



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abdelhamid Ibn Badis

Mostaganem

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département de biologie

Mémoire

*Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en biologie*

**Option : phytotechnologie appliquée aux sols pollués**

*THEME :*

*L'effet d'un sol pollué par les hydrocarbures (gazole ; huile de moteur  
brulée et le pétrole brut) sur la germination et la croissance de blé dur  
(Triticum durum) et la lentille (Lens culinaris)*

*Laboratoire de la biodiversité et conservation des eaux et des sols, Université de Mostaganem*

*Laboratoire de Microbiologie et biologie Végétale Université de Mostaganem*

*Présenté par :*

*Chougrani Souad*

*Tahir Mahdjouba*

*Devant le jury :*

Président	<b>M<sup>r</sup> REGUIEG Yessad Hocine A.H</b>	<b>Prof.</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
Examineur	<b>M<sup>r</sup> MEKHALDI Abdelkader</b>	<b>Prof.</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
Encadreur	<b>M<sup>r</sup> CHIBANI Abdel Waheb</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université de Mostaganem</b>

*Année universitaire*

*2015/2016*

## *Remerciements*

*En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur M chibani abd el waheb son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.*

*Pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être menée au bon port.*

*Qu'il Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant l'année de l'études.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## *Dédicace*

*Grace à DIEU, pour la force qu'il me donne, et qu'il donne aux  
personnes qui m'ont aidées et soutenues*

*A mes très grandes chères parents ALLAH YARHAMHOM*

*A mes très chers parents pour leurs soutiens et leurs bénédictions*

*A mon binôme Tahir Mahdjouba*

*A mes frères : Nabil, Samir et mon petit frère Amine*

*Et mes sœurs : houaria, wardechem ET ASMAA*

*A Mrs Chibani pour sa disponibilité et son soutien*

*A tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.*

*A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation*

*A tous mes collègues et ma promotion 2015-2016*

*Souad*

## *Dédicace*

*Grace à DIEU, pour la force qu'il me donne, et qu'il donne aux  
personnes qui m'ont aidées et soutenues*

*A mes très chères parents pour leurs soutiens et leurs bénédictions*

*A mes frères : amine et kacem*

*Et mes sœurs : hafida,kenza,zineb.*

*A ma nièce :katr el nada.*

*A mon neveu : mohamed Adam*

*A M<sup>er</sup> chibani pour sa disponibilité et son soutien*

*A tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.*

*A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation*

*A tous mes collègues et ma promotion de master II : 2015-2016.*

*Mahdjouba*

## Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet de différentes concentrations de diesel, le pétrole brut, et l'huile de moteur utilisée dans le sol sur la germination des graines et le taux de croissance de deux plantes: le blé dur (*Triticum durum*) et de lentilles (*Lens culinaris*). Toutes les analyses ont été effectuées après le même temps après la contamination du sol. Les expériences ont été menées dans les conditions de laboratoire. Pour ce faire, nous avons contaminé le sol avec les trois dérivés d'hydrocarbures chacun avec trois concentrations de 0,25% (2,5 ml / kg), 0,5% (5,0 ml / kg) et 1% (10 ml / kg) pour le premier et de 2,5% (25 ml / kg), 5,0% (50 ml / kg) et 10% (100 ml / kg) pour les deux derniers. Il y avait un contrôle pour chaque test qui était le sol non traité par les hydrocarbures.

L'effet de ces polluants sur le taux de germination a été bien illustré en général par un retardement du début de germination par rapport au témoin pour les deux plantes. Le pétrole brut et l'huile brûlée de moteur ont un effet presque inhibiteur de la germination dans les deux concentrations 5% et 10%. Les grains de blé sont complètement inhibés de germiner sur le sol pollué par l'huile de moteur 5% et 10% et le pétrole brut 10% même après 15 jours.

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol utilisé dans ce travail ont une fertilité physique et chimique. Il contient des quantités importantes de métaux lourds tels que Cr, Zn, Cu et Ni. La toxicité exprimée par le test de germination et la croissance est modérée; il est élevé pour la plupart des concentrations d'hydrocarbures reflétant la tolérance.

Les connaissances acquises sur les niveaux de contamination des éléments principalement métalliques de la qualité du sol ont montré la présence d'un risque de perturbation du fonctionnement de ces sols et un danger potentiel pour la santé humaine.

**Mots-clés:** Phytoremédiation, pétrole brut, huile diesel, huile moteur, Pollution, toxicité, germination

## **Abstract**

The objective of this work is to evaluate the effect of different concentrations of diesel oil, crude oil, and used engine oil in soil on the germination of seeds and the growth rate of two plants: wheat (*Triticum durum*) and lentil (*Lens culinaris*). All the analyses were carried out after the same time after contamination of the soil. The experiments were conducted under the laboratory conditions. To do this we have contaminated the soil with the three hydrocarbon derivatives each with three concentration 0.25% (2.5 ml/kg), 0.5%(5.0 ml/kg)and 1%(10 ml/kg) for the first one and 2.5 %(25 ml/kg), 5.0%(50 ml/kg) and 10%(100 ml/kg) for the last two. There was a control for each plant test which was the untreated soil.

The effect of these pollutants on the germination rate was well illustrated in general by a delay in the onset of germination by a port control for both plants. Crude oil and motor oil were burned almost inhibitory effect of germination in two concentrations of 5% and 10%.

The results of physic-chemical analyses of the soil used in this work have a physical and chemical fertility. It contains high levels of heavy metals such as Cr, Zn, Cu, and Ni. The toxicity expressed by the test of germination and growth is moderate; it is high for most of the concentrations of hydrocarbons reflecting tolerance.

Knowledge gained on the mainly metallic elements contamination levels of soil quality have shown the presence of a risk of disruption of the functioning of these soils and a potential danger to human health.

**Keywords:** Phytoremediation, crude oil, diesel oil, engine oil, pollution, toxicity, germination.

## الملخص

هدف هذا العمل هو تقييم تأثير تركيزات مختلفة من زيت الديزل، النفط الخام، وزيت المحرك المستعمل في التربة على نسبة إنبات ونمو نوعين من النباتات: القمح الصلب *Triticum durum* والعدس *Lens culinaris*. جميع التجارب تم إجرائها بعد نفس الوقت من تلويث التربة بالمركبات البترولية. وقد أجريت التجارب جميعها تحت ظروف المخبر. تم تلويث التربة بثلاثة أنواع من المشتقات البترولية كل بثلاث تركيزات 0,25%، 0,50%، 1,0% بالنسبة لزيت الديزل، و 2,5%، 5,0%، 10,0% بالنسبة للنفط الخام وزيت المحرك. كما قمنا بإجراء الفحص على تربة غير ملوثة كشاهد

من النتائج تبين أن تأثير هذه الملوثات البترولية على نسبة الإنبات بقيمة محددة جيدا من التركيزات الثلاثة من زيت الديزل وخصوصا في العدس والنفط الخام حيث تأخرت بداية الإنبات مقارنة مع الشاهد مع معدلات تنمويست عالية جدا وأخيرا النفط بمعدلات منخفضة مقارنة مع الشاهد واثنين من تركيزات الأخرى. كما بينت نتائج الدراسات بالنسبة للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة أنها كانت تربة تحتوي على نسب عالية من المعادن الثقيلة مثل الكروم والزنك والنحاس، والنيكل، فهي مرتفعة لأكثر من تركيزات المشتقات النفطية.

أنه يحتوي على مستويات عالية من المعادن الثقيلة مثل الكروم والزنك والنحاس، والنيكل نسبة السمالي أعرب عنها اختبار إنبات ونمو معتدلة، فهي مرتفعة لأكثر من تركيزات الهيدروكربونات التي تعكس المقاومة للتلوث.

إن المعلومات المكتسبة من دراسات معالجة التلوث بالمركبات النفطية ومشتقاتها ونوعية التربة وجود خطر إعاقة وعرقلة للوظائف الأساسية لهذه التربة وبالتالي تمثل خطرا محتملا على صحة الإنسان.

**الكلمات المفتاحية:** المعالجة النباتية، النفط الخام، زيت الديزل، زيت المحرك، التلوث، السمية، الإنبات.

## Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

ملخص

Abstract

### Synthèse bibliographique

Introduction .....1

### Partie 1 : relation sol-végétale

#### Chapitre I

I- Le sol.....4

I.1-Définition .....4

A.Selon les agronomes .....4

B.Selon les pédologues.....4

3-Description du sol.....5

3-1-Composition .....5

3.2. Caractéristiques générales des phases du sol.....5

3.2.1. La phase solide du sol.....6

3.2.2. La phase liquide du sol.....8

3.2.3. La phase gazeuse du sol.....8

4-Les propriétés du sol.....8

4-1-Les propriétés physiques.....8

4-2-Les propriétés chimiques.....9

4-3-Les propriétés biologiques.....9

4-4-La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol.....10

II. La nutrition végétale.....10

1-Définition.....10

2-processus de la nutrition minérale .....10

3- les éléments nutritifs.....11

4-1-Les macronutriments.....	12
4-2-Les oligo-éléments métalliques indispensables.....	12
5-1-Entrée et circulation du polluant dans la plante.....	13
5-1-1-Fluide vecteur pour l'entrée du polluant dans la plante.....	13
5-1-2-Les principes mécanismes de transfert du polluant.....	13
5-1-3-Les phénomènes ayant pour effet les concentrations de polluant dans la plante...14	
5-1-4-Organe d'entrée du polluant dans la plante.....	14
5-1-5-Fluides vecteurs pour la circulation du polluant au sein de la plante.....	15

## Partie II : Les Hydrocarbures

### Chapitre II

I. Les hydrocarbures .....	17
I.1-Classification des hydrocarbures.....	18
I.1-1 Hydrocarbures saturés.....	18
I.1.3 Composés polaires.....	19
I.1.4 Asphaltènes.....	19
2-Devenir des hydrocarbures dans l'environnement.....	20
2.1 Evaporation.....	20
2.2 Solubilisation.....	20
2.3. Emulsification.....	20
2.4. Sédimentation.....	20
2.5. Photo-oxydation.....	20
2.6. biodégradation.....	21
II .La pollution des sols par les hydrocarbures .....	21
II.1-Généralité.....	21
II.2-Les origines de la pollution.....	21
II.3- Les principaux polluants du sol .....	22
II.3.1.Composés organiques.....	23
II.3.2.Composés inorganiques.....	23
II.4-Les impacts de la pollution par les hydrocarbures.....	24
II.5-Bio détection de la pollution du sol par les hydrocarbures.....	25

<b>III-La pollution de sol .....</b>	<b>27</b>
<b>1. Les origines de la pollution.....</b>	<b>27</b>
<b>2. les principaux polluants.....</b>	<b>28</b>
<b>3. les formes de pollution des sols.....</b>	<b>28</b>
• <b>La pollution diffuse.....</b>	<b>28</b>
• <b>La pollution ponctuelle.....</b>	<b>28</b>
<b>4. les risques de la pollution des sols .....</b>	<b>28</b>
<b>5. Phytoremediation.....</b>	<b>28</b>
<b>5-1-Définition.....</b>	<b>29</b>
<b>5-2-Les Avantages.....</b>	<b>29</b>
<b>5-3-Les inconvénients de la phytoremediation.....</b>	<b>30</b>
<b>5-4- les limites .....</b>	<b>30</b>

**Partie III-matériels et méthodes**

<b>I-Site d'échantillonnage .....</b>	<b>35</b>
<b>1-Présentation de site d'échantillonnage.....</b>	<b>35</b>
<b>2-1'étude climatique.....</b>	<b>35</b>
<b>3-La température.....</b>	<b>35</b>
<b>II. Capacité de rétention.....</b>	<b>36</b>
<b>II-Analyse physico-chimiques du sol.....</b>	<b>36</b>
<b>1-l'échantillonnage et prélèvement de sol.....</b>	<b>36</b>
<b>2- Méthodes d'analyse du sol.....</b>	<b>38</b>
<b>2-1- Analyse physique.....</b>	<b>38</b>
<b>2-1-1 Analyse granulométrique.....</b>	<b>38</b>
<b>2-1-2-mesure de conductivité électrique.....</b>	<b>43</b>
<b>2-1-3 Détermination du pH.....</b>	<b>43</b>
<b>2-2-Analyse chimique .....</b>	<b>44</b>

2-2-1-Dosage de calcaire total (CaCO <sub>3</sub> ).....	44
2-2-2 Dosage de calcaire actif CaCO <sub>3</sub> .....	45
2-2-3-Dosage de matière organique et carbone.....	47
2-2-4 Dosage de carbonates CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> et bicarbonate HCO <sub>3</sub> <sup>1-</sup> .....	48
2-2-5 Dosage de chlore .....	49
2-2-6 Dosage des sulfates.....	50
2-2-7 Dosage de phosphore.....	51
1-Détermination du phosphore assimilable méthode (Joret- Hebert).....	51
1-1-Préparation des solutions utilisées.....	51
3-Matériel biologique.....	52
a) Le blé.....	52
b) la lentille.....	53
3-1--Les hydrocarbures.....	54
a) Le pétrole brut .....	54
b) Huile de moteur brulée.....	54
c) Gazole .....	54
d)Tween 80.....	54
3.2. Test de toxicité.....	55
3-2-1 Test de germination.....	55
a)Choix des graines .....	55
b) Préparation de la germination.....	55
1- Sur un sol pollué par hydrocarbures.....	55
2-Sur une émulsion tween 80—hydrocarbures.....	55
3-2-2 -Test de croissance (Culture en bouteille de l'eau minérale de végétation).....	56

