

République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Badji-Mokhtar Annaba
Faculté des Sciences
Département de Biologie



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Magistère en écologie et environnement

Option : pathologie des écosystèmes

Impact de l'utilisation des
boues résiduaires sur les
propriétés physico-chimique des
sols de la haute Vallée de la
Medjerda wilaya de Souk Ahras

Présenté par : - M^{elle} Guerfi Zouleikha

Le Jury composé de :

Promoteur	: Mr Benslama M	Maitre de conférence
Examineur	: Mr Djemai R	Maitre de conférence
Examineur	: Mr Laifa	Professeur
Présidente	: Mdm Bourdjiba	Professeur

Promotion 2012

Résumé :

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Souk-Ahras produit des boues actives.

Les boues actives sont connues par leurs richesses en matière organique et par leurs actions améliorantes des propriétés physico-chimiques des sols.

Les sols de la région de Souk-Ahras sont connus par leur pauvreté en matière organique.

Dans le but de valoriser les boues résiduelles et afin d'améliorer les propriétés des sols de la région de Souk-Ahras, nous avons initié cette étude basée sur la caractérisation physico-chimique des sols ayant reçu un apport de boue et des sols n'ayant pas reçu de boue d'une part et une caractérisation biochimique des cultures sur ses sols d'autre part.

Nous avons également déterminé les teneurs en métaux lourds dans tous les cas.

Les résultats obtenus montrent que l'apport de boue améliore sensiblement les caractères physico-chimiques des sols, augmente la production végétative.

L'évaluation des éléments traces métalliques montre que l'apport de la boue n'a pas d'effet sensible sur une courte durée il est donc souhaitable d'augmenter la durée d'observation sur plusieurs cycles et d'expérimenter plus de doses afin de déterminer la dose optimale correspondante aux propriétés des sols de la région et de leurs conditions pédo-climatiques.

Summary:

The treatment plant waste water from the town of Souk-Ahras product of activated sludge.

The activated sludge is known by their wealth in organic matter and by their actions ameliorative of physicochemical properties of soils.

The soils of the region of Souk-Ahras are known by their low organic matter.

In order to valued, sewage sludge and to improve soil properties in the region of Souk-Ahras, we initiated this study based on the physico-chemical soil that received an injection of mud and soil N having received no mud on the one hand and biochemical characterization of crops on his land on the other.

We also determined levels of heavy metals in all cases.

The results show that the contribution of sludge significantly improves the physical and chemical characteristics of soils, vegetative production increases.

The assessment of trace metals shows that the contribution of the mud has no significant effect on short-term it is therefore desirable to increase the observation time over several cycles and test more dose to determine the optimal dose corresponding to the properties of soils in the region and their conditions of soil and climate.

ملخص:

إن من أهداف محطة معالجة و تنقية مياه الصرف الصحي لمدينة سوق أهراس إنتاج مادة الطين المنشطة. مادة الطين المنشطة معروفة بغناها بالمواد العضوية و كذا تأثيرها الجابى على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة. إن تربة منطقة سوق أهراس تعرف بأنها تربة فقيرة من المواد العضوية. بهدف تقييم مادة الطين الرسوبي وتحسين خواص التربة لمنطقة سوق أهراس، قمنا بعرض هذه الدراسة التي تستند أساسا على تحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة التي تلقت حقنة من الطين من جهة مقارنة مع التربة التي لم تتلقى من جهة أخرى، و تحديد الخصائص البيوكيميائية للمحاصيل المزروعة على هذه التربة من جهة أخرى. تم أيضا تحليل و دراسة المعادن الثقيلة في كلتا التربتين. اظهرت النتائج المتحصل عليها أن إضافة الطين المعالج حسن بدرجة كبيرة الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة مع زيادة ملحوظة في الإنتاج النباتي. إن تقييم المعادن الثقيلة اظهرت أن إضافة الطين المعالج لم يؤثر على نوعية التربة على المدى القصير. بالرغم من ذلك فإن إطالة فترة الملاحظات و كذا لعدة دورات يكون محبذ لتحديد التركيز الامثل المتعارف عليه ضمن خصائص التربة في المنطقة وظروفها البيولوجية والمناخية.

Dédicace

**Je dédis, cet humble travaille à ma très chère * Doudou*
que j'aime beaucoup et qui ma toujours entourées de son
affection et de son amour.**

**À la lumière de mes yeux et aux ailes de mes voltiges
Papa et Maman qui n'on jamais cessé de me chérir et
me soutenir durant toutes mes années d'études. Je leur
dis merci et que dieu vous garde.**

**San oublier mes adorables tantes * Dalila * et * Sadika*
qui mon encouragé et soutenus pendant tous le long de mes
études.**

**À mes chère frères *Wardi*, *Nazim* et ma très
petite chère *Zohra* qui mon aidé beaucoup.**

À tous mes amis, pour leur présence effective.

Sommaire :

Introduction	1
Chapitre 1 : Généralités sur les boues résiduaires	
I Introduction.....	3
II Les boues résiduaires.....	4
2.1 Définition de boue.....	4
2.2 Les différents types de boue.....	4
2.2.1 Les boues industrielles.....	4
2.2.2 Les boues primaires.....	4
2.2.3 Les boues biologiques ou secondaires.....	4
2.2.4 Les boues physico-chimiques.....	4
2.2.5 Les boues mixtes.....	4
2.2.6 Les boues d'aération prolongée.....	5
2.3 Caractéristiques des boues.....	5
2.3.1 Caractéristiques physico-chimiques.....	5
2.3.1.1 Matière sèche MS et siccité S.....	5
2.3.1.2 Matières en suspension MES.....	5
2.3.1.3 Fraction volatile FV (en % des MS).....	5
2.3.1.4 Indice de boue SVI (Sludge Volume Index).....	5
2.3.2 Caractéristique biologique.....	5
2.3.2.1 Composition des matières organiques.....	5
2.3.2.2 PCI (pouvoir calorifique inférieur).....	6
2.3.2.3 Composition des matières minérales.....	6
2.3.2.4 Micropolluants.....	6
2.3.3 Caractéristiques physiques.....	6
2.3.3.1 Aptitude au convoyage et au stockage.....	6
2.3.3.2 Masse volumique.....	6
2.3.3.3 Viscosité.....	7
2.3.3.4 Granulométrie.....	7
2.3.3.5 Conductivité thermique.....	7

2.4	Les phases de traitement d'une boue	7
2.4.1	Le pré traitement de l'eau	7
2.4.1.1	Le dégrillage.....	7
2.4.1.2	Dessablage	7
2.4.1.3	Dégraissage et de déshuilage	7
2.4.2	L'épaississement	8
2.4.2.1	Les épaisseurs gravitaires	8
2.4.2.2	Les épaisseurs stockeurs	8
2.4.3	Notion de Stabilité d'une boue	8
2.4.4	La déshydratation.....	9
2.4.5	Le séchage.....	10
2.4.5.1	Le Lit de séchage	10
2.4.6	Incinération ou disposition	10
2.4.7	Exploitation	11
2.5	Facteurs influencent la boue.....	11
2.5.1	L'action de l'eau	11
2.5.1.1	Infiltration de l'eau dans le sol	11
2.5.1.2	L'évaporation	12
2.5.1.3	L'évapotranspiration.....	12
2.5.2	Le ruissellement.....	12
2.5.2	L'action physico-chimique	12
2.5.2.1	L'échange d'ions	12
2.5.2.2	L'effet tampon	13
2.5.4	La présence d'air dans le sol	13
2.5.5	La nitrification-dénitrification	13
2.5.6	Apport en éléments nutritifs	14
2.5.6.1	Enrichissement de sol en microorganismes.....	15
2.5.6.2	Enrichissement de sol en micropolluants	15
2.5.6.3	Les micropolluants organiques	15
2.5.6.4	Les micropolluants minéraux.....	16
2.5.6.4.1	Les éléments essentiels pour la vie des plantes	16
2.5.6.4.2	Les éléments toxiques.....	17

2.6	Utilisation agricole des boues.....	18
2.6.1	L'application des boues sur le sol.....	19
2.6.1.1	Le transport.....	19
2.6.1.2	Le mode d'épandage.....	20
2.7	Relation boue sol.....	20
III	Généralité sur le sol	21
3.1	Définitions et description générale.....	21
3.2	Les phases du sol.....	21
3.2.1	La phase solide.....	21
3.2.2	La phase liquide.....	22
3.2.3	La phase gazeuse.....	22
III	Impacte des boues sur l'environnement.....	23
3.1	La pollution des sols par les métaux lourds	23
3.1.1	Définition de la pollution	23
3.1.2	Pollution des sols.....	23
3.1.3	Rôle des paramètres physico-chimiques dans la pollution des sols.....	24
3.2	Les métaux lourds dans le sol	25
3.3	Les métaux lourds dans la boue.....	26
3.4	Transfert des métaux lourds.....	26
3.4.1	Les méthodes de stabilisation des métaux lourds dans le sol.....	27
3.4.1.1	Les phosphates.....	27
3.4.1.2	Les zéolites.....	27
3.4.1.3	Les argiles.....	28
3.4.1.4	Les oxydes métalliques.....	28
3.4.1.5	Les boues.....	29
3.4.1.6	La chaux.....	29
3.5	La gestion des risques.....	30
Chapitre 2 : Matériels et méthodes :		
I	Présentation de la zone d'étude (la zone N°1).....	31
1.1	Localisation géographique.....	31
1.2	La situation géologique.....	34
1.3	Situation géomorphologique.....	36
1.4	Réseau hydrographique.....	36
1.5	Situation climatique.....	37

1.5.1 Précipitation.....	37
1.5.2 Température.....	39
1.5.3 Synthèse climatique.....	40
1.5.3.1 Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	40
1.5.3.2 Détermination d'étage bioclimatique de Souk-Ahras.....	41
1.5.3.3 Calcul du quotient pluvio thermique d'Emberger.....	42
1.6 Humidité relative.....	43
1.7 Les vents	43
1.7.1 Vitesse moyenne mensuelle du vent.....	44
1.8 Les Phénomènes climatiques accidentelles.....	44
1.8.1 La neige.....	44
1.8.2 La grêle.....	44
1.8.3 Les gelées.....	45
1.8.4 Le siroco.....	45
1.8.5 Durée d'insolation.....	46
1.8.6 Evaporation du plan d'eau.....	46
1.9 Couverture forestière.....	47
1.10 Occupation des sols.....	47
1.11 L'activité socio-économique.....	50
II La zone d'étude la station d'épuration	51
2.1 Les Problèmes Rencontrés (Souk Ahras)	51
2.2 Solutions proposées	52
3.3 La station de traitement des eaux usées	52
2.4 Situation géographique de la commune de Hannanacha	54
2.4.1 Géomorphologies de l'oued Medjerda	54
2.4.1.1 Présentation générale du bassin versant Mellegue Medjerda	54
III Prélèvement des échantillons.....	56
IV Au laboratoire.....	56
4.1 Préparation du sol	56
4.2 Méthode d'analyse physico-chimique.....	56
4.3 Les analyses physico-chimiques.....	56
4.3.1 Le pH	56
4.3.1.1 Le pH eau	56
4.3.1.2 Le pH KCl.....	57

4.3.2 La conductivité (C.E)	57
4.3.3 L'humidité hygroskopique (H).....	57
4.3.4 La matière organique (MO).....	57
4.3.5 La porosité.....	57
4.3.6 La densité apparente (D _A).....	57
4.3.7 La densité réelle (D _R).....	57
4.3.8 La granulométrie.....	58
IVI Le protocole expérimentale	60
5.1 Paramètres physico-chimiques.....	60
5.1.1 PH eau	60
5.1.2 PH Kcl.....	60
5.1.3 Conductivité électrique	60
5.1.4 Calcaire total	60
5.1.5 L'humidité	60
5.1.6 La matière organique.....	60
5.1.7 La granulométrie.....	61
5.1.8 Incinération	61
5.2 Paramètres biochimiques	62
5.2.1 Dosage de la chlorophylle.....	62
5.2.2 Dosage de la proline	62
5.2.3 Dosage des métaux lourds.....	63
Chapitre 3 : résultats et discussions :	
Tableau représentatif des résultats	64
Conclusion.....	77
Résumé.....	
Références bibliographiques.....	

Liste des figures :

1	Cycle de l'azote minéral	14
2	Décaissement d'un sol pollué par un réservoir de goudron.	23
3	Restes d'une batterie au plomb abandonné en foret.	23
4	Carte de situation géographique de Souk-Ahras.	31
5	Découpages administratifs du bassin de l'oued Medjerda.	32
6	La carte lithologique de Souk Ahras	34
7	La carte bioclimatique de Souk-Ahras.	37
8	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de la région de Souk-Ahras.	40
9	La carte d'occupation des terres de Souk-Ahras.	48
10	Image satellite de la station de traitement des eaux polluées de Souk-Ahras	52
11	Le triangle texturale	58
12	Teneur moyenne en proline des tiges en mg/g de PF	64
13	Teneur moyenne en proline des feuilles en mg/g de PF	65
14	Teneur moyenne en proline des racines en mg/g de PF	65
15	La teneur moyenne en chlorophylle a (mg/g de PF)	66
16	La teneur moyenne en chlorophylle b (mg/g de PF)	67
17	La teneur moyenne en chlorophylle a+b (mg/g de PF)	68

Liste des tableaux :

1	La représentation de la position géographique de Souk-Ahras.	30
2	La lithologie du Monts de Souk-Ahras	33
3	Précipitations mensuelles (mm) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1992-2006).	36
4	Température mensuelle (°C) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1992-2006).	38
5	Températures moyenne mensuelles (°C) ; Précipitations mensuelles (mm) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1986-2004).	39
6	Données concernant les calculs du quotient pluviométrique d'Emberger.	41
7	Humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle.	42
8	Fréquence moyenne interannuelle des vents par directions.	42
9	Vitesse moyenne mensuelle du vent.	43
10	Vitesse moyenne mensuelle du vent.	43
11	Nombre moyen mensuel de jours de grêle.	43
12	Nombre de jours de gelée.	44
13	Nombre de jours moyen mensuel de siroco.	44
14	Durée moyenne mensuelle de l'insolation.	45
15	Valeurs mensuelles d'évaporation.	45
16	Occupation des sols des Monts de Souk-Ahras.	47
17	La situation socio-économique de la région de Souk-Ahras.	49
18	Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques du sol.	60
19	Les résultats des analyses granulométriques.	62
20	Dosage des métaux lourds.	63
21	Dosage de la proline.	64

22 Dosage de la chlorophylle.	66
23 Valeur du taux de cendre.	69

Introduction :

Progrès, développement, et consommation sont parmi les termes qui caractérisent le mieux de notre vie actuelle.

En revanche, l'amélioration de notre mode de vie entrepris à travers l'industrialisation de notre société à engendré des pollutions qui fragilisent et détruisent notre environnement vitale.

Le sol, traditionnellement utilisé comme le support des activités humaines a, durant des millénaires, été principalement dévolu à l'agriculture. Depuis une époque récente, on lui a reconnu un rôle majeur dans l'écosystème : le rôle d'interface entre l'air, les eaux de surfaces ou de nappe, et toutes les activités humaines. **(ROBERT, 1996).**

Le sol est un lieu de transit ou d'accumulation de la plus part des polluants, qu'ils soient de nature minérale ou organique. Une capacité auto-épuratrice a été reconnue au sol, capacité dont les limites ont rarement été atteintes au cours l'époque préindustrielle.

L'inquiétude est née de la forte augmentation des contaminations liées au développement du système technique de la société industrielle car on constate que si les processus de biodégradation et donc d'épuration sont relativement importants pour les composées organiques, il n'en est pas de même pour des composés minéraux et notamment les éléments en traces, qui la plupart de temps sont immobilisées sous des formes variées et encore mal connue.

La connaissance de l'origine et de la distribution des éléments en traces dans les sols est absolument indispensable pour diagnostiquer le niveau d'un état de contamination, en pronostiquer les effets possibles à moyen et long terme et surtout contrôler les risques en traitant le sol ou en modifiant son usage ou, encore, en maîtrisant mieux les sources de polluants. **(JACQUES BERTHELIN, ET PAUL-HENRI BOURRELIÉ 1998).**

Deux grands types de déchets ou de résidus, les boues de station d'épuration d'une part, les lisiers et en particulier ceux des élevages industriels d'autre part, représentent actuellement des sources importantes d'éléments en traces, qui, en cas d'épandage, s'accumulent dans les sols ou serait transférés vers les eaux et les plants. Une meilleure définition des rations alimentaires des animaux d'élevage, une formulation plus efficace des métaux ajoutés et une production de boues d'épuration dépourvues de métaux.

Cette situation alarmante a heureusement suscité une prise de conscience universelle pour la protection et le sauvegarde de notre environnement, l'épuration des eaux de rejet avant leur déversement dans la nature constitue un moyen efficace pour la lutte contre la pollution.

Cependant les boues résiduelles générées par cette activité constituent et une nouvelle menace pour l'environnement de par de leur forte concentration en charge polluante.

Dans ces conditions, on n'aurait pas protégé notre environnement mais uniquement transféré la pollution des eaux de rejet vers un nouveau sous produit inconnu, dangereux et difficile à éliminé.

Cependant, le moyen le plus adéquat pour l'élimination des boues résiduelles serait leur valorisation agricole.

La wilaya de Souk-Ahras dispose de trois stations d'épuration des eaux polluées ou usées (STEP) à faible charge polluante :

- STEP de Souk–Ahras (ONA).
- STEP de Hannancha
- STEP de Sedrata

Notre étude sera basée sur les deux stations d'épurations des eaux usées, celle de la wilaya de Souk-Ahras (ONA), et l'autre de la région de l'Hannancha.

La démarche adoptée consiste en un échantillonnage dans les premiers 20cm du sol et arrivé jusqu'au 40cm selon une grille de 1km²; une caractérisation des propriétés physico-chimiques de certain échantillons. Le document est articulé en trois chapitres, dans le premier chapitre nous avons décrit quelques généralités sur les boues résiduelles, les sols et les processus pédogénétiques.

La présentation de la zone, matériel et méthode ont fait l'objet du deuxième chapitre. Les résultats ont été présentés et discuter dans le chapitre trois et nous avons terminé ce travail par une conclusion et quelques recommandations.

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

I- Introduction :

Le parc des stations d'épuration d'eaux usées urbaines en Algérie est constitué essentiellement de procédés d'épuration à « BOUES ACTIVEES », et à un degré moindre « LAGUNAGE NATUREL ».

Ce dernier produit des boues de façon périodique (période variant de 5 à 10 ans), une périodicité assez longue qui ne nécessite pas la gestion de ces boues au niveau de la station. Le procédé à boues activées produit des boues de manière régulière (Journalière) qui oblige leur gestion sur le site de la station avant destination finale. (GUY ATLAN 2003).

De cette contrainte est née la filière de traitement des boues en parallèle avec celle de l'eau pour une meilleure maîtrise du devenir de ce sous produit de traitement.

Les procédés de traitement des boues existants au niveau des stations d'épuration dépendent de l'origine et de la nature des boues produites par ces stations

Ainsi les stations à moyenne charge sont dotées de procédé de stabilisation et celles à faible charge ne le sont pas car elles produisent des boues ayant été déjà stabilisées au niveau de la filière de traitement de l'eau. (ONA2004).

De par sa vocation, sa raison d'être une station d'épuration existe pour protéger le milieu environnant notamment la ressource hydrique.

On a souvent tendance à confondre entre le rôle principal et les rôles secondaires d'une station d'épuration.

Nous insistons pour dire que la protection de la ressource hydrique est le rôle principal de la station à savoir eau souterraine, eau de surface, eau de baignade (zone côtière). Les rôles secondaires restent bien entendu la réutilisation des eaux épurées en agriculture et à usage industriel ainsi que la valorisation des boues produites en agriculture. (ONA 2004).

II- Les boues résiduaires :

2.1 Définition de boues :

Les boues sont définies comme un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent. (ADEME, 2001).

2.2 Les différents types de boues :

Selon l'origine, on pourra distinguer les types de boues suivantes :

2.2.1 Les boues industrielles :

C'est l'ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production. (SALHI, S 2003).

2.2.2 Les boues primaires :

Obtenues par simple décantation d'un résidu insoluble. Ces boues correspondent à la pollution particulaire directement décantable. Elles sont produites par les industries de la cellulose, les industries de traitement des métaux, des minerais, les industries agroalimentaires générant des déchets fibreux. (ADEME, 1999).

2.2.3 Les boues biologiques ou secondaires :

Sont issues d'un bassin aéré ou d'une cuve anaérobie ; des industries chimiques et pharmaceutiques, agroalimentaires (laiteries, boissons...), textiles et, plus généralement, de toute industrie rejetant de la pollution organique biodégradable.

Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées. (MURILLO, M 2004).

2.2.4 Les boues physico-chimiques :

Sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit en tête de traitement, soit en traitement de finition, en tertiaire, on retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes, voire d'autres métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaines similitudes avec des boues d'eau potable. (ADEME, 2001).

2.2.5 Les boues mixtes :

C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires.

Elles existent au niveau des STEP (station de traitement des eaux polluées) dotées d'une filière de traitement complète. (REMY ALBRECHT 2007).

2.2.6 Les boues d'aération prolongée :

Ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire.

Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures. (ONA 2004).

2.3 Caractéristiques des boues :

2.3.1 Caractéristiques physico-chimiques :

2.3.1.1 Matière sèche MS et siccité S :

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. MS est exprimée en g/L. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement. (KORMANIK, R.A. 1972).

2.3.1.2 Matières en suspension MES :

Si les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées où la procédure de mesure des MES par filtration sur membrane est plus appropriée.

Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en MS, soit en MES sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les MES), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$MES = MS - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}]$. (EMILIE JARDE 2002).

2.3.1.3 Fraction volatile FV (en % des MS) :

C'est le rapport des matières volatiles MV (en g/L) sur les matières sèches MS (en g/L). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...). (DUDKOWSKI, A 2000).

2.3.1.4 Indice de boue SVI (Sludge Volume Index) :

Il caractérise l'aptitude à la décantation, et donc ultérieurement à l'épaississement puis à la déshydratation d'une boue issue d'un traitement biologique. Il est à relier indirectement aux MS et MV. (AMADOU, HAOUA 2007).

2.3.2 Caractéristique biologique :

2.3.2.1 Composition des matières organiques :

La connaissance de la composition élémentaire de la boue en terme de C, H, O, N, S permet de déterminer l'aptitude d'une boue à être dégradée biologiquement (digestion anaérobie avec production de biogaz) ou thermiquement (incinération) par écriture de la stœchiométrie de

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

dégradation. Elle est exprimée par rapport aux MV, voire par rapport aux MV dégradables uniquement si l'on s'intéresse à la stabilisation biologique. $C_5H_7O_2N$ est souvent pris comme « formule brute » d'une boue biologique. (ECHAB, A 1998).

2.3.2.2 PCI (pouvoir calorifique inférieur) :

Son importance est primordiale en incinération. Généralement exprimé par rapport aux MV, il est à relier au C, H, O, N, S par écriture de la stœchiométrie de combustion. Différentes approches (formule de Dulong, théorie des électrons disponibles, etc.) permettent de le calculer approximativement, à défaut de le mesurer expérimentalement à la bombe calorimétrique. (HOODA, P. S, ALLOWAY, B.J 1993).

