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

Eléments Traces Métalliques	Valeur limite réglementaire en mg/Kg
Cd	2
Cr	150
Cu	100
Ni	50
Pb	100
As	6
Zn	90

IV. Généralités sur la biologie du sol

1. Biologie des sols

Le sol est un milieu vivant. C'est le lieu de vie et de passage obligé pour de nombreuses espèces animales et végétales. De nombreux cycles biologiques passent par le sol, qui est donc une partie prenante de nombreux écosystèmes. Le sol est une vaste réserve génétique : il abrite et influence une grande partie de la biodiversité terrestre. Par ailleurs, les activités biologiques sont essentielles à la construction des sols, à leur fonctionnement et à leur fertilité. On lui reconnaît le rôle d'habitat et de préservation de la biodiversité. (*Document PDF : La vie cachée des sols*).

Le sol est un élément essentiel de notre environnement, c'est un milieu plein de vie. En effet, les organismes du sol sont généralement subdivisés en plusieurs groupes (*Document PDF : La vie cachée des sols*) :

- La mégafaune comme les taupes, les crapauds et les serpents
- La macrofaune, visible à l'œil nu (vers de terre, termites, fourmis, larves d'insectes)
- La mésofaune, visible à la loupe (acariens, collemboles)
- La microfaune, et les microorganismes, visibles seulement au microscope (protozoaires, nématodes, bactéries, champignons, algues)

Les plus petits organismes sont les plus nombreux et les plus diversifiés : il existerait ainsi plus de 2 millions d'espèces de bactéries et de champignons dont seulement 1% aurait été identifié. Les vers de terre représentent quant à eux le groupe dont la biomasse est la plus importante et la diversité spécifique la mieux connue.

2. Microorganismes du sol

Le sol, loin d'être un substrat inerte, est un milieu dynamique et complexe grâce, en particulier, aux microorganismes qui l'habitent. Ces derniers constituent un des maillons du cycle biologique et l'étude de leur nature, de leur nombre, de leurs effets, est un élément nécessaire à la connaissance des sols en ce qui concerne la formation, la conservation, l'évolution et la fertilité. (*Institut Pasteur – Cours de microbiologie du sol*).

L'étude microbiologique d'un sol, faisant suite à la caractérisation physico-chimique de celui-ci, devra donc s'intéresser aux points suivants :

-
- Numération totale des microorganismes ; la répartition au sein d'un milieu et, éventuellement, détermination des espèces au moyen de tests morphologiques et nutritionnels.
 - Evaluation des groupements fonctionnels au niveau des différents cycles ; (Azotes, Carbone, Soufre, etc...)

En général les microorganismes jouent un rôle fondamental dans la fertilité du sol et l'étude de leur activité est donc importante. Par ailleurs, certaines bactéries participent à la libération et la transformation des métaux dans le sol et contribuent ainsi à augmenter ou réduire la toxicité des métaux lourds (nickel, cobalt, etc.).

Le sol est un fantastique réservoir de microorganismes (champignons, bactéries et virus), en termes de diversité et de densité. En effet, un gramme de sol contient environ 1 milliard de bactéries réparties en 5 à 25 000 espèces dont la plupart ne sont pas encore connues, ni même cultivables en laboratoire. Ces microorganismes jouent des rôles cruciaux dans les cycles de la matière (carbone, azoté, phosphore) ; ils sont donc indispensables à la vie sur Terre. Rares sont les microorganismes pathogènes. En revanche, nombre d'entre eux favorisent la croissance des végétaux, assurent la dégradation de polluants, et fournissent des composés d'intérêt tels des enzymes, des antibiotiques ou d'autres molécules comme des antiviraux ou des antitumoraux.

2.1. Champignons

Les champignons sont présents dans le sol, plantes, débris végétaux, lichen, parasites de l'homme, des animaux et des plantes.

Les champignons sont des décomposeurs importants dans la chaîne trophique du sol. Ils transforment des matériaux organiques difficiles à digérer en composés que d'autres organismes peuvent utiliser.

Les champignons sont "absorbotrophes" : ils se nourrissent par absorption. Ils sécrètent des enzymes qui digèrent des polymères dans le milieu extérieur, ce mécanisme chimique transforme par exemple les glucides en monomères (petites molécules) qui sont ainsi absorbés.

Les champignons du sol, dont la teneur peut atteindre 1000 à 1500kg par hectare ont divers rôles (*Centre de culture scientifique technique et industriel –INRA*) :

-
- Les champignons saprophytes se nourrissent de matières organiques qu'ils décomposent. Ils participent donc à la fabrication de l'humus.
 - Les champignons symbiotiques s'associent aux racines des plantes pour leur apporter des nutriments, favorisant ainsi la croissance de la plante. En échange, la plante fournit les substances organiques nécessaires au développement du champignon.
 - Les champignons parasites se nourrissent de plantes, provoquant ainsi des maladies.

2.2. Bactéries

Les bactéries sont les représentants les plus importants quantitativement dans un sol composé de matière minérale provenant de l'érosion des roches et de matière organique provenant de la décomposition partielle des végétaux.

On peut y retrouver tous les types de bactéries, des autotrophes, des hétérotrophes, des aérobies, des anaérobies, des mésophiles, des psychrophiles, des thermophiles. Tout comme les champignons, certaines bactéries sont capables de dégrader des substances insolubles d'origine végétale comme la cellulose, la lignine, de réduire les sulfates, d'oxyder le soufre, de fixer l'azote atmosphérique, et de produire des nitrates.

Les bactéries jouent un rôle dans le cycle des nutriments des sols, et sont notamment capables de fixer l'azote. Elles ont donc un rôle dans la fertilité des sols pour l'agriculture. Les bactéries abondent au niveau des racines des végétaux avec lesquels elles vivent en mutualisme.

Les bactéries sont des micro-organismes unicellulaires capables de croître et de se diviser rapidement, elles représentent un groupe étonnamment complexe et fascinant. Tandis que la plupart des bactéries doivent trouver des aliments (sucre, protéine et vitamine) pour vivre, certaines sont capables de faire leur propre alimentation avec les choses trouvées dans l'environnement, comme la lumière du soleil et le dioxyde de carbone. Quelques bactéries ont besoin de l'énergie de l'environnement pour faire leur alimentation, tandis que d'autres bactéries peuvent créer leur propre énergie en utilisant d'autres éléments dans leur environnement.

2.3. Actinomycètes

Les actinomycètes sont des bactéries qui doivent leur nom au fait que leur croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes, c'est-à-dire de filaments qui irradiant, par croissance centrifuge, tout autour du germe qui leur a donné naissance, cela explique leur

dénomination : le mot « Actinomycètes » provient de deux substantifs grecs et signifie « Champignons à rayons » ou « Champignons rayonnants ».

La plupart des actinomycètes sont des hétérotrophes utilisant des molécules organiques préfabriquées, soit en les fermentant, soit en les oxydant, dans ce cas, les espèces sont généralement micro-aérophiles, mais plusieurs espèces sont capables aussi de croissance chimio-autotrophique utilisant l'oxydation de l'hydrogène comme source d'énergie et le gaz carbonique comme source de carbone.

S'il existe quelques actinomycètes pathogènes, responsables, par exemple, chez l'homme, de maladies sévères comme la tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*) et la lèpre (*Mycobacterium leprae*) et d'autres responsables de diverses actinomycoses chez l'homme, les animaux domestiques ou sauvages et même chez certaines plantes, les actinomycètes ont surtout un rôle écologique majeur.

On trouve des actinomycètes presque partout dans la nature : des sols polaires gelés en permanence aux sols désertiques chauds et secs, dans le pétrole brut, les sols hautement contaminés par des métaux lourds, les lacs extrêmement alcalins, les lacs salés, etc.

La fonction écologique des actinomycètes au sein des écosystèmes est la décomposition des substances organiques. Ils se joignent aux autres bactéries et aux champignons comme décomposeurs et formateurs d'humus. Ils prolifèrent surtout quand l'action des bactéries ordinaires touche à sa fin, on pourrait dire qu'ils terminent leur action.

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

I. Prélèvement des échantillons de sol

1. Préparation des échantillons pour analyse physico-chimique

Autour de la zone d'étude, 6 stations ont été visitées et dans chaque station 4 prélèvements ont été effectués et récoltés de parts et d'autre des rives des deux oueds (Tableau 2).



Figure 7 : Carte illustrant les points de prélèvement dans la zone d'étude

Pour chaque site, une fosse pédologique a été creusée (entre 0 et 15cm), permettant l'identification et le prélèvement du sol.

Tableau 2 : Références, coordonnées des échantillons des sols prélevés

Zone d'échantillonnage	Référence	Coordonnées (x ; y) (en mètre)
Pont Bentatou	S1	(540 525,293 ; 386 095,122)
Lycée Mokhtar Soussi (Jnane el Kadir)	S2	(540 690,941 ; 385 623,662)
Pont Portugais	S3	(544 513,591 ; 385 661,889)
Après la confluence avec Oued Sebou	S4	(543 927,451 ; 386 592,067)
4km après la confluence	S5	(545 864,260 ; 389 025,820)
Elmarja Elhamma (Route vers Zraoula)	S6	(545 991,682 ; 394 301,076)

Pour l'étude des ETM, des précautions ont été prises lors de l'échantillonnage afin d'éviter toute contamination, chaque échantillon a été prélevé à l'aide de pelle en plastique et placé dans des sacs en plastique de « qualité alimentaire ».