**3-2-3 Evaluation de l'effet des hydrocarbures sur la biomasse de la partie aérienne ...52**

**3-3-Evaluation des risques de toxicité.....57**

#### **Partie IV : Résultats et interprétations**

<b>I. Résultat de la capacité de rétention du sol étudié.....</b>	<b>59</b>
<b>II. Résultats des analyses physico-chimiques du sol (Mostaganem).....</b>	<b>59</b>
<b>a). l'analyse granulométrique.....</b>	<b>59</b>
<b>b) l'analyse physico-chimique.....</b>	<b>60</b>
<b>III .1 a.L'effet des hydrocarbures sur la germination.....</b>	<b>62</b>
<b>1-b-La germination des grains sur une émulsion hydrocarbure-tween 80.....</b>	<b>64</b>
<b>2.Le pouvoir germinatif.....</b>	<b>66</b>
<b>2-a)-Sur les hydrocarbures.....</b>	<b>66</b>
<b>2-b)-Le pouvoir germinatif sur une émulsion composée d'hydrocarbures- tween 80.....</b>	<b>72</b>
<b>3-Croissance végétale.....</b>	<b>76</b>
<b>a. Hauteurs de la partie aérienne.....</b>	<b>76</b>
<b>b. Nombre de feuille .....</b>	<b>84</b>
<b>c. Evaluation des métaux lourds.....</b>	<b>90</b>

#### **Partie V : conclusion**

**Conclusion.....93**

**Références bibliographiques.....95**

**Annexe**







## Liste des abréviations

**Cm** : centimètre.

**g** : gramme.

**Kg** : kilogramme.

**Ml** : millilitre.

**L** : litre

**V** : volume.

**H** : heure

**Tém** : témoin

**°C**: degré Celsius

**Mm** : millimètre

**pH** : potentiel d'hydrogène

**CE** : conductivité électrique

**Palf** : poid argile limon fin

**Palfh** : poid argile limon fin d'héxamétaphosphate

**Cex** : conductivité de l'extrais aqueux

**Caco<sub>3</sub> A**: calcaire actif

**Caco<sub>3</sub> T** : calcaire total

**Hcl** : acide chloridrique

**H<sub>2</sub>O** : eau distillé

**h<sub>1</sub> et h<sub>2</sub>** : hauteur calculé par le calcimètre de Bernard

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : acide sulfurique

**KMNO<sub>4</sub>** : permanganate de potassium

**HNO<sub>3</sub>** : acide nitrique

**N** : normalité

**h<sub>1</sub>** : volume de permanganate de potassium

**Ag No<sub>3</sub>** : nitrate d'argent

**O.M.S** : organisation mondiale de la santé

**MO**: matière organique

**Ag<sub>2</sub> Cro<sub>4</sub>** : bichromate d'argent

**A** : argile

**L** : limon

**S** : sable

**T cap** : tare de capsules

**GO** : gazole

**Pé** : pétrole

**HB** : huile brute

**HC** : hydrocarbure

**P<sub>2</sub> O<sub>5</sub>** : Oxyde phosphorique

## Listes des figures

Figure 1 : Facteurs dont la plante a besoin pour vivre.....	11
Figure 2 : Cycle des polluants dans le système sol-plante Par différentes voies de transformation.....	13
Figure 3 : Hydrocarbures générés en fonction de la profondeur d'enfouissement.....	16
Figure 4 : Schéma général des flux de polluants des sols.....	20
Figure 5 : présentation de site d'échantillonnage.....	33.
Figure 6 : les étapes de traitement de sol.....	36
Figure 7 : pipette de robinson, appareil conductimètre, ph mètre.....	42.
Figure 8: <i>Triticum durum</i> .....	50.
Figure 9:Lens culinaris.....	50
Figure 11: germination des graines de blé sur un sol pollué par 0.25%,0.5% et 1% de gazole apres six jours.....	62
Figure 10: germination des grainres lentille sur un sol pollué par 0.25%,0.5% et 1% de gazole apres six jours.....	62
Figure 12 : germination des grainres lentille sur un sol pollué par 2.5 %,5% et 10% de huile brute apres six jours.....	63.
Figure 13: germination des grainres de blé sur un sol pollué par 2,5%,5% et 10% de huile brute apres six jours.....	63.
Figure 14: germination des grainres de blé sur un sol pollué par 2 ,5%,5% et 10% de pétrole apres six jours.....	63.
Figure 15: germination des grainres lentille sur un sol pollué par 2.5%,5% et 10% de pétrole apres six jours.....	63.
Figure 16:taux de germination des graines de blé et la lentile par la solution de tween 80...	64.
Figure 17: Taux de germination de blé sur un sol pollué par le gazole (0.25%,0.5% et 1%)....	64.

Figure 18: Taux de germination de lentille sur un sol pollué par le gazole (0.25% , 0.5% et 1%).	64.
Figure 19: Taux de germination de blé sur un sol pollué par l'huile de moteur brute (2.5%, 5% et 10%).	66.
Figure 20 : Taux de germination du lentille sur un sol pollué par l'huile de moteur brute (2.5%, 5% et 10%).	66.
Figure 21: taux de germination de blé sur un sol pollué par le pétrole brute (2.5%, 5%, et 10%).	68.
Figure 22: taux de germination de la lentille sur un sol pollué par le pétrole brute (2.5% , 5%, et 10%).	68.
Figure 23: taux de germination de blé sur une émulsion composée de gasoil- tween 80.	70.
Figure 24: taux de germination de la lentille sur une émulsion composée de gasoil- tween 80.	70.
Figure 25:taux de germination des grains de blé sur une émulsion composée de l'huile de moteur brûlé - tween 80.	72.
Figure 26: taux de germination des grains de lentille sur une émulsion composée de l'huile de moteur brûlé -80.	<b>72.</b>
Figure 27: taux de germination de blé des grains de blé sur une émulsion composée de pétrole - tween80.	74.
Figure 28: taux de germination de lentille sur une émulsion de pétrole brute- tween80.	74.
Figure 29: l'évolution de la hauteur moyenne de blé ( <i>Triticum.durum</i> ) en fonction de temps.	76.
Figure 30 : l'évolution de la hauteur moyenne de Lentille ( <b>L.culinaris</b> ) en fonction de temps.	76.
Figure 31 :l'évolution de la hauteur moyenne de blé ( <b>Triticum.durum</b> ) en fonction de temps.	78.
Figure 32: l'évolution de la hauteur moyenne de ( <b>L. Culinaris</b> ) en fonction de temps.	78.
Figure 33: l'évolution de la hauteur moyenne de blé ( <i>Triticum.durum</i> ) en fonction de temps.	80.

Figure 34: l'évolution de la hauteur moyenne ( <i>L. culinaris</i> ) en fonction de temps.....	80.
Figure 35 : nombre des feuilles de <i>Triticum.durum</i> .....	82.
Figure 36: Nombre de feuilles de ( <i>L. culunaris</i> ).....	82.
Figure 37: Nombre de feuille de <i>Tritucum durum</i> .....	<b>84.</b>
<b>Figure 38:</b> Nombre de feuilles de ( <i>L. culinaris</i> ).....	84.
Figure 39 : Nombre de feuille de lalentille ( <i>L.culinaris</i> ).....	86.
Figure 40: Nombre de feuilles de <i>Tritucum.durum</i> .....	90.
Figure 41: Teneurs moyennes des métaux lourds totaux (mg/kg) Cr, Cu, Zn, Ni dans la partie aérienne de la plante ( <i>Triticum .durum</i> ).....	90
Figure 42:Teneurs moyennes des métaux lourds totaux (mg/kg) Cr,Cu,Zn,Ni dans la partie aériennes de la plante ( <i>Lens culinaris</i> ).....	90.

## Liste des tableaux

Tableaux 01: composition de la matière vivante des plantes.....	10
Tableaux 02: polluants du sol et leurs sources.....	23
Tableaux03: les principales dégradations du sol et leurs effets.....	24
Tableaux 04: les valeurs moyennes de la température de mois de février, mars et avril.....	36
Tableaux 05: Temps de sédimentation.....	43
Tableaux 06: Norme de la salure.....	44
Tableaux 07: norme de calcaire $\text{CaCO}_3$ .....	45
Tableaux 08: normes de matière organique(L.A.N).....	47
Tableaux 09: normes des teneurs en MO% coïncident avec les taux d'argiles (L.A.N).....	48
Tableau 10 : préparation de la gamme étalon. Tube + appareil.....	51
Tableau 11: La capacité de rétention du sol pollué par différentes concentrations des HC.....	59
Tableau 12: Résultats de l'analyse du sol de Mostaganem (kherrouba).....	60
Tableau 13 : Résultats de l'analyse physico-chimique du sol de Mostaganem.....	61

## *Introduction générale*

---

L'exploitation humaine des gisements de pétrole n'a cessé d'augmenter depuis le début du siècle dernier. L'extraction, le transport, et l'utilisation de cette source d'énergie entraînent des risques de pollution (accidentelle et chronique) pour l'environnement pouvant influencer l'équilibre écologique et parfois entraîner la destruction de l'écosystème. (*Soltani, 2004*).

La dépollution des sites contaminés est une préoccupation majeure, en raison d'une part, de l'impact de cette pollution sur l'environnement et la santé, liée notamment à la propagation des molécules dangereuses dans le milieu et leur transfert dans les nappes phréatiques et dans la chaîne alimentaire, et d'autre part des coûts exorbitants engendrés par les projets de réhabilitation qui exigent souvent l'excavation des sols et le transport onéreux des terres vers les installations de dépollution. (*Gabet, 2004*).

Les traitements mis en œuvre pour dépolluer les sols sont nombreux et depuis des années déjà, de nouvelles technologies sont en développement. Sur le terrain, les techniques de traitement thermiques et physico-chimiques sont les plus répandues, tandis que les procédés de traitement biologiques sont souvent considérés comme réservés à une catégorie restreinte de composés comme les hydrocarbures pétroliers légers ou adaptés à des conditions particulières.

Le développement de techniques efficaces pour décontaminer les sites pollués est devenu indispensable. L'une d'elle, la phytoremediation, exploite les propriétés de certaines plantes à accumuler de grandes quantités de métaux lourds. (*Rufus et al,1997, Salt et al,1998, Prabha et al, 2007*).

La phytoremediation présente de nombreux avantages : elle est viable économiquement car on peut exploiter les végétaux produits et récupérer les métaux à haute valeur ajoutée, et elle est compatible avec les politiques de préservation de l'environnement. Néanmoins la phytoremediation comporte des limites : la croissance lente et la production faible de biomasse demandent un investissement en temps assez important et/ou en argent avec l'adjonction de chélateurs ou autres substances « starter » car la concentration être réduite. (*Shah et al, 2007, Salt et al, 1998, Singh et al, 2003*).

La culture de plantes pour la consommation humaines ou animale sur les sols contaminés peut potentiellement conduire à l'assimilation de métaux traces dans les parties comestibles de plantes constituant un risque pour la santé humaine et animale (*Gupta, 1998*). Cette dernière est étroitement liée à la qualité du sol et surtout à son degré de pollution. (*Romic, 2003*).

Notre travail consiste à identifier la caractérisation écotoxicologique de quelques plantes comestibles par les métaux lourds, pour cela nous avons utilisé le sol de la région de

## *Introduction générale*

---

Mostaganem comme support de test de toxicité sachant que ce sol est utilisé pour des terrains agricoles et de jardinage.

Cette étude comprend les parties suivantes :

- ✚ Une partie théorique traite des généralités sur :
  - Relation sol-végétales.
  - Les hydrocarbures.
- ✚ Partie pratique : s'est basée sur l'échantillonnage du sol au niveau de site de la région à Mostaganem, la germination et la culture en vase se sont déroulées en conditions contrôlées au laboratoire de la biodiversité et conservation des eaux et des sols.
- ✚ Une troisième partie traitant l'ensemble des résultats relatifs à la germination, à la Croissance et aux analyses des métaux lourds.
- ✚ Notre mémoire s'est terminé par une discussion générale suivie d'une conclusion.

## I- Le sol

Les sols constituent l'élément essentiel des biotopes continentaux. Leur ensemble, dénommé pédosphère, résulte de l'interaction de deux compartiments biosphériques, l'atmosphère et les deux couches superficielles de la lithosphère. C'est l'altération des roches mères, due à des forces chimiques et biologiques, qui donne naissance au régolite (manteau superficiel de débris), lui-même transformé en ce que l'on appelle sol. Les cinq principaux facteurs impliqués dans la formation du sol sont la roche mère, le climat, la topographie, l'activité biologique et le temps. (*Atlas et Bertha, 1992*).