2.3.2.3 Composition des matières minérales :

Silice, alumines, carbonates et phosphates constituent les éléments les plus couramment rencontrés, à l'exception des boues minérales d'industries spécifiques. Carbonates et phosphates ont ainsi leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue ; la silice est un élément défavorable en centrifugation.

Par ailleurs les chlorures, essentiellement solubles, sont peu appréciés en cas d'utilisation des cendres de boues incinérées en valorisation dans le béton. (TAUZIN, C, JUSTE, C1986)

2.3.2.4 Les Micropolluants :

Ils doivent être caractérisés en cas d'épandage agricole comme en cas d'incinération, car ils peuvent alors se retrouver dans les fumées. Les législations se sont longtemps tenues aux seuls micropolluants minéraux en limitant les rejets des métaux lourds suivants : plomb, chrome, cuivre, manganèse, nickel, arsenic, cadmium et mercure. (SUH, Y.J AND, ROUSSAUX, P, 2002).

2.3.3 Caractéristiques physiques :

Afin de concentrer, chauffer, convoyé et stocker la boue, il est indispensable de préciser ses propriétés physiques.

2.3.3.1 Aptitude au convoyage et au stockage :

La boue peut présenter différents états liés à sa rhéologie dont il est important de connaître les limites afin de dimensionner les capacités de pompage, convoyage et stockage. (RADA, A, 1996).

2.3.3.2 Masse volumique :

Elle permet de calculer le volume de boue à convoyé. En l'absence de mesure, pour une boue liquide ou pâteuse, on peut considérer en première approximation la pondération suivante :

$$r = 1\ 000 (1 - S) + [900 FV + 2\ 700 FM] S$$

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

FM = (1 – FV) représente la fraction de matière minérale, de masse volumique 2 700 kg/m³, la fraction organique ayant une masse volumique proche de 900 kg/m³. (ADEME, 2001).

2.3.3.3 Viscosité :

Les boues fraîches, dont la concentration dépasse rarement 10 à 15 g/L, ont un comportement newtonien. Leur viscosité est alors de l'ordre de quelques mPas. Quand la teneur en MS prend des valeurs plus importantes, la boue adopte un comportement généralement rhé fluidifiant, modélisable. (SEDKI, A ,1995).

2.3.3.4 Granulométrie :

Idéalement, la valeur du diamètre particulaire permettrait de connaître, d'après la loi de Stokes, l'aptitude d'une boue à épaissir. La distribution granulométrique d'une boue est cependant difficile et longue à mesurer. Les rares mesures effectuées montrent en outre une forte dispersion autour du diamètre moyen. Par ailleurs, si la taille est généralement un critère favorable, des particules de taille importante peuvent entraîner des problèmes de convoyage (dépôts) ou d'abrasion (silice), notamment en cas de centrifugation. (ADEME, 1999).

2.3.3.5 Conductivité thermique :

Ce paramètre ne sert que dans le cas d'une modélisation fine du séchage indirect ou d'échangeurs où des calculs de coefficients d'échange sont nécessaires. (AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A. 2000).

2.4 Les phases de traitement d'une boue :

2.4.1 Le pré traitement de l'eau :

2.4.1.1 Le dégrillage :

Le dégrillage a pour but de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements (BRAME, 1986).

2.4.1.2 Dessablage :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de perturber les stades de traitement suivants. (MOREL, 1977).

2.4.1.3 Dégraissage et de déshuilage :

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée dans une enceinte liquide de volume suffisant.

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimal de boues de fond fermentescibles.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide. est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les eaux (DUCHENE, 1990).

2.4.2 L'épaississement :

L'épaississement permet d'augmenter la concentration en solide de la boue.

Les deux techniques principales sont la décantation et la flottation.

- Réduction du volume de la boue.
- Production d'une boue plus concentrée en MS.
- Évacuation d'une eau claire, peu chargée, qui est recirculée en tête de station. (JOCTEUR MONROZIER, L. 2001).

2.4.2.1 Les épaisseurs gravitaires :

- Hersés ou non, ils ont pour fonction d'épaissir et non de stocker.
- Les temps de séjours des boues sont au maximum de trois jours.
- Le mode de gestion de ces ouvrages prévoit que le surnageant soit évacué. (ONA 2004).

2.4.2.2 Les épaisseurs stockeurs :

- Ce sont des ouvrages mixtes assurant simultanément épaissement et court stockage.
- Le recours à ce mode de gestion devrait être interdit. En effet, il est responsable de nombreux dysfonctionnements tant sur la file eau que sur la file boue. Dans la pratique, leur usage est encore hélas assez courant. (ONA 2004).

2.4.3 Notion de Stabilité d'une boue :

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues.

La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie dans des digesteurs avec production de biogaz

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

(méthane), ce dernier procédé réduit sensiblement la masse de matières organiques (30% environ)..

La stabilisation chimique bloque l'activité biologique et donc l'évolution de la boue par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50% de la matière sèche), ce qui a pour conséquence d'élever le pH.

La stabilisation par Chaulage et compostage se pratique sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Pour les boues primaires ou physico-chimiques, le chaulage est l'unique mode de stabilisation. (HUE, 1995).

2.4.4 La déshydratation :

- Réduction de la teneur en eau de la boue (humidité inférieure à 88% ce qui correspond à des siccités supérieures à 12%.
- L'aspect de la boue obtenue diffère ; il est pâteux, solide ou sec. (KROGH NET BRUUS, PEDERSEN, 1997).

Procédés de Déshydratation :

- Il existe plusieurs procédés de déshydratation qui sont choisis selon le contexte local et l'objectif à atteindre :
 - Système drainant : c'est un égouttage à travers un système filtrant.
 - Filtre-presse
 - Filtre à bandes } Filtration sous pression
 - Centrifugation : c'est une décantation accélérée.
 - Lit de séchage : c'est une filtration et évaporation → naturelle.
- Nous ne verrons que les procédés existants au niveau des installations gérées par l'ONA c'est-à-dire : lits de séchage, filtres à bandes et filtres-presses.
 - Ces deux derniers procédés nécessitent un conditionnement préalable de la boue (c'est-à-dire la rendre apte à la déshydratation) ; ce sera un conditionnement réalisé par l'ajout d'un réactif chimique:
 - C'est de la chaux et du chlorure ferrique pour les Filtres-presses.

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

- C'est du poly électrolyte pour les filtres à bande. (ONA 2004).

2.4.5 Le séchage :

Le séchage ou l'incinération ne sont généralement appliqués qu'à des boues ayant subi une déshydratation préalable car l'élimination mécanique de l'eau est beaucoup moins coûteuse que son évaporation. Le séchage peut être nécessaire soit pour faciliter l'incinération ultérieure de la boue soit pour faciliter sa valorisation agricole sous forme sèche. (ADEME 1996).

2.4.5.1 Le Lit de séchage :

Le procédé ne nécessite pas un conditionnement chimique au préalable.

- C'est une filtration et évaporation naturelles de la boue sur une aire de séchage composée de :
 - Une couche supérieure de sable de 5 à 10 cm. (calibre 0,5 à 15 mm).
 - Une couche intermédiaire de gravier fin de 10 cm (calibre 5 à 15 mm).
 - Une couche inférieure de gros graviers de 20 cm. (calibre 10 à 40 mm).
 - Les matériaux reposant sur un sol imperméabilisé et nivelé.
 - Des drains en ciment ou en plastique sont disposés avec une légère pente sur la couche de base.

La boue passe par deux étapes :

- Filtration naturelle à travers le lit : perte jusqu'à 80% de la teneur en eau.
- Evaporation naturelle (Séchage atmosphérique). (ONA 2004).

2.4.6 Incinération ou disposition :

Un procédé d'incinération englobe évidemment toujours une phase de séchage avant l'inflammation de la partie organique combustible de la boue.

Le pouvoir calorifique des boues est un critère important dans les coûts d'opération de l'unité. Prévoir aussi le Traitement des fumées. Valorisation agricole ou mise en décharge. (GABARDA, 2000).

2.4.7 Exploitation :

Les paramètres à suivre pour ce procédé :

- Veiller à l'enlèvement de toute végétation.
- Arroser le lit avant une coulée de boues.
- Alimenter le lit avec une boue pas trop épaisse.
- La couche de boues ne doit pas dépasser : 20 cm pour des boues épaissies, 10 cm pour des boues digérées.
- Le lit sera dégagé (enlèvement des boues) avant chaque nouveau remplissage.
- L'enlèvement des boues se fait à l'aide d'une fourche à cailloux.
- Apport en sable nécessaire (jusqu'à 5 cm) après quelques enlèvements sur un même lit. (HASSELGREN, 1999).

2.5 Facteurs influencent la boue :

2.5.1 L'action de l'eau :

Lorsqu'on déverse sur le sol des boues liquides, celles-ci contiennent environ 95% d'eau qui, comme toute eau tombant sur le sol, a plusieurs cheminements possibles :

.Infiltration dans le sol

.Evaporation

.Evapotranspiration par les plantes

.Ruissellement sur le sol. (WARD, T.E. & LARSON, R.J. 1989).

2.5.1.1 Infiltration de l'eau dans le sol :

Le facteur majeur de l'infiltration est la texture du sol. Si celui-ci est très perméable la majeure partie de l'eau s'infiltré entraînant avec elle une grande partie des sels dissous. Si au contraire le sol présente une certaine imperméabilité, l'eau stagne sur le sol ou ruisselle, dans le premier cas on risquera la fermentation anaérobie au niveau du sol et le dégagement d'odeurs nauséabondes, et dans le second une partie des substances utiles sera éliminée. En générale, la

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

croute de terre qui recouvre le sol assimile une grande partie de l'eau surtout si elle a été labourée. (ROBERT, M, 1996).

2.5.1.2 L'évaporation :

Le vent, la faible humidité de l'air et la chaleur favorisent l'évaporation, pour le climat. (Ademe, 1995).

2.5.1.3 L'évapotranspiration :

Il s'agit de la consommation de l'eau par la plante et sa restitution dans l'atmosphère. Ce phénomène est très important pendant la période végétative de la culture traitée. L'épandage de boues liquides, pendant ce laps de temps, permet d'apporter au sol la totalité ou tout au moins une grande part de cette eau consommée par la plante. (BOUGRIER, C ,2005).

Dans le cas de boues déshydratées ou pulvérulentes, une irrigation complémentaire sera nécessaire.

2.5.2 Le ruissellement :

L'application de boues liquides sur des terrains en pente favorise le ruissellement des boues. On préconise de ne pas utiliser ce mode d'épandage pour des pentes de plus de 5%. Le ruissellement implique l'entraînement des sels contenus dans l'eau, des matières en suspensions de faible granulométries parfois l'érosion du sol. (KELLING, K.A, PETERSON, A.E, WALSH L.M).

Le drainage des sols peut être rendu nécessaire par les conditions pédologiques et climatiques.

2.5.3 L'action physico-chimique :

Les pédologues indiquent que le sol assimile bien les boues du fait de ses propriétés physiques (granulométrie, filtration des liquides...) mais aussi de ses propriétés physico-chimiques. (DUDKOWSKI, A, 2000).

2.5.3.1 L'échange d'ions :

Les sols possèdent la propriété d'échanger les cations ce qui présente une grande importance pour la rétention des métaux contenus dans les boues qui sont échangés avec des ions plus labiles comme le sodium, le calcium, ou l'aluminium. Par contre, les anions ne sont guère

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

échangés et se retrouvent dans les couches inférieures comme les nitrates non utilisés par les plantes. (CELINE PERNIN2003).

2.5.3.2 L'effet tampon :

Le caractère amphotère des sols leur confère un pouvoir tampon, ceci implique un changement du pH des boues et, dans le cas de pH proche de la neutralité, la solubilité des métaux lourds est largement inhibée. On préconise d'éviter l'épandage des boues sur des terrains dont le pH est inférieur à 6. (GABARDA 2000).

2.5.4 La présence d'air dans le sol :

L'air introduit par le labourage des sols ou par capillarité permet des réactions d'oxydation de substances contenues dans les boues par l'intermédiaire de microorganismes aérobies contenus dans le sol. (KIRKHAM, M.B, 1974).

2.5.5 La nitrification-dénitrification :

Les substances azotées apportées par les boues représentent 2 à 6% de la matière sèche, il s'agit essentiellement de matière organique. Les bactéries contenues dans le sol utilisent l'azote assimilable pour leur développement, et, par des mécanismes complexes assurent la minéralisation des composés azotés en ammoniac puis en nitrate et parfois même en azote gazeux. C'est le phénomène de nitrification-dénitrification qui a déjà été partiellement réalisés lors du traitement des boues, particulièrement dans la digestion des boues et en moindre proportion dans les boues activées. (SOMMERS, L.E, NELSON, D.W, TERRY, R.E, SILVIERA, D.J, 1967).

Ces réactions présentent l'avantage de réduire le taux de matière organique dans les boues, et par conséquent, dans le sol, mais la teneur en nitrates, nitrites et ammoniac augmente dans le sol et les risques de pollution des nappes par infiltration et des cours d'eau par érosion sont accrus.

L'azote minéral est cependant plus assimilable par les plantes qui en consomment au cours de leur vie végétative une part importante. (*fig. 1*).

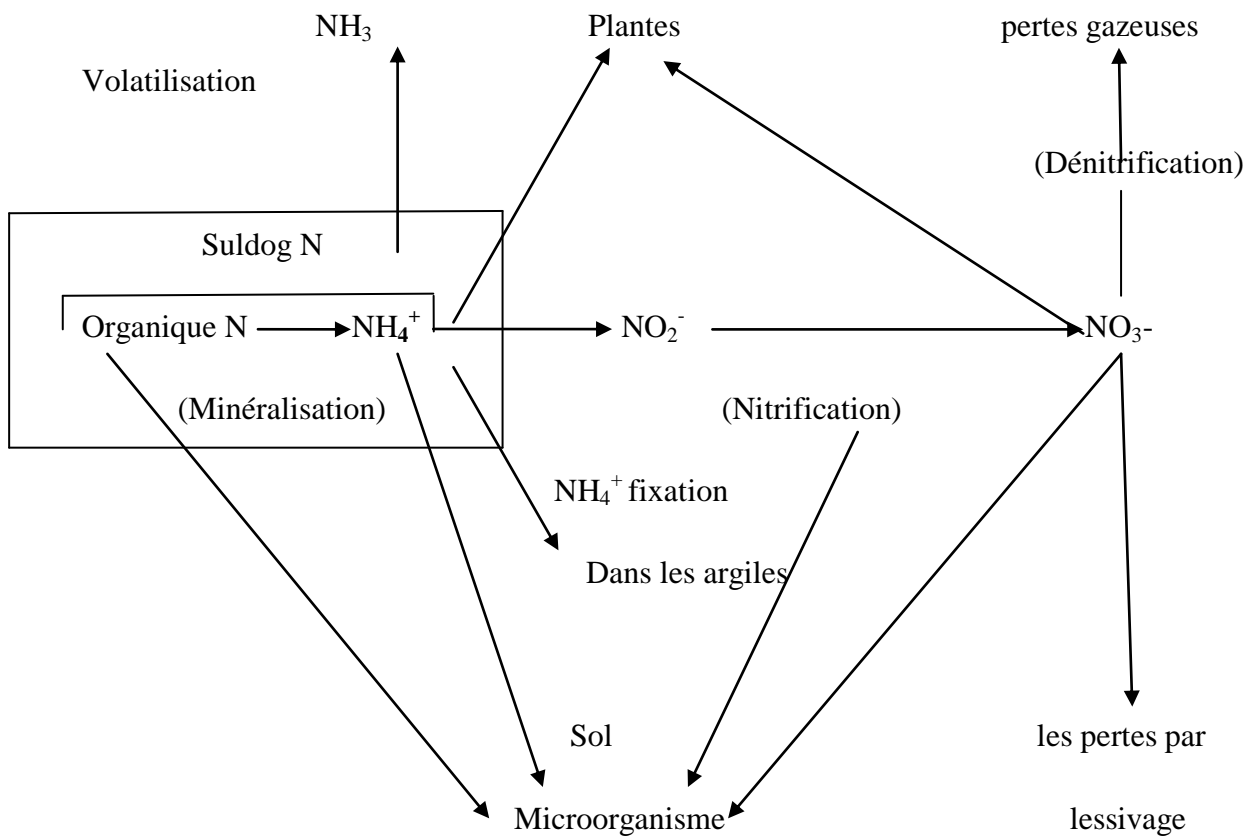


Figure N°0 1 : Cycle de l'azote minéral. (SOMMERS, L.E, NELSON, D.W, TERRY, R.E, SILVIERA, D.J, 1967).

2.5.6 Apport en éléments nutritifs :

Les boues contiennent certains éléments utiles à la croissance des plantes, ce sont l'azote, le phosphore, le potassium et le magnésium. Les quantités varient d'une boue à l'autre selon l'origine et le mode de traitement. (PICKFORD, J. 1971).

Il semble que les cultures les plus favorisées par la présence de l'azote soient les herbages et le maïs, puis les céréales. (DEBRUCK, J, VOMEL, A, 1972).

Le phosphore existant en quantité moindre que l'azote.

Quant aux trois autres éléments potassium, calcium et magnésium, ils sont utilisés comme oligo éléments par les plantes plus que comme éléments de développement.

2.5.6.1 Enrichissement du sol en microorganismes :

Le sol comme les boues contient un nombre très élevé de germes banaux, mais dans ces dernières sont concentrés des microorganismes d'origine fécales donc à priori dangereux pour l'homme et pour les animaux. (HAYS, B.D, 1977).

Il reste deux problèmes difficiles à résoudre : les parasites dont certains restent plusieurs années dans le sol et les virus dont les études en laboratoire ne donnent qu'une vue partielle actuellement du fait de la difficulté de la mise en œuvre des observations. (COOPER, R.C, PITTER, J.L, LEONG, C, 1975).

2.5.6.2 Enrichissements du sol en micropolluants :

Les boues contiennent, en faible quantité, de nombreux produits qui peuvent soit toxiques pour les plantes (le bore par exemple) soit présenter des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes (le cadmium par exemple). De nombreuses études ont été effectuées pour évaluer les risques tant en laboratoire que sur le terrain. (SCHÄFER, U 2004).

2.5.6.3 Les micropolluants organiques :

Les analyse de plantes indiquent dans la plupart des cas une certaine teneur en :

- **Pesticides** : leur origine n'est pas dans les boues épandues mais dans le traitement intensif de certaines cultures avec transport par érosion ou par dissémination dans l'air.
- **Les détergents** : sont largement utilisés dans les ménages et présentent plusieurs inconvénients pour les boues. Dans un premier temps, la présence de tensioactifs perturbe la digestion anaérobie des boues et ils influent sur les propriétés d'échange d'ions du sol et enfin ils ont une action néfaste sur les microorganismes et sur les plantes. (LOUE, A 1993).
- **Les poly électrolytes** : largement utilisés pour la déshydratation des boues présentent des propriétés électrochimiques qui pourraient influencer sur la physico-chimie du sol et des plantes. (MA L.Q, RAO G.N, 1997).

2.5.6.4 Les micropolluants minéraux :

Il s'agit essentiellement de ce qu'on nomme *des métaux lourds*, qui ont été très largement étudié en laboratoire et sur le terrain pour leur rôle dans le développement des cultures irriguées par des boues liquides ou non. (GODIN, P, 1982).

Certains de ces éléments se trouvent naturellement dans le sol comme le cuivre, le fer, le zinc... et sont indispensables à la croissance des plantes, alors que d'autres sont apportés par l'homme et peuvent avoir des conséquences fâcheuses. (MILLER, R.W, AZZARI, A.S, GARDINER, D.T, 1995).

2.5.6.4.1 Les éléments essentiels pour la vie des plantes :

Ces substances peuvent être des anions ou des cations, on les trouve généralement dans le sol. L'excès de ces éléments n'est pas nuisible sauf peut-être en ce qui concerne le soufre qui en milieu aérobie conduit à l'ion sulfate et peut abaisser le pH du sol. (HANSEN, J.A., TJELL, J.C.)

- **Le cuivre :** est présent dans les plantes (de 5 à 20 p.p.m). On le trouve dans le sol sous forme de Cu^{++} ou Cu^{+} ou complexé par des oxydes métalliques, lorsqu'il est solubilisé dans des proportions importantes (plus de 50 p.p.m dans le sol) il devient dangereux pour certaines plantes. La consommation de fourrage à forte teneur en cuivre peut être nocive pour le bétail. (LEEPER, G.W. 1977).
- **Le zinc :** comme le cuivre sont nécessaires à la vie des plantes dans lesquelles on les trouve en grande quantité ; leur toxicité est très faible, il faut atteindre 1000 p.p.m dans le fourrage pour on observer les effets sur les animaux, mais à partir de 500 p.p.m La récolte du fourrage n'est plus valable économiquement (le rendement baisse fortement). La présence d'autres ions comme le nickel et le cuivre a un effet synergique sur la toxicité du zinc. (JONES, R.L, HINESLY, T.D, ZIEGLER, E, TYLER, J.J, 1975).
- **Le fer et le manganèse :** sont présents dans tous les sols et ils ont une action enzymatique importante sur les plantes, leur seuil de toxicité ne semble pas avoir été trouvé mais, lorsque le pH est trop faible ou trop fort il se fait un blocage pour les autres ions. (KIRKHAM, M.B, 1977).
- **Le bore :** n'est pas un métal mais c'est un élément essentiel pour la croissance des plantes bien qu'on ne connaisse pas exactement le mécanisme de son action ; par contre il est toxique pour les plantes à de faibles doses de l'ordre de la ppm, or, le bore

est souvent utilisé dans les ménages sous forme de borates ou perborates dans les lessives qui se retrouvent dans les boues. (LINDSAY, B.J, LOGAN, T.J, 1998).

- **Le molybdène** : est nécessaire aux plantes en faible dose (0,1 à 1 p.p.m) mais dès que les plantes contiennent 5 p.p.m de molybdènes, elles deviennent toxiques pour ruminants, on assiste alors à une carence des animaux en cuivre. (LAHANN, R.W, 1976).

2.5.6.4.2 Les éléments toxiques :

Ces éléments ne sont pas utilisés par la plante pour son développement mais peuvent s'y retrouver par accumulation. (KIRKHAM, M.B, 1975).

- **L'aluminium** : est peu soluble aux pH proche de la neutralité et sa teneur dans les plantes est très variable ; elle devient importante pour les plantes qui poussent en milieu humide. La toxicité de l'aluminium n'a pas été mise en évidence ni pour les mammifères ni pour l'homme. (LEEPER, G.W, 1977).

L'arsenic : est aussi toxique pour les plantes que pour les animaux et l'homme à l'état de sel (arséniates ou arsénites) mais il semble que sous forme organique il soit moins dangereux. Les apports de cet élément proviennent surtout des pesticides et très peu des boues. (GABARDA, O.D, 2000).