Figure 8 : Prélèvement des échantillons

Séchage : Les échantillons de sol ont été séchés à l'air ambiant dans des cuvettes en polyéthylène préalablement lavées à l'acide nitrique (10%) (*NF ISO 11464*).

Tamissage à 2mm : L'échantillon est désagrégé mécaniquement et passé au travers du tamis de 2mm.

Quartage : 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.

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;

A 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 (**Figure 9**) avec lesquels l'opération est répétée jusqu'à l'obtention de la quantité désirée.

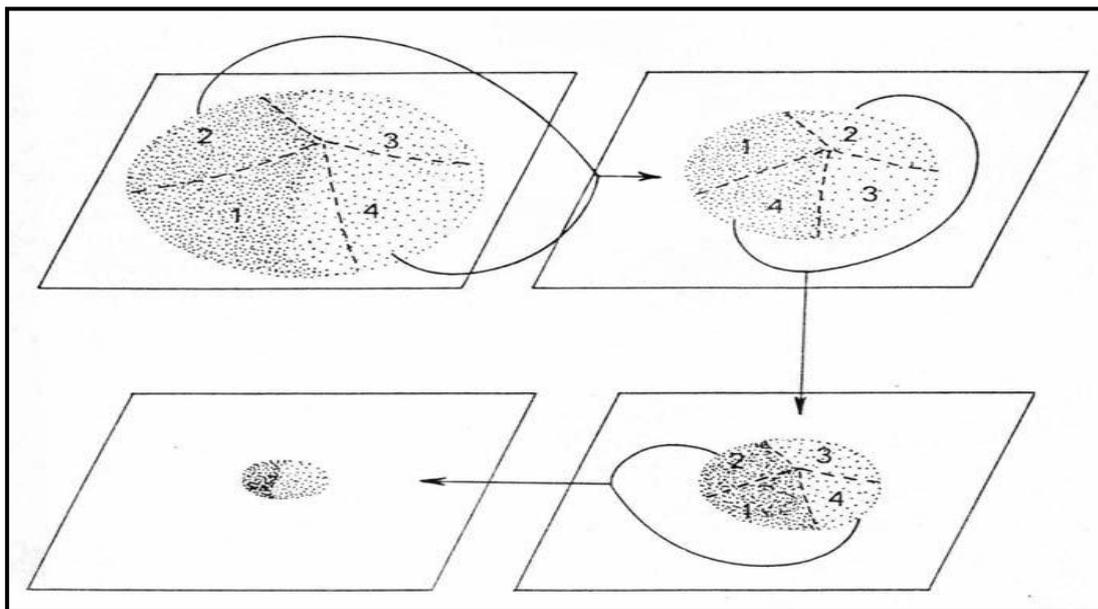


Figure 9: Méthode manuelle de quartage (méthode du cône)

2. Préparation des échantillons pour analyse microbiologique

Les déterminations biologiques s'appliquent obligatoirement à des échantillons de sol "frais". Il convient donc de considérer l'échantillon de sol comme un être vivant, avec toutes les contraintes que cela suppose, en matière de transport et de stockage.

Après le prélèvement, l'échantillon de sol doit être entouré de soin afin que les mesures biologiques qui seront réalisées au laboratoire soient aussi proches que possible de l'état *in situ*.

Pratiquement, les mesures doivent être effectuées dans les 48 à 72 heures qui suivent le prélèvement, les échantillons de sols devant être conservés au frais (environ 4°C) et en aérobiose si un délai supplémentaire s'avère nécessaire.

Le séchage des échantillons tue une partie de la microflore et rend impossible la détermination de la biomasse par fumigation-incubation, même après réhumectation des sols avant analyse. Il devient très difficile sinon impossible de comparer des échantillons frais et séchés.

Les sols qui ont été utilisés dans l'analyse microbiologique sont :

- ↪ S2 : Oued Fès avant la confluence
- ↪ S3 : Oued Sebou avant la confluence
- ↪ S4: La confluence
- ↪ S6 : Oued Sebou après la confluence

Tableau 3 : Références, coordonnées des échantillons des sols utilisés dans l'analyse microbiologique

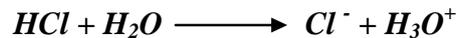
Zone d'échantillonnage	Référence	Référence	Coordonnées (x ; y) (en mètre)
Lycée Mokhtar Soussi (Jnane el Kadir)	S1	S2	(540 690,941 ; 385 623,662)
Pont Portugais	S2	S3	(544 513,591 ; 385 661,889)
Après la confluence avec Oued Sebou	S3	S4	(543 927,451 ; 386 592,067)
Elmarja Elhamma (Route vers Zraoula	S4	S6	(545 991,682 ; 394 301,076)

II. Analyses physico-chimiques

1. Détermination du pH du sol

Principe :

La dissolution dans l'eau d'un corps tel que le Chlorure d'Hydrogène a été interprété comme une véritable réaction chimique.



Au cours de cette réaction, il y a formation d'ions hydronium H_3O^+ .

Les solutions aqueuses peuvent avoir des concentrations en ions hydronium extrêmement variables (de quelques unités à moins de 10^{-14} mol l⁻¹). On utilise une échelle plus commode pour traduire la concentration en ions hydronium d'une solution aqueuse, appelée échelle de pH.

$$pH = - \log [H_3O^+]$$

2. Conductivité électrique du sol :

Principe :

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 milliSiemens par centimètre (mS/cm).

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

3. Dosage de la matière organique totale par perte au feu PAF

Principe :

La teneur en matière organique n'est pas une donnée utilisée pour adapter les recommandations de fertilisation; néanmoins, elle joue un rôle important dans la fertilité du sol.

La matière organique amplifie grandement la capacité d'échange cationique du sol et elle retient les nutriments assimilables par les plantes. Ainsi, la matière organique est un réservoir de nutriments lentement assimilables.

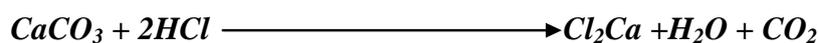
Son principe est la mesure directe de la matière organique dans le sol. On place les échantillons pendant une nuit (16 heures) dans un four à moufle à 375 °C. La perte de poids, après calcination, nous donne la matière organique.

Il faut éviter les températures plus élevées, car les carbonates présents dans le sol se fractionnent, en augmentant la teneur en matière organique. Le préséchage des échantillons à 150°C réduit la variabilité du test en éliminant l'eau emprisonnée dans les feuillets de sol.

4. Dosage du calcaire par le calcimètre de Bernard

Principe :

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 sédiment permet de calculer le pourcentage de carbonate de calcium total présent dans le sédiment.



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

5. Séparation granulométrique par tamisage sec

Principe :

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre **0,063** et **125 mm**.

On appelle :

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

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).

III. Analyse géochimique – Attaque triacide

Principe

Le dosage des métaux lourds a été effectué par spectroscopie d'absorption atomique qui nécessite une solubilisation des éléments à analyser.

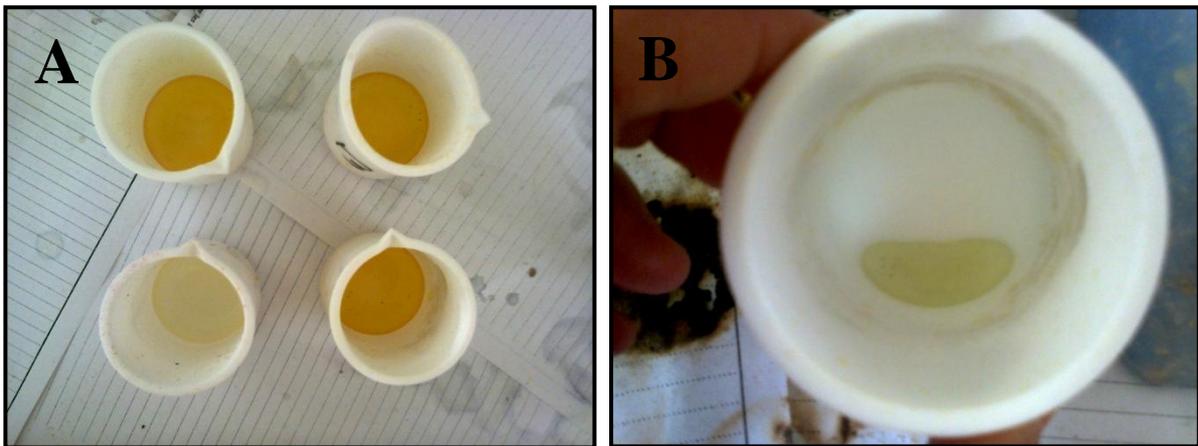


Figure 10 : Etapes de l'attaque triacide (A : Destruction de la MO / B : Obtention de la perle)

IV. Analyses microbiologique

1. Préparation des échantillons de sol

Le sol destiné à l'analyse microbiologique a été prélevé de manière aseptique dans des flacons stériles, transporté au laboratoire dans une glacière (à 4°C) et analysé le lendemain du prélèvement. Les analyses microbiologiques ont été effectuées pour les sols des sites S2, S3, S4 et S6.

2 g de sol sont dilués dans 9 ml de bouillon TS (Tryptone 1 g, Chlorure de sodium 8,5 g, Eau distillée 1 L). La suspension est bien mélangée en utilisant un agitateur puis laissée se décanter. Ensuite, une série de dilution de 10^{-1} à 10^{-9} a été préparée (Figure 15).