Le sol a de nombreuses fonctions, il est un milieu biologique dans et sur lequel se développent des organismes vivants. Ce développement dépend de la qualité de ce sol ou fertilité (quantité de carbone, d'azote, capacité d'échange ionique, etc.). Il est aussi un acteur déterminant du cycle de l'eau (stockage et régulation) et de la qualité de cette eau (source de Pollution, capacité de rétention des polluants mais aussi biodégradation de ceux-ci). Mais le sol joue aussi un rôle prédominant dans tous les cycles biogéochimiques. (*Quenea, 2004*).

### I.1-Définition

En réalité, il existe plusieurs définitions du sol :

#### a. Selon les agronomes

Le sol est la partie arable homogénéisée par les labours et explorée par les racines des plantes. On considère qu'un bon sol agricole est constitué de 25% d'eau, 25% d'air, 45% de matière minérale et de 5% de matière organique. Le tassement et la semelle de labour peuvent induire une perte de 10 à 30%. (*Herve, 2006*).

#### b. Selon les pédologues

Les pédologues estiment que la partie arable ne constitue que la partie superficielle du sol. Le pédologue **Albert Demolon** a défini le sol comme étant « la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant, de la transformation de la roche mère et sous-jacente sous l'influence de divers processus, physique, chimiques et biologiques au contact de l'atmosphère et des êtres vivants. (*Herve, 2006*). La formation du sol est due à l'action combinée sur la roche mère, des agents atmosphériques et de la couverture végétale. (*Gobat et al, 1998*). Les actions qui conduisent à la formation du sol sont :

\*Altération physique et chimique de la roche mère

\*Apport et migration de substance, apport organique due à la chute des feuilles qui constituent l'origine de l'humus

\*Activité biologique et surtout microbienne. (*Gobat et al, 1998*).

Par ces fonctions naturelles, le sol :

- \*Un support Pour les êtres vivants.
- \*Un réservoir de matières organiques et minérales.
- \*Un régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème.
- \*Un lieu de transformation de la matière organique.

Le sol est des compartiments essentiels de l'écosystème agissant comme contrôleur et révélateurs de nombreux processus écologiques. (*Gobat et al, 1998*).

### **3-Description du sol**

#### **3-1-Composition**

Les sols se composent de débris minéraux insolubles produits par la fragmentation et l'altération des roches mères, de sel minéral solubles, de matière organique vivante et morte, de gaz et d'eaux. Les propriétés physiques du sol sont déterminées par le calibre des particules qui le composent. Les particules minérales vont de la catégorie des cailloux et des graviers à celle des particules inférieures à  $2\mu$ . Les débris grossiers, tels que les sables et les graviers, sont chimiquement inactifs, mais les particules minérales plus petites, les colloïdes, principalement les argiles, servent de réserve de nutriments qui sont absorbés par les racines des plantes.

Le calibre et la nature de ces minuscules particules minérales déterminent en grande partie la capacité d'un sol à stocker l'eau, élément vital pour toutes les plantes. La partie organique du sol comprend des débris végétaux qui ne sont pas décomposés, des restes d'animaux (matière organique fraîche) et des quantités variables de matière organique amorphe (en cours décomposition), appelée humus. Elle constitue de 2 à 5 p. 100 de la masse du sol dans la région humide, mais en représente moins de 0.5 p. 100 dans les sols ou plus de 95 p. 100 dans les sols tourbeux. (*Herve, 2006*).

#### **3.2. Caractéristiques générales des phases du sol**

Le sol est constitué de trois phases : solide, liquide et gazeuse. Leurs proportions sont variables en fonction, notamment, de leur état hydrique et des contraintes mécaniques qu'ils subissent.

##### **3.2.1. La phase solide du sol**

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables. On Pourrait considérer les organismes vivants du sol comme une partie de la phase solide, puisqu'ils ne sont ni gazeux ni liquides. On distingue deux fractions dans le sol:

**a) Fraction minérale**

Les minéraux constituent, en général, de 95 à 99% du sol. La composition minérale dépend de la nature de la roche-mère. La nature des minéraux peut être extrêmement diverse avec des tailles granulométriques différentes :

- Sable ( $\varnothing = 2000$  à  $50 \mu\text{m}$ )
- Limon ( $\varnothing = 50$  à  $2 \mu\text{m}$ )
- Argile granulométrique ( $\varnothing < 2 \mu\text{m}$ )

La texture d'un sol correspond à la répartition des minéraux par catégorie de grosseur, indépendamment de la nature et de la composition de ces minéraux. Les sols sont classés suivant leurs proportions relatives en particules argileuses, limoneuses et sableuses.

**a) Fraction organique**

La fraction organique d'un sol est constituée à plus de 80% de matière organique morte (résidus de plantes et d'animaux en état de décomposition naturelle). On trouve aussi des organismes vivants tels que les bactéries dont beaucoup d'actinomycètes, des champignons et une microfaune formée de protozoaires, nématodes, insectes, vers de terre.

Le sol est un habitat généralement favorable à la prolifération des microorganismes, leur nombre est supérieur à celui trouvé dans les eaux douces ou marines : la population microbienne s'élève à des valeurs comprises entre  $10^6$  et  $10^9$  bactéries par gramme de sol. Leur abondance et leur nature dépendent du type de sol, de la végétation, du climat et des diverses actions anthropiques et de leurs variations. La profondeur est une variable écologique qui affecte significativement la survie des microorganismes. Dans les zones tempérées, si une grande partie d'entre eux se concentre dans le premier mètre de la couche superficielle, ce sont en fait les premiers centimètres qui en contiennent le plus grand nombre. Les bactéries et les champignons constituent les microorganismes les plus représentés dans les sols où ils sont les principaux responsables de la minéralisation des matières organiques (Quenea, 2004).

Ils participent aussi à un processus appelé humification qui conduit à la formation de l'humus (Paul, Clark, 1996). Qui est un composé complexe et majeur du cycle de la matière organique tellurique et de la fertilité du sol.

**• Microflore du sol**

La microflore du sol est formée de bactéries (Archéobactéries et Eubactéries), de champignons (levures et moisissures), d'algues et de protozoaires. (Bousseboua, 2005). Les

microorganismes vivants du sol sont variés et nombreux. Un sol contient typiquement  $10^9$  à  $10^{10}$  microorganismes par gramme de sol. (*Stephanie et al, 2007*).

### **c) Bactéries**

Les bactéries sont les microorganismes les plus abondants et métaboliquement les plus actifs du sol. En fonction des propriétés du sol, tous les types physiologiques bactériens sont représentés : autotrophes et hétérotrophes, mésophiles, thermophiles et psychrophiles, aérobies et anaérobies. On estime d'ailleurs que tous les groupes de bactéries connus pourraient être isolés d'un échantillon du sol, si les techniques et les milieux adéquats sont utilisés. Ce qui ne signifie pas que le sol soit le milieu naturel de toutes les bactéries. Par sa nature de milieu ouvert et sensible aux facteurs de l'environnement, le sol est le réceptacle d'apport continu de microorganismes exogènes qui disparaissent ou survivent en situation de dormance, en raison des conditions défavorables d'un milieu qui n'est pas le leur. Mais certains d'entre eux peuvent ponctuellement s'implanter. Les bactéries du sol sont à dominante GRAM positif, avec comme groupes principaux : les Corynébactéries, les Actinomycètes, les Mycobactéries et les Nocardiformes. Les genres les plus communément isolés sont. *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter* et *Bacillus*, dans les couches aérobies alors que les bactéries du genre *Clostridium* sont dominantes dans les conditions anaérobies. Les variations du potentiel nutritionnel du sol favorisent l'apparition de bactéries autotrophes du cycle de l'azote : *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* et du soufre : *Thiobacillus*.

### **c) Les champignons**

En général, les champignons du sol forment une biomasse aussi importante que celle des bactéries. Leurs activités métaboliques sont multiples et fondamentales à l'équilibre écologiques des sols, par : leurs interactions avec les systèmes racinaires des plantes, leur aptitude de colonisation et de dégradation des débris organiques de grande taille et des composés de structures complexes. De nombreux travaux indiquent la prédominance de : *Mucor*, *Trichoderma* et *Aspergillus*, alors que *Rhizopus*, *Fusarium*, *Zygorhynchus*, *Cephalosporium*, *Cladosporium* et *Verticillium* sont couramment isolés.

### **e) Algues et protozoaires**

Les algues sont considérées comme relativement peu abondantes dans le sol. Mais leur présence est cependant commune. Les algues du sol incluent des espèces coccoïdes ou

filamenteuses. Les groupes les plus courants sont des Chlorophyceae. Parmi les microorganismes photosynthétiques du sol, les Cyanobactéries sont dominantes dans les sols neutres et alcalins, alors que les algues sont les plus communes dans les sols acides. Les protozoaires isolés des sols sont variés et se développent dans les zones superficielles humides, au niveau des films d'eau entourant les particules.

### 3.2.2. La phase liquide du sol

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne par l'expression « solution du sol ». Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et non. D'une façon générale, la solution du sol est difficile à décrire et à étudier en raison de sa très grande variabilité spatiale et temporelle, de sorte qu'il n'existe pas de composition type. On peut cependant donner quelques indications générales en distinguant deux catégories de solutés:

- Les micro-éléments dont la concentration est inférieure à 1 mol/m<sup>3</sup>, beaucoup d'éléments Traces métalliques entrent dans cette catégorie.

- Les macroéléments dont la concentration est supérieure à cette limite; les éléments les plus Fréquents et les composés chimiques correspondants sont : (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (Na<sup>+</sup>), (Mg<sup>2+</sup>), (Si (OH)<sub>4</sub>), (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), (Cl<sup>-</sup>), (K<sup>+</sup>), (Ca<sup>2+</sup>) et O<sub>2</sub>.

La solution du sol est principalement une solution d'électrolytes, généralement peu concentrée et dont la molarité totale est souvent de l'ordre de 10<sup>-3</sup> à 10<sup>-5</sup> mol/L. Elle contient également des ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> dont les concentrations déterminent la réaction du sol caractérisée par le pH (*Calvet, 2000*).

### 3.2.3. La phase gazeuse du sol

La phase gazeuse occupe les pores du sol, elle a une composition voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la profondeur dans le sol et l'activité biologique. (*Calvet, 2003*).

## 4-Les propriétés du sol

### 4-1-Les propriétés physiques

Elles se définissent par **la texture** et la structure du sol. La texture d'un sol dépend du calibre des particules qui le composent. la fraction grossière comprend les cailloux et les graviers d'un diamètre supérieur à 2 mm La fraction fine est répartie en sables, limons et argiles. Appartiennent à la catégorie des sables les particules dont le diamètre est compris entre 2 mm et 50 µm ; la catégorie des limons va de 50 à 2 µm, les argiles sont inférieures à 2 µm. (*Gustave, 1946*).

**4-2-Les propriétés chimiques**

En général, les sols sont composés des silicates, dont la complexité varie de simple oxyde de silicium, le quartz, au très complexe silicate d'aluminium hydraté, présent dans les sols argileux. Un sol est caractérisé en chimie par sa capacité d'absorption, c'est-à-dire par le pouvoir de fixation des ions minéraux sur les colloïdes, due à des phénomènes électriques. Les colloïdes électronégatifs constituent le complexe absorbant qui attire les cations, en particulier les cations métalliques (Na, K, Ca, Mg) appelés base échangeable. Cette capacité et cette possibilité d'échange dépendent de la teneur du sol en colloïdes et de la quantité de cations disponibles. Elle détermine la fertilité naturelle et c'est grâce à ces propriétés que l'on peut améliorer le sol en utilisant des fertilisants qui enrichissent la quantité de bases échangeables. *(Gustave, 1964).*

**4-3-Les propriétés biologiques**

Les caractères biologiques des sols dépendent de la matière organique. Le terme général qui désigne le mélange complexe de matière organique dans le sol est l'humus. L'humus n'est pas un mélange stable de produits chimiques, mais plutôt un mélange variable dynamique représentant toutes les étapes de la décomposition d'une matière organique morte, de la plus simple à la plus complexe. Le processus de décomposition est causé par l'action d'un grand nombre de bactéries microscopiques et de champignons. Ces micro-organismes, dans le cycle de la nutrition, attaquent et digèrent les composants organiques complexes qui constituent la matière vivante et les réduisent en composants simples pour les plantes puissent s'en nourrir. La nature de l'humus dépend de l'intensité de la minéralisation et de l'humification, elle-même influencée par l'activité biologique. *(Chaussod, 2002).*

**4-4-La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol**

La capacité d'échange cationique d'un sol (CEC) traduit la faculté de celui-ci à fixer certains éléments minéraux à la surface du complexe argilo-humique. Ces minéraux pourront être restitués ensuite aux plantes par des phénomènes d'échange. Quantité totale de cations échangeables que le sol peut adsorber. Se dit parfois: capacité totale d'échange; pouvoir d'échange de cations; ou capacité d'adsorption de cations. Elle s'exprime en Milliéquivalents par 100 g de sol ou de toute autre substance absorbante, comme l'argile. L'analyse chimique du sol a pour but d'évaluer son niveau de fertilité minérale pour une culture végétale donnée. Les résultats analytiques permettent l'élaboration d'un conseil de fumure adapté à la culture envisagée. *(Zaid, 2006).*

## II. La nutrition végétale

### 1-Définition

La nutrition végétale est l'ensemble des processus qui permettent aux végétaux d'absorber dans le milieu ambiant et d'assimiler les éléments nutritifs nécessaires à leurs différentes fonctions physiologiques : croissance, développement, reproduction... La nature et le devenir des corps permettent de distinguer :

- ✓ La nutrition hydrique (eau).
- ✓ La nutrition carbonée.
- ✓ La nutrition minérale : elle concerne tous les éléments chimiques autres que C, O, H).