- **Le cadmium** : est apporté dans le sol par l'atmosphère (pluie), le lessivage des routes et les eaux usées ou les boues contenant des effluents de galvanoplastie. C'est certainement le micropolluant le plus étudié dans le cas de l'épandage des boues car il est assimilé par les plantes et accumulé par les mammifères et par l'homme (la quantité tolérable pour l'homme est de 0,3 p.p.m par jour). Le cadmium n'a pas une toxicité très importante pour les plantes (surtout les feuilles) et les quantités emmagasinées dépendent du pH du sol. (JONES, R.L, HINESLY, T.D, ZIEGLER, E.L, TYLER, J.J, 1975).
- **Le chrome** : est considéré comme un toxique l'homme et les animaux supérieurs mais pour ces derniers la carence en chrome peut avoir des effets désastreux. On trouve souvent du chrome dans les boues mais il semble qu'il se transforme dans le sol en éléments peu solubles donc peu assimilables. Des essais d'addition de fortes quantités de chrome sur le sol ont permis de constater que celui-ci ne présentait pas d'inconvénients pour le rendement des plantes. (SINGH, B.R, 1994).
- **Le mercure** : est un toxique important pour l'homme et les animaux, on le retrouve dans le sol provenant d'application d'insecticides ou de fongicides ou par

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

l'intermédiaire des eaux de pluie et de ruissellement et par l'épandage de boues sur le sol. Lorsque le pH du sol est supérieur à 6,5 le mercure apparaît sous forme d'hydroxyde ou de carbonate peu soluble.

Le mercure peut amener des perturbations au développement de la plante mais le principal danger est alors son introduction dans la chaîne alimentaire de l'homme car il est bio accumulé par les animaux, or il ne semble pas qu'il y ait d'accumulation préférentielle dans une des parties de la plante comme on l'a vu pour le cadmium. (DAVIES, B.E, WHITE, H.M, 1981).

- **Le nickel** : présent dans les fumées industrielles et dans les eaux usées se retrouve dans le sol par les eaux de pluie ou par l'épandage des eaux usées ou des boues. L'action du nickel seul sur les plantes est connue, il semble qu'il suffise d'une concentration de 1 p.p.m pour perturber la croissance de la plante. Par contre la toxicité du nickel vis-à-vis des mammifères se révèle relativement faible par rapport à d'autres micropolluants. (AUBERT, G, 1978).
- **Le plomb** : est un toxique pour les animaux et son introduction dans la chaîne alimentaire avec le risque d'accumulation représente un danger. Par contre, la présence de plomb dans le sol conduit à une accumulation sur la couche superficielle. L'origine du plomb est essentiellement atmosphérique puisqu'une grande partie provient des gaz d'échappements des voitures. Il pénètre dans la plante par les racines lorsqu'il est dans le sol et par les feuilles lorsqu'il est dans l'atmosphère mais sa présence ne semble pas perturber le développement de la plante. (JORGENSEN, E. 1976).

En résumé, on peut indiquer que certains micropolluants sont nocifs pour les plantes soit qu'ils en favorisent l'étiollement, soit qu'ils fassent baisser le rendement et que d'autres sont nocifs pour les consommateurs des plantes et que par bioaccumulation ils peuvent être dangereux pour l'homme. Leur présence dans les boues constitue rarement la seule source mais c'est un risque supplémentaire que l'homme apporte au niveau de la production agricole. (HYDE, H.C, 1976).

2.6 Utilisations agricoles des boues :

La production de boues urbaines croît avec le développement des stations d'épuration et la multiplication des fosses septiques. D'un autre côté la demande en substance nutritives pour le sol et les besoins en eau d'irrigation augmentent régulièrement. Du fait de ces deux

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

données économique, les pouvoirs publics ont été conduits à conseiller l'utilisation agricole des boues, et ce d'autant plus que le cout des engrais s'est considérablement accru pendant ces dernières années. (GAMRASNI, M. A, 1979).

Les boues d'épuration ont des propriétés agronomiques utiles dans le domaine de l'agriculture. Leur utilisation doit tenir compte des besoins nutritionnels des plantes sans toutefois compromettre la qualité des sols ni celle des eaux superficielles et souterraines. En effet, certains métaux lourds présents dans les boues d'épuration peuvent être toxiques pour les plantes et pour l'homme.

Cependant, l'utilisation des boues en agriculture soulève de plus en plus de débats passionnés en raison de leur origine et de la présence d'éléments indésirables tels que les micropolluants organiques, les éléments traces métalliques ou les éléments biologiques pathogènes. Les composés organiques des boues domestiques utilisées en agriculture sont soumis à une grande variété de processus physiques, chimiques et biologiques après épandage. (WEBBER & LESAGE, 1989).

2.6.1 L'application des boues sur le sol :

Selon le traitement appliqué aux boues, on trouve à la sortie de la station d'épuration des boues liquide, pâteuse, pelletables ou en poudre, elle présente aussi une stabilité plus ou moins grande selon qu'elles ont été stabilisées ou non. (MOREL, J.L, 1977). (SILVESTER, D.K,LWIS, K, 1976).

2.6.1.1 Le transport :

Le premier problème à résoudre est de les amener sur le lieu de leur utilisation, on dispose, selon les cas, de plusieurs moyens :

- . Camions citernes
- . Camions ordinaires pour les boues solides
- . Transports hydrauliques

Le choix du mode de transport dépend non seulement de la nature des boues mais aussi de la quantité à transporter et du cout unitaire du transport.

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

En effet, les boues liquides, à poids égal de substances nutritives sont bien plus volumineuses que celles qui sont sèches, mais elles se prêtent mieux au remplissage des citernes et aux transports par tuyaux, elles donnent aussi un apport d'eau non négligeable qui permet, lors de l'application, de se passer d'irrigation. Les boues séchées reprennent difficilement l'humidité, c'est un inconvénient pour le sol. (GAMRASNI, M A, 1979).

2.6.1.2 Le mode d'épandage :

Les techniques agricoles classiques permettent avec un minimum de mise au point l'épandage des boues. (WHITE, R.K, HAMDY, M, 1972).

S'il s'agit de boues liquides, un canon d'arrosage rotatif ou une tonne à lisier permettent de répartir assez régulièrement la boue sur le terrain.

Dans le cas de substances pelletables ou pulvérulente, on peut utiliser un système d'épandage à fumier ou une tonne à lisier enfouisseurs, ce qui permet l'application en surface ou en profondeur (20 cm environ) des boues. (SMITH, J.L, HOUCK, C.P, 1976.)

L'irrigation par aspersion, quoique souvent utilisée, présente deux inconvénients pour l'épandage des boues : d'une part, les risques d'obstruction des orifices de petite taille par les matières solides et, d'autre part la création d'aérosols porteurs de germes pouvant être dangereux pour les agriculteurs et pour les consommateurs.(HIDLEBAUGB, A.R, 1973).

Quel que soit le mode d'application, on préconise toujours un retournement préalable du sol pour faciliter le mélange boue-terre, éviter la création d'odeurs désagréables et favoriser l'introduction des germes et des parasites dans le sol. (BOUGRIER, C, 2005)

2.7 Relation boue sol :

Les apports de boues d'épuration vont permettre d'accroître les sources en matière organiques dans le sol et donc enrichir ce dernier en carbone organique. Les composés organiques présents dans les boues vont permettre d'améliorer certaines propriétés du sol tel que la porosité ou la structure et le taux d'humidité du sol. (SOMMERS, 1977; PAGLIAI & VITTORI ANTISARI, 1993).

L'utilisation des boues d'épuration est interdite lorsque la concentration d'un ou de plusieurs métaux lourds dans les sols dépasse les valeurs limites fixées. (ANONYME I).

III- Généralité sur le sol:

3.1 Définition et description générale :

Le sol est l'élément essentiel de la nutrition des végétaux et donc le support trophique de la production agricole.

Plusieurs chercheurs ont définis le sol par des multiples définitions, nous citons quelques unes:

- ❖ Le sol est une formation naturelle de surface à structure meuble, d'épaisseur variable, résultant de transformation de la roche mère sous jacente, sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques. (DEMOLON, 1966).
- ❖ « Morel, en 1989 », définit le sol comme un milieu plus ou moins meuble, situé en surface de la croûte terrestre, et sur le quel dans des conditions climatiques convenables peuvent se développer les espèces végétales très diverses qui recouvrent les terres émergées.
- ❖ « Calvet, en 2003 », considère le sol comme un support mécanique, celui des pas, le substrat ou l'on marche, mais aussi celui des bâtiments, des machines et des engins motorisés, (c'est une attitude très pragmatique et probablement aussi très spontanée).

Le sol est constitué de plusieurs éléments, solides, liquides et gazeux qui sont organisés en phases ; plusieurs auteurs reconnaissent trois «03» phases: phase solide, phase liquide et phase gazeuse. (HENIN, 1970 – HERBILLON, 1986 – GURY, 1990 – DUCHAUFOR, 2001 – CALVET, 2003).

3.2 Les principales phases du sol :

3.2.1 La phase solide :

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables, cette phase forme 80–90 % du volume total du sol.

On pourrait considérer que les organismes vivants du sol font partie de la phase solide puisqu'ils ne sont ni gazeux, ni liquides. (CALVET, 2003).

3.2.2 La phase liquide :

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure, mais est une solution dont la composition est complexe et très variable; qui remplit partiellement ou totalement les espaces libres compris entre les particules solides. (DUCHAUFOR, 2001).

3.2.3 La phase gazeuse :

Elle est composée par des gaz tel que O₂, CO₂, N et contient également d'autres substances tels que: NO, N₂O, NH₃, CH₄, H₂S, et parfois des composés organiques volatiles. Cette phase occupe les espaces libres laissés entre les particules solides et qui ne sont pas remplies par la phase liquide. (GURY, 1990).

IV Impact des boues sur l'environnement :

Le fait d'apporter des boues dont la qualité chimique et organique est différente de celle du milieu récepteur va entraîner des modifications de ce milieu (JOCTEUR MONROZIER, 2001). L'épandage de boues de station d'épuration peut, en effet, modifier les propriétés du sol. Ces modifications peuvent être d'ordre édaphique (par l'apport de matière organique, modification de la structure), microclimatique (augmentation de la température au cours de la fermentation), floristique (installation d'une végétation rudérale). (LINDSAY ET LOGAN, 1998).

Par leur composition, ces boues peuvent avoir des effets bénéfiques sur les propriétés chimiques et physiques du sol. Les modifications de la physique du sol vont essentiellement dépendre de son mode d'introduction et des propriétés du sol récepteur. Si les boues sont introduites par aspersion, les boues restent à la surface du sol et les propriétés du sol s'en trouvent peu modifiées. Cependant, si le sol a des propriétés de transfert relativement importantes, les migrations de l'eau et d'un certain nombre de solutés pourront être plus profondes. Si le sol est peu perméable ou se trouve dans des conditions de stress hydrique au moment où il pleut, le ruissellement l'emporte de loin sur la pénétration dans le sol. (DUDKOWSKI, 2000).

4.1 La pollution des sols par les métaux lourds :

4.1.1 Définition de la pollution :

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel pouvant affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, hydrique ou d'ordre biologique. Elle peut l'affecter aussi en altération le milieu physique et ses possibilités récréatives. (RAMADE 1978).

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

4.1.2 Pollution des sols :

La notion de pollution du sol désigne toutes les formes de pollution touchant n'importe quel type de sol (agricole, forestier, urbain...).

La pollution du sol peut être diffuse ou locale, d'origine industrielle, agricole (suite à l'utilisation massive d'engrais ou de pesticides qui s'infiltrent dans les sols). Ces pollutions agricoles peuvent avoir plusieurs impacts sur la santé humaine, en touchant des nappes phréatiques d'une part et en contaminant par bioaccumulation. (LANDA, EDWARD, R, FELLER, CHRISTIAN, (EDS), 2010).

Un sol est dit pollué quand il contient un ou plusieurs polluants ou contaminants susceptibles de causer des altérations biologiques, physiques et chimiques, de l'écosystème constitué par le sol. (LASKOWSKI, R. ET HOPKIN, S.P, 1996).

Les polluants du sol les plus courants et les plus recherchés sont : les métaux lourds.



Figure N°02 : Décaissement d'un sol pollué par un réservoir de goudron.



Figure N°03 : Restes d'une batterie au plomb abandonnée en forêt.

4.1.3 Rôle des paramètres physico-chimiques dans la pollution des sols :

❖ **Le pH :** joue un rôle très important dans la mobilité des métaux. Un pH acide entraîne la mise en solution des sels métalliques, la mise en solution des phases de rétention, la désorption des cations et l'adsorption des anions (LIONS, 2004).



L'oxydoréduction : Certains métaux sont plus ou moins mobiles selon leur état d'oxydoréduction. Par exemple, le chrome est considéré comme toxique et mobile sous sa

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

- ❖ forme Cr(VI), mais pas sous sa forme Cr(III). Les conditions d'oxydoréduction peuvent influencer la mobilité d'un élément de trois manières différentes (BLANCHARD, 2000).
- ❖ **La température** : n'a qu'un effet direct négligeable sur la mobilité des métaux (SERPAUD ET AL, 1994). Mais, en présence de matière organique, elle peut avoir un rôle indirect, par exemple en augmentant sa dégradation, ce qui peut produire des substances acides et complexantes (LIONS, 2004).
- ❖ **L'action des micro-organismes** : peut aller dans le sens de la solubilisation (production d'acide et de composés complexants etc.) ou de l'insolubilisation (formation de sulfures métalliques insolubles, bioaccumulation et biosorption par les micro-organismes) des métaux lourds.
- ❖ **L'effet de compétition** : sur les sites de surface entre métaux ou entre métaux et cations majeurs peut aussi jouer un rôle important. Par exemple, il a été mis en évidence que la présence de calcium réduit fortement la rétention du fer et du manganèse sur les zéolites (JACOBS ET WAITE, 2004).

4.2 Les métaux lourds dans le sol :

La contamination des sols par les métaux lourds (plomb, cadmium, zinc, cuivre...) est le plus souvent imputable à l'action de l'homme. Leur origine est multiple: retombées atmosphériques, dépôts de déchets, engrais, lisiers, habituellement riches en cuivre, produits phytosanitaires. Les activités industrielles et urbaines ainsi que les transports peuvent localement être à l'origine de fortes concentrations. Ainsi, autour d'implantations industrielles ou minières, la teneur en métaux lourds peut atteindre 20 à 30 fois la teneur d'un sol normal. (ARROUAYS, MARTIN, S, BAIZE, 1999).

Le comportement des métaux lourds dans les sols dépend fortement de la nature et de la proportion des différents composants de ce sol. Les principaux composants du sol pouvant influencé la rétention des métaux sont décrits ci-après :

- ❖ **Les argiles** : sont des silicates, en général d'aluminium, plus ou moins hydratés, qui présentent une structure feuilletée (phyllosilicates), ou bien fibreuse (comme la sépiolite).

Les argiles peuvent donc retenir une importante quantité de métaux lourds par adsorption. (BOURG, 1988).

- ❖ **La dissolution des carbonates** : joue un rôle important dans le contrôle du pH du sol. Une forte teneur en carbonate relève le pH du sol. Les carbonates peuvent incorporer des cations métalliques dans leur maille cristalline. La silice est abondamment présente dans les sols sous forme cristalline ou amorphe. (MCBRIDE, 2000).

- ❖ **Les groupements hydroxyles** : se forment par hydratation, cela permet l'adsorption de cations métalliques. Sous sa forme cristalline, la silice possède une faible surface qui limite fortement son rôle dans les capacités de rétention des métaux du sol. (BOURG, 1983) Étant de bons adsorbants, les différents oxydes et hydroxydes métalliques présents dans les sols (fer, aluminium, manganèse, etc.) jouent aussi un rôle important dans la rétention des ions métalliques. La quantité d'ions ainsi adsorbés dépend fortement du pH du milieu. (BLANCHARD, 2000).

4.3 Les métaux lourds dans les boues :

Les boues d'épuration ont des propriétés agronomiques utiles dans le domaine de l'agriculture. Leur utilisation doit tenir compte des besoins nutritionnels des plantes sans toutefois compromettre la qualité des sols ni celle des eaux superficielles et souterraines. En effet, certains métaux lourds présents dans les boues d'épuration peuvent être toxiques pour les plantes et pour l'homme. L'utilisation des boues d'épuration est interdite lorsque la concentration d'un ou de plusieurs métaux lourds dans les sols dépasse les valeurs limites

L'utilisation des boues est interdite sur des sols destinés à des cultures maraîchères ou fruitières qui sont normalement en contact direct avec les sols et qui sont normalement consommées à l'état cru, pendant une période de dix mois qui précède la récolte et pendant la récolte elle-même. (COÏC, Y, COPPENET, M, 1989).

4.4 Transferts des métaux lourds :

L'analyse des transferts des métaux lourds dans les sols, par le haut (dans les plantes) ou par le bas (vers les nappes phréatiques) est essentielle à la détermination des risques pour la santé et l'environnement.

Les propriétés des sols se modifient sur des périodes de temps extrêmement longues, en tout cas beaucoup plus longues que les modifications sur l'eau et l'air, mesurables de façon quasi instantanée. Une durée qui exige une mise en perspective, un suivi scientifique rigoureux, sur

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

plusieurs années, voire sur plusieurs générations. En d'autres termes, s'il est possible de connaître le volume et l'évolution des émissions atmosphériques, même sur de très longues périodes (par prélèvements et analyses de carottes des glaces), il n'est pas possible de connaître l'évolution d'une pollution des sols. (JACQUES VARET, BRGM, 1999).

Les considérations environnementales ne sont pas les seules à déterminer l'usage. Un sol est aussi un élément de capital et est donc soumis aux règles du marché. Bonnes et/ou mauvaises. Les restrictions d'usage, éventuellement définies par les pouvoirs publics dans une optique de précaution et de prévention des risques ont des répercussions foncières, immobilières, sociales. Les risques sont liés à l'usage. Et l'usage peut varier dans le temps.

4.4.1 Les méthodes de stabilisation des métaux lourds dans les sols :

4.4.1.1 Les phosphates :

L'utilisation des phosphates est une méthode courante pour réduire la mobilité des métaux lourds dans les sols contaminés. Elle est notamment considérée comme une méthode peu chère et très efficace pour le traitement des sols contaminés au plomb (RUBY ET AL, 1994 ; SHI & ERICKSON, 2000), mais elle peut aussi être très efficace pour les autres métaux lourds. Des expériences menées dans des sols contaminés aux métaux lourds montrent qu'un ajout d'apatite permet la précipitation de minéraux phosphato-métalliques, ce qui réduit fortement la mobilité de ces métaux. Par exemple, la solubilité du plomb est contrôlée par les minéraux de la famille des pyromorphites (très peu solubles et géochimiquement stables), (CHEN ET AL, 1997 ; LAPERCHE ET AL, 1996 ; MA ET AL, 1995). Cependant, une quantité trop importante de phosphate peut augmenter la mobilité de l'arsenic et relâcher du phosphore (qui est lui-même considéré comme un agent polluant) dans l'environnement. De plus, cette méthode a tendance à acidifier les sols, ce qui peut être contrebalancé par l'ajout de chaux (BASTA & MCGOWEN, 2004).

4.4.1.2 Les zéolites :

D'autres amendements permettent de retenir les métaux lourds dans les sols par adsorption. Les zéolites constituent une famille de minéraux appartenant aux aluminosilicates. Elles sont structurellement complexes ; ce sont des polymères inorganiques cristallins de formule chimique très variable. L'utilisation des zéolites est devenue très populaire pour lutter contre la pollution des sols aux métaux lourds, mais aussi contre la pollution à l'ammoniaque, la pollution radioactive ou pour le traitement de l'eau (SHANABLEH & KHARABSHEH, 1996). Les

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

zéolites possèdent d'importantes surfaces spécifiques, de grandes C.E.C., et aussi une très forte sélectivité pour certains métaux lourds (BABEL & KURNIWAN, 2003) ; ces paramètres dépendent de la variété de zéolite utilisée. Les zéolites possèdent aussi un pouvoir alcalin qui peut permettre de réguler le pH du sol (GARCIA-SANCHEZ ET AL, 1999 ; LIN ET AL, 1998 ; QUEROL ET AL, 2006). Les quantités de zéolite à utiliser sont très variables selon le matériau à stabiliser et les métaux ciblés, Une autre étude conclut que 1 g de zéolite synthétisée peut adsorber de 100 à 500 mg de métaux lourds. (CATALFAMO ET AL., 2006).

4.4.1.3 Les argiles :

Les argiles sont souvent utilisées comme une alternative économique au charbon actif, pour le traitement des eaux. Mais elles peuvent aussi être utilisées comme amendement pour augmenter la C.E.C. du sol. Il existe de nombreux minéraux argileux qui peuvent être utilisés pour leur capacité à retenir les métaux lourds. Parmi les différents minéraux argileux existants, les regards se sont tournés vers la palygorskite car des symptômes de déficience en zinc ont été observés sur des plantes poussant sur des sols riches en palygorskite (ALVAREZ-AYUSO & GARCIA-SANCHEZ, 2003). Une étude a montré que ce minéral permet d'adsorber efficacement le plomb, le nickel, le chrome, et le cuivre à partir d'une solution aqueuse (POTGIETER ET AL, 2006). L'adsorption des métaux dans des solutions monométalliques se fait alors dans l'ordre d'efficacité suivant : $Pb > Cr > Ni > Cu$. De plus, ces capacités d'adsorption ne varient pas beaucoup avec le pH (pH testé : de 3 à 10), sauf pour le plomb qui est difficilement adsorbable à des pH inférieurs à 7. D'autres auteurs (ALVAREZ-AYUSO & GARCIA-SANCHEZ, 2003) pointent la taille des particules de palygorskite comme facteur de première importance pour ses capacités de sorption. Cette étude montre que la taille des particules peut faire varier les capacités de sorption de la palygorskite d'un facteur supérieur à 3 pour certains métaux, les particules fines étant plus efficaces. La même étude montre à l'aide d'essai en mode cuvée et de tests de lixiviation qu'un ajout de 1 à 4% de palygorskite permet de réduire grandement la mobilité de Pb, Cu, Zn et Cd dans les sols contaminés.

4.4.1.4 Les oxydes métalliques :

Naturellement présent en petite quantité dans les sols, les oxydes métalliques peuvent être de bons adsorbants. Ils peuvent être utilisés comme amendements pour augmenter la capacité de rétention des métaux lourds d'un sol. Une première étude menée par (GUPTA ET TIWARI, 1985) montre qu'il est possible de retirer les ions Cr_6^+ d'une eau usée grâce à des oxydes

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

d'aluminium. Une autre étude compare les capacités de sorption de l'oxyde d'aluminium, de l'oxyde de fer et de la goéthite pour Pb^{2+} et Cd^{2+} (SRIVASTANA ET AL, 1988) ; la goéthite donna de meilleurs résultats pour ces deux ions. Mais les oxydes ont surtout été utilisés pour stabiliser l'arsenic. L'oxyde de manganèse donne de bons résultats pour la sorption des ions As^{3+} et As^{5+} dans une gamme de pH de 2 à 8 (CHAKRAVARTY ET AL, 2002). Les oxydes de fer sont aussi connus pour adsorber l'arsenic dans les sols (JACOBS ET AL, 1970). Un sol de jardin contaminé traité avec des oxydes de fer permet de réduire de moitié la quantité d'arsenic extractable (MENCH ET AL, 1998). Une étude plus récente menée par (HARTLEY ET AL, 2004) compare les capacités de la goéthite, de la limaille de fer ainsi que du sulfate de fer (2+) et (3+) à immobiliser l'arsenic dans trois sols contaminés. Ces additifs à base de fer ont permis de réduire la mobilité de l'arsenic ; l'ordre d'efficacité est le suivant : fer (3+) > fer (2+) > limaille > goéthite. Mais ce traitement fait aussi augmenter la mobilité des autres métaux ; cet effet indésirable est surtout visible dans les tests d'extraction et peu marqué dans les tests de lixiviation dynamique.