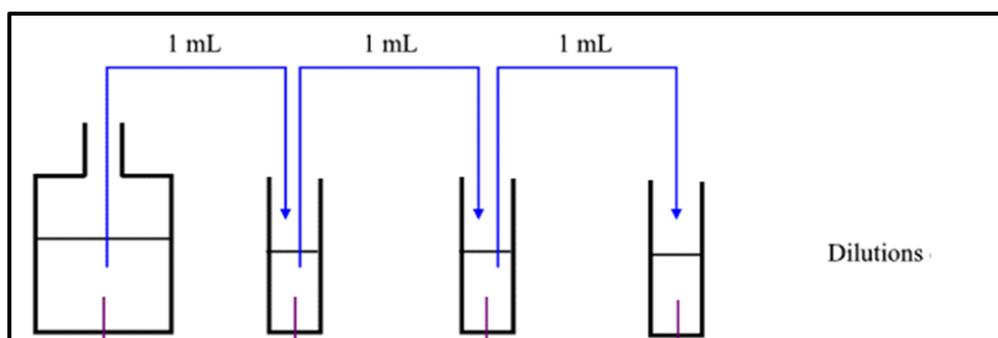


Figure 11 : Dilution en série des échantillons de sol

2. Milieux de culture et ensemencement

Les différentes suspensions-dilutions de sol sont ensemencées par étalement sur milieux de cultures gélosés favorisant particulièrement la culture des actinomycètes, des champignons, et des bactéries.

Le tableau 4 montre la composition des milieux de culture, le temps et la température d'incubation pour chaque population microbienne.

Tableau 4 : Composition des milieux de culture, temps et température d'incubation

<i>La population microbienne</i>	<i>Composition des milieux pour 1 litre</i>	<i>Temps et température d'incubation</i>
<i>Les bactéries</i>	10 g peptone, 10 g NaCl, 5g Extrait de levure, 15 g Agar.	Compter après 48h d'incubation à 28-30°C
<i>Les champignons</i>	30 g d'extrait de Malt, 15-20 g d'agar.	Compter après 7jours d'incubation à 28-30°C
<i>Les actinomycètes</i>	2.5g Glycérol, 0.25g Asparinate, 1g PO ₄ KH ₂ , 15g Gélose, 1mL d'Oligoéléments	Compter après 7 jours d'incubation à 28-30°C

3. Dénombrement des colonies

Un volume de 100µl de chaque dilution est étalé sur une boîte Pétrie contenant le milieu de culture, puis mis à incuber à 30°C pendant 48 Heures pour les bactéries, 7 jours pour les champignons et même durée pour les actinomycètes (Figure 12).

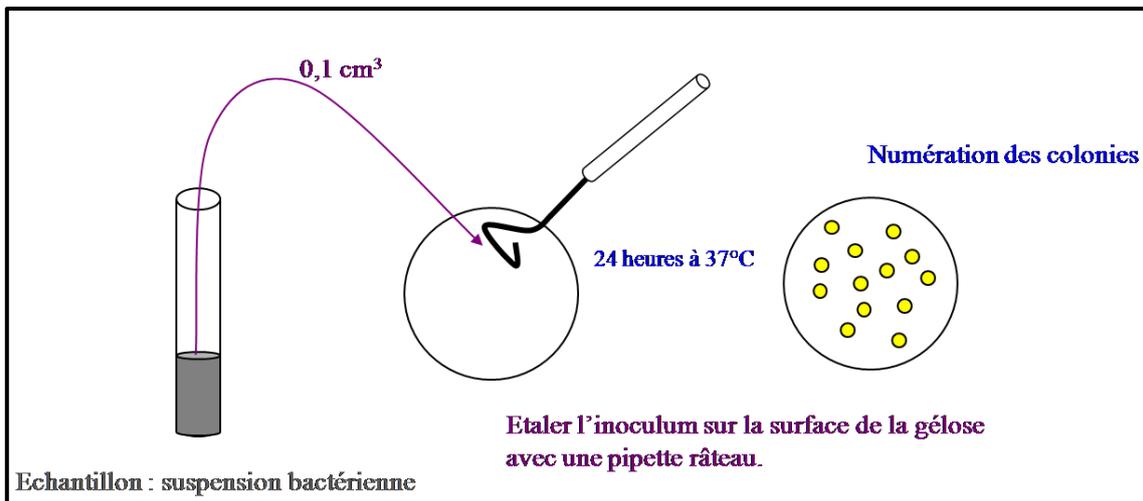


Figure 12 : Technique de Dénombrement

La concentration microbienne (UFC/g de sol) est calculée, pour chaque prélèvement correspondant à la phase exponentielle, selon la relation suivante :

$$N \text{ (UFC/g)} = (Y \times F) / V$$

N (UFC/g) : Nombre d'unités formant colonies par ml

Y : Nombres de colonies

F : Inverse de la dilution pour le comptage de facteur de dilution

V : Volume étalé sur la boîte (ml)

CHAPITRE III : Résultats et discussions

I. Caractéristiques physico-chimiques des sols

1. pH du sol

Le pH eau correspond à la concentration en hydrogène [H⁺] de la solution du sol. Il est appelé ainsi car il est mesuré dans un mélange terre / eau. Alors que le pH_{KCl} correspond à la concentration en hydrogène [H⁺] du sol obtenu après ajout de KCl. Le KCl a pour effet de chasser les H⁺ fixés sur le Complexe Argilo-Humique, ce qui permet de déterminer l'acidité totale ou acidité de réserve du sol.

$$\Delta pH = pH_{KCl} - pH_{H_2O}$$

ΔpH est un paramètre utile pour apprécier la réactivité du complexe absorbant du sol. Dans le cas de nos échantillons, ce paramètre est négatif, donc, dans le complexe absorbant, il y a prédominance des charges négatives, ce qui est expliquées par une capacité d'échange cationique dominante.

D'après les résultats affichés sur le tableau, la différence entre pH_{H_2O} et pH_{KCl} est inférieure à 1, ce qui explique que les sols de la zone d'étude sont saturé et influencé par le calcaire (roche mère). Le pH basique des sols montre l'influence de la nature carbonatée de la roche-mère plus que les effets de la pollution organique et inorganique qui, généralement, joue en faveur d'une acidification des sols.

Tableau 5 : pH_{H_2O} et pH_{KCl} des échantillons prélevés

Echantillon	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	ΔpH
S1	8,14	7,71	-0,43
S2	8,46	7,97	-0,49
S3	8,38	7,9225	-0,46
S4	8,47	7,93	-0,54
S5	8,51	7,80	-0,71
S6	8,23	7,69	-0,54

2. Conductivité électrique du sol

Pour les sols que nous avons échantillonner, la conductivité électrique varie entre 70,2 μ S/cm et 155,37 μ S/cm, avec une moyenne de 100,192 μ S/cm.

Tableau 6 : Conductivité électrique des échantillons prélevés en μ S/cm

<i>Echantillons</i>	<i>Conductivité par μS/cm</i>
S1	86,625
S2	74,2
S3	80,475
S4	155,375
S5	87,375
S6	117,1

En outre, on classe la salinité des sols 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,

Donc d'après nos résultats, on constate que les sols qu'on étudie ne sont pas salés, puisque leurs conductivités est faible ($CE \leq 2$ dS/m). La qualité des sols est bonne du point de vue salinité, les effets de la pollution urbaine n'ont pas favorisés la salinisation excessive des sols.

3. Teneur en matière organique

La teneur en matière organique n'est pas une donnée utilisée pour adapter les recommandations de fertilisation; néanmoins, elle joue un rôle important dans la fertilité du sol.

La matière organique amplifie grandement la capacité d'échange cationique du sol et elle retient les nutriments assimilables par les plantes. Ainsi, la matière organique est un réservoir de nutriments lentement assimilables.

Tableau 7 : Résultats de le PAF de tous les échantillons

<i>Echantillons</i>	<i>Pd Cp (g)</i>	<i>Pd C+TU (g)</i>	<i>Pd C+TC (g)</i>	<i>Pd TU (g)</i>	<i>%MO</i>	<i>Moy %</i>
<i>S1A</i>	21,7246	31,7248	30,4951	10,0002	12,30	
<i>S1B</i>	20,411	30,411	29,1062	10	13,05	
<i>S1C</i>	19,8976	29,8977	28,9708	10,0001	9,27	
<i>S1D</i>	18,9655	28,9655	28,5003	10	4,65	9,82
<i>S2A</i>	18,7637	28,7637	28,368	10	3,96	
<i>S2B</i>	19,9749	29,9749	29,493	10	4,82	
<i>S2C</i>	16,2855	26,2855	25,4687	10	8,17	
<i>S2D</i>	68,0972	78,0972	77,864	10	2,33	4,82
<i>S3A</i>	28,2433	38,2516	37,7598	10,0083	4,91	
<i>S3B</i>	26,4915	36,5113	35,9615	10,0198	5,49	
<i>S3C</i>	26,605	36,6178	35,6845	10,0128	9,32	
<i>S3D</i>	28,9736	39,0047	38,617	10,0311	3,86	5,90
<i>S4A</i>	20,6916	30,7236	30,226	10,032	4,96	
<i>S4B</i>	21,5358	31,6119	31,1922	10,0761	4,17	
<i>S4C</i>	21,5347	31,5355	31,1415	10,0008	3,94	
<i>S4D</i>	23,2082	33,2175	32,7954	10,0093	4,22	4,32
<i>S5A</i>	21,7238	31,7242	31,4645	10,0004	2,60	
<i>S5B</i>	18,9655	28,9658	28,6991	10,0003	2,67	
<i>S5C</i>	20,4471	30,4485	29,8659	10,0014	5,83	
<i>S5D</i>	19,8992	29,9032	28,877	10,004	10,26	5,34
<i>S6A</i>	28,2428	38,2429	37,1393	10,0001	11,04	
<i>S6B</i>	26,4915	36,4925	35,4341	10,001	10,58	
<i>S6C</i>	25,3841	35,3854	34,6703	10,0013	7,15	
<i>S6D</i>	23,2076	33,2098	32,3791	10,0022	8,31	9,27