(*EL Houssine , 2006*)

**Tableau 0 1** : composition de la matière vivante des plantes. (*Mengel et Kirkeb, 1978*)

Elément	Teneurs en % de la matière sèche
Carbone (C)	40-50 % de MS
Oxygène (O)	42-44 % de MS
Hydrogène (H)	06-07 % de MS
C + O + H	Plus de 90 % de MS
Eléments minéraux	Moins de 10 % de MS

### 2-processus de la nutrition minérale

La nutrition fait à des processus d'absorption de gaz et de solutions minérales soit directement dans l'eau pour les végétaux inférieurs et le plantes aquatique, soit dans le cas des végétaux vasculaire dans la solution nutritive du sol par les racines ou dans l'air par les feuilles. (*EL Houssine, 2006*). Les processus nutritionnels appartiennent à des fonctions physiques qui, pour être imbriqués et interdépendants dans leur mise en œuvre, n'en sont pas moins distinctes dans leur essence :

- ✓ **L'absorption** : Elle se définit comme « l'opération réalisée par un système qui fait pénétrer en lui un corps qui lui était extérieur », quelques soient les mécanismes en cause « pour vu qu'il y ait pénétration dans le système sous l'effet de système lui-même »
- ✓ **La conduction (translocation)** : Entre les diverses parties de la plante.
- ✓ **L'utilisation plastiques ou métaboliques** : La nécessité des éléments minéraux revêt deux formes :

A-Participation à la constitution de la matière vivante = rôles appelés plastique.

B-Participation au fonctionnement de matière vivante = rôles appelés métaboliques.

(Gagnard, 1984). Le principal élément nutritif intervenant dans la nutrition végétale est le carbone, tiré de dioxyde de carbone de l'air par les plantes autotrophes grâce au processus de la photosynthèse. Les plantes non chlorophylliennes, dites allotrophes ou hétérotrophes dépendent d'un organisme autotrophe pour leur nutrition carbonée. (EL Houssine, 2006).

### 3- les éléments nutritifs

Les éléments nutritifs sont des éléments ou des composés essentiels à la croissance et à la survie des organismes. Leur apport dans un écosystème influe grandement sur l'abondance de la vie végétale et animale ainsi que sur le genre et la variété des espèces. Toute plante a besoin pour vivre d'un apport d'éléments nutritifs. Ceux-ci sont absorbés essentiellement sous forme minérale. On distingue entre les éléments principaux – parmi lesquels on compte l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et le soufre – et les oligo-éléments comme le bore, le fer, le cuivre, le manganèse, le molybdène et le zinc, dont la plante n'a besoin qu'en quantité très faible. (Zaid, 2006). À côté des éléments ci-dessus (figure 1), indispensables, il existe d'autres éléments, utiles mais non vitaux pour la croissance de la plupart des plantes. On trouve parmi eux le sodium, l'aluminium, le silicium, le chlore et le cobalt. (Zaid, 2006).

Les éléments nutritifs indispensables à la vie d'une plante peuvent être répartis en deux catégories : les macronutriments et les micronutriments.

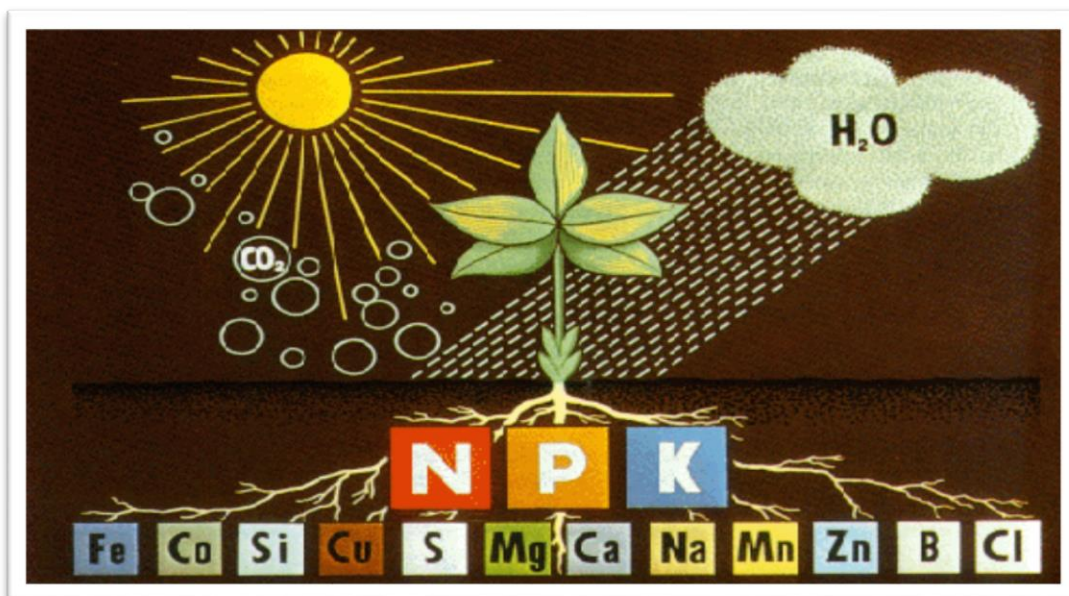


Figure 01 : Facteurs dont la plante a besoin pour vivre. (Zaid, 2006).

**4-1-Les macronutriments**

Les macronutriments sont caractérisés par leurs concentrations supérieures à 0,1 % de la matière sèche. On y retrouve les principaux éléments nutritifs nécessaires à la nutrition des plantes, qui sont le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. Ces quatre éléments qui constituent la matière organique représentent plus de 90 % en moyenne de la matière sèche végétale, auxquels on ajoute les éléments utilisés comme engrais et amendements qui sont: le potassium, le calcium, le magnésium, le phosphore, ainsi que le soufre.

**4-2-Les oligo-éléments métalliques indispensables**

Leur taux est généralement d'une ou plusieurs centaines de parties par million (ppm) pour le Fer, centaines ou dizaines de ppm pour le manganèse, dizaines de ppm pour le zinc et le Cuivre, ppm ou fraction de ppm pour le molybdène. Leurs rôles sont exclusivement métaboliques et même enzymatiques, soit qu'ils entrent dans la constitution d'une des parties de l'enzyme, soit que leur présence soit absolument nécessaire au fonctionnement de cette dernière. (*Khalil, 1989*).

**5-Auto purification par les végétaux**

Depuis une dizaine d'années est face aux nombreux problèmes de pollution, certaines espèces semblent être intéressantes car potentiellement accumulatrices de polluant, on pourrait donc envisager de les cultiver sur les sols contaminés par certaines molécules afin qu'elles extraient ces substances toxiques, c'est le concept de la phytoremediation, nous pouvons le définir comme l'utilisation des plantes pour l'extraction, l'accumulation ou la dégradation de polluants du milieu où elles se développent.

Si on utilise des plantes pour extraire et accumuler les polluants on parlera de phytoextraction et phytoaccumulation. Au sein de la plante les polluants seront accumulés ou dégradés, on parle alors de la phytodégradation.

En fin l'utilisation des plantes sera différente, si la plante accumule le polluant dans ses tissus ou au contraire si elle le dégrade complètement pour intégrer les produits de dégradation dans son propre métabolisme. (*Brooks et al, 1997*).

**5-1-Entrée et circulation du polluant dans la plante****5-1-1-Fluide vecteur pour l'entrée du polluant dans la plante****A- La solution du sol**

Le polluant organique avant d'être prélevé par la plante, est présent dans le sol, sous différentes formes ; dissoute dans la solution du sol, volatilisée ou liée à la matrice organique ou minérale du sol. Seul la fraction phytodisponible sera susceptible d'être prélevée par la

plante au cours de sa croissance. Il s'agit du polluant présent sous forme dissoute dans l'eau du sol, immédiatement disponible pour la plante. (Ozenda, 1982).

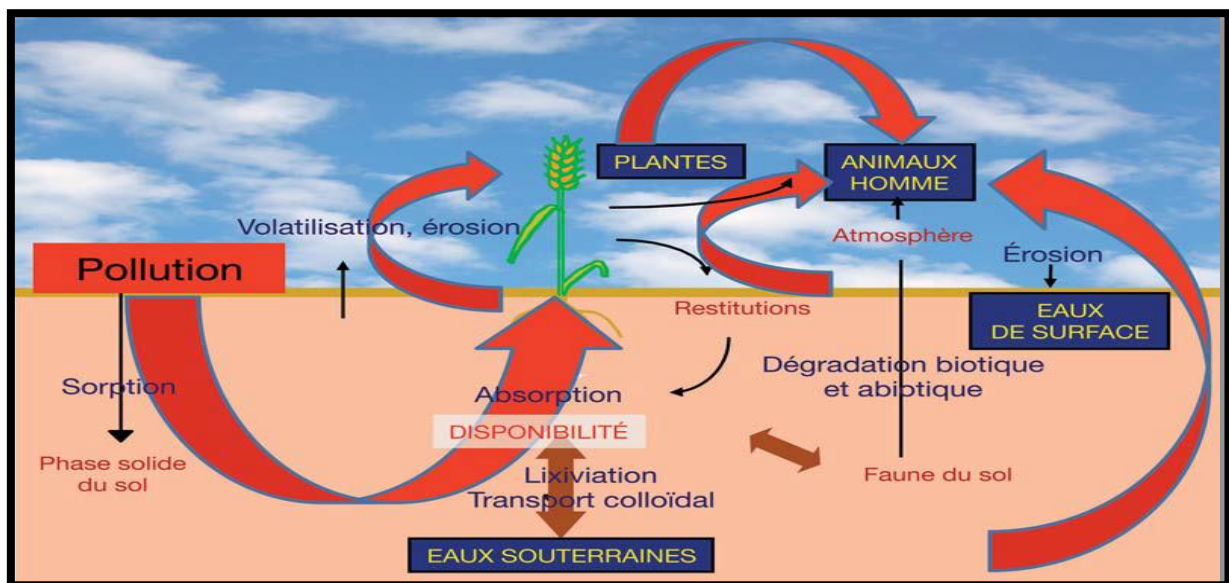
### B-L'atmosphère

L'atmosphère peut contenir le polluant sous différentes formes : gazeuses ou présent sous forme soluble dans la phase aqueuse de l'atmosphère. (Ozenda, 1982).

### 5-1-2-Les principes mécanismes de transfert du polluant

Les principes mécanismes de transfert au sein de la plante où entre le milieu extérieur et la plante sont représentés dans la figure 2 :

- \*Prélèvement depuis le sol par les racines.
- \*Prélèvement depuis les racines par les feuilles.
- \*Dépôt du polluant sur les feuilles.
- \*Diffusion à travers les stomates et les cuticules des feuilles depuis la phase gazeuse de l'air.
- \*Translocation entre les compartiments de la plante par les flux de xylème (des racines vers les feuilles) et de phloème (des feuilles vers les racines). (Lemee, 1978)



**Figure 02 :** Cycle des polluants dans le système sol-plante Par différentes voies de transformation.

On aboutit à une contamination de la chaîne alimentaire par l'homme (ou directement par l'homme), Il peut aussi y avoir la contamination directe des plantes par dépôt sur les parties aériennes et la contamination des eaux. Aussi, dès lors qu'un sol est contaminé, il représente une menace pour la sécurité alimentaire, non seulement du fait de l'absorption par les plantes mais aussi parce que les polluants peuvent suivre d'autres voies de transfert. Un exemple de suivi du devenir d'un type de pollution tel qu'un métal lourd montre toute la complexité du

cheminement des polluants. Prenons un métal quelconque qui se trouve dans le sol en présence d'une phase solide importante et réactive, constituée par exemple d'oxydes, d'argiles, de carbonates et de matière organique. Tous ces composés vont interagir avec le métal et lui faire prendre des formes chimiques particulières ; cet ensemble de réactions conduit à la distribution du métal entre une fraction dite non-disponible pour la plante, qui ne pourra pas être absorbée au cours de sa croissance, et une fraction disponible (en bleu, **Figure 2**), dans laquelle la plante va puiser le métal durant sa croissance. La fraction bleue est la quantité qu'il faut analyser dans les sols, car si l'on sait mesurer cette disponibilité, on saura apprécier le risque de transfert sol-plante du contaminant. Les nombreux exemples cités montrent que les polluants des sols, non dégradables (métaux) ou très faiblement dégradables (HAP, PCB...), persistent dans l'environnement.