4.4.1.5 Les boues :

Les boues rouges (red mud) sont un sous produit du raffinage de la bauxite en alumine. Elles sont riches en silice et en oxydes et hydroxydes métalliques (aluminium, fer, titane...), ce qui leur confère une grande réactivité de surface (CHVEDOV ET AL, 2001). La production d'une tonne d'alumine génère 1 à 2 tonnes de boue rouge selon la composition chimique et minéralogique de la bauxite. Une fois entreposées, elles deviennent un problème environnemental à cause de leur forte alcalinité (pH = 10-12,5) (BRUNORI ET AL, 2005 ; LOMBI ET AL, 2002). Les boues rouges sont de bons adsorbants pour les métaux lourds ; une étude montre que ce matériau peut adsorber efficacement le plomb, le cadmium et le zinc. La quasi-totalité de ces métaux sont alors fortement liés et ils ne pourront pas être relâchés dans les conditions naturelles (SANTONA ET AL, 2006). L'ajout de 2% de boue rouge dans un sol contaminé permet d'augmenter le pH du sol et de diminuer durablement l'extractabilité des métaux lourds ; les résultats montrent que l'adsorption chimique et la diffusion des métaux lourds dans les oxydes sont les principaux mécanismes mis en jeu (LOMBI ET AL, 2002).

4.4.1.6 La chaux :

La chaux, tout comme le MgO, peut être employée avec d'autres additifs ou seuls, pour son effet alcalin. L'utilisation de MgO est très efficace dans les sols fortement contaminés. Elle

Chapitre N°01 : Les boues résiduaires et leurs utilisations agricoles

permet de garder le sol à des pH de 9 à 11, minimise la solubilité des métaux qui s'y trouvent, et évite la redissolution rencontrée quand on utilise de la chaux (GARCIA ET AL, 2004). Le rôle de la chaux vis-à-vis de la mobilité de l'arsenic est controversé. Selon certains auteurs, la chaux peut augmenter la mobilité de l'arsenic (MENCH ET AL, 2003 ; SEAMAN ET AL, 2003). Selon d'autres auteurs, elle permet de diminuer la lixivabilité de l'arsenic par la formation de complexes As-Ca (PORTER ET AL, 2004).

4.5 La gestion des risques :

La gestion des risques se trouve au croisé de deux gestions : celle des éléments en traces potentiellement toxique et celle des sols ; la première implique un suivi et une maîtrise des flux des éléments en traces vers les divers compartiments des écosystèmes, dont le sol ; la seconde intègre tous les déterminants de la qualité et de l'utilisation des sols.

L'accumulation d'éléments en traces dans les sols agricoles peut résulter d'apports d'éléments fertilisants (engrais minéraux, lisiers et fumiers, boues, compost), ainsi que d'épandage de produits phytosanitaires. Ces apports s'ajoutent aux dépôts atmosphériques et aux transports par les agents aquatiques. Il convient de maîtriser, et souvent de réduire, le montant global d'apport d'élément en fonction de la capacité de charge de chaque sol. L'objectif qui pourrait s'imposer serait celui du maintien de la charge au dessous d'un niveau critique défini en fonction des caractéristiques du sol. (JACQUES BERTHELIN, ET PAUL-HENRI BOURRELIER, 1998).

I Présentation de la zone d'étude :

On a deux zones d'études à représentées :

- la région de Souk Ahras.
- la région de Hannanacha.

1.1 Localisation géographique :

La willaya de Souk-Ahras est localisée au Nord-est algérien. Elle est installée aux portes de l'Algérie en un passage naturel entre la Tunisie et le reste du pays. (Figure N : 04).

Elle est limitée :

- ⊕ au Nord-est par la willaya d'el Taref ;
- ⊕ au Nord-ouest par la willaya de Guelma ;
- ⊕ au Sud par la willaya de Tébessa ;
- ⊕ au sud-ouest par la willaya d'Oum-El-Bouaghi ;
- ⊕ à l'est par la Tunisie ;

La willaya de Souk-Ahras s'étendant sur une superficie de 4.359,65 Km², ne représente que 0,18 % de l'ensemble du territoire national .Elle est située à 77Km de la willaya de Guelma, à 100 Km de Annaba, à 134 Km de Tébessa et à 50 Km de la frontière Tunisienne. (La direction de la conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras).

Voici un tableau qui détermine la position géographique de la région de Souk-Ahras.

Tableau N°01 : La représentation de la position géographique de Souk-Ahras.

Dénomination	Latitude	Longitude	Altitude
Souk-Ahras	36.17N	75.74 E	635m

(La DSA de Souk-Ahras)



Figure N°04 : Carte de situation géographique de Souk-Ahras.

- Traversée d'est en ouest par l'oued Medjerda qui est un cours d'eau transfrontalier, son bassin versant couvre une superficie de 7870 km² seulement 1411 km² sont répartis sur le territoire Algérien.

Dans cette contribution est présentée l'étude de la section contrôlée par la STEP de Souk-Ahras. (Figure. N : 05).

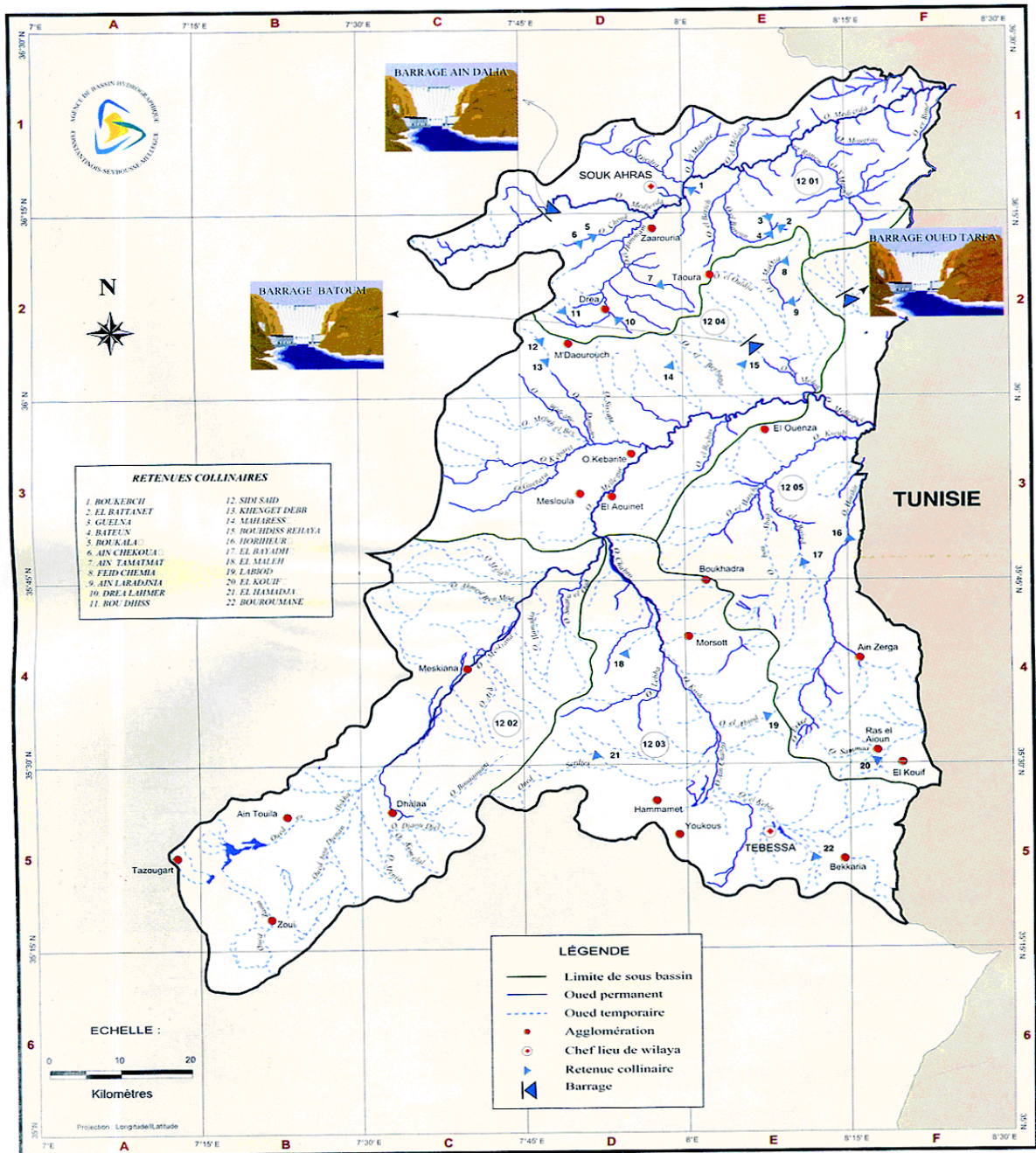


Figure N°05 : découpage administratifs du bassin de l'oued Medjerda.

- La vallée de l'oued Medjerda dans l'axe de Taoura est caractérisée par une géologie très hétérogène, représenté par des formations sédimentaires dont l'âge le plus ancien est le Trias et, constituées généralement par des calcaires, des grés, des marnes, des cailloutis et des alluvions, elle forme une zone charnière entre l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud.

1.2 La situation géologique :

La willaya de Souk-Ahras se distingue par deux caractéristiques essentielles :

- ⊕ Le Nord a caractère montagneux faisant partie de l'atlas tellien.
- ⊕ Le sud faisant partie des hautes plaines. (D'après la direction de la conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras).

Selon Davide 1956 ; la région de Souk-Ahras est essentiellement caractérisée par des formations sédimentaires dont l'âge le plus ancien est le trias jusqu'au quaternaire, constituée généralement par des grès, des marnes, des cailloutis et des alluvions.

Et selon **BNEDER 2007** la lithologie de Souk-Ahras est la suivante : (Figure N : 06).

Tableau N°02 : La lithologie du Monts de Souk-Ahras

Lithologie	Monts de Souk-Ahras (ha)	Monts de la Medjerda Souk-Ahras (ha)
Argiles	22051	20
Trias (gypses)	18098	-
Calcaire et dolomies dures	35338	421
Calcaires friables	2318	309
Alluvions et sables	10595	-
Marnes	81638	32999
Totaux	170038	33749

(BNEDER 2007)

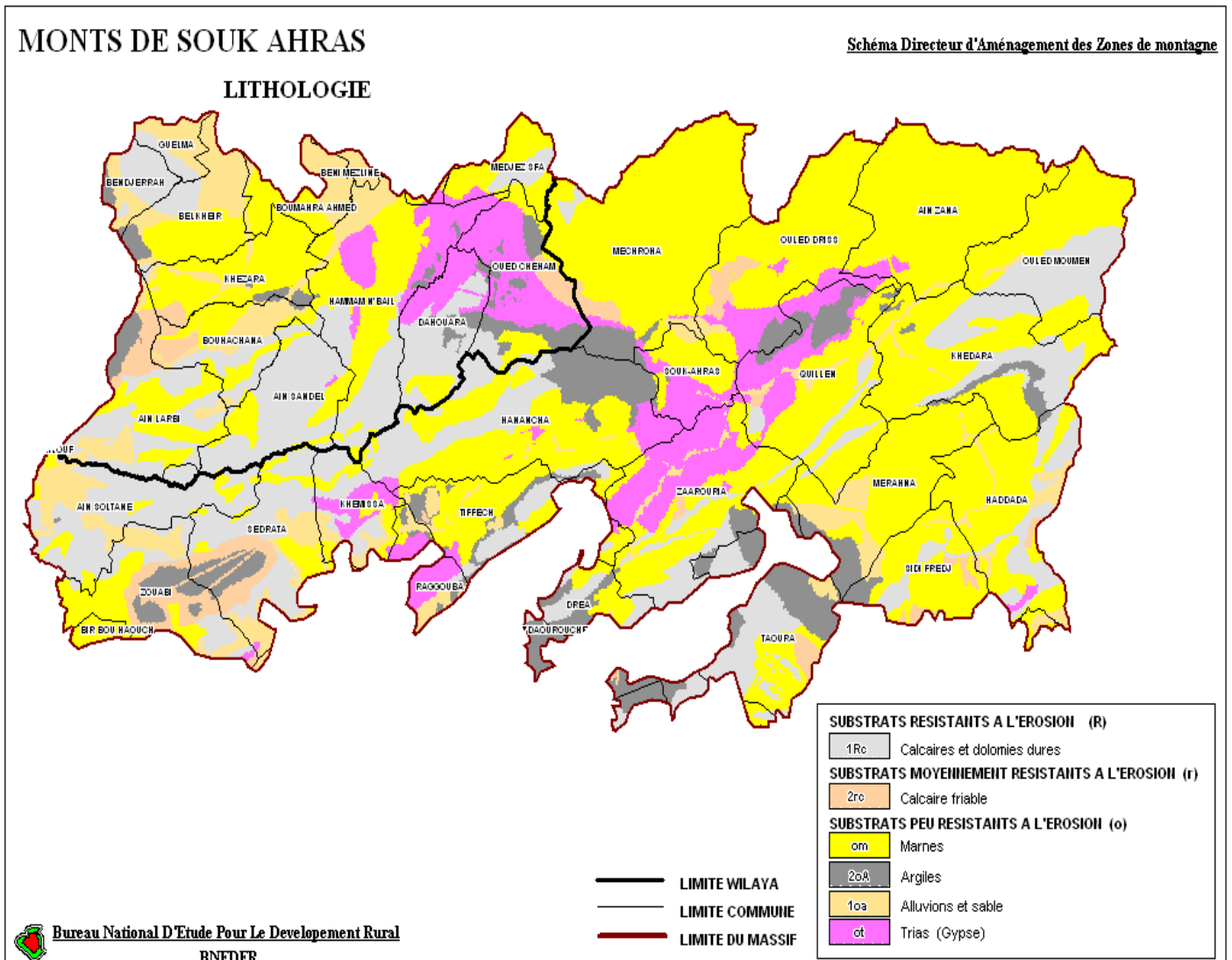


Figure N°06 : La carte lithologique de souk Ahras

1.3 La Situation géomorphologique :

Selon la classification des pontes et du climat dominant, la willaya de Souk-Ahras se caractérise par trois régions :

- ⊕ **Région Nord-est** : région montagneuse présentant des pentes très rudes variant de 15 % à plus de 20 % et faisant partie de la chaîne tellienne, et qui constitue le patrimoine forestier.
- ⊕ **Région Sud-ouest** : région médiane constituée de piedmonts. cette région est le prolongement des hauts plateaux, elle est caractérisée par de plaines agricoles et de pâturage.
- ⊕ **Région sud** : les terres sont de vastes étendues caractérisées par un relief plat, le sol est dégradé et de faible profondeur aggravé par une exposition aux divers aléas climatiques de faibles pluviométries, c'est l'espace des hauts plateaux. (D'après la conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras).

D'après **DJEFFEL 2005**; le territoire de la willaya de Souk-Ahras est considéré comme une zone chaînier de montagnes entre l'atlas tellien au nord et l'atlas saharien au sud.

D'une manière générale, il s'agit d'un relief montagneux complexe ; très élevé au nord, et moins élevé au sud de la willaya ; dont au nord, il est subdivisé en deux alignements séparés par la vallée de Medjerda, d'une orientation générale sud-ouest, nord-est. (Figure N : 04).

1.4 Réseau hydrographique :

Le réseau hydrographique couvre pratiquement la willaya, la rareté de l'eau s'explique essentiellement par des conditions climatiques dont les précipitations sont nettement insuffisantes d'une part et le manque de moyens et d'infrastructure de récupération rationnelles et de stockage d'autre part. (**BOUCHABOU, 2009**).

Trois grands oueds sillonnent la willaya avec débit irréguliers vu les conditions climatiques : (Figure N : 05).

- ⊕ **Oued Mellegue** : situé au sud de la willaya de Souk-Ahras, son bassin versant occupe une superficie de 1.442 Km². Le débit moyen est de 210 millions m³ /an ; c'est un affluent de oued Medjerda en Tunisie.
- ⊕ **Oued Medjerda** : considéré comme le collecteur principal, dont le bassin versant couvre une superficie de 1.377 Km², avec un débit moyen de 400 millions de m³ /an.
- ⊕ **Oued Cherf** : d'une superficie de 1.040 Km² avec un débit moyen de 99 millions de m³ /an. Il coule vers le nord ouest ; il rejoint l'oued Seybouse. (Anonyme : 02).

1.5 Situation climatique :

Située sur les hauteurs de l'atlas tellien, la wilaya de Souk-Ahras est exposée aux influences climatologiques méditerranéennes au nord d'une part, et désertiques au sud d'autre part (figure N : 06). Son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorique et la température. (ZOUAIDIA, 2006).

1.5.1. Précipitation :

La pluie est un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau, ainsi que celui des nappes aquifères. (DAVIDE, 1956).

Des mesures pluviométriques mensuelles de la période (1992-2006), ont été prises d'après la station Météorologique de Souk-Ahras, et elles sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau N°03 : Précipitations mensuelles (mm) de la région de Souk-Ahras.
(Période de 1992-2006).**

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
1992	21.3	73.1	57.5	227.7	139.2	11.7	4.3	13.7	0.9	24.2	47.1	143.8	764.5
1993	49.1	35.3	53.5	40.0	63.9	19.3	0.3	1.3	4.5	5.7	7.0	109.7	389.6
1994	48.7	145.7	5.5	44.0	4.3	5.2	6.1	1.8	13.6	37.1	9.0	36.3	393.3
1995	7.9	8.2	11.4	10.3	19.7	22.2	26.0	28.4	23.1	16.9	13.5	8.9	196.5
1996	78.8	229.3	68.0	66.2	53.9	2.7	9.7	15.7	30.7	14.7	18.5	36.0	624.2
1997	78.9	27.7	48.6	65.4	22.0	26.7	19.2	34.6	59.4	47.8	165.5	142.3	738.1
1998	87.1	35.7	45.7	65.9	40.8	20.8	0.00	41.6	68.7	51.7	144.6	66.0	668.6
1999	132.4	62.3	70.3	26.6	22.0	19.9	24.3	25.3	24.6	10.6	114.1	122.6	655.0
2000	26.5	33.7	14.2	43.5	136.4	41.7	0.6	16.6	14.6	45.8	18.2	54.0	445.8
2001	159.2	154.5	67.8	80.3	59.2	6.4	0.1	6.6	64.5	23.6	32.5	31.9	686.6
2002	24.6	48.7	15.2	60.9	15.4	22.3	47.3	78.1	19.4	30.6	141.2	124.3	628.0
2003	301.4	94.7	35.2	117.8	42.3	3.8	0.8	0.00	50.6	36.7	13.2	275.8	972.3
2004	179.3	12.1	67.9	38.0	115.2	74.8	0.00	20.2	57.7	23.5	149.9	194.5	933.1
2005	98.9	122.3	58.6	76.3	8.0	22.4	12.8	12.6	16.1	14.5	21.2	152.6	616.3
2006	165.3	82.3	50.6	31.8	38.2	2.6	13.1	18.1	30.5	50.3	51.9	128.1	662.8
Moyenne mensuelle	99.7	77.7	44.7	66.3	52.0	20.2	11.0	21.0	31.9	28.9	63.2	108.5	625.0

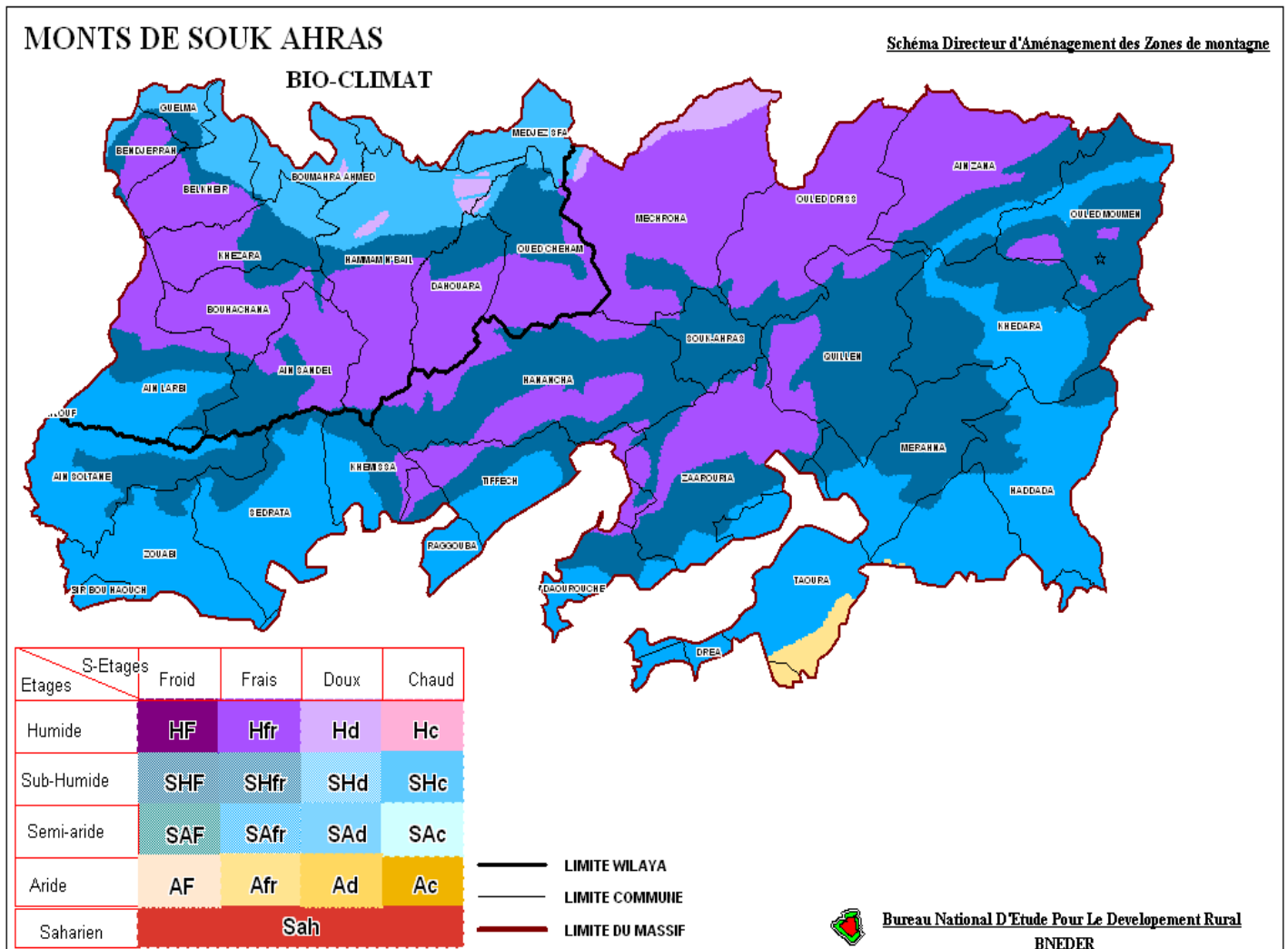


Figure N°07 : La carte bioclimatique de Souk-Ahras.

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras.**

Ce tableau montre que la précipitation moyenne annuelle est de 625mm/an.