La figure représente les résultats obtenus du taux de la matière organique :

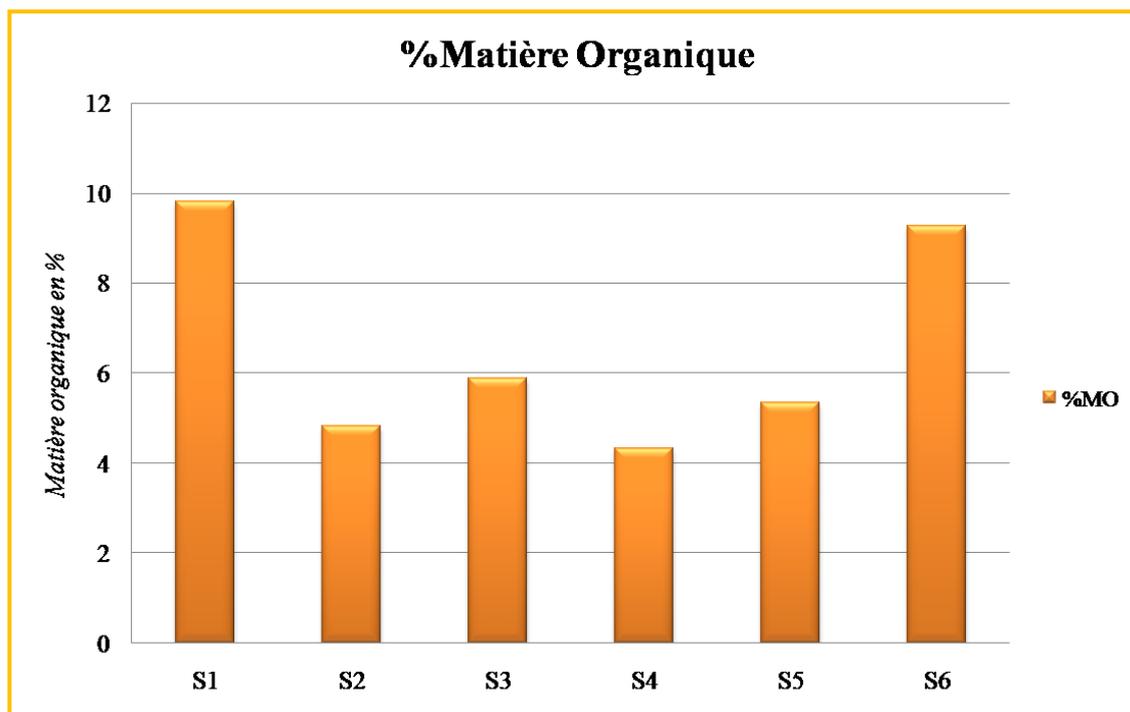


Figure 13 : % de la matière organique des échantillons étudiés

Pour pouvoir qualifier notre sol en fonction de la matière organique, on a fait appel au tableau de qualification des sols en fonction de leur teneur en matière organique.

Tableau 8 : Qualification des sols en fonction du % de la matière organique

<i>Qualification</i>	<i>Teneur en matière organique</i>
Très tourbeux	10% ---- 50%
Tourbeux	5% ---- 10%
Peu tourbeux	1% ---- 5%

D'après ce tableau, on peut déduire que notre sol est tourbeux puisque les teneurs sont entre 5% et 9%. Comme on peut inclure que ces teneurs élevés sont dues à l'activité humaine et animale.

4. Teneur en carbonate de calcium - % de CaCO₃

Les résultats montrent que les échantillons présentent des pourcentages allant jusqu'à 63% de CaCO₃, ce qui montre que ces teneurs sont du à l'origine des sols de la zone d'étude.

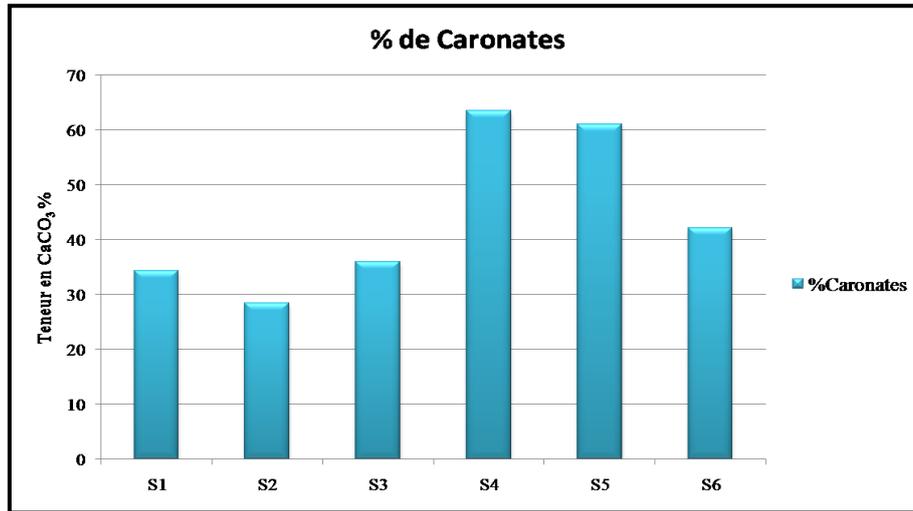


Figure 14 : % des carbonates dans les échantillons étudiés

5. Texture du sol

D'après l'analyse granulométrique sur les sols prélevés, on n'a pas pu avoir une idée complète sur la fraction entre 80 μ m et 40 μ m.

Les fractions sur lesquels, on est basée pour connaître le pourcentage de chaque élément sont les suivants :

- Sable grossier (2 mm – 0,63 mm) ;
- Sable moyen (0,5 mm – 0,63 mm) ;
- Sable fin à très fin (0,25mm – 0,05mm)
- Limons (0,05 mm - 0,002 mm)
- Argiles (< 0,002 mm)

Tableau 9 : Résultats de l'essai granulométrique

<i>Echantillon</i>	<i>% Sable</i>	<i>% Particules Fines</i>
<i>S1</i>	94,82	5,18
<i>S2</i>	96,02	3,98
<i>S3</i>	91,42	8,58
<i>S4</i>	85,23	14,77
<i>S5</i>	93,50	6,50
<i>S6</i>	98,62	1,38

Mais d'après les calculs effectués, le pourcentage des fractions comprises entre 400 et 80 μ m est égal à 90% et plus, ce qui peut nous aider à conclure que le sol sur lequel nous travaillons est un sol sableux à sableux limoneux. La nature sableuse des sols pourrait favoriser une importante infiltration des eaux d'irrigation vers la profondeur et donc provoquer une infiltration des polluants vers la nappe souterraine.

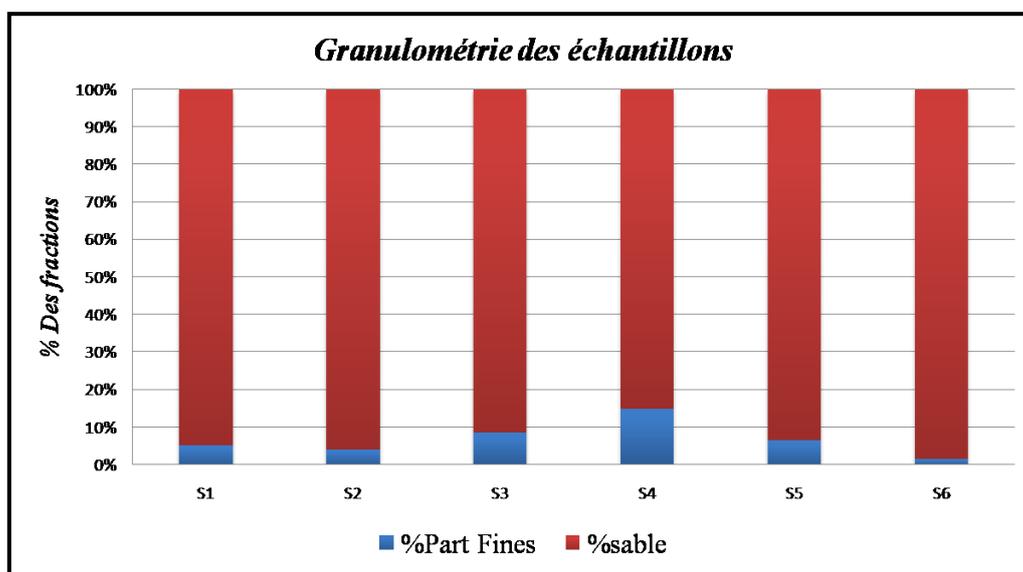


Figure 15 : Histogramme des fractions granulométriques dans chaque échantillon

II. Analyse géochimique – Attaque triacide

1. Présentation des résultats

Le tableau 10 représente les résultats des teneurs de chaque élément dans tous les prélèvements récoltés dans chaque station. S1, S2, S3, S4.