### **5-1-3-Les phénomènes ayant pour effet les concentrations de polluant dans la plante**

\*Volatilisation du polluant au niveau des feuilles.

\*Effet de dilution du polluant par croissance des organes de la plante.

\*Métabolisme ,biodégradation, photo dégradation...) du polluant dans la plante.

(*Lemee, 1978*).

### **5-1-4-Organe d'entrée du polluant dans la plante**

Les organes dont la surface sont en contact avec la solution du sol et l'atmosphère sera les voies d'entrée prépondérantes de polluant au sein des végétaux.(*Ozenda, 1982 et Lemee, 1978*).

#### **• Les racines**

Les racines permettent l'absorption de l'eau et des sels minéraux présents dans la solution du sol et qui sont indispensable à la croissance de la plante.

Ainsi les polluants contenus dans l'eau du sol suivent passivement l'eau par convection jusqu'au xylème. (*Lemee, 1978*).

#### **• Les feuilles**

Les feuilles jouent un rôle d'interface majeur entre l'atmosphère et la plante.

Deux voies passage se présentent donc au niveau de la feuille :

\*Les stomates, pour les polluants hydrophiles.

\*La cuticule pour les polluants lipophiles.

Les polluants peuvent s'accumuler au niveau de la cuticule selon leur lipophilicité. (*Lemee, 1978*)

#### **• Les stomates**

Sont des orifices situés sur l'épiderme foliaire des végétaux, sont nécessaires pour la respiration et photosynthèse et la régulation hydrique. Une fois dans la cavité sous stomatique les polluants entrent en contact avec l'eau qui tapisse les parois et ils pourront entrer dans les cellules pour y être métabolisés ou éventuellement y être stockés. Les polluants déposés à la surface des feuilles entrent en contact avec la cuticule (couche lipidique). La cuticule constitue une barrière de protection pour la plante, les polluants peuvent migrer au sein de cette cuticule sous l'influence de nombreux paramètres. (*Lemee, 1978*).

#### **5-1-5-Fluides vecteurs pour la circulation du polluant au sein de la plante**

##### **✓ La sève brute**

Les polluants circulent dans les racines vers les feuilles par le xylème. (*Lemee, 1978*).

##### **✓ La sève élaborée**

Les polluants circulent dans les feuilles vers les autres organes par le phloème.

(*Lemee, 1978*).

**I .Les hydrocarbures**

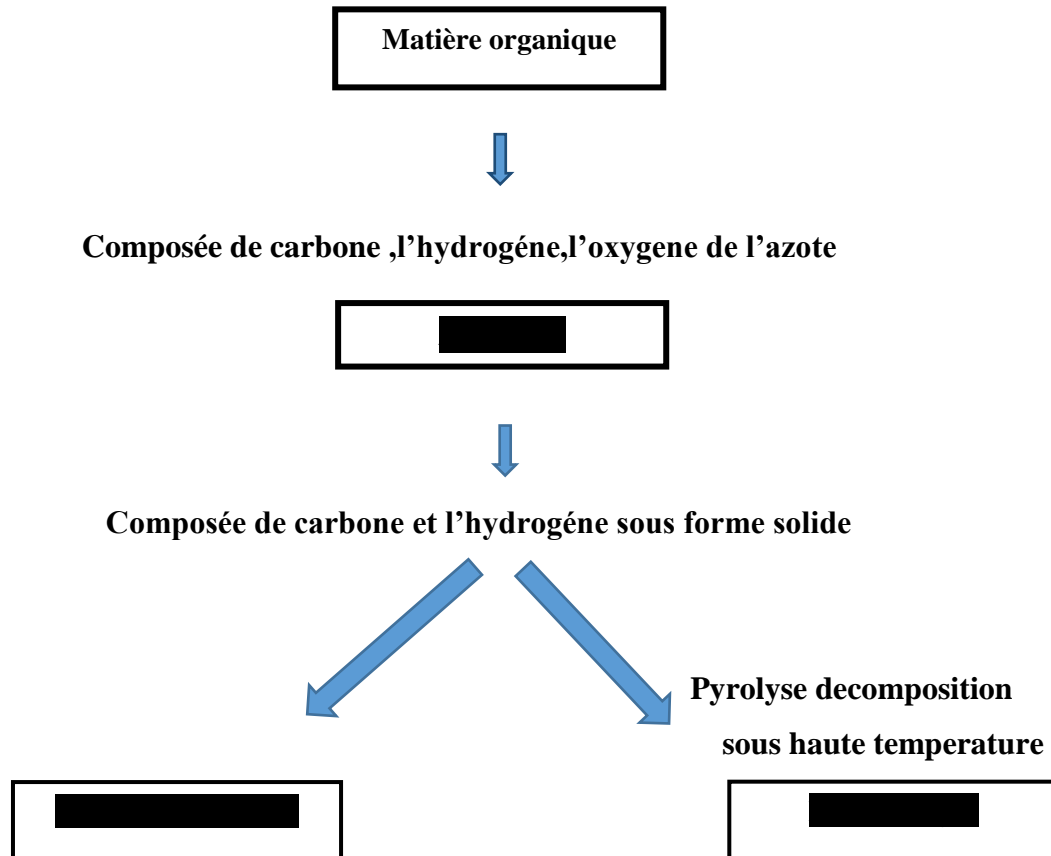
Les hydrocarbures sont des composés organiques contenant exclusivement des atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H). (*Frnennec et al , 1988*). D'après (*Standards et Pancanadiens, 2008*), le terme « hydrocarbure pétrolier » (HCP) est un terme générique qui désigne les mélanges de composés organiques présents dans des matières géologiques comme l'huile, le bitume et le charbon ou dérivés de ces matières. Le pétrole et le gaz naturel, que l'on regroupe souvent sous l'expression de combustibles fossiles, sont des hydrocarbures qui brûlent facilement » (*Smith et al, 2007*). On les retrouve sous forme de pétrole brut, lourd (« *crude oil* » en anglais), de gaz liquéfié, d'essence « carburant le plus vendu au monde» (*Union petroliere, 2005*), de propane, de kérosène, de diesel, de mazout (pour le chauffage entre autres), de bitume qui recouvre nos chaussées, de lubrifiants tels les huiles à moteur ; ils sont aussi des produits de base pour l'industrie chimique.

Voilà donc les principales catégories de dérivés de cette ressource non renouvelable qui a pris des dizaines voir des centaines de millions d'années à se constituer (*Alcen, 2011*). Les hydrocarbures se sont formés par un processus de dégradation biochimique de la matière organique provenant de deux sources, soit de « la **charge terrigène** » venant d'accumulation de dépôt et d'érosion terrestre ou encore de « la **charge allo chimique** » laquelle provient du bassin de sédimentation, plus particulièrement de la couche de plancton (*Bourque, 2004*). Au fil des siècles, ces couches s'accumulent et s'entassent sur des dizaines voire des centaines de mètres (*Alcen, 2011*).

Dans les deux cas, les sédiments contiennent une certaine quantité de matière organique qui, dans le cas des terrigènes, a été transportée avec les particules minérales et enfouie rapidement, se trouvant ainsi protégée de l'oxydation. Dans le cas des allo-chimiques, cette quantité est représentée par la fraction de la biomasse du plancton qui n'a pas été oxydée durant la sédimentation. Ces quantités de matière organique peuvent atteindre les 10, 15 et même 20 % du volume du sédiment. Compte tenu du grand volume de sédiments déposé, le Volume de matière organique est donc aussi très important. (*Bourque, 2004*).

Une fois piégée dans le sédiment, cette matière organique protégée de l'oxydation sera à la merci des bactéries anaérobiques où ces petits organismes iront se nourrir principalement de l'azote et de l'oxygène résiduels de la matière, processus de décomposition qui laissera en premier lieu ce que l'on appelle le kérogène (**figure 4**). Le kérogène est une substance composée de carbone et d'hydrogène (d'où le terme hydrocarbure – HC) qui sous la pression

de l'enfouissement graduel et de l'augmentation de la pression thermique (chaleur) va se transformer graduellement en pétrole et en gaz (Alcen, 2011, Wilkeset, 2010, Bourque, 2004).



**Figure03 : Hydrocarbures générés en fonction de la profondeur d'enfouissement (Alcen, 2011)**

**I.1-Classification des hydrocarbures**

Les hydrocarbures constituent la fraction la plus importante d'un brut pétrolier, ils représentent entre 65 et 95 % de la plupart des pétroles bruts. Ces hydrocarbures peuvent être classés en quatre familles principales qui sont présentes en proportions variables selon leur Origine: les hydrocarbures saturés (30 à 70 %), les hydrocarbures aromatiques et polyaromatiques (20 à 40 %), les composés polaires (5 à 25 %) et les asphaltènes (0 à 10 %) (Neff, 1979). Selon (Soltani, 2004), les hydrocarbures pétroliers sont classés comme suit:

**I-1-1 Hydrocarbures saturés**

**a. Alcanes linéaires**

Les alcanes linéaires (*n*-alcanes,  $C_nH_{2n+2}$ ), dont la longueur de leur chaîne varie de 7 à 40 atomes de carbone constituent une des classes les plus abondantes (10 à 40 % des

Hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier).

**b. Alcanes ramifiés**

Les alcanes ramifiés les plus abondants sont les *iso*-alcanes les autres composés ramifiés anté-*iso* ou poly ramifiés tels que les isoprénoïdes (exemple: pristane, phytane) sont beaucoup moins nombreux. Ces composés se trouvent dans le pétrole brut à des proportions sensiblement égales à celles des *n*-alcanes.

**c. Cycloalcanes**

Les cycloalcanes renferment des composés cycliques (à 5 ou 6 atomes de carbone) saturés et le plus souvent substitués. Quelques dérivés polycycliques sont aussi présents et certains d'entre eux tels que les stéranes et les triterpanes sont caractéristiques d'un pétrole brut. Cette famille peut représenter entre 30 et 50 % des hydrocarbures totaux d'un pétrole brut.

**I.1.2 Hydrocarbures aromatiques**

Plusieurs familles d'hydrocarbures aromatiques et poly aromatiques dont le nombre de noyaux varie de 2 à 6 sont présentes dans les pétroles bruts. Ces composés sont dominés par des composés mono-, di- et tri-aromatiques. En général, les hydrocarbures aromatiques sont moins abondants que les alcanes, et ne représentent que 10 à 30 % des hydrocarbures totaux d'un brut pétrolier.

**I.1.3 Composés polaires**

Les composés polaires correspondent à des molécules hétérocycliques, telles que:

- des composés oxygénés: phénols, acides carboxyliques, alcools, aldéhydes,...
- des composés soufrés: mercaptans, sulfures, disulfures,...
- des composés azotés: pyridines, quinoléines,...

Les dérivés soufrés sont dans la plupart des cas plus abondants que les composés Oxygénés ou azotés.

**I.1.4 Asphaltènes**

Les asphaltènes correspondent à une classe de composés de hauts poids moléculaires, insolubles dans le pentane ou l'hexane. La structure de ces composés est mal connue du fait, d'une part de leur composition chimique complexe (à base de cycles aromatiques condensés, de naphthéo-aromatiques, de ramifications et d'hétéroatomes (O, N, S), et d'autre part de méthodes analytiques difficilement utilisables.

**2-Devenir des hydrocarbures dans l'environnement**

C'est par des processus physiques, chimiques et biologiques qu'un hydrocarbure va pouvoir être déplacé, transformé ou éliminé, après avoir été réparti dans l'environnement. Parmi les

différentes altérations que peut subir un hydrocarbure, on citera les facteurs environnementaux qui sont :

### **2.1 Evaporation**

L'évaporation est un phénomène qui touche les fractions de faible poids moléculaire et dépend des conditions atmosphériques (vent, vagues, température,...). Les hydrocarbures les plus légers, ayant de 4 à 12 atomes de carbone ( $T^{\circ}$  ébullition  $< 270^{\circ}\text{C}$ ), qui représentent généralement près de 50 % des hydrocarbures totaux d'un brut moyen, sont éliminés rapidement dès les premiers jours, pouvant conduire à une pollution de l'atmosphère (*Soltani, 2004*).

### **2.2 Solubilisation**

La solubilité des hydrocarbures dans l'eau est très faible. Un hydrocarbure est d'autant plus soluble que sa masse moléculaire est faible et que sa polarité est élevée. Il est important de noter que ces hydrocarbures solubles sont parmi les plus dangereux pour l'environnement. Ils sont difficiles à éliminer et sont adsorbés par la faune et la flore (*Goswami et Singh, 1991, Bouchez et al, 1995*).

### **2.3. Emulsification**

Deux types d'émulsions peuvent se former : eau dans l'huile appelée "mousse chocolat" et huile dans l'eau. Les émulsions eau dans l'huile sont constituées par des hydrocarbures de haut poids moléculaires. Ces émulsions difficilement dégradables sont les précurseurs des résidus goudronneux retrouvés sur les plages, alors que les émulsions « huile dans l'eau » facilitent l'élimination des hydrocarbures (*Soltani, 2004*).