La variation des précipitations est importante d'un mois à un autre. Les mois de décembre et janvier sont les mois où on enregistre le maximum des précipitations (jusqu'à 108,5 mm), le minimum est enregistré au mois de Juillet (11mm).

Les mois les plus pluvieux dans la région de Souk-Ahras sont : Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril et Mai au cours de cette période il tombe en moyenne plus de 70% de la pluie totale annuelle.

1.5.2. Température :

Les températures constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat d'une région. Elles permettent de déterminer l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement, interviennent aussi dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique (DAVIDE, 1956).

Voici des valeurs moyennes mensuelles de la période (1992-2006) d'après la station météorologique de Souk-Ahras. (Tableau N : 04).

**Tableau N°04 : Température mensuelle (°C) de la région de Souk-Ahras.
(Période de 1992-2006).**

Année	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
1992	5.7	7.1	9.0	11.2	15.5	18.8	22.5	24.7	22.0	17.1	12.5	7.8	14.49
1993	6.1	5.9	8.4	12.3	17.0	22.0	24.9	25.9	21.7	18.2	11.4	8.6	15.20
1994	7.9	8.2	11.4	10.3	19.7	22.2	26.0	28.4	23.1	16.9	13.5	8.9	16.38
1995	6.1	10.1	9.0	11.6	17.7	21.5	25.4	24.5	20.7	16.6	11.5	10.0	31.52
1996	9.0	6.4	9.9	11.6	16.1	19.8	24.4	25.4	19.3	14.8	12.6	9.8	14.93
1997	8.9	9.4	9.3	11.4	19.3	24.6	25.2	24.8	20.7	17.2	11.8	8.8	15.95
1998	7.5	8.5	9.6	13.5	15.9	23.3	25.9	24.7	22.2	15.3	10.4	7.1	15.33
1999	7.8	5.8	10.3	13.3	20.6	24.2	25.1	28.7	23.7	19.8	11.4	8.3	16.58
2000	5.4	8.7	11.5	14.4	19.9	22.0	26.6	26.7	22.2	16.2	13.1	9.8	16.38
2001	8.5	7.6	14.0	12.1	17.0	22.7	26.7	26.4	21.7	20.3	11.9	7.3	16.35
2002	6.7	8.9	11.3	13.6	18.1	24.2	25.4	24.8	21.2	17.8	12.5	9.4	16.16
2003	7.3	6.5	10.1	13.9	18.0	25.2	28.5	28.0	21.3	18.8	12.6	7.5	16.48
2004	7.6	9.8	10.7	12.2	15.4	21.5	26.1	26.8	21.5	19.7	10.6	8.5	15.87
2005	5.6	5.2	10.7	13.8	19.1	23.1	26.1	24.0	20.6	17.6	12.0	6.5	15.36
2006	4.9	6.6	10.8	15.1	19.5	24.0	26.2	24.2	20.9	18.8	12.9	8.3	16.02
Moyenne mensuelle	7.00	7.65	10.4	12.69	17.92	22.6	25.67	25.87	21.52	17.67	12.05	8.44	16.86

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras.**

Il ressort du tableau précédent que :

- ⊕ La température moyenne mensuelle minimale est au mois de Janvier égale à 7.0°.
- ⊕ La température moyenne mensuelle maximale est au mois de Juin égale à 35.51°.
- ⊕ La température moyenne mensuelle est égale à 16.26°.

1.5.3 Synthèse climatique :

Dont le but est de visualiser l'avantage, les caractéristiques bioclimatiques, permettant de classer notre zone d'étude dans le contexte climatique global, le calcul d'indice climatique est important.

Station météorologique de Souk-Ahras.

Ce tableau montre que la précipitation moyenne annuelle est de 625mm/an.

La variation des précipitations est importante d'un mois à un autre. Les mois de décembre et janvier sont les mois où on enregistre le maximum des précipitations (jusqu'à 108,5 mm), le

1.5.3.1 Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen :

Exprimé en courbes juxtaposées, le diagramme met en relation $P= 2T$.

A partir des données concernant les précipitations mensuelles, moyennes (**P**) ainsi que celle de température (**T**), durant la période de (1986-2004) ; nous avons réalisé le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et qui nous ont permis de distinguer :

- ⊕ Une saison sèche s'étend de Mai à Octobre ;
- ⊕ Une saison humide s'étend du mois de Novembre à Avril.

Tableau N°05 : Températures moyenne mensuelles (°C) ; Précipitations mensuelles (mm) de la région de Souk-Ahras. (Période de 1986-2004).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
T (°C)	14,4	15,8	20,4	24,6	34,4	44	50,6	51,8	43,6	35,2	23,6	16,8
P(mm)	101,80	72,80	61,70	68,80	56,10	44,30	37,30	43,40	49,40	35,60	67,10	97,00

Office National de Météorologie (ONM, 2004).

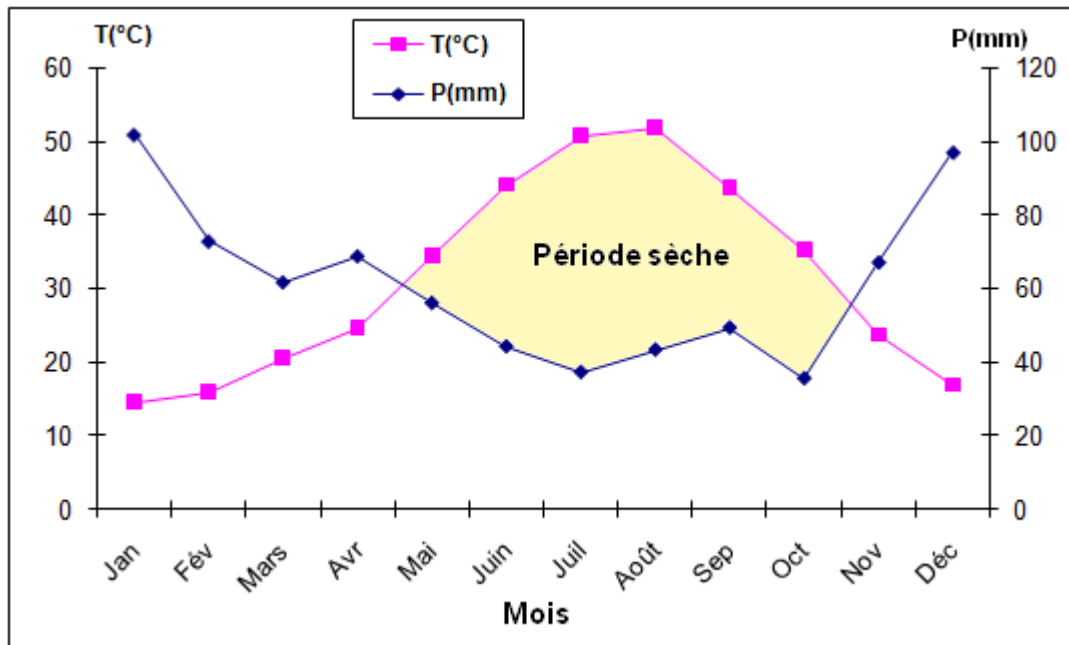


Figure N°09 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de Souk-Ahras.

1.5.3.2 Détermination d'étage bioclimatique de Souk-Ahras :

Notre région d'étude se situe au Nord-est algérien, appartenant au bassin méditerranéen.

Selon Quezel 1978, cette région appartient au méditerranéen appelé aussi domaine méditerranéen Nord Africain.

Pour le bassin méditerranéen, à partir d'un coefficient pluvio-thermique d'Emberger (indice d'aridité perfectionné par la prise en compte de l'amplitude thermique annuelle), Emberger a classé toutes les situations météorologiques suivant deux coordonnées : d'une part les valeurs de ce coefficient et d'autre part la moyenne des températures du mois le plus froid. D'après Emberger (1930,1955). Le bassin méditerranéen dans son ensemble peut être subdivisé en cinq étages bioclimatiques : aride, semi aride, subhumide, humide et per humide :

- ⊕ Aride: P compris entre 100 et 400 mm.
- ⊕ Semi-aride : P compris entre 400 et 600 mm.
- ⊕ Sub-humide : P entre 600 et 800 mm.

- ⊕ Humide : P entre 800 et 1200 mm.
- ⊕ Per-humide: P > 1200 mm. (Quezel, 2000).

Emberger a réalisé un climagramme où l'on trouve l'ensemble de ces étages associés chacun à la température moyenne minimale au mois le plus froid et le coefficient pluviométrique correspondant. Ce climagramme permet de caractériser le climat d'une région et le classer dans un étage bioclimatique.

Selon Emberger 1936, l'étage bioclimatique correspond à l'étage de végétation et les diverses structures de végétation qui correspondent à des critères écologiques spécifiques, notamment en fonction des étages altitudinaux de végétation et de types bioclimatiques. (Quezel et al, 1990), peuvent être représentés sur le climagramme. (QUEZEL, 2000).

1.5.3.3 Calcul du quotient pluvio thermique d'Emberger :

Le calcul du quotient pluvio thermique « Q_2 » d'Emberger est pour déterminer l'étage bioclimatique de la région ; Ce quotient pluviométrique d'EMBERGER « Q_2 » est déterminé par la combinaison des 3 principaux facteurs du climat :

P : Précipitation annuelles en mm.

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré de Kelvin (°K) ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré de Kelvin (°K). (KHANFOUCI, 2005).

La formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{(M^2 - m^2)}$$

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N°06 : Données concernant le calcul du quotient pluviométrique d'Emberger.

La région	M (°K)	m (°K)	P (mm)	Q_2	M (°C)	Période
Souk-Ahras	314,1	274 ,4	724,3	62,00	1,4	1986-2003

1.6 Humidité relative :

L'humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle est donnée d'après les résultats des observations sur la station météorologique de Souk-Ahras, de la période (1992-2006).

Tableau N°07 : Humidité de l'air moyenne mensuelle et annuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun	Juin	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Humidité relative de l'air%	79.4	77.1	73.4	72	66.3	56.1	49.8	52.7	63.8	67.4	75	79.1	67.7

❖ Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

Le moins le plus sec de l'année est juillet avec l'humidité relative moyenne l'air de 49.8%, les mois les plus humides sont décembre et janvier dont l'humidité relative varie dans les limites de 79.1 – 79.4 %.

1.7 Les vents :

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. D'après les données de la station météorologique de Souk-Ahras, les vents dominants sont du Nord au Sud.

Leur activité se manifeste pendant la période pluvieuse. Ces vents soufflent en été sous forme de sirocco. Ils sont secs, chauds et souvent assez forts, favorisant l'évaporation. (Davide, 1956).

Pour caractériser le régime des vents nous avons dépouillés les données de la station météorologique de Souk-Ahras.

La fréquence annuelle des vents dominants par directions est donnée dans le tableau suivant :

Tableau N°08 : Fréquence moyenne interannuelle des vents par directions.

Direction	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Fréquence %	15.7	2.9	2.1	12.2	12.9	3.6	1.6	7.1	15.7

1.7.1 Vitesse moyenne mensuelle du vent :

Voici le tableau N°14 : qui déterminent la vitesse moyenne mensuelle du vent de la région de Souk-Ahras.

Tableau N°09 : Vitesse moyenne mensuelle du vent.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Vitesse du vent (m/s)	3.5	3.8	3.6	3.7	2.9	3.1	3.1	2.9	2.8	2.5	3.3	3.4	3.2

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).**

La vitesse moyenne annuelle du vent est 3.2 m/s. La vitesse moyenne mensuelle minimale du vent est de 2.5 m/s (Octobre), celle moyenne mensuelle maximale atteint 3.7 m/s (Avril).

1.8 Les Phénomènes climatiques accidentelles :

1.8.1 La neige :

Tableau N°10 : Vitesse moyenne mensuelle du vent.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Nombre de jours	1.47	1.33	0.67	0.13	0	0	0	0	1.2	0	0.13	0.47	5.4

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).**

. La chute de neige est observée depuis septembre à avril, le nombre de jours de neige maximum est au mois janvier.

Le nombre moyen de jours de neige est de 5-4 jours par an.

1.8.2 La grêle:

Le nombre moyen mensuel de jours où il y a de la grêle est donnée dans le tableau suivant :

Tableau N°11 : Nombre moyen mensuel de jours de grêle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Nombre de jours de grêle	0.2	0.67	0.4	0.53	0.07	0.13	0	0.2	1.33	0.13	0.13	0	3.8

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).**

Le plus souvent il y a de la grêle pendant tout les mois de l'année sauf le mois de Juillet et Décembre. Le nombre moyen de jours ou il y a de la grêle est de 3,8 jours par an.

1.8.3 Les gelées :

Les gelées peuvent avoir lieu, ce qui représente un risque pour les cultures agricoles surtout en période de décembre, janvier, février, mars. Dans le tableau N : 17, nous avons présentés le nombre de jours de gelée.

Tableau N°12: Nombre de jours de gelée.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne Annuel
Nombre de jours de grêle	7.4	4.33	2.2	0.67	0	0	0	0	0	0	0.53	4	19.133

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).**

Ces valeurs sont celles de la station météorologique de Souk-Ahras avec une période de gelée s'étalant de Novembre au Avril, dont le plus grand nombre est enregistré en Janvier avec 7.4 jours de gelée.

1.8.4 Le siroco :

Le siroco est un vent du sud-est chaud et sec ; peut être observé dans n'importe quel mois de l'année. C'est ce vent (sec et chaud) qui assèche le sol et fait augmenter l'évapotranspiration des plantes et de ce fait il constitue un danger pour les cultures agricoles. (DAVID, 1956).

Le nombre de jours moyen de siroco pris d'après les données de la station météorologique de Souk-Ahras pour la période de 1992 – 2006, est indiqué dans le tableau N : 18.

Tableau N°13 : Nombre de jours moyen mensuel de siroco.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuel
Nombre de jours avec siroco	0	0	0	0.07	0	0	0	0	0.13	0	0	0	0.2

❖ **Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).**

D'après tableau N13 : le siroco se présente dans les mois de septembre et d'Avril avec un nombre de jours moyen annuelle de 0.2 jours.

1.8.5 Durée d'insolation :

L'insolation est un paramètre climatique que l'on utilise pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. (DAVIDE, 1956).

La durée moyenne mensuelle de l'insolation est celle calculée d'après les données de la station météorologique de Souk-Ahras est mentionné dans le tableau suivant :

Tableau N°14 : Durée moyenne mensuelle de l'insolation.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Durée d'insolation (heures)	144.3	148.8	210.0	227.0	267.7	291.3	339.2	308.2	243.7	216.3	157.5	137.9

1.8.6 Evaporation du plan d'eau :

C'est la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol (DAVIDE, 1956) ; et les végétaux voici des valeurs de l'évaporation du plan d'eau d'après la station météorologique de Souk-Ahras (en millimètre).

Tableau N°15 : Valeurs mensuelles d'évaporation

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moyenne mensuelle
Evaporation du plan d'eau (mm)	48.1	53	74.8	77.6	114	166.6	217.5	208.5	137.9	109.8	71.6	52.5	1331.9

❖ Station météorologique de Souk-Ahras (1992-2006).

La moyenne mensuelle annuelle de la quantité d'eau évaporée dans la région de Souk-Ahras est 1331,9 mm/an.

La grande quantité d'eau évaporée est enregistrée en juillet le mois le plus chaud (température élevé), et on remarque que la quantité de cette eau est diminuée en janvier (le mois le plus froid).

1.9 Couverture forestière :

La willaya de Souk-Ahras détient un patrimoine forestier très important. La superficie forestière est estimée à 97.280 hectares soit un taux de 23% de la superficie total de la willaya. (MESSAADIA, 2009).

Les principales espèces sont le pin d'Alep, l'eucalyptus, le chêne liège, zeen et autres espèces.

Les superficies recouvertes par ces espèces se répartissent comme suit :

- ⊕ Pin d'Alep avec 33.569 ha soit 34,50 % de la superficie totale de la willaya ;
- ⊕ Eucalyptus avec 29.779 ha soit 30,61 %.
- ⊕ Chêne liège avec 12.535 ha soit 12,88 %.
- ⊕ Chêne zeen avec 4.387 ha soit 4,97 %.
- ⊕ Autres essences avec 16.560 ha soit 17,04 %. (ZOUAIDIA, 2006).

1.10 Occupation des sols :

D'après le Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural, 2007 :

- ⊕ 60% des terres de la région de Souk-Ahras sont occupés par l'agriculture.
- ⊕ Le taux de boisement est de 35% dont 19% à base de formations forestières clairsemées ; Ce taux de boisement est insuffisant.
- ⊕ 70% des cultures sont pratiquées sur des terrains à pente supérieure à 12,5%, dont 47% sont considérés comme étant instables.

Le tableau N : 16 est représentatif de l'occupation des sols de la région de Souk-Ahras.

Tableau N°16 : Occupation des sols des Monts de Souk-Ahras.

Occupation des sols	Monts de Souk-Ahras (ha)	% Sur une pente >= 12,5%	% Sur des terrains instables
Culture	71249	71,35%	47,96%
Culture+Vignes	-		
Culture+Parcours	37465		
Vignes	-	-	-
Arboriculture	24		
Parcours	2432		
Maquis claire	11594		
Maquis dense	14556		
Forêt claire	23109		
Forêt dense	7605		
Reboisement	144		
Sol nus	14		
Plan d'eau	371		
Agglomération	1475		

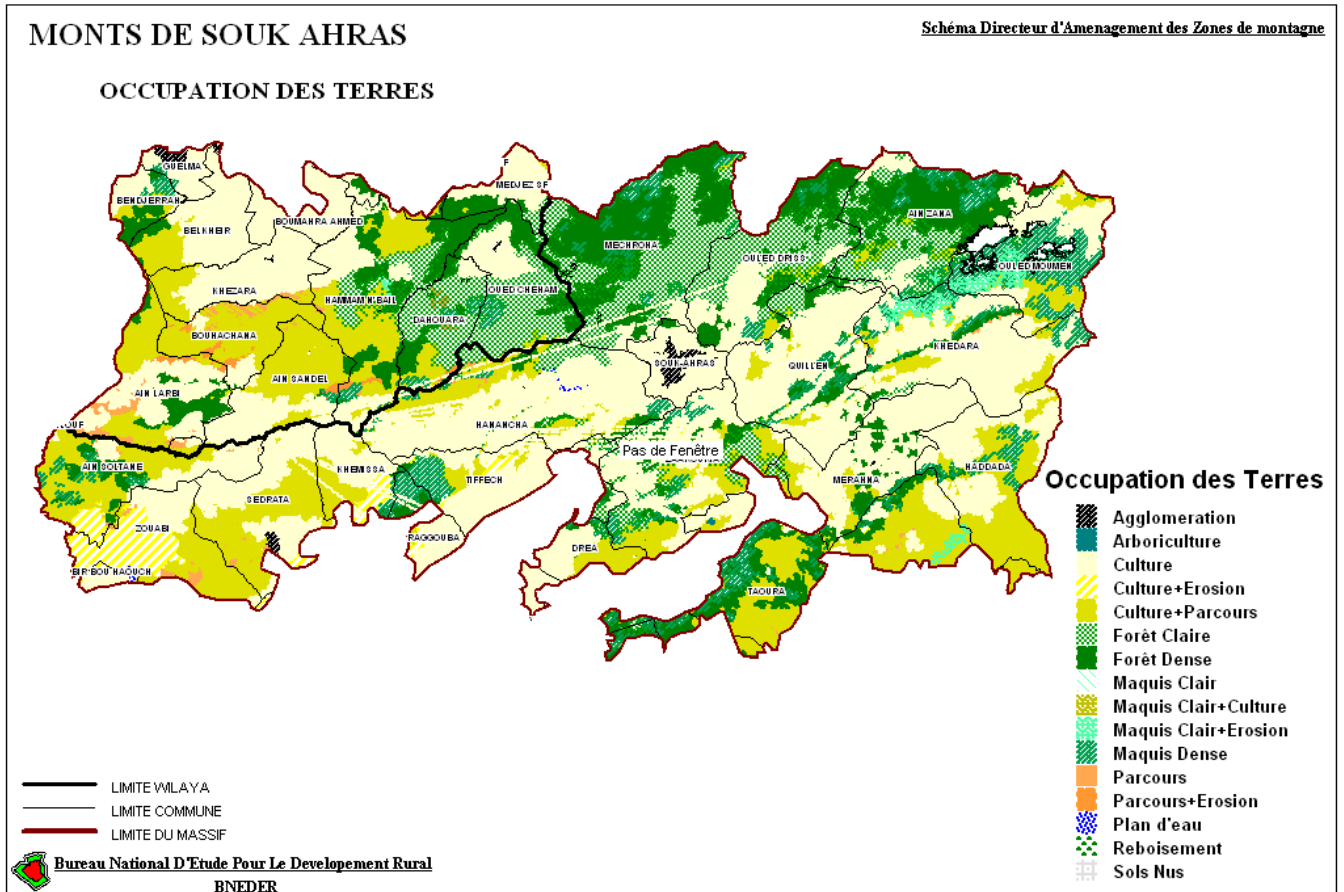


Figure N°10 : La carte d'occupation des terres de Souk-Ahras. (BNEDER, 2007)

NB :

- ⊕ 71,35% des terres de culture se situent sur des pentes $\geq 12,5\%$.
- ⊕ 47,96% des terres de cultures sont sur des terrains instables.

1.11 L'activité socio-économique :

La situation socio-économique de la région de Souk-Ahras peut être résumée dans le tableau suivant :

Tableau N°17 : La situation socio-économique de la région de Souk-Ahras.

	Facteurs du Milieu	Potentialités – Atouts	Contraintes
Milieu socio-économique	Population	<ul style="list-style-type: none"> - Faible densité de population au Km² (inférieure à 100 hab. pour la majorité des communes. - Faible taux de croissance de la population (inférieure à 3 %) - Prédominance de la population rurale. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exceptés les communes de : <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Souk Ahras (2619 hab. /Km²), <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Sedrata (260 hab. / Km²),
	Activités	<ul style="list-style-type: none"> - Les principaux secteurs pourvoyeurs d'emplois sont : <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> l'agriculture et les administrations. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible taux d'occupation de la population active (inférieure à 74%).
	Indicateurs de développement social et humain.	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de scolarisation supérieur à 70%. - Faible T.O.L (4.5 à 7 personnes). - Taux de raccordement significatifs pour les communes de Guelma. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible taux de raccordement aux réseaux d'A.E.P, d'assainissement et d'électrification pour les communes de Souk-Ahras.
	<u>Les Productions</u>	<ul style="list-style-type: none"> - S.A.U potentielle (49.66 %). - Importance des ressources fourragères (jachère, fourrages cultivés). - Bonnes performances pour le maraîchage, les fourrages et les cultures industrielles. - Potentialités céréalières. 	<ul style="list-style-type: none"> - Faible potentiel arboricole. - Importance de la jachère. - 98 % de la S.A.U sujette à l'érosion. - Faibles performances céréalières. - Faible potentiel arboricole.
	Production Végétale		
	Production Animale	<ul style="list-style-type: none"> - 60 % du cheptel constitué d'ovins 	<ul style="list-style-type: none"> - Surcharge animale de l'ordre de 55%.

(BNEDER, 2007).

II La zone étudiée la station d'épuration :

La station d'épuration de la ville de Souk Ahras est une station à boue activée à faible charge d'une capacité de 150 000 EQ/H pour un débit de 30 000 m³/j ; extensible à 225 000 EQ/H pour un débit de 45 000 m³/j.