Tableau 10 : Les résultats de l'ICP

	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>
<i>Echantillon</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>
<i>S1A</i>	< 1,97	65,749	42,531	134,772	117,871	122,315
<i>S1B</i>	< 1,99	62,527	41,656	61,374	117,645	121,647
<i>S1C</i>	< 1,10	33,666	20,389	76,677	62,771	61,037
<i>S1D</i>	< 1,98	61,785	40,276	107,314	95,662	117,188
<i>S2A</i>	< 1,99	52,460	148,097	33,409	85,260	167,779
<i>S2B</i>	< 1,96	62,621	322,132	31,047	693,774	292,658
<i>S2C</i>	< 1,99	253,280	217,033	53,162	146,433	348,202

S2D	< 1,93	39,439	238,316	35,141	190,452	232,687
S3A	< 1,97	53,202	15,494	36,280	< 1,97	43,023
S3B	< 1,95	47,663	14,973	35,880	< 1,95	44,773
S3C	< 1,96	58,236	40,402	49,715	113,466	158,854
S3D	< 1,98	49,914	18,157	57,766	< 1,98	46,948
S4A	< 1,84	35,639	14,390	21,794	< 1,84	37,784
S4B	< 1,89	39,775	15,213	70,324	< 1,89	35,943
S4C	< 1,98	67,631	19,085	69,550	< 1,98	68,761
S4D	< 1,96	70,648	20,900	50,310	< 1,96	69,335
S5A	< 2	49,257	43,777	26,660	40,164	69,342
S5B	< 2	52,760	37,045	20,993	41,280	83,195
S5C	< 2	78,066	17,917	32,297	< 2	101,265
S5D	< 2	83,695	19,950	32,631	< 2	115,373
S6A	< 1,99	81,992	27,244	39,582	70,106	72,236
S6B	< 1,98	75,442	27,434	29,493	< 1,98	67,605
S6C	< 1,99	87,526	28,510	32,695	< 1,99	69,319
S6D	< 1,99	74,519	25,685	29,083	< 1,99	62,608

Ci-joint, un tableau représentant la moyenne des résultats de chaque station, pour pouvoir faciliter la présentation des résultats :

Tableau 11 : Moyenne d'ICP en mg/Kg de chaque station

Echantillons	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
S1	< 1,76	56,20	36,21	95,034	98,4871751	105,55
S2	< 1,96	101,95	231,39	38,190	278,979573	260,33
S3	< 1,97	52,25	22,26	44,910	29,8415	73,40
S4	< 1,92	53,42	17,40	52,994	1,9175	52,96
S5	< 2	65,94	29,67	28,145	21,3465	92,29
S6	< 1,98	79,87	27,22	32,713	19,0165	67,94

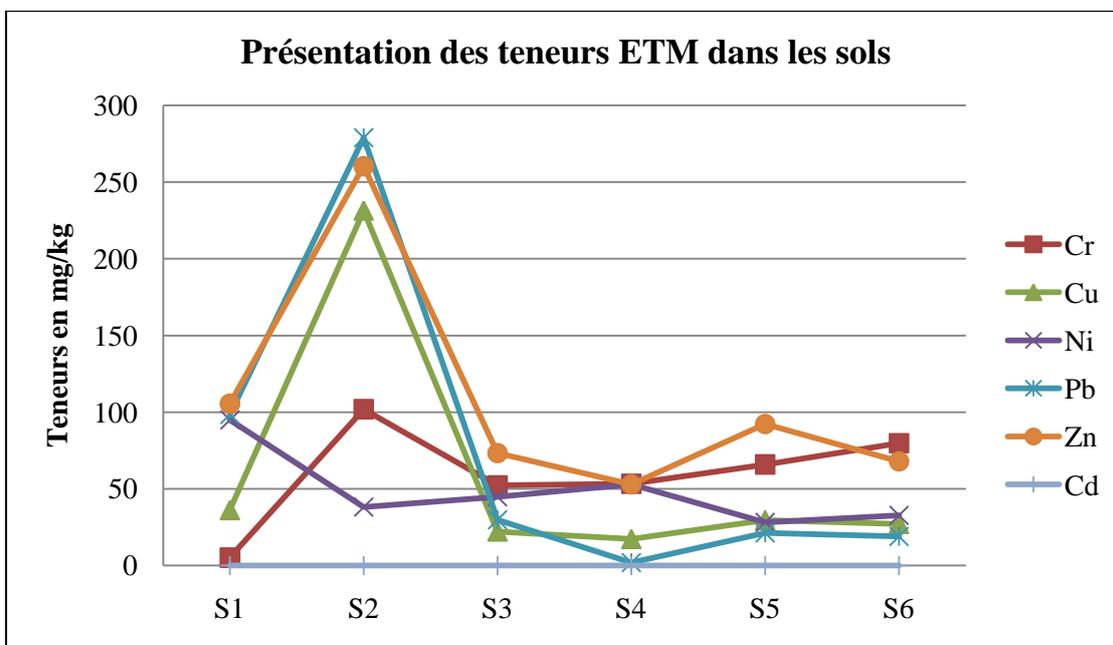


Figure 16 : Présentation de tous les éléments traces métalliques analysés

1.1. Cadmium

Les concentrations en Cadmium détectées dans les échantillons sont tous inférieures à 2mg/kg. Cela signifie que l'appareil d'analyse n'arrive pas à détecter l'élément au-delà de son seuil de détection, puisque la concentration naturelle du Cadmium est de l'ordre de 2mg/kg.

Tableau 12 : Concentrations du Cd dans l'échantillon et dans la nature

Echantillons	Cd dans le sol mg/Kg	Cd Naturelle mg/Kg
S1	< 1,76	2
S2	< 1,96	2
S3	< 1,97	2
S4	< 1,92	2
S5	< 2	2
S6	< 1,98	2

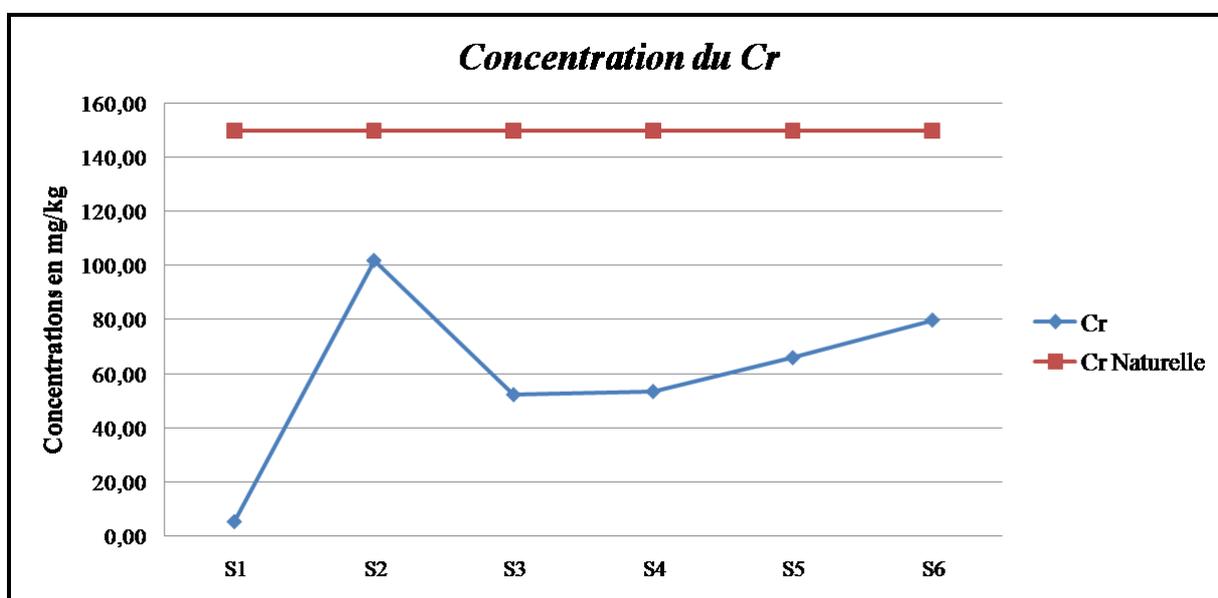
1.2. Chrome

Les teneurs en Cr varient entre 56,20mg/kg et 101,95mg/kg dans les sols étudiés. Toutes les valeurs sont inférieures à la concentration normale dans les sols qui de la valeur de 150mg/kg (Baize.D 1997). Cela signifie que notre sol n'est pas contaminé par cet élément.

Tableau 13 : Concentrations du Cr dans l'échantillon et dans la nature

<i>Echantillons</i>	<i>Cr Naturelle mg/Kg</i>	<i>Cr dans le sol mg/Kg</i>
<i>S1</i>	150	56,20
<i>S2</i>	150	101,95
<i>S3</i>	150	52,25
<i>S4</i>	150	53,42
<i>S5</i>	150	65,94
<i>S6</i>	150	79,87

D'après la figure 17, nous pouvons conclure que le Chrome est présent, mais il ne représente pas une forme de pollution pour le sol.