### **2.4. Sédimentation**

La sédimentation est le passage du pétrole de la surface vers le fond. Ce phénomène concerne les résidus goudronneux constitués de la fraction pétrolière la plus lourde et dont la densité est supérieure à celle de l'eau de mer. La sédimentation conduit à la constitution d'agrégats de haute densité difficilement dégradable par voie naturelle (*Vandecasteele, 2005*).

### **2.5. Photo-oxydation**

La photo- oxydation est observée au niveau de la surface de l'eau où l'air (oxygène) et la lumière (radiations solaires) sont présents pour la transformation des hydrocarbures (*Payne et Phillips, 1985*). L'efficacité de ce phénomène dépend de la nature des hydrocarbures et de la présence de composés non hydrocarbonés (*Bertrand et Mille, 1989*). Ainsi, la photo-oxydation touche plus particulièrement les composés aromatiques qui sont plus photosensibles que les composés aliphatiques. Parmi ces derniers, les composés ramifiés sont plus facilement photo-oxydés que les n-alcanes (*Rontani et Giusti, 1987*).

**2.6. Biodégradation**

La biodégradation (*Vogel, 2001*) est le processus naturel le plus important dans la dépollution de l'environnement. Les microorganismes en sont responsables, en particulier les bactéries. L'importance de la biodégradation dans l'élimination du pétrole, les voies métaboliques d'oxydation des hydrocarbures par les bactéries et les paramètres qui peuvent influencer la biodégradation seront traités plus loin.

**II .La pollution des sols par les hydrocarbures :****II.1-Généralité**

Le phénomène de pollution par les hydrocarbures a une importance de plus en plus grande sur les plans environnemental, sanitaire et économique. Cette pollution peut avoir un impact soit direct ou indirect, sur la santé humaine et l'équilibre des écosystèmes aussi bien marins que continentaux. La qualité des sols peut également en être altérée. (*Mbonigaba et al, 2009*). Les effets dévastateurs de l'industrialisation pétrolière et leur impact ont été évalués sur l'environnement. En effet, de nombreux dégâts réels ont été constatés lors d'accidents (fuite de pétrole ...etc.), de rejets ou de déversements volontaires, pouvant entraîner des catastrophes écologiques irréversibles. (*Soltani, 2004*).

**II.2.-Les origines de la pollution**

L'origine des principales substances qui contaminent l'atmosphère est très variée. L'utilisation des combustibles fossiles comme source d'énergie constitue sans doute une cause primordiale de la pollution de l'air. Il existe, cependant, d'autres sources de contamination de la biosphère : rejet des sous-produits gazeux de l'industrie chimique, de poussières de certaines installations métallurgiques et les cimenteries industrielles. Les fermentations de matière organiques peuvent également dégager des gaz riches en hydrogène sulfuré et autres composés soufrés. La pollution atmosphérique peut résulter soit d'une augmentation de la concentration dans l'air de certains de ses constituants comme par exemple le gaz carbonique ou l'ozone (O<sub>3</sub>), soit de l'introduction de composés étrangers à ce Milieu (radioéléments, métaux lourds et composés organiques volatils), soit d'une conjugaison de ces deux phénomènes (figure 4).

Les grands indicateurs de la pollution urbaine sont le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), le monoxyde de carbone (CO), les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), l'ozone et les particules en suspension. Plusieurs travaux ont montré que ces substances présentent un risque potentiel pour la santé humaine. Les composés organiques volatils sont souvent des agents toxiques dont certains sont cancérigènes. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques, les hydrocarbures aromatiques

Polycycliques et les aldéhydes sont des composés organiques volatils qui ont des conséquences néfastes sur la santé. Ils peuvent engendrer des leucémies (benzène), le cancer Du poumon (hydrocarbures aromatiques polycycliques) ou l'irritation des yeux et des muqueuses respiratoires (aldéhydes). (Mbonigaba et al , 2009).

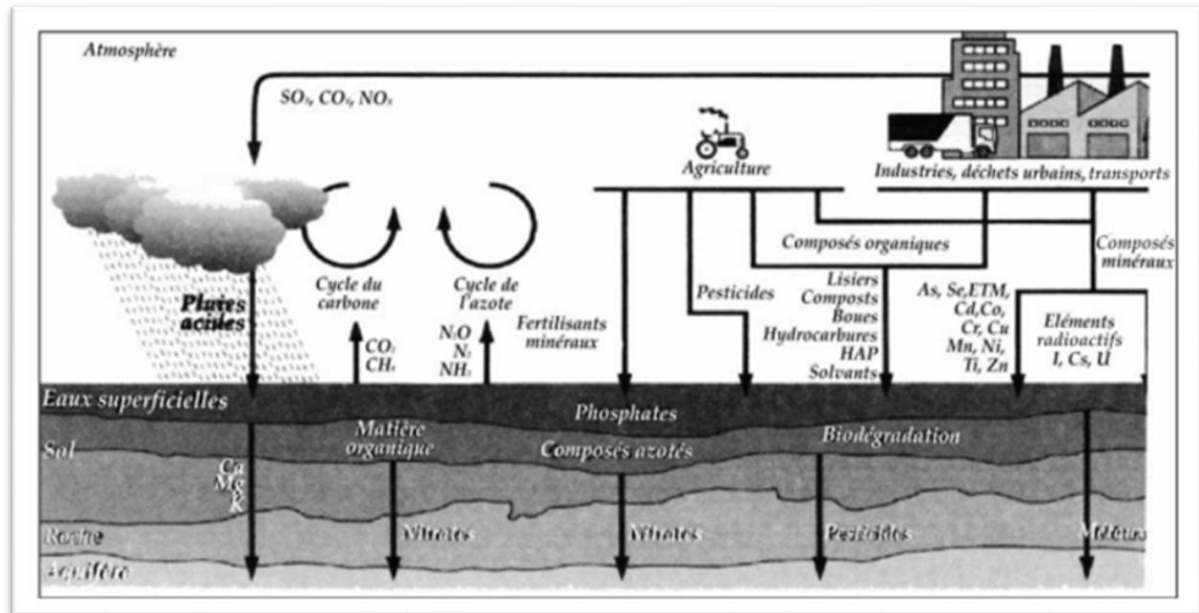


Figure04 : Schéma général des flux de polluants des sols. (Ramade, 2005)

### 3. Les principaux polluants du sol

#### 3.1. Composés organiques

- **Groupes par classification chimique et/ou propriétés physicochimiques**
  - ✓ Les composés organiques halogénés volatils ou COV (trichloroéthylène, tetrachloroéthylène, chlorure de vinyle, chlorométhane, chlorobenzène...), utilisés comme intrants dans l'industrie du textile (dégraissants et détergents), dans l'industrie du papier (agents de blanchiment).
  - ✓ les polychlorobiphényles ou PCB, utilisés comme huile de transformateurs et de condensateurs, comme fluides caloripporteurs et hydrauliques, comme plastifiants, lubrifiants, dans les peintures, les vernis, les encres, les huiles de coupe ;
  - ✓ Les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène), utilisés comme solvants dans l'industrie chimique et cosmétique, dans l'imprimerie, ou générés par les industries de traitement du charbon (cokéfaction), ou encore présents dans les combustibles et carburants.
  - ✓ Les hydrocarbures aromatiques polycycliques ou HAP (naphtalène, benzopyrène,

Phénanthrène, chrysène...), produits par des processus de combustion (moteurs, chauffage, incinérations, fumoir en industrie agro-alimentaire...), ou générés par les activités de traitement du charbon (cokéfaction, usines à gaz) et l'industrie pétrochimique, ou encore utilisés comme intrants dans le traitement du bois (créosote).

- ✓ Les dioxines et les furannes, issus principalement de la combustion de certains produits chlorés. (*Ramade , 2005*)

- **Groupes par leurs fonctions**

- ✓ Les détergents : Tensio-actifs anioniques, non-ioniques, cationiques
- ✓ Pesticides : Pesticides organochlorés, Pesticides organophosphorés, herbicides

Cyanures. (*Ramade , 2005*)

**3.2.Composés inorganiques**

Les métaux lourds, phosphates, nitrates, nitrites, azote total, phosphore (tableau 2,3). (*Ramade , 2005*).

**Tableau 02** : polluants du sol et leurs sources. (*Calvet , 2003*)

<b>Polluants</b>	<b>Sources</b>
Métaux lourds	Industrie minière, métallurgie
Hydrocarbures pétroliers	Industrie pétrolière, transport
HAP	Industries de la préservations du bois, combustion incomplète, épandages des boues usées
Substances xénobiotiques (PBC)	Rejets accidentels, mauvaise élimination, dépôts atmosphériques
Substances organiques (pesticides, restes de peintures, solvants...)	Agriculture, mauvaise élimination, industrie du nettoyage à sec...

1

**Tableau 03** : les principales dégradations du sol et leurs effets. (*Glorennec, 2005*).

Problèmes	Conséquences
Dégradation physique	Pertes en récoltes et terres agricoles ; pertes des fonctionnalités épuratrices ; baisse de productivité agricole ; contamination des cours d'eau ; modification de l'hydraulique.
Dégradation chimique	Modification des fonctionnalités du sol et remobilisation des métaux ; contamination des eaux de surface et des aquifères ; stérilisation des sols ; risque pour la santé humaine ; toxicité du sol et des ses produits ; pertes en terres agricoles.
Dégradation biologique	Perte de biodiversité ; aggravation des dégradations chimiques et physiques ; flux de gaz à effet de serre.

**4-Les impacts de la pollution par les hydrocarbures**

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel (dégradation, altération) qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine (*Rodrigo et al, 2005*). D'une manière générale on retiendra : Que les dangers présentés par les hydrocarbures sont de deux ordres : le risque d'incendie et d'explosion pour les bruts venant d'être déversés et les raffinés légers **ex : essence**. La toxicité par inhalation, ingestion, contact.

Les impacts de la pollution par les hydrocarbures sont multiples. Les aspects les plus évidents sont les grandes catastrophes très médiatisés. (*Soltani, 2004*). Les hydrocarbures sont des contaminants environnementaux omniprésents. Ils constituent une classe des produits chimiques organiques dangereux dont certains de leurs effets toxiques sont reconnus comme fortement cancérogènes, génotoxiques, immunotoxique, mutagénique ou tératogénique. Ils représentent une menace pour la santé publique. (*Wang et al, 2000, Rehmann et al, 2001, Cheung et Kinkle, 2000, Alexander et al, 2002, Kanaly et al, 2002, Eriksson et al, 2003*).

Les sols contaminés par les hydrocarbures présentent un danger lors d'un contact direct avec l'Homme ou l'animal ou lors de leur transfert dans les chaînes alimentaires. C'est le phénomène de bioaccumulation avec le piégeage par les végétaux et les animaux des polluants ou de leurs produits de dégradation jusqu'à des teneurs atteignant les seuils de toxicité. (*Scriban, 1999*).

**II.5-Bio détection de la pollution du sol par les hydrocarbures**

Il paraît nécessaire de donner quelques définitions concernant la notion de bio indication qui, avec l'avancement des travaux de recherche, se diversifie et recouvre en réalité plusieurs concepts. (*Garrec et Van Haluwyn, 2002*) considèrent le terme de bio-indicateur comme « un simple relais ne faisant référence qu'à des effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction) ». Les auteurs prennent ainsi la réaction au niveau individuel. Lorsque la réaction se situe au niveau populationnel et/ou communautaire (disparition ou apparition d'espèces, variation de densité), on utilisera le terme de bio-intégrateur.

Un troisième concept relève également des processus biologiques mais se situe au niveau infra-individuel : altérations moléculaires, biochimiques, cellulaires ou physiologiques non visibles à l'œil. Il s'agit de la notion de bio-marqueur dont on peut donner la définition de (*Lagadic et al, 1997*) : « Un bio-marqueur est un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, qui révèle l'exposition présente ou passée d'un individu à au moins une substance chimique à caractère polluant ». Plusieurs auteurs ont étudié la répartition des dégradeurs des HAP dans l'environnement. (*Kaistner et al, 1994, Mahmood et Rama Rao., 1994, Muller et al, 1997*).

La diversité microbienne contribue au fonctionnement des sols et peut être utilisée comme un indicateur biologique de la qualité des sols et de leur fertilité. Les bactéries hétérotrophes participent directement ou indirectement à l'altération des matières organiques dans le sol. (*Belland, 2009*). La capacité de dégrader les hydrocarbures est distribuée parmi de nombreux genres bactériens appartenant aux protéobactéries et aux bactéries Gram positives. Les souches isolées sont généralement mésophiles et sont le plus souvent isolées à partir du sol.

La gamme de substrats utilisée par une souche peut être restreinte à un ou deux hydrocarbures ou s'étendre à cinq et plus. Elle peut être liée à la présence chez la même souche d'une ou de plusieurs voies cataboliques mais ne peut pas être clairement assignée à des genres bactériens particuliers. (*Vandecasteele, 2005*).

La dépollution peut être mise en œuvre en utilisant les procédés suivants :

**a) Traitements physiques**

Actuellement, les traitements physiques constituent la majorité des techniques mises en œuvre. Elles consistent à séparer et concentrer les polluants, sans les modifier ou les détruire. Les procédés d'extraction, de lavage et de confinement sont les plus souvent utilisés. (*Scriban, 1999*).