La mise en service de la station a été effectuée par l'ONA unité de Souk Ahras en janvier 2003.

2.1 Les Problèmes Rencontrés (Souk Ahras) :

1- Dégrilleur :

- Difficulté de déplacement des déchets solides (Hauteur 08 m).

2- Déshuileur – Désableur :

- Difficulté d'évacuation des sables.
- Difficulté de récupération des huiles.

3- Décanteur :

- Roues de guidage : Absence des roues de remplacement.

4- Lits de séchages :

- Problème d'enlèvement des boues séchées (manque de personnel de manutention).

5- Energie électrique:

- coût d'énergie élevé.

6- Les problèmes rencontrés au laboratoire :

- Absence des réactifs.
- Manque des équipements portables.

7- Manque d'équipements spécifiques :

- Manque d'outillage pour la maintenance électrique et mécanique des équipements.
- Manque d'un débitmètre à l'entrée et à la sortie (Le débit avoisine les 1600 m³/H).
- Absence de Pièces de rechange électrique et mécanique.

8- Problème d'effectifs :

- L'effectif à plein temps est de 07 éléments entre cadres et exécution.
- Manque d'effectif spécialisé :

1. Pour couvrir l'entretien et réparation mécanique et électrique des équipements de la station.
2. Pour entretenir l'espace vert de la station (jardiniers).

2.2 Solutions proposées :

1. Dégrilleur :

Installation d'un équipement mécanique pour l'évacuation des déchets solides.

2. Déshuileur:

Nouvelle conception qui permettra de racler toutes les huiles.

3. Equipements : Doté la station en :

- Un lot de pièces de rechange (Roues de guidage décanteurs– racleurs– roulements – anti-dévireur - flexibles pour bouche d'incendie...)
 - Fournitures électriques.
- 4.** Renforcement en moyen humain pour permettre l'évacuation rapide des boues séchées, ou l'installation d'une station de séchage mécanique des boues et l'acquisition d'un tracteur à benne.
 - 5.** Nous préconisons l'installation des batteries de compensation d'énergie électrique pour diminuer le coût d'énergie électrique.
 - 6.** L'acquisition des réactifs et appareils portable pour prendre les mesures sur place, et assurer les opérations chimiques.
 - 7.** L'acquisition des caisses à outils mécanique et électrique de bonne qualité, l'installation de deux débitmètres un à l'entrée et l'autre à la sortie.
 - 8.** Faire un recrutement de personnel pour couvrir le besoin en moyens humain conforme aux normes.

2.3 La station de traitement des eaux usées :

La wilaya de Souk-Ahras dispose de trois stations d'épuration des eaux polluées ou usées (STEP) à faible charge polluante :

- STEP de Souk – Ahras
- STEP de Hannancha
- STEP de Sedrata

La station de traitement des eaux usées domestiques de la wilaya de Souk-Ahras : station de traitement des eaux polluées ce trouve à environ 5 km de la ville, le type de réseau alimentant la STEP est unitaire c'est-à-dire que les effluents domestiques sont mélangées aux eaux de pluies. La station fonctionne à faible charge car la ville n'est pas à vocation industriel mais plutôt agricole, le traitement utilisé est biologique de type boues activées. (Figure N : 07.)

La STEP à une superficie globale de 13 Hectares , possédant deux filières de traitement dont une est seulement fonctionnelle car répondant aux besoins actuelles qui sont de 150.000

équivalent habitant de population raccordée (environ 70%) et un débit journalier de 30.000 m³ /j .

La date de mise en service de la station fût en Janvier 2003, gérer par l'office national de l'assainissement, elle a été créé dans le but de protéger la vallée de l'oued Medjerda de la pollution, et la production des eaux épurées à des fins agricoles (création d'un périmètre irrigué de Dardoura 300 Hectares).

Les eaux usées qui ne sont pas raccordés à la station subissent une décantation au niveau des fosses septiques ou les bactéries absorbent les polluants et les eaux sont également débarrassées de leurs déchets solides grâce à un dispositif de dégrillage au niveau des fosses, remplissant à plus petite échelle le rôle des stations d'épuration. (ONA 2004).



FigureN°11 : Image satellite de la station de traitement des eaux polluées de Souk-Ahras

2.4 Situation géographique de la commune de Hannancha :

La commune de Hannancha est située à 15 km à l'Ouest de la ville de Souk Ahras, dans le Nord Est du pays, à environ 100 km au sud –est d'Annaba. Elle s'inscrit dans un rectangle défini par les coordonnées Lambert (Nord Algérie) (966-977) horizontales et (340-349) verticales. Voir figure 1 et 2.

La commune est très étendue, l'habitat est dispersé. La station d'épuration traite les eaux de la zone agglomérée uniquement (env.4000 habitants sur 18000 habitants que compte la totalité de la commune).

L'agglomération chef lieu (ACL) est située le long de l'Oued Medjerda, qui se jette dans la retenue d'eau toute proche d'Ain Dalia (barrage). Cette retenue d'eau est alimentée par plusieurs affluents, dont le principal est l'Oued Medjerda.

L'agglomération est située au pied d'un relief de type collinaire, favorisant l'arrivée d'eau de ruissellement vers l'aval, passant pour partie dans le village lui-même, et par conséquent dans le réseau d'assainissement (unitaire).

Un pont est actuellement en construction pour retrouver le tracé de l'ancienne route vers l'agglomération chef lieu depuis la ville de Souk Ahras toute proche, la retenue d'eau ayant recouvert l'ancienne route. Provisoirement, l'accès au chef lieu de Hannancha a été rallongé de plus de 5 km (piste goudronnée sur env. 3km puis piste stabilisée sur 2 km jusqu'au Chef lieu de Hannancha).

2.4.1 Géomorphologies de l'oued Medjerda :

Est un ensemble de région hétérogène des hautes altitudes au Nord à sa tête par un relief accidenté où les écoulements ont un régime torrentiel, le profil en long irrégulier du talweg principal (Oued Medjerda) et ses principaux affluents tels que : Oued Medjerda, Oued Chouk, Oued Hammam et Oued Renem.

2.4.1.1 Présentation générale du bassin versant Mellegue Medjerda :

Le haut bassin de la Medjerda a une superficie de 217 km² a grosso modo, la forme d'un quadrilatère de 30 Km de long sur 7 Km de large. Et culmine au **RASS EL ALIA (1317m)** aux pieds duquel l'oued Medjerda prend sa source. L'oued coule au centre d'une véritable gouttière, encadrée par de longs reliefs, orientés **NE –NW** qui descendent rarement au dessous de 1000m (Dj Tebaga 1227m), Ce qui explique l'altitude moyenne élevée de B.V :820 m

- Les affluents : toujours courtes, au profil tendu confluent perpendiculairement avec l'Oued Medjerda.
- Du point de vue géologique, la haute vallée de Medjerda correspond un synclinal marneux, plus au moins pincé entre les reliefs gréseux et clair orientés NE-SW, le trais complexe hétérogène, marnes avec des venues clair, gypxapparait a l'Oued.
- La pluviométrie moyenne est de 280 mm (d'après la sorte Gaussen). Mais sa répartition n'est plus homogène, spatial que temporel.

- La végétation du platot d'absence de végétation importante est une des caractéristiques de ce BV. Les sommets greso-calcaires sont ouverts d'une maigre garrigue, basse et semi- ouverte.
- Caractéristiques physique du bassin : Il s'agit du haut bassin de l'Oued Medjerda, fleuve de l'Est qui après avoir traversé la Tunisie se jette dans Méditerranée au nord de Tunis.

Son exutoire à la station hydrométrique de Souk Ahras a les données Lambert suivantes :

X= 976.70

Y= 342.20

III Protocole expérimentale :

Dans le but de connaître l'effet de l'épandage de la boue active produite au niveau de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Souk-Ahras sur les propriétés physico-chimiques des sols et les caractéristiques biochimique de certaines culture qui poussent sur des sols ayant reçu un apport de Boue.

La démarche que nous avons adoptée consiste en :

Un échantillonnage de boues prélevé au niveau du site de production.

Un échantillonnage de sol au voisinage de la station d'épuration mais qui n'a pas reçu d'apport en boue.

Un échantillonnage de sol au voisinage de la station d'épuration et qui a reçu un apport en boue.

Un échantillonnage de sol dans une région agricole (commune de Hannacha) mais qui n'a pas reçu d'apport en boue.

Un échantillonnage de sol dans une région agricole (commune de Hannacha) et qui a reçu un apport en boue.

Un prélèvement des échantillons de Boue Fraîche.

3.1 Prélèvement des échantillons :

Pour chaque station on a prélevé deux échantillons avec une profondeur variante de 0-20cm et de 20-40cm.

3.2 Au laboratoire :

3.2.1 Préparation du sol :

Les échantillons ramenée au laboratoire sont séchés à l'aire libre pendant quelques jours, puis la grande partie à été broyée et tamisée à 2mm.

3.2.2 Méthode d'analyse physico-chimique :

Sur la fraction broyée et tamisée ont été effectuées les analyses suivantes :

- ⊕ Le pH_{eau}, pH_{KCl}.
- ⊕ La conductivité électrique.
- ⊕ L'humidité.
- ⊕ La matière organique.
- ⊕ La porosité.
- ⊕ Calcaire totale
- ⊕ La granulométrie.

Sur la fraction non traitée, on n'a effectué qu'une seule analyse : la densité apparente.

3.2.3 Les analyses physico-chimiques :

L'analyse des échantillons récoltés nous donnera des renseignements importants sur le sol. Voici une brève description des principaux paramètres appartenant d'une analyse de sol.

3.2.3.1 Le pH :

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il existe plusieurs méthodes de mesure du pH (pH_{eau} , pH_{KCl}). (DAJOZ, 1985). La mesure est électro métrique au pH mètre dans une suspension sol /eau (rapport 1/5).

3.2.3.1.1 Le pH_{eau} :

C'est la mesure de l'acidité d'une suspension de terre dans de l'eau, avec un rapport terre/eau normalisé (1/5). Il indique aussi la concentration en ions « H^+ » présente dans l'eau.

(MOREL, 1986). La lecture du pH se fait sur le pH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée et après un repos au moins d'une heure de la suspension. (BEN AMARA, 2007).

3.2.3.1.2 Le pH_{KCl} :

Il exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expression des degrés de saturation du complexe adsorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés. Dans notre étude, nous avons mesurés l'acidité d'une suspension de chlorure de potassium (KCl 1N), avec un rapport terre /solution normalisé. (DELLOUR, 1981).

3.2.3.2 La conductivité (C.E) :

La conductivité électrique s'effectue de la même manière que le pH eau (1/5 rapports du sol sol/eau), mais par le conductimètre à la place du pH mètre. (SAMAI, 2007).

3.2.3.3 L'humidité hygroscopique (H) :

L'humidité hygroscopique représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions d'assèchement naturelles.

C'est la quantité d'eau retenue à la surface externe des particules du sol et en équilibre avec la pression et l'humidité atmosphérique.

L'évaluation de l'humidité hygroscopique passe par un séchage à l'air libre puis un séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C. (BENSLAMA, 2005). Elle est représentée par la différence de poids.

3.2.3.4 La matière organique (MO):

Réalisé par incinération après passage au four à moufle à 450°C pendant 4h, elle est exprimée en pourcentage du poids sec de la terre. (BENSLAMA-ZANACHE, 1998).

3.2.3.5 La porosité :

La détermination de la porosité totale de petit agrégat de terre, secs conduit à l'évaluation de la porosité texturale ou l'estimation de la porosité minimale d'assemblage. (BARRIUSO, ANDREUX, PORTAL, 1990).

3.2.3.6 La densité apparente (D_A):

Sachant que la densité apparente des sols varie entre $1,00 \text{ g/cm}^3$ et $1,80 \text{ g/cm}^3$. (KAURICHEV, 1980 IN BOUDJEMAA, 2007). Elle représente la masse totale de l'agrégat/volume Totale de l'agrégat ; La « D_A » indique l'état ou la condition du sol, elle diminue avec la teneur du sol en humus. (DUTHIL, 1970 IN BOUDJEMAA, 2007).

3.2.3.7 La densité réelle (D_R):

Elle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, la « D_R » représente la masse du solide / le volume du solide, elle est généralement entre $2,5 \text{ g/cm}^3$ et $2,6 \text{ g/cm}^3$. (MOREL, 1989).

3.2.3.8 Calcaire total : par méthode titrimétrique.

3.2.3.9 La granulométrie :

L'analyse granulométrique d'un sol, consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. On sépare par les analyses de sol, les particules en trois classes distinctes : soit sable (de 2 à 0,05 mm), le limon (de 0,05 à 0,02 mm) et l'argile (inférieure à 0,02 mm). (DAMAY ET JULIEN, 1995). Cela nous permet de connaître certaines caractéristiques du sol, comme la capacité des racines à y pénétrer, la capacité du sol à retenir l'eau, ou sa vulnérabilité à la compaction. (CALVET, 2003) ; Et donc la granulométrie est effectuée selon la méthode internationale, le prélèvement des argiles et des limons fin a été effectué à l'aide de la pipette Robinson ; les sables fins et grossiers ont été récupérés par tamisage, les limons grossiers ont été déduits par différence. (OUMERZOUK ET BOUHARAS, 1993).

➤ Les principales classes texturales : selon le triangle textural de l'U.S.D.A

Pour définir la texture de la fraction de terre fine, on s'est servi du diagramme triangulaire représenté ci-dessous (Figure N : 11).

La méthode du triangle textural se fonde sur la classification granulométrique de l'USDA, qui répartit les particules de la façon suivante :

- ⊕ Le limon regroupe toutes les particules dont le calibre est compris entre 0,002 et 0,05 mm.
 - ⊕ L'argile comprend toute les particules dont le calibre est inférieur à 0,002 mm.
- (BONNEAU ET SOUCHIER, 1994).

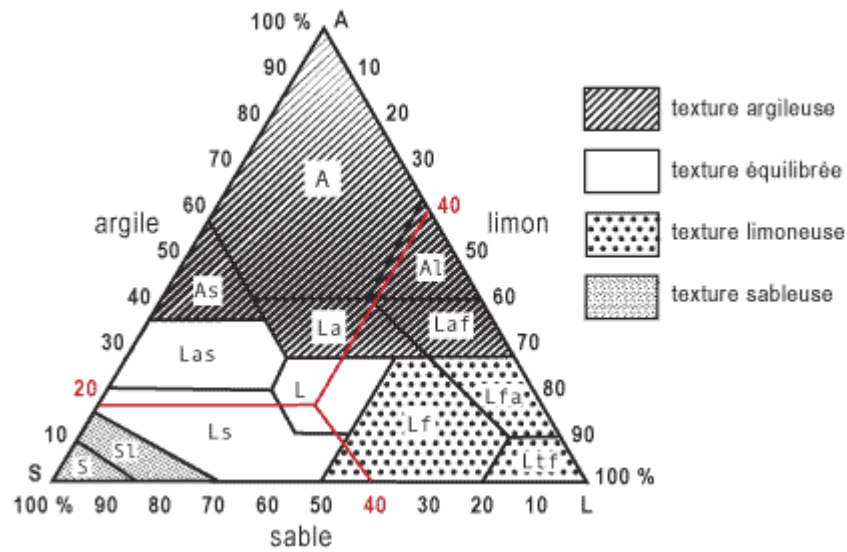


Figure N°12 : le triangle texturale (Anonyme : 03).

La légende

A : argileux	L : limoneux
As : argilo-sableux	Ls : limono-sableux
Al : argilo-limoneux	Lfa : limoneux fins argileux
La : limono-argileux	Lf : limoneux fins
Laf : limono-argileux fins	Ltf : limoneux très fins
Las : Limono-argileux sableux	Sl : sablo-limoneux
S : sableux	

3.2.4 Paramètres biochimiques :

3.2.4.1 Dosage de la chlorophylle : selon la méthode traditionnelle de (HOLDEN, 1975).

$$\text{Chl.}\underline{a}=12.7 \text{ (D.O663)}-2.69 \text{ (D.O645)}$$

$$\text{Chl.}\underline{b}=22.9 \text{ (D.O645)}-4.68 \text{ (D.O663)}$$

$$\text{Chl.}\underline{a}+\text{Chl.}\underline{b}=8.02 \text{ (D.O663)} + 20.2 \text{ (D.O645)}.$$

3.2.4.2 Dosage de la proline :

La technique utilisée pour le dosage de la proline est celle de (MONNEVEUX ET NEMMAR, 1986).

3.2.4.3 Dosage des métaux lourds : par l'absorption atomique

I Analyse du sol :

1 Les paramètres physico-chimiques :

Les résultats concernant les paramètres physico-chimiques du sol sont regroupés dans le tableau suivant : Tableau N°18 :

paramètres		PH	PH	C.E	H %	MO	CaCo 3	Poros	Tx
échant	Prof cm	eau	Kcl	ms/s		%	%	%	Cend%
ONA	0-20	9.06	7.14	0.16	2	4.28	23.87	35	98.40
	20-40	9.04	7.37	0.14	1.6	4.06	22.17	52	82.37
TT ONA	0-20	9.05	7.03	0.15	2	7.95	23.37	22	89.22
	20-40	9.10	7.15	0.16	3.4	6	21.12	59	83.95
Hannancha	0-20	9.24	7.22	0.18	3.4	9.11	21.52	10	96.30
TT Hannancha	0-20	9.19	7.13	0.13	5.8	17.83	22.6	33	79.40
	20-40	9.26	7.21	0.14	2	16.73	22.57	3	79.65
Blè	0-20	9.25	7.11	0.14	4.2	10.22	22.65	18	82.74
Orge	0-20	9.16	7.13	0.17	4.6	5.24	22.65	46	96.09
	20-40	9.23	7.14	0.19	3	7.42	23.22	18	78.19
Boue		7.90	6.77	3.38	4.4	35.77		2	88.50

❖ **Le pH eau** : indique la concentration en ions H^+ présents dans l'eau.

La lecture du tableau N°01 : montre que les valeurs du pH du sol s'échelonnent des pH basique en surface et même en profondeur et supérieur à celui des boues résiduaire. Ils sont sous le contrôle de plusieurs facteurs qui sont surtout ; la position topographique, la nature de la roche mère et la nature du couvert végétal.

❖ **Le pH Kcl** : exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expérience du degré de saturation du complexe absorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés.

Les valeurs du pH Kcl de la totalité des sols étudiés évoluent dans le même sens que le pH eau. Sauf on constate une augmentation du pH en profondeur par rapport à la surface. Donc notre profil est plus acide dans les couches profondes.

La différence entre pH eau et PH Kcl ne dépasse guère l'unité, cela est lié à la présence d'une quantité de calcaire qui offre au sol un pouvoir tampon assez important.

L'analyse de ces deux paramètres pH eau et pH Kcl montre que nos sols présentent une certaine stabilité et résistent assez bien à toutes modifications brutales des réactions du sol.

- ❖ **La conductivité électrique C.E :** Cette mesure physico-chimique nous donne une idée sur la concentration des électrolytes dans la solution du sol d'une part et du degré de salinisation des sols d'autres part.

Les résultats de notre analyse montrent que la majorité des sols ont une conductivité électrique faible dans le long du profil. Par contre on observe que celle de la boue résiduaire est très élevée par rapport à celle des sols.

- ❖ **L'humidité hygroscopique** représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions d'assèchement naturelles.

Les résultats obtenus, montre que cette humidité est comprise entre 1,6 % et 5,8 % ; ces valeurs sont en relation avec la texture du sol, elle est faible dans tout le profil ceci est lié aux caractéristiques physiques du sol qui retient qu'une faible quantité d'eau lorsqu'il est soumis aux conditions d'assèchement naturelles; et c'est le même cas pour la boue résiduaire.

- ❖ **Le dosage du calcaire total** dans nos sols montre des valeurs relativement fortes.

La présence du calcaire a joué un grand rôle dans les équilibres ioniques notamment au niveau des valeurs du pH.

La teneur en calcaire liée soit à la nature du substrat ou aux différents apports artificiels à corriger le pH du sol et à renforcer le pouvoir tampon de ces sols étudiés.

Et on constate l'absence totale du calcaire au niveau de la boue résiduaire.

- ❖ **La matière organique :** Les résultats obtenus montrent que la matière organique de nos sols est très variable et elle est plus élevée chez les sols témoins, et par ailleurs la boue résiduaire contient une quantité importante de matière organique de 35,77%.

- ❖ **La porosité :** Concernant la porosité, on constate une diminution chez la boue résiduaire par rapport au sol ; cette dernière est très basses en surface et devient presque confiné en bas du profil.

Cette situation favorise une moyenne activité biologique en surface et une accumulation des produits en profondeur.

- ❖ **L'évaluation de taux de cendre** confirme le caractère minéral des sols surtout en surface.

2 La granulométrie :

Les résultats des analyses granulométriques sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau N°19 :

Elément %		Ar	LG	L	S
Station		13,69	11,16	4,19	40,81
ONA	0-20 cm	4,33	8,25	24,83	34,76
	20-40 cm	5,06	10,42	12,23	38,92
TT ONA	0-20 cm	11,39	5,69	11,39	40,98
	20-40cm	6,33	10,57	7,92	41,14
Hannancha	20-40 cm	4,73	7,88	9,68	31,48
TT Hannancha	0-20 cm	3,05	8,94	9,39	37,31
	20-40 cm	6,29	9,88	11,58	35,18
	20-40 cm	2,43	11,73	15,39	37,96
Orge	0-20 cm	5,04	14,45	11,94	34,87
	20-40 cm	7,17	25,11	10,17	17,37
Boue					

L'analyse granulométrique décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules solides du sol (argiles limons et sables) ; l'analyse des échantillons de ce profil fait ressortir la dominance des sables et des limons en surface et en profondeur, alors que les argiles sont faible; d'après le triangle de texture, on définit que la texture est sablo-limoneuse.

3 Les métaux lourds :

Les résultats obtenus concernant le dosage des métaux lourds par l'absorption atomique sont montrés dans le tableau suivant :

Tableaux N°20 :

Con (ppm)	Pb	Cd	Cu	Zn
Echantillon				
ONA	0.2174	0.0326	0.0353	0.0192
TT ONA	0.1701	0.0548	0.0732	0.0678
Hannancha	0.2174	0.0385	0.0637	0.0516
TT Hannancha	0.0284	0.0489	0.0448	0.0789
Blé	0.3781	0.0518	0.0651	0.0634
Orge	0.2552	0.0504	0.0515	0.0656
Boue	0.3875	0.0607	0.0326	0.0700

Tableau N°20 : Dosage des métaux lourds

Les résultats obtenus dans le tableau N°4 montre les concentrations en ppm des métaux lourds qui ont subir une série de manipulations qui permet la mise en solution totale du métal avant le dosage par l'absorption atomique, on constate que la concentration des métaux évolue dans le même sens pour les quatre éléments, pour le plomb ; il est plus élevée par rapport à les autres éléments et pour les échantillons témoins on remarque une diminution , mais pour la boue on observe que les concentrations sont variables et elle sont plus élevées que celles des sols. Alors les résultats obtenus font apparaitre que le sol de notre étude contient des éléments en traces.