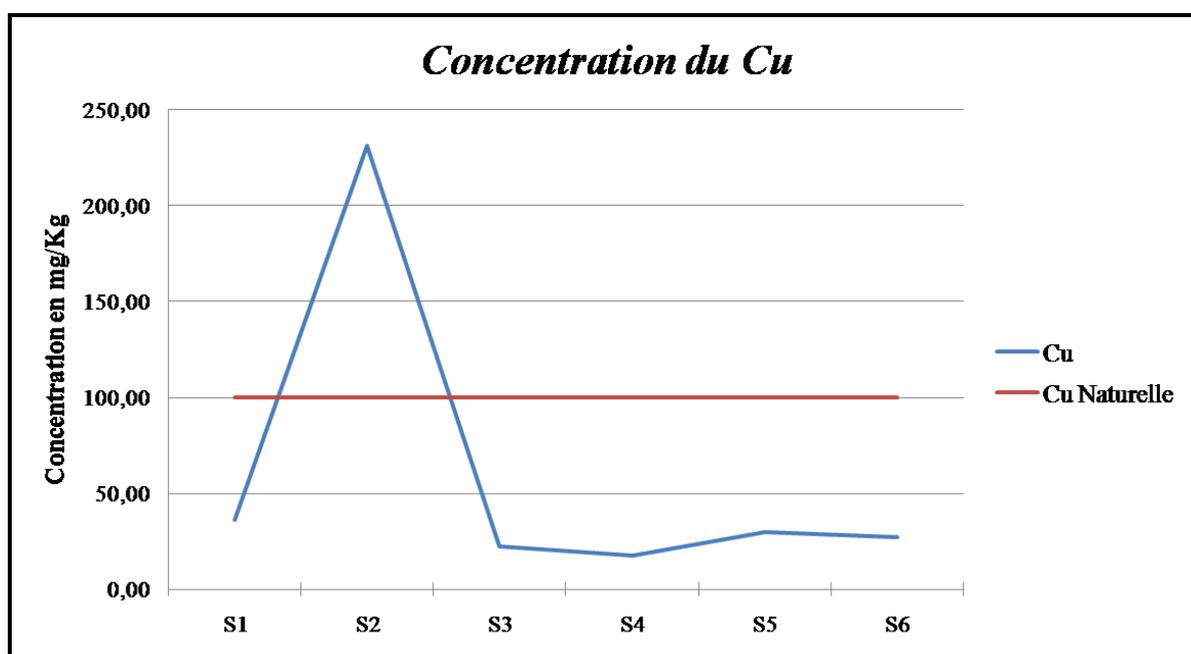

Figure 17 : Comparaison entre la teneur d'Cr en mg/kg dans les échantillons et naturelle

1.3. Cuivre

Les concentrations en cuivre dans les sols prélevés varient entre 27,22 mg/Kg et 36,21 mg/Kg. Par rapport à la concentration naturelle 100 mg/Kg, les valeurs sont inférieures à cette dernière. A l'exception du Sol 2 qui a une concentration égale à 231,39 supérieure à la normale 100mg/Kg.

Tableau 14 : Concentrations du Cu dans l'échantillon et dans la nature

<i>Echantillons</i>	<i>Cu dans le sol mg/Kg</i>	<i>Cu Naturelle mg/Kg</i>
<i>S1</i>	36,21	100
<i>S2</i>	231,39	100
<i>S3</i>	22,26	100
<i>S4</i>	17,40	100
<i>S5</i>	29,67	100
<i>S6</i>	27,22	100

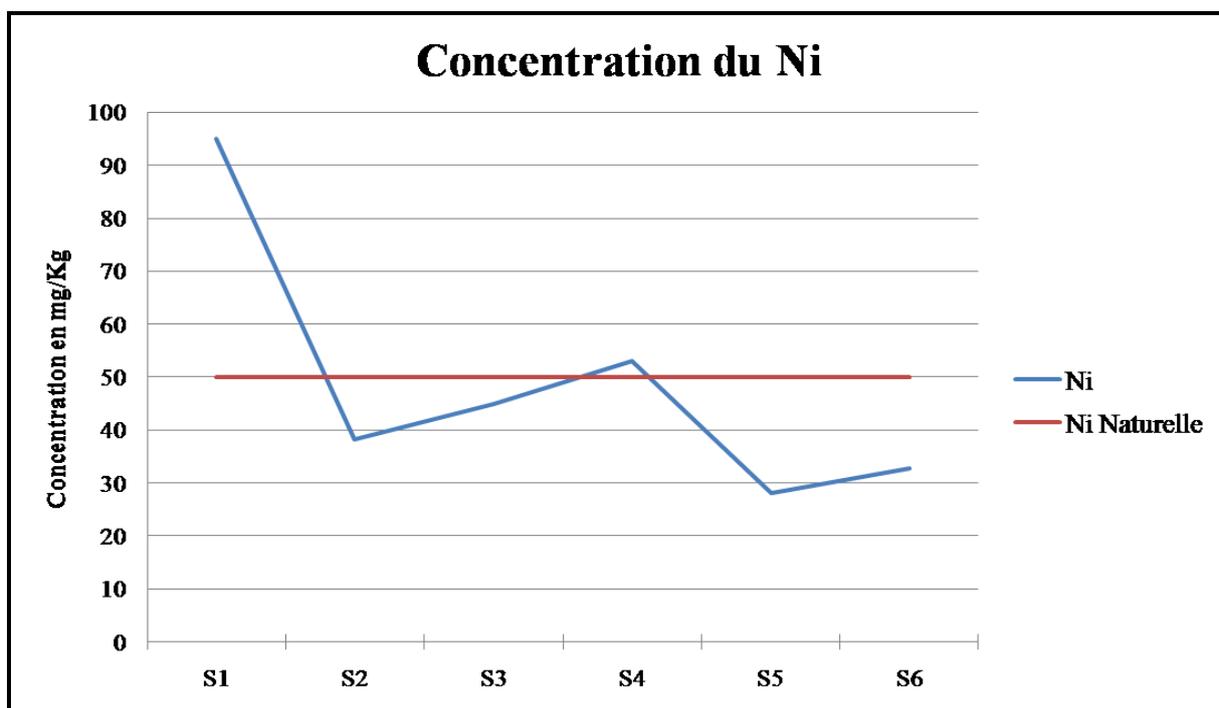

Figure 18 : Comparaison entre la teneur d’Cu en mg/kg dans les échantillons et naturelle

1.4. Nickel

Les concentrations en Nickel sont appropriées par rapport à la normale, sauf pour deux prélèvements S1 et S4, on remarque qu’il y’a contamination du sol par cet élément métallique puisque la valeur trouvée dépasse la concentration naturelle qui est 50mg/Kg. Cela peut être du à la pollution.

Tableau 15 : Concentrations du Ni dans l'échantillon et dans la nature

<i>Echantillons</i>	<i>Ni dans le sol mg/Kg</i>	<i>Ni Naturelle mg/Kg</i>
<i>S1</i>	95,03	50
<i>S2</i>	38,19	50
<i>S3</i>	44,91	50
<i>S4</i>	52,99	50
<i>S5</i>	28,15	50
<i>S6</i>	32,71	50

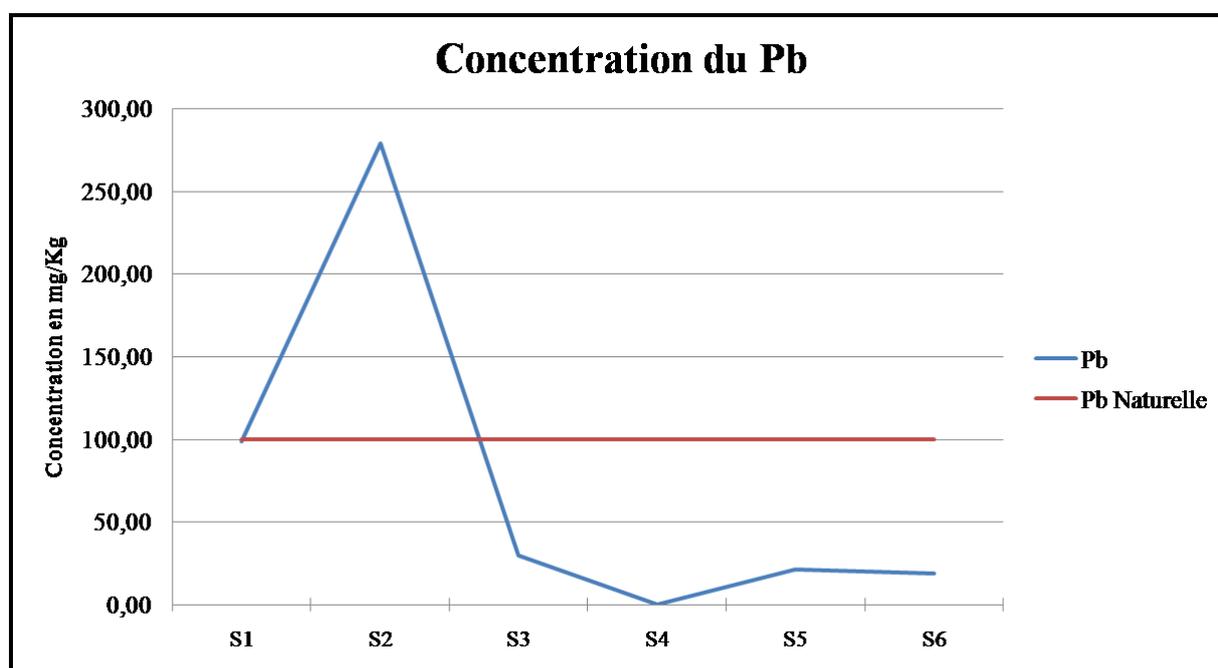

Figure 19 : Comparaison entre la teneur du Ni en mg/kg dans les échantillons et naturelle

1.5. Plomb

Les teneurs en plomb dans le sol varient de 1,92 à 98,49 mg/Kg. Ces teneurs sont minimales par rapport à la normale qui est 100mg/Kg. A l'exception de la teneur du S2 qui est supérieure à 100 mg/Kg.