**a) Traitements thermiques**

Deux techniques *ex situ* sont utilisées, l'incinération et la désorption thermique. Elles sont employées pour la décontamination des sols pollués par les produits organiques. Ces technologies consistent à utiliser les hautes températures pour réduire les polluants en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O. (*Lecomte, 1995*).

**b) Traitements chimiques**

Les traitements chimiques ont pour but de détruire les polluants ou de les transformer en une forme moins nocive pour l'environnement ; et ceci par l'intermédiaire de réactions chimiques se produisant entre le polluant et le réactif ajouté. Ils peuvent être applicables *in situ* ou après excavation des sols. La majorité des procédés exigent que les sols soient sous forme de boues ou que les contaminants soient mobilisés dans un milieu liquide. (*Masten et Davie, 1997*).

**c) Traitements biologiques**

Les procédés biologiques permettent de dégrader les polluants par l'action des organismes (bactéries, champignons, levures, plantes). Ils peuvent être utilisés seuls ou en complément d'une autre technique. La décontamination par voie biologique consiste donc à stimuler un phénomène naturel pour en augmenter le rendement afin de détruire le polluant organique qui sera utilisé comme source de carbone. (*Colin, 2000*).

Pour la dégradation des hydrocarbures, différents micro-organismes sont utilisés tels que *Arthrobacter*, *Novocardia* ou *Pseudomonas*. Si la flore locale est inadaptée à la dégradation des polluants ou est peu abondante, des souches bactériennes performantes allochtones peuvent être ajoutées au sol. (*Scow, 2003*).

**✚ Traitement *in situ***

La biodégradation par traitement *in situ* Cette technique fait appel au pompage et injection de l'oxygène sous forme gazeuse (O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) ou liquide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) avec injection de nutriments nécessaires à l'activité microbienne.

La source d'oxygène est le principal inconvénient de ce système, car l'injection d'eau saturée en air n'est pas suffisante. L'apport d'oxygène s'effectue de plus en plus en phase liquide surtout à partir de peroxyde d'hydrogène. Cependant, cette source d'oxygène présente trois inconvénients majeurs : son coût, le caractère corrosif de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, qui attaque les puits d'injection et le pouvoir désinfectant de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> si celui-ci est utilisé à de fortes concentrations. (*Kosaric, 2001*)

**✚ Traitement en réacteur**

Le principe du traitement en réacteur consiste à réaliser et faciliter la biodégradation dans un contenant installé sur le site, en ajoutant au sol les nutriments nécessaires aux microorganismes (*Vogel, 2001*).

Le sol excavé va subir diverses opérations de broyage, de tamisage et d'homogénéisation. Il sera ensuite mélangé à de l'eau, généralement en proportions de 30 % en poids/volume et introduit dans le réacteur par pompage. Différents modes de fonctionnement sont possibles, soit en continu ou en discontinu. (*Vandecasteele, 2005*). La plupart des dispositifs sont constitués de plusieurs réacteurs en chaîne, ce qui permet de transférer la boue d'un réacteur à l'autre. Les quantités de nutriments, calculées en fonction de la quantité initiale de polluant, sont ajoutées régulièrement afin de maintenir un rapport optimum entre les taux de carbone, d'azote et de phosphore. Des micro-organismes peuvent également être ajoutés pour maintenir la concentration en biomasse. Dans chaque réacteur, un brassage assure un contact et un transfert de masse maximum entre le polluant et les bactéries. (*Morgan et al, 1994, Dubourguier, 2000*).

**d) Bio tertre et Landfarming**

Le bio tertre et le Landfarming regroupent toutes les applications mettant en œuvre des lots de terres contaminées de différentes hauteurs, y compris ceux auxquels ont été additionnés des matières végétales (composts). (*Lecomte, 1995*). Pour se faire, le sol est étalé après excavation sur une grande surface imperméable, sur une épaisseur de quelques dizaines de centimètres. Ensuite la terre est retournée avec d'éventuels ajouts favorisant la biodégradation. (*Lecomte, 1995*). Lorsque le taux d'élimination n'est pas suffisamment élevé, la bio stimulation peut être effectuée par ajout de nutriments spécifiques et/ou bio augmenté par ajout des bactéries adaptées à la pollution. (*Straube et Al, 2003*) ont constaté une réelle amélioration des taux de dégradation des hydrocarbures après avoir ajouté de l'azote (augmentation de 10 % du taux de biodégradation). De même, (*Juhasz et Naidu, 2000*) suggèrent que la bio augmentation est une méthode pour favoriser la dégradation des HAP.

**III-La pollution de sol**

Un site est pollué quand il présente un risque pérenne, réel et potentiel pour la santé humaine et/ou l'environnement, du fait d'une pollution des milieux résultant d'une activité actuelle ou ancienne.

**1. les origines de la pollution**

Plusieurs origines sont à prendre en compte :

- des anciennes pratiques sommaires d'élimination des déchets,

- des fuites ou épandages de produits chimiques, accidentels ou non,
- des contaminations dues à des retombées de rejets atmosphériques accumulés durant des décennies, voire des siècles

## **2. les principaux polluants**

- Les métaux lourds (arsenic, chrome, cuivre, cadmium, mercure, nickel, plomb, zinc...)
- Les hydrocarbures (essences, fioul, huiles...)
- Les solvants chlorés ou aromatiques
- Les produits phytosanitaires (pesticides, herbicides). (*Eriksson et al, 2003*).

## **3. les formes de pollution des sols**

### **La pollution diffuse**

Elle concerne une grande superficie. Elle peut être due aux pratiques agricoles comme l'épandage ou aux retombées atmosphériques d'origine urbaine, industrielle ou routière : radio nucléides provenant du nucléaire, anhydrides sulfureux ou oxyde d'azote participant à l'acidification des sols, métaux lourds provoquant la mort de systèmes racinaires. (*Ramade, 2005*).

### **La pollution ponctuelle**

Elle demeure très localisée et intense. Elle est en rapport avec des sites industriels, des dépôts de déchets ou à d'autres sites pollués de façon chronique ou accidentelle (métaux lourds, hydrocarbures, benzène, solvants organiques industriels). (*Ramade, 2005*).

## **4. les risques de la pollution des sols**

- Des risques liés aux trois facteurs suivants :

- existence d'une source de pollution dangereuse.
- les possibilités de transfert.
- l'existence de cibles.

- Des risques liés à la mobilité des substances polluantes :

- les possibilités de transfert dans l'air, l'eau des nappes phréatiques, dans les cultures...
- les combinaisons chimiques plus ou moins dangereuses des polluants au contact des constituants du sol.

## **5. Phytoremediation**

Nos écosystèmes sont exposés à de nombreuses sources de pollution. Les sols et les eaux, près des sites industriels, subissent une accumulation de métaux lourds, de composés organiques, ainsi que parfois de composés radioactifs. Nous n'aborderons pas les conséquences de ces pollutions sur les écosystèmes mais plutôt comment des sols peuvent être dépollués. Cette accumulation peut être très importante aux abords des sites industriels et dans ce cas, la seule

solution est l'excavation et le retraitement. Lorsque la pollution est plus diffuse, la dépollution reste très coûteuse et souvent peu efficace. Certaines plantes permettent de transformer (phytoremediation) ou de stabiliser (phytostabilisation) les polluants dans les sols. En effet, les racines de celles-ci sont étroitement associées à une microflore bactérienne et fongique qui va aider ou faciliter la dégradation des hydrocarbures. (*Liste et Alexander, 2000*).

Longtemps, la phytoremediation était restée essentiellement appliquée aux métaux lourds, mais de récentes études ont montré que cette technique est utilisable pour les HAP. (*Ballerini, 1999*). Cependant, les mécanismes mis en jeu sont encore mal connus. (*Binet et al, 2000*).

### **5-1-Définition**

La phytoremediation est définie comme l'utilisation des plantes pour éliminer ou transformer les polluants en composés moins toxiques. Bien que les plantes soient utilisées depuis longtemps pour dépolluer les sols, d'importantes découvertes scientifiques réalisées au cours de ces dix dernières années ont contribué à améliorer le processus et à étendre son champ d'application. Elle peut être utilisée aussi bien contre les polluants organiques que les polluants inorganiques présents dans les milieux solides (sols), liquides (eaux de surface et souterraines) et gazeux. (*Chedly, 2006*).

La phytoremediation est un processus qui consiste à utiliser la capacité naturelle des plantes à stabiliser, extraire, transférer, volatiliser ou détruire les produits chimiques toxiques et les polluants du sol, des sédiments ou de l'eau. Cette technologie est utilisée, *in situ* ou *ex situ*, pour éliminer les métaux, pesticides, solvants, explosifs, hydrocarbures, radionucléides, etc. (*Pivetz, 2001, Usepa, 2001, Sait et al, 1995*).

La phytoremediation regroupe différentes méthodes qui se veulent toutes des techniques d'amélioration des sols et de l'eau contaminés par l'établissement d'un couvert végétal, soit la phytostabilisation, la Phytodégradation, la rhizodégradation, la phytovolatilisation, la rhizofiltration et la phytoextraction. Elles seront appliquées en fonction du type de contamination et des objectifs de remédiation à atteindre. (*Pivetz, 2001, Usepa, 2001, Sait et al, 1995*).

### **5-2-Les Avantages**

Les technologies de phytoremediation sont économiques à mettre en œuvre et à utiliser comparativement à d'autres méthodes chimiques ou physico-chimiques d'extraction. Elles minimisent les pertes de contaminants par lessivage, ruissellement et érosion éolienne en stabilisant le sol. Elles sont applicables à une large gamme de contaminants, à grande échelle, *in situ* ou *ex situ*, avec une certaine facilité de mise en place, et ce, sans perturber l'environnement. Elles se matérialisent par des parcelles cultivées et bénéficient du soutien

Populaire (*Johnson et Bradshaw, 1977, Kumar et Al., 1995, Suthersan, 1996, Miller, 1999, Robinson et al, 2003*). Le but, à long terme, est d'obtenir un sol propre, de recréer un écosystème autonome qui pourra supporter une végétation pérenne et d'améliorer l'esthétique paysagère (*Arienzo et al, 2004*).

### **5-3-Les inconvénients de la phytoremediation**

La phytoremediation présente cependant des inconvénients non négligeables. Les plantes doivent être en contact avec le polluant pour pouvoir agir. Par conséquent, les propriétés des sols : les niveaux de toxicités et le climat doivent permettre la croissance des plantes envisagées. Si la toxicité est trop élevée, elle peut cependant être diminuée par dilution des sols avec des sols non contaminés, mais cela augmente les coûts de mise en œuvre. De plus, les contaminants doivent être accessibles aux tissus absorbants. La phytodépollution est donc limitée par la profondeur des racines des plantes utilisées. Celle-ci peut atteindre 2 mètres de profondeur dans le cas des herbacées et plus de 5 mètres pour les arbres (*Negri et al, 2003*).

### **5-4-Limites**

En premier lieu, la zone de décontamination se limite à la rhizosphère, et des terrains fortement contaminés pourraient être toxiques pour la plante. Cette technologie est lente, et cela peut prendre plusieurs années pour ramener les concentrations de contaminants à un niveau acceptable. Ensuite, les contaminants peuvent entrer dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire des animaux et insectes. Enfin, sa réussite est soumise aux aléas climatiques (les saisons, sécheresse, inondation, etc.), aux conditions de terrain et aux caractéristiques intrinsèques du substratum (*Cunningham, 1996, Ernst, 1996, Robinson et al, 2003*).

En effet, les résidus miniers sont souvent de granulométrie très fine et possèdent donc une perméabilité et une aération faible, qui constituent un handicap pour la germination et le développement des racines. De surcroît, ils sont fortement concentrés en métaux résiduels, déficients en éléments majeurs (N, P et K) et ont une faible CEC due à l'absence de MO et la faible teneur en argile dans la matrice. Finalement, ils possèdent une gamme de pH variable (acide, neutre et basique) et une salinité élevée (*Smith et Bradshaw, 1972, Johnson et Bradshaw, 1977*). Ce matériel hétérogène impose donc des facteurs chimiques et physiques à la croissance de la plante, qui ne sont normalement pas observés dans les sols arables. Ces paramètres affecteront la croissance de la plante, et par voie de conséquence, le bon déroulement de la décontamination.



## I-Site d'échantillonnage :

### 1-Présentation de site d'échantillonnage

L'étude expérimentale a été réalisée sur un échantillon de sol qui provient d'une parcelle de terre située à la région de Kherrouba (Mostaganem, Algérie latitude 35.956909, longitude 0.103448) Est de Mostaganem (figure 5). Le prélèvement correspond à la couche superficielle de sol (0 – 25 cm) où l'activité biologique est intense et les racines des plantes se concentrent. Environ 50 kg de sol ont été prélevés du site et amenés au laboratoire dans un sac en plastique.



**Figure 5** : présentation de site d'échantillonnage.

### 2-l'étude climatique

Le climat de la wilaya de Mostaganem est celui d'une région méditerranéenne .il est caractérisé par une saison festival chaud et sèche et une saison hivernale froide et humide. Pour les paramètres climatiques de notre étude concernera la température, l'humidité relative, l'évapotranspiration, les vents et surtout la pluviométrie. Les données du climat du mois de février, mars, avrils sont présentés dans le tableau 04 .(d'après météo Algérie 2016).