II La végétation :

1 La proline :

station échant	Station 1 ONA	Station 2 Hannancha	Station 3 Hannancha	Station 4 Hannancha	Station 5 ONA	Station 6 ONA	Station 7 ONA
Tige	1,048		2,449			0,846	
	1,145		1,907			1,405	
	1,072		2,454				
Feuille	0,348	0,829	2,411	0,279	2,122	0,423	0,484
	0,954	0,618	2,253	0,290	0,899	0,227	0,841
	0,646		2,502		1,684	0,770	
Racine	1,015	1,236		0,579	2,629	0,775	1,206
	0,742	1,155		2,400	2,873	0,129	0,524
	0,906			0,263	2,504	0,481	0,399

Tableau N°21 : Dosage de la proline

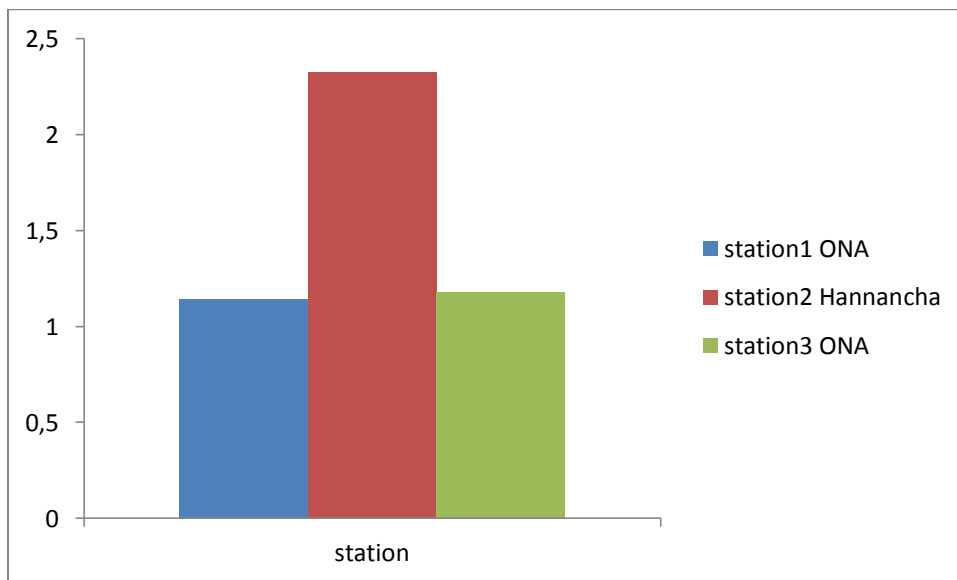


Figure N°01 : Teneur moyenne en proline des tiges en mg/g de PF

Selon la figure n°01 la teneur en proline des tiges à tendance à augmenter pour la station 2, se qui révèle l'état critique de la pollution au niveau de cette station. Nous constatons par ailleurs une baisse très nette en teneurs de proline pour les stations (1 et 3).

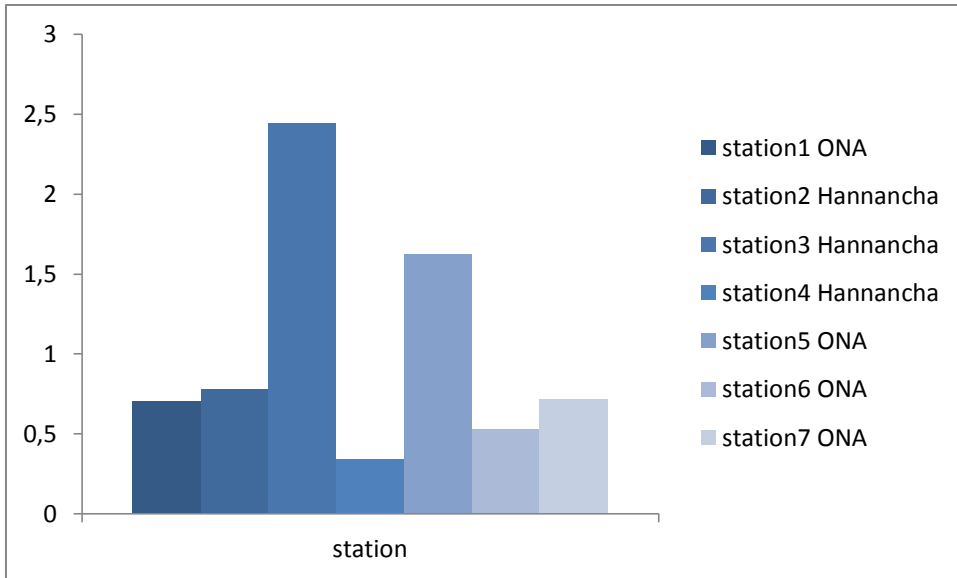


Figure N°02 : Teneur moyenne en proline des feuilles en mg/g de PF

D'après la figure n°2 qui illustre les variations des teneurs en proline des feuilles nous constatons que les taux de cette dernière ont tendance à augmenter progressivement pour les stations (3 et 5) et on observe une diminution progressive pour les autres stations et presque (3 fois) moins pour la station 4.

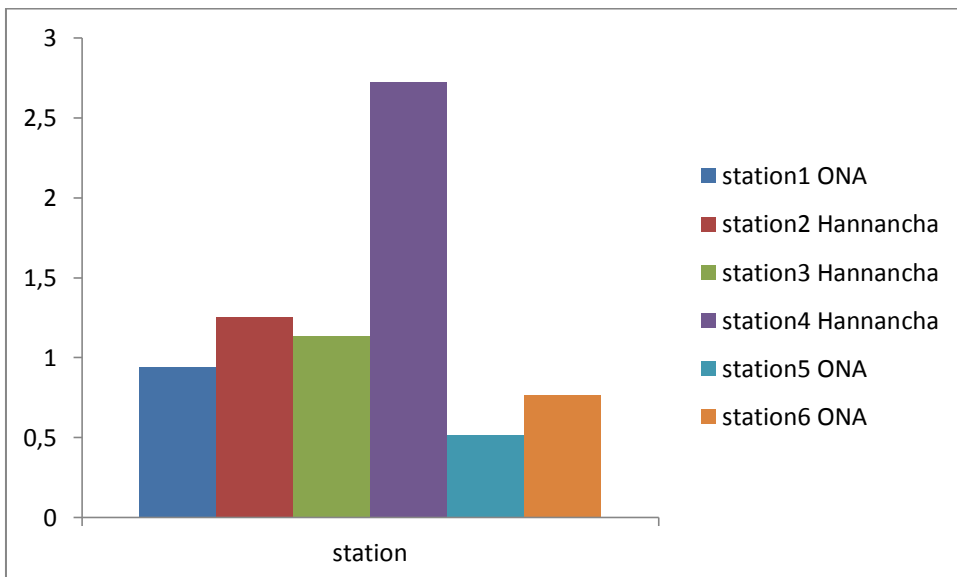


Figure N°03 : Teneur moyenne en proline des racines en mg/g de PF

La figure n°3 met en évidence le taux de la proline des racines ou on constate que ce dernier est (\approx 2fois) plus élevé dans la station 4 par rapport aux autres stations et la station 5enregistre les plus faibles teneurs.

2 La chlorophylle :

Valeur (nm)	Chl a	Chl b	Chla+chl b
Station			
Station 1 ONA	6,79321	1,02398	7,81558
	10,53728	1,11216	11,64716
	3,05186	5,36036	8,40926
Station 2 Hannancha	1,24737	2,10366	3,34986
	1,16654	2,06772	3,23312
	1,26351	1,96626	3,22866
Station 3 Hannancha	8,72087	2,19778	10,91618
	10,08065	2,31014	12,38804
	9,97561	2,4803	12,4531
Station 4 Hannancha	2,26477	5,23414	7,49614
	2,37969	4,35926	6,73656
	2,18425	4,78182	6,96352
Station 5 ONA	2,62893	3,4787	6,1056
	3,81215	1,99106	5,80166
	5,81531	1,38434	7,19804
Station 6 ONA	2,5877	3,20908	5,79488
	4,22719	2,8021	7,0273
	2,50943	2,4273	4,9352
Station 7 ONA	22,66708	3,87216	26,53366
	19,96868	5,74288	25,70558
	18,62711	6,30298	24,92408

Tableau N°22 : Dosage de la chlorophylle

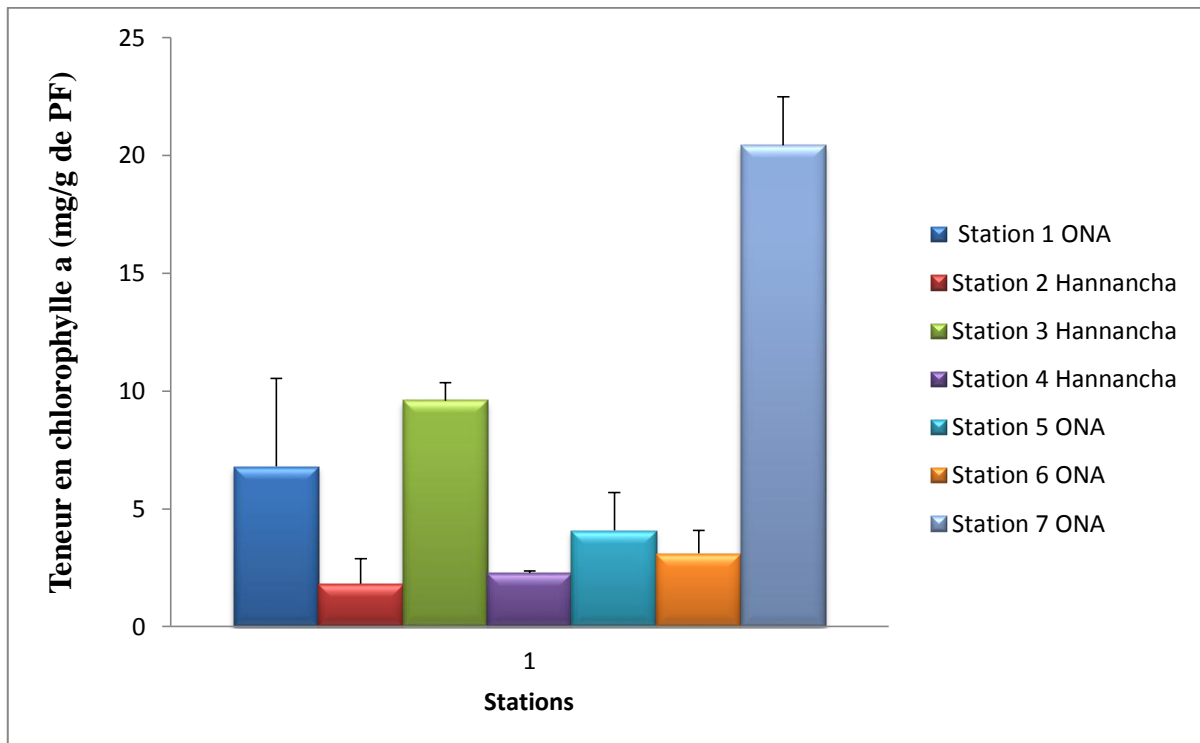


Figure N°04 : La teneur moyenne en chlorophylle a (mg/g de PF)

D'après la figure 4, la teneur moyenne en chlorophylle « a » est très importante dans la station 07 suivie par la station 03 de Hannancha et la station 01 ONA, alors que les autres stations ont presque les mêmes valeurs et qui sont très faibles.

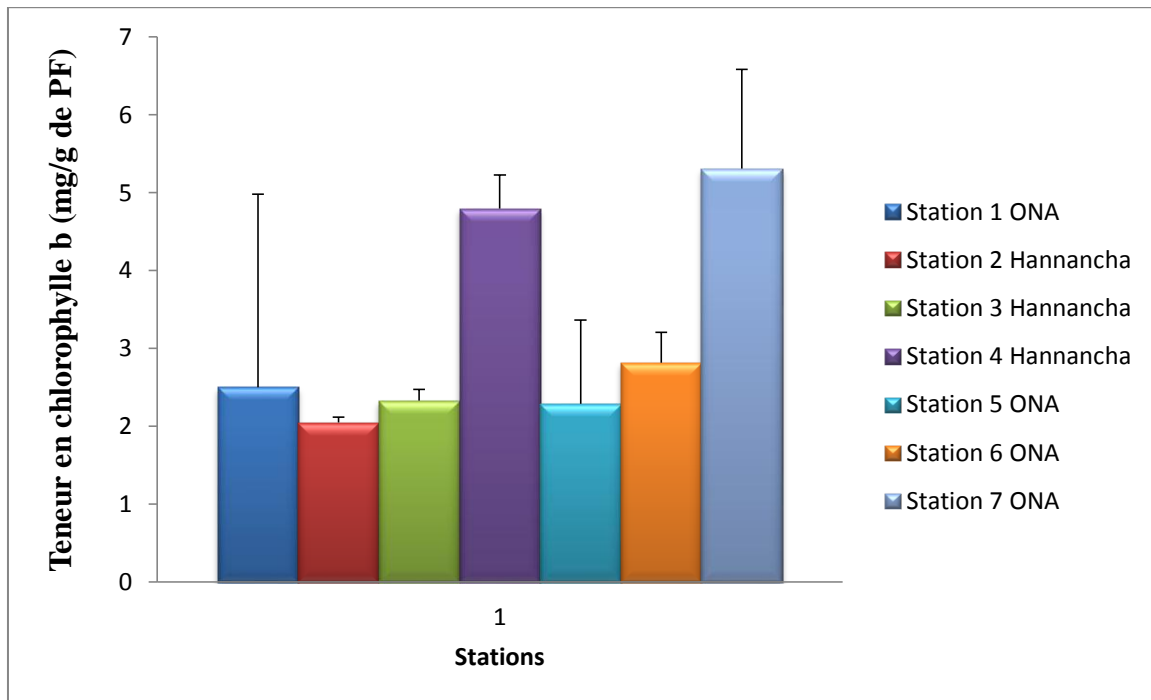


Figure N°05 : La teneur moyenne en chlorophylle b (mg/g de PF)

Le taux de la chlorophylle « b » est relativement bien équilibré (figure 5). Il est plus élevé dans les stations 04 et 07 tandis que les autres stations se distinguent par des valeurs proche mais faible.

La teneur moyenne en chlorophylle a+b (mg/g de PF)

La somme des deux types de chlorophylles a+b semble être sous le contrôle de la forme « a » (figure 06).

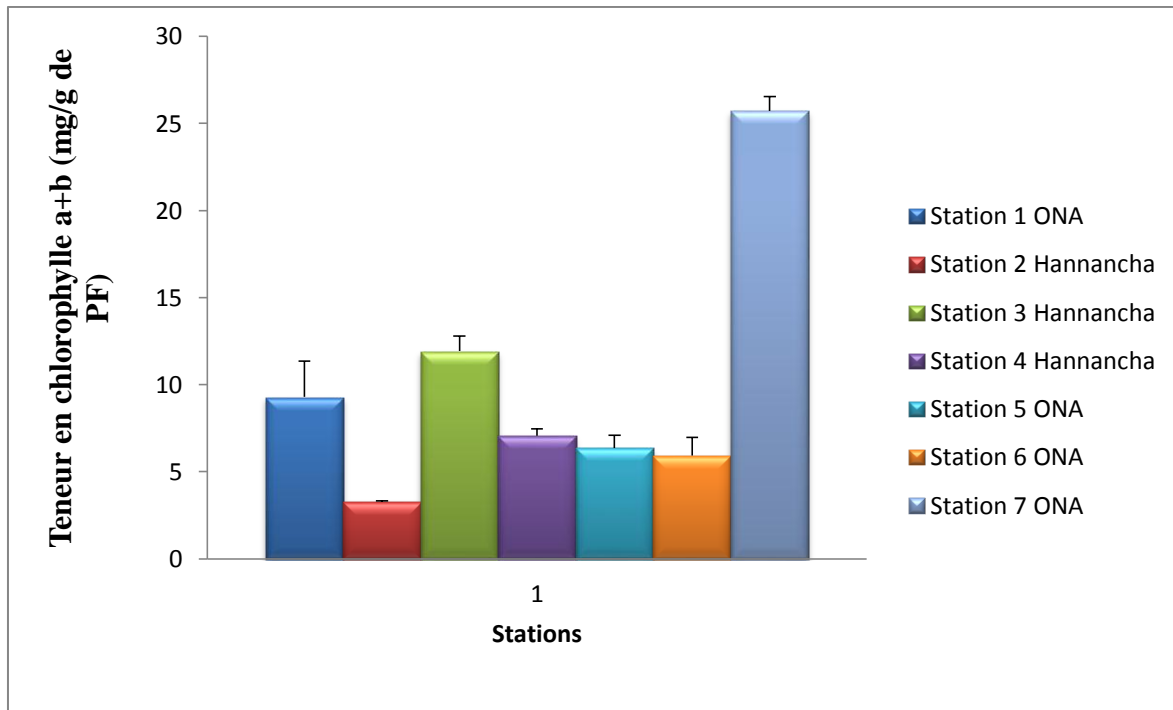


Figure N°06 : La teneur moyenne en chlorophylle a+b (mg/g de PF)

D'après la figure 6, les résultats font apparaitre que la teneur moyenne en chlorophylle a+b est très élevée dans la station 07. Alors qu'en constate une diminution progressive dans les autres stations comme la station 02.

3 Le Taux de cendre :

Les résultats de L'incinération du matériel végétal sont présentés dans le tableau suivant :

Echantillon		Taux de cendres%
Station 1 ONA	feuille	40
	tige	26
	racine	9
Station 2 Hannancha	feuille	31
	racine	13
Station 3 Hannancha	feuille	56
	tige	14
Station 4 Hannancha	feuille	31
	racine	97
Station 5 ONA	feuille	22
	racine	5
Station 6 ONA	feuille	44
	tige	20
	racine	18
Station 7 ONA	feuille	49
	racine	25

Tableau N°23: Valeur du taux de cendre

D'après le tableau N°09 qui illustre les variations de taux de cendres des végétaux prélevés on constate que l'évaluation de ce dernier est très importante au niveau des feuilles et elle est plus élevée par rapport à celle des tiges et des racines ces valeurs sont caractéristiques des plantes annuelles.

Discussion générale

Les analyses physico-chimiques de nos échantillons, montrent que le PH >7,5 c'est un PH basique dans cette catégorie, on trouve la majorité de nos échantillons 80% du total analyse ; et ils couvrent la plus grande surface et ils se développent sous différents couverts végétales.

Ils sont soit agricoles ou urbains ou reconstitués, mais tout se caractérisent par une teneur importante (>20%) de calcaire CaCO₃.

Selon (**RAMADE ; 1993**), le pH est un facteur prépondérant de la rétention des métaux lourds, car il contrôle la totalité des processus affectant le comportement de ces éléments. La variation du pH (naturelle en anthropique) semble être le facteur dont l'action sur la mobilité des métaux est la plus déterminante. La plupart des éléments métalliques en traces, sont plus mobiles en conditions acides qu'en conditions alcalins (**ALLOWAY, 1995**).

La teneur en matière organique du sol, peut être estimée à partir de l'évaluation du carbone organique, dans notre travail la teneur en matière organique est supérieure à 5%, se sont des sols très riches en matière organique, cependant les échantillons témoins ont des valeurs supérieure à celle des autres échantillons.

La porosité est un paramètre décrivant le sol, elle comprend deux facteurs : la densité apparente et la densité réelle ; la densité apparente indique l'état ou la condition de sol, diminue avec la teneur du sol humus (**DUTHIL, 1971**) ; la densité réelle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol.

Nos résultats indiquent que la porosité est faible chez les sols témoins par rapport à les sols traité et presque absente chez la boue elle est de l'ordre de (2%).

Parallèlement, le taux d'humidité qui représente la quantité d'eau que peut retenir le sol, diminue chez les échantillons traités par rapport aux témoins.

La conductivité électrique C.E cette mesure physico-chimique nous donne une idée sur la concentration des électrolytes dans la solution du sol d'une part et du degré de salinisation des sols d'autres part.

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que les sols ont une faible conductivité par rapport à celle de la boue résiduaire.

La teneur en calcaire totale est importante dans nos résultats se qui montre que le calcaire est présent en forte quantité dans le sol.

L'évaluation des taux de cendres est variable d'un sol à l'autre et elle est présentée par des valeurs forte et importante se qui confirme le caractère minérale des sols et surtout en surface. D'après le triangle de texture, on définit que la texture des sols est sablo-limoneuse.

Les résultats concernant la teneur du sol en élément en trace ont révélé que les concentrations de ces métaux des échantillons traités, est élevée par rapport a celles obtenues chez les témoins.

En effet, le Plomb est utilisé comme antidétonant dans les carburants (**DURAND, 2003**), il s'accumule dans les horizons de surface (**STECKEMAN ET AL, 2000**) et plus précisément dans les horizons riches en matière organique.

Les teneurs en Pb diminuent, ensuite, plus en profondeur (**D'ABREU ET AL, 1998**). Ceci s'explique par le fait que le Pb est peu mobile. Etant principalement associé aux argiles, aux oxydes, aux hydroxydes de fer et à la matière organique, il n'est mobile que lorsqu'il forme des complexes organiques solubles. (**MORLOT, 1996 ; RASKIN ET ENSLEY, 2000**).

Les analyses effectuées sur les espèces prélevées sur les deux sites, ont mis en évidence:

Nous avons procédé au dosage des teneurs moyennes en chlorophylle a et b, et chlorophylle totale (a+b) paramètres susceptibles de nous indiquer un éventuel stress, car considérées comme bio marqueur de la toxicité des végétaux puisque des corrélations entre les densités cellulaires et les paramètres de la fluorescence photosynthétiques ont prouvé que ces dernières pouvaient être considérées comme bio marqueur de la toxicité dans le cadre de la pollution environnementale (**DEWEZ ET AL, 2007**).

Les résultats obtenus montrent une stimulation du taux de chlorophylle (a, b et a+b). Cette augmentation pourrait traduire une stimulation de la photosynthèse et peut être également expliquée, par les besoins en précurseurs pour la synthèse de certains polypeptides spécifiques (phytochélatines) via la photo respiration (**ROBERTT ET ROLAND, 1998 ; LIDIA ET AL, 2004**).

En revanche les résultats obtenus dans notre travail concordent beaucoup plus avec ceux de (**HARRIECHE, 2004**), qui rapporte un effet stimulateur du cadmium sur la teneur en chlorophylle.

L'autre élément indicateur d'un effet de stress chez le végétal est l'augmentation du taux du proline. Dans notre travail, nous avons mis en évidence une augmentation significative du

taux de proline. La proline peut jouer un rôle osmoprotecteur (PALEG ET AL, 1984 ; DELAUNEY ET VERMA, 1993 ; TAYLOR, 1996). Stabilisateur des protéines (KUZNETSIV ET SHEVEYAKOVA, 1997, SHAH ET DUBEY, 1998), inhibiteur des métaux (FARAGO ET MULLEN, 1979) et inhibiteur de la peroxydation (MEHTA ET GAUR, 1999).

Cette augmentation du taux de proline peut être expliquée selon (OBER ET SHARP 1994), par un effet de stress chez la plante. La synthèse de la proline peut impliquer également un allègement de l'acidification du cytoplasme qui permet de maintenir le rapport NADP/NADPH à une valeur compatible à celle du métabolisme (HARE ET CRESS, 1997). SELON (MONNERVEUX ET NERMANN, 1989), l'accumulation de proline est associée à la résistance de la plante au stress, ce qui pourrait donc être l'un des facteurs qui expliquent le mieux la stratégie d'adaptation des plantes.