Tableau 16 : Concentrations du Pb dans l'échantillon et dans la nature

<i>Echantillons</i>	<i>Pb dans le sol mg/Kg</i>	<i>Pb Naturelle mg/Kg</i>
<i>S1</i>	98,49	100
<i>S2</i>	278,98	100
<i>S3</i>	29,84	100
<i>S4</i>	< 1,92	100
<i>S5</i>	21,35	100
<i>S6</i>	19,02	100

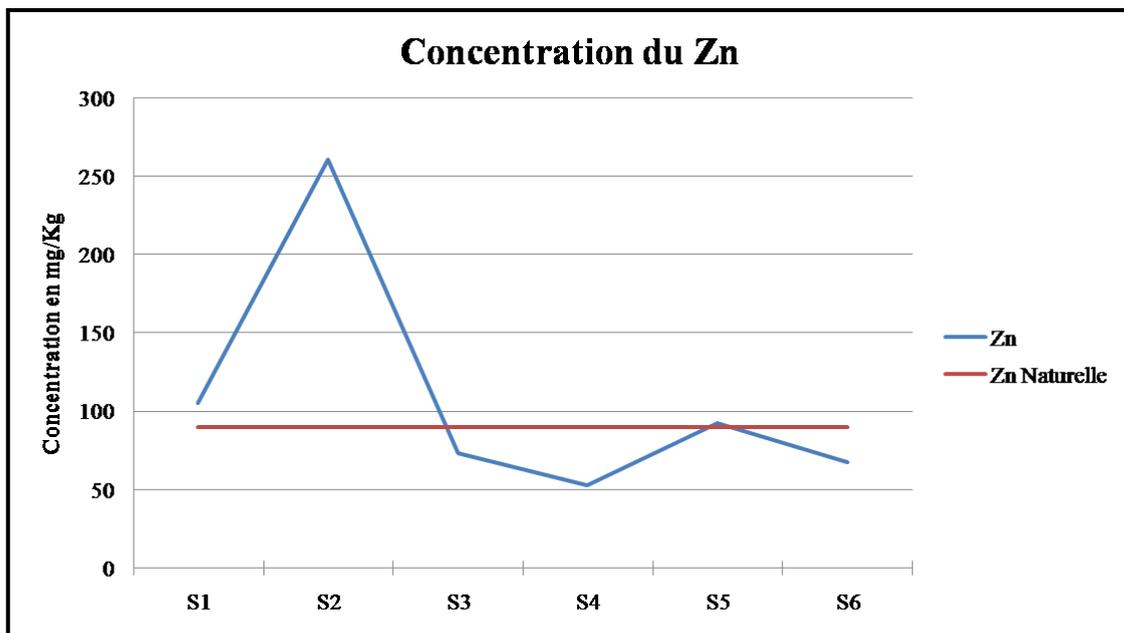

Figure 20 : Comparaison entre la teneur du Pb en mg/kg dans les échantillons et naturelle

1.6. Zinc

Les concentrations du Zn sont élevées dans les échantillons, elles sont comprises entre 105,55mg/Kg et 260,33mg/Kg. Comme on trouve certains échantillons qui ont des teneurs compatibles à la teneur normale du Zn.

Tableau 17 : Concentrations du Zn dans l'échantillon et dans la nature

<i>Echantillons</i>	<i>Zn dans le sol mg/Kg</i>	<i>Zn Naturelle mg/Kg</i>
<i>S1</i>	105,55	90
<i>S2</i>	260,33	90
<i>S3</i>	73,40	90
<i>S4</i>	52,96	90
<i>S5</i>	92,29	90
<i>S6</i>	67,94	90


Figure 21 : Comparaison entre la teneur du Zn en mg/kg dans les échantillons et naturelle

D'après la comparaison entre les teneurs naturelles et les teneurs qu'on a trouvées dans nos échantillons, on constate que :

- La teneur du Cd est au dessus du seuil de détection ;
- Les teneurs du Cu, Zn et Pb, dans nos échantillons, ne dépassent pas les teneurs naturelles dans les sols. Sauf pour l'échantillon S2 qui contient des teneurs en Cu, Zn et Pb qui dépassent les teneurs naturelles dans les sols.
- Pour le Cr, tous les échantillons montrent qu'il ne dépasse pas les teneurs normales dans les sols.
- Pour le Ni, la teneur est dans la normale sauf pour l'échantillon S1.

D'après les analyses ICP effectuées dans le CURI, on constate qu'on a une forte teneur en Cu, Zn et Pb dans les échantillons prélevés de la station 2 (S2), donc on peut soupçonner que cette contamination est due aux activités humaines qui influencent fortement sur la qualité du sol.

III. Caractéristiques microbiologiques

Les résultats de l'analyse microbiologique des sols des sites S2, S3, S4 et S5 sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18: Dénombrement de la flore bactérienne totale, des actinomycètes et des champignons au niveau des sites S2, S3, S4 et S5.

<i>Microorganismes</i>	<i>Sites</i>			
	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>	<i>S6</i>
<i>Bactéries (UFC/g sol)</i>	4.10 ⁵	30.10 ⁵	7.10 ⁵	11. 10 ⁵
<i>Actinomycètes (UFC/g sol)</i>	1.10 ³	12.10 ³	3.10 ³	6.10 ³
<i>Champignons (UFC/g sol)</i>	5.10 ²	16.10 ⁴	10	80

D'après les résultats on constate que la population bactérienne est maximale au niveau du site d'oued Sebou avant la confluence (S3), et minimale dans le site d'oued Fès avant la confluence(S2).

La population bactérienne augmente dans l'ordre S2<S4<S6<S3

Nous avons remarqué la présence des colonies blanches et jaunâtres dont on a compté le pourcentage de chacune par rapport au nombre total de la population bactérienne dans chaque échantillon.

Le tableau 19 présente le pourcentage des colonies blanches et jaunes dans chaque échantillon. D'après cette dernière, on a constaté que la population des bactéries possédant une coloration jaune est dominante dans l'échantillon qui provient d'oued Sebou avant la confluence(S3), elles présentent 97% de la population totale. Contrairement aux autres échantillons où la population blanche qui est dominante dans les trois autres échantillons.

Tableau 19 : Pourcentage de colonies bactériennes blanches et jaunes

Echantillons	(S2)	(S3)	(S4)	(S6)
% des colonies Blanches	92,5	2,76	96,28	96,17
% des colonies Jaunes	7,5	97,21	3,7	3,82

Dans les milieux de cultures favorisant la culture des actinomycètes, on a remarqué, après 7 jours, d'incubation que les actinomycètes ne présentent pas la même espèce, puisqu'on trouve des espèces blanches ronde et d'autres filamentées accompagnées d'une odeur du sol à l'ouverture des boîtes.

Les résultats présentent le nombre total des colonies des actinomycètes sans prendre en considération la différence d'espèce.

D'après les résultats on constate que le nombre des actinomycètes est très élevé au niveau de l'échantillon qui provient d'oued Sebou avant la confluence (S3) par rapport aux autres échantillons.

Dans les milieux de cultures favorisant la culture des Champignons, on a remarqué après 7 jours d'incubation, que la différence est très significative entre les échantillons qui proviennent d'oued Sebou avant la confluence(S3) et les autres échantillons (S2, S4, S6).

Le nombre des Champignons dans l'échantillon provenant d'oued Sebou avant la confluence (S3) est très élevé par rapport aux autres échantillons.

Ces résultats montrent que la pollution aurait affecté le nombre et la diversité des microorganismes du sol.



Conclusion générale

La plaine de Saïs a des potentialités de production agricole incontestables liées à la topographie des terrains, aux sols riches et variés, et à une hydrologie bien fournie. Cependant, les sols agricoles irrigués par les eaux de surfaces enrichies en polluants présentent des risques de contamination qui peuvent avoir des effets négatifs sur leur qualité. C'est le cas des sols agricoles aux alentours des villes telles que la ville de Fès.

Les objectifs principaux de ce travail sont d'une part, de caractériser les propriétés physico-chimiques et géochimiques des sols d'Oued Fès et d'Oued Sebou aux alentours de la ville de Fès. Et d'autre part, une étude microbiologique qui caractérise les microorganismes vivant dans le sol.

Les résultats ont montré que sur le plan pédologique, les sols étudiés ont une texture sableuse à sableux-limoneux. Les analyses (pH, Conductivité, PAF, pourcentage en Carbonates...) ont montré qu'ils sont neutres à basiques, avec une conductivité électrique faible, et riche en matière organique, riche en carbonates de calcium, puisque le sol est en général a pour origine une roche calcaire.

Sur le plan géochimique, les études réalisées sur les échantillons prélevés mènent à conclure que :

- La teneur du Cd est au dessus du seuil de détection ;
- Les teneurs du Cu, Zn et Pb, dans nos échantillons, ne dépassent pas les teneurs naturelles dans les sols. Sauf pour l'échantillon S2 qui contient des teneurs en Cu, Zn et Pb qui dépassent les teneurs naturelles dans les sols.
- Pour le Cr, tous les échantillons montrent des teneurs qui ne dépassent pas les teneurs normales dans les sols.
- Pour le Ni, la teneur est dans la normale sauf pour l'échantillon S1.