Afin de confirmer l'état de stress provoqué chez nos échantillons nous avons suivi également l'évolution du taux de proline, connue comme étant un marqueur du stress chez les végétaux. Nos résultats ont mis en évidence une augmentation du taux de proline concordent avec ceux de (BENSOLTANE, 2006) qui a enregistré une augmentation de la proline lors d'un stress du au NH_4NO_3 chez les mousses et les lichens.

Notre résultats montre que le végétale contient quelque quantité de métal.

D'après ce travaille et ces résultats on constate que le sol étudié est légèrement pollué.

Conclusion générale :

Une station d'épuration existe pour protéger le milieu environnant notamment la ressource hydrique.

Le parc des stations d'épuration d'eaux usées urbaines en Algérie est constitué essentiellement de procédés d'épuration à boues activées. Ce procédé produit des boues de manière régulière (Journalière) qui oblige leur gestion sur le site de la station avant destination finale. (GUY ATLAN 2003).

Les rôles secondaires restent bien entendu la réutilisation des eaux épurées en agriculture et à usage industriel ainsi que la valorisation des boues produites en agriculture par leur composition, ces boues peuvent avoir des effets bénéfiques sur les propriétés chimiques et physiques du sol.

Les boues d'épuration ont des propriétés agronomiques utiles dans le domaine de l'agriculture. Leur utilisation doit tenir compte des besoins nutritionnels des plantes sans toutefois compromettre la qualité des sols ni celle des eaux superficielles et souterraines. En effet, certains métaux lourds présents dans les boues d'épuration peuvent être toxiques pour les plantes et pour l'homme.

Notre travail avait pour but de mettre en évidence l'effet des boues actives sur les propriétés des sols en premier lieu et sur la végétation en deuxième lieu. Pour ce faire nous avons échantillonné, le sol et la végétation dans deux sites et sur des sols qui ont reçu un apport en boue et sur un sol qui n'a pas reçu de boue.

Les analyses physico chimiques du sol, biochimiques de la végétation ainsi que l'évaluation de la contamination par les métaux lourds nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Les sols de la région sont très pauvres en matière organique et un apport en boue ne fait qu'améliorer les propriétés physico chimiques en premier lieu et nous sommes loin des risques de pollution.

Les quantités apportées restent très faible vue les besoins des sols et elle doit être calculé en tenant compte de la vitesse de minéralisation de la matière organique sous ses conditions climatiques favorable à toute activité biologique.

L'effet de l'apport en boue sur la concentration des métaux lourds dans le sol ou dans les végétaux n'a pas été observé.

Nous recommandons une poursuite de ce travail sur une longue période toute en utilisant des doses variables et des apports espacés dans le temps.

Références bibliographiques :

ADEME, 1995 : - Les micro-polluants métalliques des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, Ademe édition, Paris, pp. 209.

ADEME, 1996 : - La faune, indicateur de la qualité des sols, Ademe édition, Paris, pp. 62.

ADEME, 1999 : - Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition, Paris, pp. 159.

ADEME, 2001 a : - Les boues chaulées des stations d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp. 224.

ADEME, 2001 b ; Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, Ademe édition, Paris, pp. 59.

AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A, 2000: - Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*, 71, p 253-259.

ALBRECHT, R, 2007 ; Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. thèse de doctorat

AMADOU, H, 2007 : - Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de stations d'épuration urbaines. Thèses de doctorat, Université Louis Pasteur.

ANDREUX, F, 2002 : - XXXV^{ème} Congrès du groupe Français des Pesticides produits.

ARROUAYS, MARTIN, S. , BAIZE, D., BONNEAU, M., CHAUSSOD, R., CIESELSKI, H., GAULTIER, J.P., KING, D., LAVELLE, P., LEGROS, J.P., LEPRETRE, A. STERCKEMAN, T 1999 : - Observatoire de la qualité des sols. Rapport sur les travaux 1995-1998 ; 54 pages, INRA Orléans, Documentation de centre, Accès.

AUBERT, G, 1978 : - Méthodes d'analyse des sols. Marseille : G.R.D.P.191 p.

Applied and Environmental Microbiology, 1976, 32 n°4, P, 537-546.

ARNON, D.I, 1949: - Cooper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxylase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.* 24: p 1-25.

Références bibliographiques

BENSLAMA, M., ZANACHE H, 1998 : - Contribution à l'étude de la diversité des microorganismes (champignons saprophytes des sols du complexe humide d'El-Kala, Nord-Algerien). « Cas des station d'El-Khoubzi, Righia et Lac Noir ».

BENSOLTANE, S, 2006 : - Evaluation de la toxicité du nitrate d'ammonium (NH_4NO_3) sur différents modèles biologiques: Mammifères, Végétaux, et Protistes ciliés. Thèse de doctorat d'état en Eco toxicologie Animale. Université d'Annaba. 153p.

BLANCHARD, M., TEIL, M.-J., OLLIVON, D., GARBAN, B., CHESTERIKOFF, C. & CHEVREUIL, M, 2001: - Origin and distribution of polyaromatic hydrocarbons and polychlorobiphenyls in urban effluents to wastewater treatment plants of the Paris area (France). *Water Research*, 35 (15), p 3679-3687.

BINEY A, T. AMUZOU A, T, 1994 : - Revue de la pollution dans l'environnement aquatique Africain. F.A.O. Document technique du C.P.C.A, n°25, P37-67.

BNEDER, 2007 : - Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.

BOUCHABOU, S, 2009 : - Evaluation et caractérisation de la litière forestière en fonction des groupements (chêne liège et chêne zeen) de la région de Ouled Bechih (Souk-Ahras).Mémoire de mastere en monitoring des milieux naturels et gestion durable des ressources. Université d'Annaba.

BONNEAU ET SOUCHIER, 1994 : - Pédologie 2 : constituants et propriétés du sol. Ed. Masson.

BOUGRIER, C, 2005 : - Optimisation du Procédé de Méthanisation par Mise en Place d'un Co-Traitement: Application au Gisement de Biogaz Représenté par les Boues d'Épuration des Eaux Usées', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.

BRAME, V, 1986 : - les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. Serie documents tschniques A.F.E.E. France.

CALVET, 2003 : - Le Sol propriétés et fonction: Tom I et II. Ed Dunod.

COÏC Y., COPPENET, M, 1989 : Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Incidences sur la nutrition humaine. Paris : INRA Ed.114 p.

Contamination des sols par les éléments en traces » - Académie des Sciences n° 42 - août 1998.

Références bibliographiques

- COOPER R.C., POTTER J.L., LEONG 1975:** - Virus survival in solid waste leachates. Water Research Pergamon Press, vol. 9 P 733-739.
- DAJOZ, R, 1985 :** - Précis de pédologie. Ed. Bordas. Paris. Dunod Université.p 331.
- DAVIDE, L, 1956 :** - Etude géologique sur le mont de Medjerda ; la willaya de Souk-Ahras.
- DAVIES, B.E., WHITE, H.M, 1981:** - Trace elements in vegetables grown on soils contaminated by base metal mining. - J. Plant Nutr. 3, p 387-396.
- DEBRUCK, J., VOMEL, A 1972:** - Die Verwertung der Nährstoff im Abwasserschlam Landwirtschaftliche Forschung Dtsch, tome 17, N°1, P 39-60.
- DELAUNEY, A.J., AND VERMA,DPS. 1993:-**Proline biosynthesis and osmoregulation in plant. **14:** p 215-223.
- DEMOLON,A 1966 :** - Principe d'agronomie : dynamique du sol. Ed. Dunod.
- DJEFFEL, A, 2005 :** - Etude agro pédologique de la willaya de Souk-Ahras.
- DUBEY, R.C. ET DWIVIDI R, S, 1988:** - Effet of heavy metals on growth and survival of *Macrophomina Phaseolina* (Tassi) Goid. Biology and Fertility of soils N°6, P 311-314.
- DUCHAUFOUR, 2001 :** - Introduction à la science du sol - 6^{ème} Ed de l'abrégé de pédologie Dunod, 331p.
- DUDKOWSKI, A, 2000 :** - L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. Courrier de l'Environnement de l'INRA, pp. 134-135.
- ECHAB, A1998 :** - Réutilisation des boues de stations d'épuration des eaux usées en agriculture : Impact des métaux lourds. Thèse 3e Cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc, p. 80-83 (141 p.).
- EDMONDS, R.L, 1979:** - Survival of coliform bacteria in sewage sludge applied to a forest clearcut and potential movement into groundwater.
- ELLIOTT, L.F., ELLIS, J.R 1977:** - Bacterial and viral pathogens associated with land application of organic wastes. J. Environ. Qual., 6 n°3, P 245-251.
- EMBERGER, L, 1930 :** - Sur une formule climatique applicable en géographie botanique. CR. Acad. Sc. (191 p).

Références bibliographiques

EMBERGER, L, 1936 : - Remarque critique sous les étages de végétation dans les montagnes marocaines. Bull. Soc. Bot .Suisse.

EMBERGER, L, 1955 m : - Une classification biogéographique des climats. Nature. Monspl. Série Bot ;(7).

Encyclopédie Larousse de 2009, la formation de substrats inhabituellement acides, radioactifs ou chargés en métaux toxiques.

ERIC GUBELIN nd : - Lutte contre la pollution des eaux. Traitements des boues d'épuration.

FARAGO, M.F., AND MULAN, W.A, 1979: - Plants with accumulate metals. Part IV. A possible copper-proline complex from the roots of *Asperula maritima* L. *Acta. Tnorg chin-Acta.* **32:** L93-L94.

GABARDA, O.D, 2000 : - Les boues de station d'épuration d'eaux usées urbaines: les filières alternatives à l'épandage. In *Que faire des boues ? Une approche socio-économique du Club Environnement et Société.* Ecrin, Paris. P. 58-60.

GAMRASNI, M.A, 1979 : - Utilisation agricole des boues résiduelles d'origine urbaine. P 73-92.

GODIN, P, 1982 : - Sources de contamination et enjeux. - Séminaire Eléments traces et pollution des sols, Paris, 3 p.

GURY, M, 1990 : - Genèse et fonctionnement actuel des pseudogleys podzoliques sur terrasses alluviales dans l'Est de la France. Thèse Doc. Etat. Nancy I. 218 p+ annexe.

GUY, A, 2003 : - Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France.

GRIL, J.J., LECLERC, L.A., TETART, J.M, 1977 : - stockage et valorisation agricole des boues d'épuration à l'état liquide. TSM-EAU, 72, n°5, P. 203-210.

HANSEN, J.A., TJELL, J.C nd: - Problèmes toxicologiques posés par l'utilisation finale des boues dans l'agriculture. Traduction d'un document danois.

HARE, P.D., AND CRESS, W.A., 1997: - Metabolism implication of stress. Induced proline accumulation in plant. *Plant growth regulate.* **21:** 79-102.

Références bibliographiques

HARRIECHE, O, 2004 : - Impact du cadmium et de l'interaction cadmium-calcium sur la germination et la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf., variété Vitron). Effets sur la respiration des racines. Mémoire de Magistère. Université d'Annaba. 79 p.

HASSELGREN, K, 1999: - Utilization of sewage sludge in short rotation energy forestry: A pilot study. *Waste Management and Research*, 17, p 251-262.

HAYS, B.D, 1977: - Is there a potential for parasitic disease transmission from land application of sewage effluents and sludge. *J. Environ Health*, 39, n°6, P 424-426.

HENIN, S., GRAS R., MONNIER, G, 1970 : - Le profil cultural. Masson, Paris, 332p.

HERBILLON, A.J, 1986: - 8 the intern, Soil Cassif Workschop, Bresil, 39- 47.

HIDLEBAUGB, A.R, 1973: - Soil limitations in Applyind Treated W aste Water Effluent and.

HOLDEN, M, 1975:-Chlorophylls I, chemistry and biochemistry of plant pigments. 2^{ème} édition. T. w. Goodwin. Edition. Academic press, New York, pp 1-37.

HUE, N.V, 1995: - Sewage sludge. In *Soil amendments and environmental quality*, Chp 6, CRC Press. p. 199-247.

HYDE, H.C, 1976: - Utilization of wastewater sludge for agricultural soil enrichment. *JWPCF*, vol, 48, n°1, P 77-90.

JACQUES, B., ET PAUL-HENRI, B, 1998 : - Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leurs gestion. P 12-13 et 30-31.

JACQUES, V., BRGM, 1999 : - Communication au colloque « Santé-Environnement, les risques cachés.

JARDE, E 2002 : - composition organique de boues résiduares de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.

JEROME, G nd : - Lutte contre la pollution des eaux. Valorisation énergétique des boues.

JOCTEUR, M, L 2001 : - Conséquences de l'anthropisation des sols. Les boues: quels risques? Colloque Marseille. 5 avril 2001. Mouvement National de Lutte pour l'Environnement éd.

JONES, R.L., HINESLY, T.D., ZIEGLER, E.L., TYLER, J.J, 1975: - Cadmium and Zinc contents of corn leaf and grain produced by sludge-amended soil. *J Environ.Qual.* vol. 4. N°4, P 509-514.

Références bibliographiques

- JORGENSEN, E 1976:** - An ecological model for heavy metal contamination of drops and ground water. *Ecological Modelling*, n°2, P 59-67.
- KHANFOUCI, M, 2005 :** - Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'atlas. Mémoire de magister en science forestière. Université de Batna.
- KAREM, A., HUDSON-EDWARDS, MARK G-MACKIN, CHARLES D.CURTIS ET DAVID J VAUGHAN, 1996:** - Processus of formation and Distribution of Pb-Zn-Cd and Cu, Bearing minerals in the tyne Basin Northeast England: implications for metal contaminated River systems. *Environmental Science and Technology* Vol 30, N°1 P 72-80.
- KIRKHAM, M.B, 1974:** - Disposal of Sludge on land: Effect on Soils, Plants, and Ground Water. *Compost Science*, P. 6-10.
- KIRKHAM, M.B, 1977:** - Growth of tulips treated with sludge containing dewatering chemicals. *Environ. Pollut.* 13, n°1, P 11-20.
- KORMANIK, R.A, 1972:** - Estimating solids production for sludge handling *Water & Sewage Works*, P 72-74.
- KROGH, P.H, 1995:** - Effects of pesticides on the reproduction of *Hypoaspis aculeifer* in the laboratory. XI International Colloquium on the soil zoology. Colloque Jyväskylä, Finland. Finnish zoological and Botanical Publishing Board éd. P 333-337.
- KROGH, P.H., PEDERSEN, M, 1997:** - Ecological effects assessment of industrial sludge for microarthropods and decomposition in a spruce plantation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 36, p 162-168.
- KUZNETSOV, V.V., AND SHEVYAKOVA, N.I, 1997:** - Stress Responses of tobacco cells to high temperature and salinity: Proline phosphorylation of polypeptides. *Physiol. Plant.* **100**: 320-386.
- LAHANN, R.W 1976:** - Molybdenum hazard in land disposal of sewage sludge. *Water, Air, Soil Pollution*, 6, n°1, P3-7
- LANDA, EDWARD R.; FELLER, CHRISTIAN (EDS.), 2010:** - Soil and culture. 524 p.
- LASKOWSKI, R. ET HOPKIN, S.P. 1996:** - Effect of Zn, Cu, Pb, and Cd on fitness in snails (*Helix aspersa*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 34, pp. 59-69.

Références bibliographiques

Le Dictionnaire de l'environnement. Les termes normalisés ; Lexique français-anglais, anglais-français. Paris La Défense, AFNOR, 1994.- 307 p de l'AFNOR.

LEEPER, G.W 1977: - Managing the heavy metals on the land. Marcel Dekker, Inc.

Lexique français-anglais, anglais-français. Paris La Défense, AFNOR, 1994.- 307

LIDIA, B., VYSOTSKAYA, N., TATYANA, N., LEILA, TIMERGALINA, V., ALEKSANDR, DEDOV, YU., AND STANISLQV., 2004: - Effect of partial root excision on transpiration, root hydrolic conductance and leaf growth in wheat seedlings. *Plant Physiologie and Biochemistry* **1 42(3):** 251-255.

LOUE, A 1993 : - Oligo-éléments en agriculture. Paris: Editions Nathan, 2e éd. Viii, 577 p.

L'utilisation agricole des boues résiduaires des stations d'épuration I.N.R.A.1976.

La direction de la conservation des forêts de la willaya de Souk-Ahras.

La DSA : la Direction de Service Agricole de la willaya de Souk-Ahras.

La station météorologique de Souk-Ahras.

MAAS 1987 : - la pollution de l'eau origine naturel et effet des polluants. Contrôle et législation. Epuration des eaux. WWE Belgique P1-34.

MA L.Q, RAO G.N 1997: - Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils. - *J. Environ. Qual.*, 26(1), p 259-264.

MESAADIA, F, 2009 : - Les caractéristiques physicochimiques des boues résiduaires et leur utilisation dans les sols de la haute vallée d'oued Medjerda, la willaya de Souk-Ahras.

MEHTA, S.K., AND GAUR, J.P., 1999: - Heavy metal-induced praline accumulation an dits role in amelioring metal toxicity in chorella vulgaris. *New phytol.* **143:** 253-259.

MILLER R.W, AZZARI A.S, GARDINER D.T 1995: - Heavy metals in crops as affected by soil types and sewage sludge rates. - *Commun., Soil Sci. Plant Anal.*, 26(5-6), p 703-711.

MONNEUVEUX ET NEMMAR, 1986 : - Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au du cycle de développement, 583-590p.

Références bibliographiques

- MOREL, J. L., 1977 :** - Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduelles dans le sol. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy 1, France, p 117.
- MURILLO, M, 2004 ;** Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- OBER, E.S., AND SHARP, R.E., 1994:** - Proline accumulation in maize (*Zea mays* L.) primary roots at low water potentials. I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol.* **105:** 981-987.
- Office nationale d'assainissement 2004. Souk-Ahras.
- PAGLIAI, M. & VITTORI ANTISARI, L. 1993:** - Influence of waste organic matter on soil micro- and macrostructure. *Bioresource Technology*, 43, 205-213.
- PALEG, L.G., STEWART, G.R., AND BRADBEER, J.W., 1984:** - Proline and glycine betaine influence protein solvation. *Physiol* **75:** 974-978.
- PERNIN, C 2003 :** - Épandage de boues d'épuration en milieu sylvo-pastoral. Étude des effets in situ et en mésocosmes sur la mésofaune du sol et la décomposition d'une litière de chêne liège (*Quercus suber* L.) Thèse de doctorat.
- PICKFORD, J, 1971:** - Sludge treatment and disposal. Fourth public health engineering conference.
- QUEZEL, P, 1978:** - Analysis of flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Ann.Missouri. Bot. Gard;* 65. (2).
- QUEZEL P, BARBERO M, BONIN G ET LOISEL R, 1990:** - Recent plant invasions in the centro-mediterranean region. In Discrini and al, « Biological invasions ». Kluwer Publ.
- QUEZEL, P, 2000 :** - Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press. Paris.
- RADA A, 1996 :** - Étude de la contamination métallique des sols de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech (Maroc) : contribution du fond géochimique et des apports anthropogéniques dans le transfert du cadmium dans un système sol-plante. Thèse Doct. État. Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci., Semlalia, Marrakech, Maroc, 153 p.

Références bibliographiques

RAMADE, F, 1978 : - Eléments d'écologie appliquée actions de l'homme sur la biosphère.

EDMC Graw-Hill, Paris, P 266.

ROBERT, D., AND ROLAND, J.C., 1998 : - Organisation cellulaire: Biologie végétale. *Ed Doin 1*: 125-345.

SALH, M, 2003 : - Procèdes Couplés aux Boues Activées-Ozonisation pour la Réduction dans la Production de Boues: Etude Modélisation et Intégration dans la Filière de Traitement des Eaux'. Thèse de Doctorat, INSA Toulouse.

SCHÄFER, U, 2004; Manganese. In Merian (E.), Anke (M.), Ihnat (M.), Stoeppler (Eds.), Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance. 2, Metals and their compounds. Weinheim: Wiley-VCH, 2nd ed. completely rev. And enlarged p. 901-930 (xLii, 479-1247). 92

SEDKI, A, 1995 ; Étude écotoxicologique de la contamination de deux chaînes alimentaires terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech. Thèse Doct. État, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc. 140p.

SHAH, K., AND DUBEY, R.S., 1998: - Effect of cadmium on praline accumulation and ribonuclease activity in rice seeding: role of praline as a possible enzyme protectant. *Biol plant* 40: 121-130.

SILVESTER, D. K., LEWIS K, P, 1976: - The ultimate disposal of sludge *Public Health Eng.* 4 n°6.p 153. 159.

SINGH, B.R, 1994: - Trace element availability to plants in agricultural soils with, special emphasis on fertilizer inputs. - *Environ. Rev.* 2(2),p 133-146.

SMITH, J.L, HOUK, C.P, 1976: - Land application of sewage sludge has been troubled by objections but tests at the University of Colorado show that Subsurface Injections solves sludge problems *Water & Wastes Eng.*, 13, n°9, P. 46-48, 1977, n°1, P. 35-42.

SOMMERS, L.E., NELSON , D.W., TERRY, R.E., SILVEIRA, D.J 1967: - Nitrogen and metal contamination of natural waters from sewage sludge disposal on land. N.T.I.S.

SOMMERS, L.E. 1977: - Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *Journal of Environmental Quality*, 6, p 225-232.

SOUCHIER, B, 1971 : - Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard. Thèse .Doc. Unev Nancy. 134 p.

SUH, Y.J. AND. ROUSSAUX, P, 2002: - An LCA of Alternative Waste Water Sludge Treatment Scenarios', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35, pp. 191 – 200.

TAUZIN, C, JUSTE, C, 1986 : - Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. Ministère de l'environnement, France.

TOUTAIN, F, 1974 : - Etude écologique de l'humification dans les Hêtraies acidophiles Thèse .Doc. Etat. Unev Nancy I ,114p.

WEBBER, M.D. & LESAGE, S, 1989: - Organic contaminants in Canadian municipal sludges. Waste Management and Research, 7, p 63-82.

WHITE, R.K. HAMDY, M.Y, 1972: - Sludg Disposal on Agricultural Soil Eng. Bull of Purdue Univ. N° 141, Part. 1, P. 191-201.

WARD, T.E. & LARSON, R.J,1989: - Biodegradation kinetics of linear alkylbenzene sulfonate in sludge-amended agricultural soils. Ecotoxicology and Environmental Safety. 17, 119-130.

ZOUAIDIA, H, 2006 : - Bilan des incendies de forêts dans l'est Algérien cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk-Ahras. Mémoire de magistère en écologie et environnement. Université de Constantine.

Des sites à visiter :

Anonyme 01 : rejeangensest@hotmail.com

Anonyme02 : http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28088_fr.htm

Basol ; Base de données BASOL sur les sites et sols pollués.

[fr.wikipedia.org/wiki/ pollution des sols.](http://fr.wikipedia.org/wiki/pollution_des_sols)

[fr.wikipedia.org/wiki/ Pollution.](http://fr.wikipedia.org/wiki/Pollution)

Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués.

<http://www.springer.com/life+sciences/agriculture/book/978-90-481-2959-1>

Références bibliographiques

Page InVS sur les sols pollués.

www.planetecologie.org/.../0...sol/0_3MetauxLourds.html - En cache.