Concernant l'étude microbiologique, on constate que le nombre des actinomycètes et des champignons est plus élevé dans l'échantillon S3 comparé aux autres échantillons. Donc la pollution aurait affecté le nombre et la diversité des microorganismes du sol.



Références Bibliographiques

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.

B. LEPOUTRE - Docteur-Inghaieuv : Pédogenèse et vocation forestière des sols sur marnes miocènes de la région de Fès.

BAIZE D., 1997 : Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols français : Résultats généraux du programme ASPITET.

CENTRE D'ANALYSE MINERALES – Université de Lausanne (2009) : Quartage

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.

E. DOELSCH 2004 : Eléments traces métalliques-Inventaires pour l'île de la réunion (sols, déchets et végétaux).

EI ASS K., LAACHACH A., AZZI M. 2004 : Three-stage sequential extraction procedure for metal partitioning in polluted soils and sediments. Annali di chimica, 94, by societa chimica Italiana.

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

INSTITUT PASTEUR : Cours de microbiologie du sol.

INRA ÉDITION : Centre de culture scientifique technique et industriel.

J. ROUILLER, B. SOUCHIER, S. BRUCKERT~JC. FELLER, E TOUTAIN, J.C. VEDY : Méthodes d'analyse du sol.

MOUADDINE A. 2011 : Caractérisation granulométrique, physico-chimique et géochimique des sols d'ouest de Fès. Projet de Fin d'Etude - Master Sciences et Techniques -, FST de Fès, 74p.

MOUJAHID Y. : Physico-chimie, minéralogie et dynamique du Phosphore et du Potassium dans quelques sols. Thèse de doctorat



NEJMEDDINE A., et YATRIBI A. (2000) : Impact écotoxicologique du traitement chimique des eaux usées de tanneries: Analyse technico-économique. Thèse de doctorat - Laboratoire d'écotoxicologie. Université Cadi-Ayyad. Faculté des sciences Semlalia, Marrakech, Maroc

BELLARBI M., ELSASS F., DUPLAY J., RAIS N., MOUADDINE A. 2011 : Caractérisation physique et chimique des sols de Fès-Ouest. 21^{ème} colloque international des Bassins Sédimentaires.

SOCIETE CENTRALE POUR L'EQUIPEMENT DU TERRITOIRE MAROC : 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.

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

Webliographie

http://www.biodiversite.nc/Les-microorganismes-du-sol-et-leur-role-dans-le-fonctionnement-de-l-ecosysteme_a156.html

<http://www.cnrs.fr/expobiodiversites/spip.php?article146>

http://ecosociosystemes.fr/typologie_sols.html

<http://www.wikipédia.com>



ANNEXE



Annexe I

Mode opératoire du pH :

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). On a effectué deux analyses pH, une dans l'eau et la deuxième dans le KCl.

↳ *pH/H₂O*

- Tamiser 20g de sol sec tamisé à 2 mm
- Mettre dans un bécher avec 50ml d'eau distillée et un barreau aimanté
- Placer sur un agitateur magnétique pendant 30 mn
- Mesurer avec les électrodes après étalonnage du pH-mètre

↳ *pH/KCl*

- Tamiser 20g de sol sec tamisé à 2 mm
- Mettre dans un bécher avec 50ml d'une solution de KCl N et un barreau aimanté
- Placer sur un agitateur magnétique pendant 30 mn
- Mesurer avec les électrodes après étalonnage du pH-mètre

Mode opératoire de la conductivité :

- ✓ 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;
- ✓ Etalonner 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.

Mode opératoire de la Perte à Feu :

- Peser environ 10g d'échantillon dans une coupelle en porcelaine, sur une balance de précision au 1/1000^{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 16 heures.
- Ouvrir la porte du four et laisser refroidir



- Mettre les échantillons dans un dessiccateur pour les laisser refroidir à l'abri de l'humidité
- Peser chaque coupelle en la sortant du dessiccateur juste avant la pesée.

Fomule de calcul

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

Mode opératoire de la calcimétrie :

- Peser exactement 0.250g 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 1mm et sécher (0.250g);
- Introduire avec beaucoup de précaution dans un erlenmeyer de 100ml 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 d_1 .
- 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 d_2 .

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

$$\%CaCO_3 = \frac{V}{v} * 100$$

- ↻ V : volume de CO_2 dégagé par le poids P d'échantillon
- ↻ v : Volume de CO_2 dégagé par la calcite

Mode opératoire de la granulométrie :

- Peser 150g d'échantillon dépourvu de matière organique et de carbonate par attaque préalable;
- 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;
- Régler la secoueuse à 15 min avec régime permanent et vitesse maximale;



- Après l'arrêt de la machine, récupérer le refus de chaque tamis et on le pèse.

Mode opératoire de l'attaque triacide :

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

- Après broyage du sédiment (200mm), 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 HClO_4 .
- 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 H_2O_2 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 HNO_3 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 spectroscopie d'absorption atomique (ICP) au Centre Universitaire de Recherche et d'Interface.

Annexe II



Prélèvement des échantillons du sol



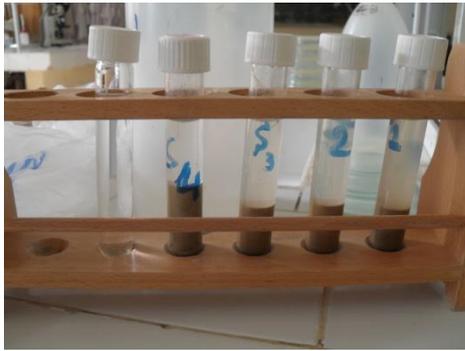
Prélèvement au bord d'Oued Sebou



Façon de prélèvement du sol : Creuser quelques centimètres en profondeur



Pesés du sol des stations S1, S3, S4 et S6 pour l'analyse microbiologique



2 g de sol dilués dans 9 ml de bouillon
TS



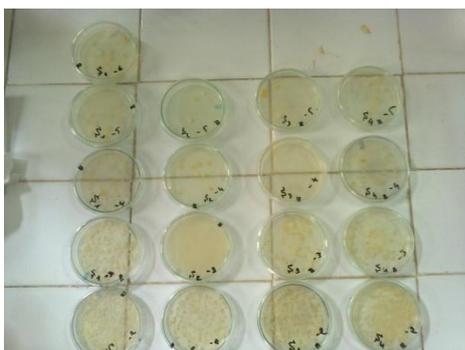
Agitation des dilutions du sol + TS



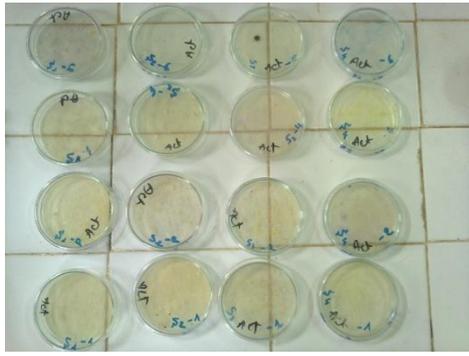
Les différentes dilutions préparées : A
partir de 10^{-1} jusqu'à 10^{-9}



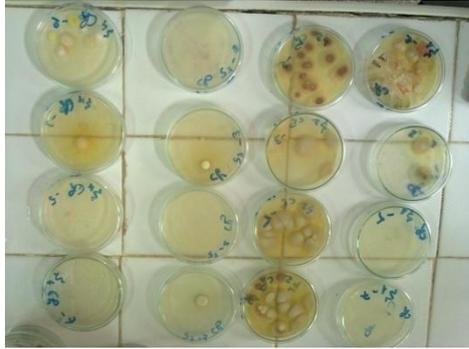
Incubation des dilutions préparées dans
la boîte Pétrie



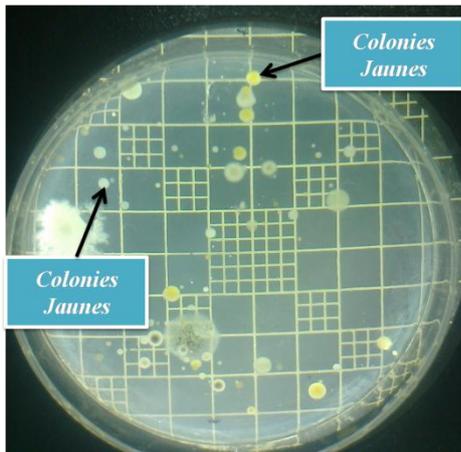
Colonies des bactéries : Comptées après
48 heures en milieu stérilisé



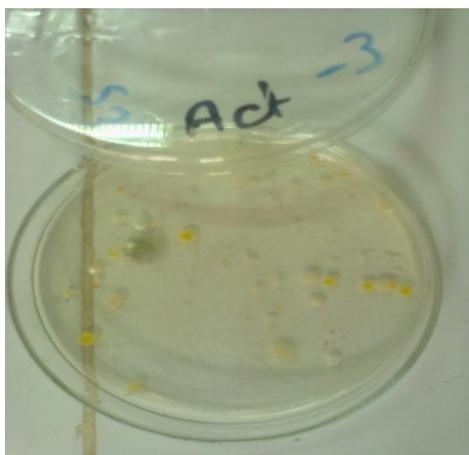
Colonies des actinomycètes : comptées
après 7 jours en milieu stérilisé



Colonies des champignons : Comptées
après 7 jours en milieu stérilisé



Colonies des bactéries : Blanches et
jaunes en microscope



Colonies des bactéries : Blanches et
jaunes