### 3-La température

Dans une région donnée la température représente l'élément le plus influant de l'hydro climatologique ,c'est surtout la température extrêmes (minimales et maximales) qui ont une influence importante sur les plantes ,la distribution spatiale de la température de l'air dans une région est principalement conditionnée par les facteurs physiographique ,notamment le relief

(altitude et l'exposition), la nature du sol et de son révèlent la proximité des grandes superficies d'eau et par le régime du vent. (tableau 04)

**Tableaux 04** : les valeurs moyennes de la température de mois de février, mars et avril (météo Algérie 2016).

Jrs \ Ms	Février	Mars	Avril
1	19°	16°	26°
2	24°	20°	25°
3	19°	18°	24°
5	16°	20°	12°
6	21°	14°	15°
7	20°	12°	18°
8	18°	11°	22°
9	18°	11°	22°
10	20°	15°	14°
11	14°	10°	12°
12	18°	12°	16°
13	21°	16°	20°
14	23°	16°	20°
15	24°	18°	22°
16	18°	17°	20°
17	13°	16°	20°
18	14°	18°	21°
19	18°	21°	26°
20	14°	21°	25°
21	18°	18	23°
22	21°	16	22°
23	24°	10	25°
24	24°	15	27°
25	18°	14	17°
26	23°	20	22°
27	14°	22	23°
28	18°	20	26°
29	13°	22	22°
30		25	24°
31		20	

## II. Capacité de rétention

La capacité de rétention de sol :  $(CR) = (\text{Poids humide} - \text{Poids sec}) / \text{Poids sec}$

La quantité d'eau retenue aux points de ressuyage = capacité de rétention ou capacité utile(%). le poids d'eau retenue par rapport au poids de terre sèche. 40% est une valeur idéale.

### -Sol au point de flétrissement permanent

C'est un sol sec, il n'y a pas d'eau. Les fonctions respiratoires des végétaux sont interrompues : l'absorption est arrêtée, les plantes se dessèchent. On est à une pression limite d'absorption de l'eau d'environ 15 bars.

### -Quantité maximale d'eau retenue par un sol

$$Q_{\text{eau}} = \text{Poids sec} \times \text{Capacité de rétention}$$

ou

$$Q_{\text{eau}} = CR \times \text{Poids humide} / (1 + CR)$$

## III-Analyse physico-chimiques du sol

L'analyse a pour but de connaître les propriétés physiques, chimiques du sol, de suivre la fertilité du sol et estimer le taux de la pollution. Les analyses sont été effectuées au niveau du laboratoire (INSID, Matmar, Relizane).

### ✓ L'analyse physique

Elle comprend trois déterminations principales : l'analyse granulométrique, la détermination du pH, la mesure de la conductivité électrique (CE).

### ✓ L'analyse chimique

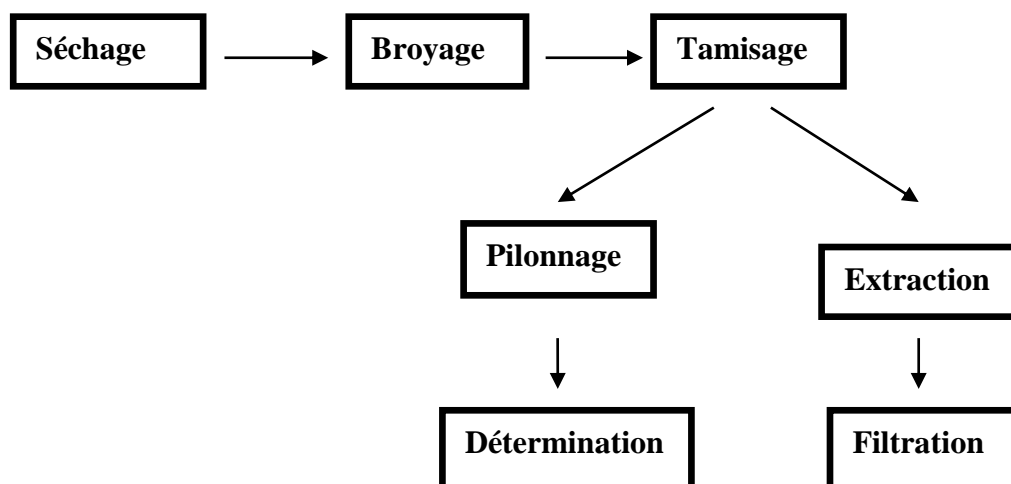
Elle a pour but d'évaluer les quantités d'élément nutritifs que le sol est capable de mettre à la disposition des plantes. Elle comporte le dosage de quelque anion (chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates), Le dosage de matière organique et le carbone.

### 1-l'échantillonnage et prélèvement de sol

Le prélèvement des échantillons constitue une opération très importante, car l'échantillon doit être représentatif de la composition et de la richesse du sol. L'échantillonnage de sol a été réalisé selon les étapes suivantes (figure 06).

- ✓ Traverser diagonalement le terrain, faisant l'objet de l'échantillonnage, en vue d'évaluer sa longueur, la largeur, sa surface, son apparence, sa topographie, sa végétation. . .

- ✓ Nous subdivisons le terrain en unités homogènes. Dans ce choix plusieurs facteurs sont à tenir en compte : les caractéristiques topographiques, le type du sol, le rendement obtenu, le précédemment cultural, le drainage, la culture concernée.
- ✓ Fixer au hasard, dans ces unités homogènes les endroits de prélèvement.
- ✓ Dégager la surface du sol (environ 1cm de profondeur).
- ✓ Faire des trous dans les unités homogènes de 10 à 30 cm à l'aide d'une pioche.
- ✓ Prélever 200-500 g sur les côtés dans chaque unité homogène.
- ✓ Déposer chaque prélèvement dans un sachet en plastique ceci constitue l'échantillon qui sera envoyé au laboratoire.
- ✓ Numéroté chaque échantillon (chaque sachet).
- ✓ Indiquer sur une étiquette toutes les informations correspondantes à chaque échantillon.
- ✓ Fermer les sachets pour les rendre hermétiques (éviter toute perte d'humidité).
- ✓ Envoyer l'échantillon au laboratoire dans 3-4jours qui suivent le prélèvement.
- ✓ Il faut garder les sachets ouverts dans un endroit bien aéré et loin de toute possibilité de contamination par d'autres produits
- ✓ Avant toute analyse l'échantillon de sol doit subir une préparation préalable



**Figure 6 :** les étapes de traitement du sol

## 2- Méthodes d'analyse du sol

### 2-1- Analyse physique

#### 2-1-1 Analyse granulométrique

C'est une méthode internationale, modifiée par l'emploi de la pipete de Robinson. (Figure 7)

L'analyse granulométrique a pour but de définir qualitativement la répartition des particules minérales d'un sol. Pour réaliser cette étude, on prend un échantillon de terre préalablement séchée à l'air et tamisée à 2 mm. L'association internationale de science du sol a adoptée l'échelle d'**Herzberg** qui classe les particules de la façon suivante :

- Sable grossier : de 2 mm à 0.2 mm
- Sable fin : de 0.2 à 0.05 mm
- Limon grossier : de 0.05 mm à 0.02 mm
- Limon fin : de 0.02 mm à 0.002 mm
- Argile : de 0.002 mm à inférieur

Les différentes fractions sont individualisées en détruisant la matière organique qui stabilise les argiles et les limons fins par l'eau additionnée d'héxaméta phosphate de sodium dispersant puissant qui neutralise l'action flocculant des colloïdes sous l'effet des minéraux et principalement le calcium.

- **Mode d'opérateur**

- **Destruction de la matière organique :**

-Dans un bécher, mettre 10 g de terre fine

-Verser dans le bécher 10 ml l'eau oxygéné + 40ml l'eau distillée pendant 24 heures

-Mettre le bécher dans le bain de sable dont la température ne doit pas dépasser 85° pendant 2 heures.

-Laisser refroidir le Becher, puis transvaser à l'aide d'un jet de pissette, son contenu dans un flacon de sédimentation jaugé à 400ml.

-Verser dans le flacon 40ml d'héxamétaphosphate de sodium. Cette solution alcaline a pour rôle de disperser les particules.

-Compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge 400ml.

-Mettre l'éprouvette sur l'agitateur mécanique durant 2 heures

-Verser le contenu dans une éprouvette jaugée à 1000ml

-Compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 1000ml

Porter l'éprouvette à proximité de la pipette de Robinson qui doit être placée dans une pièce à température constante

- **Prélèvement des fractions argileuses et limoneuses :**

A- Prélèvement des argiles et des limons fins (particule inférieure à 20 microns)

Après agitation violente et par retournement du liquide, laisser déposer durant 4 minutes 48 secondes si la température est différente de 20°C.

-Effectuer le prélèvement de 10 ml à une profondeur de 10 cm dès le temps de sédimentation s'est écoulé

-Transvaser le prélèvement dans une capsule en verre Pyrex préalablement tarée

-faire évaporer puis peser la capsule et son contenu sec

-Par différence avec le poids de la capsule vide, déterminer le poids « **palfh** » de sédiment (argile+limon fin+héxaméta phosphate) contenu dans 10ml de suspension)

**b) prélèvement d'argile (particule inférieure à 2 microns)**

-Après avoir agité violemment et par retournement, poser le flacon à proximité de la pipette de Robinson

-laisser sédimenter durant au moins 6 heures, on peut effectuer le prélèvement de 10 à une profondeur qui dépend de la température de la suspension et du temps de sédimentation

-procéder ensuite comme précédemment et déterminer le poids « **pah** » de sédiment (argile+héxamétaphosphate) contenue dans 10ml de suspension

**c) Détermination de la surcharge d'héxamétaphosphate de sodium**

-Prendre une éprouvette graduée de 1000ml

-Verser 40ml d'héxamétaphosphate de sodium à 50g par litre

-Compléter avec l'eau distillée à 1000ml

-Agiter, puis faire un prélèvement à la pipette de Robinson comme précédemment

- Transvaser le prélèvement dans une capsule en verre pyrex tarée
- Faire évaporer puis peser la capsule et son contenu sec
- Déterminer comme précédemment le poids « ph » correspondant à la surcharge en hexamétaphosphate contenue 40ml de suspension

**d) Calcule des quantités d'argile, de limon fin**

- Le poids d'argile « pa » est égale à pah-ph
- Le poids de Limon fin « plf » est égale à palfh –pah
- Connaissant ainsi les poids pa, plf on peut calculer les poids d'argile, de limon fin et de limon grossier contenu des 1000ml de suspension, c'est à dire dans la prise d'essai de terre, les résultats sont ensuite exprimés en pourcentage 0

**e) Fractionnement des sables**

- superposer les 2 tamis : tamis 200 microns et 50microns
- Faire passer le contenu du flacon sur le tamis 200 microns à l'aide d'un petit jet d'eau
- faire couler sur les 2 tamis superposés de l'eau afin d'éliminer les particules inférieures à 50microns
- à l'aide d'un jet de pissette contenant de l'eau distillée terminer le rinçage des sédiments tout en recueillant les sables fins et les sables grossiers, séparément dans 2 capsules préalablement tarées
- Porté les capsules à l'étuve
- Après évaporation totale peser les capsules et leurs contenus secs
- Par différence avec les poids des capsules vides déterminer les poids de sables fins et de sable grossiers contenus dans la prise d'essais.

➤ **Formule à appliquer**

$$A\% = \frac{[(Pd \text{ sec } A - T \text{ cap}) - T] * 100 * 1000}{198}$$

$$LF\% = \frac{[(Pd \text{ sec } AL - T \text{ cap}) - T] - [(Pd \text{ sec } A - T \text{ cap}) - T] * 100 * 1000}{198}$$

$$SF\% = \frac{(Pdsec SF - Tcap) * 100}{9.9}$$

$$SG\% = \frac{(Pd sec SG - Tcap) * 100}{9.9}$$

$$LG\% = 100 - (A\% + LF\% + SF\% + SG\%)$$

A : argile                      SG : sable grossier    Pd sec : poids sec

LF : limon fi                      LG : limon grossier    T cap : tare de capsules

SF: sable fin                      AL: argile limon        T : témoin

Tableau 05 : Temps de sédimentation (INSID)

Temp. C°	Particules de 0.02 mm de diameter				Particules de 0.02 mm de diamètre
	Temps de chute pour 10 cm en heures minutes	Profondeur de décantation ou de prélèvement en cm après			Temps de chute pour 10 cm en minutes
		8h	7h	6h	
10	10.23	7.7	6.7	5.8	6.14
11	10.06	7.9	6.9	5.9	6.03
12	9.49	8.1	7.1	6.1	5.54
13	9.34	8.4	7.3	6.2	5.44
14	9.19	8.6	7.5	6.4	5.35
15	9.05	8.8	7.7	6.6	5.27
16	8.51	9.0	7.9	6.8	5.19
17	8.37	9.3	8.1	7.0	5.10
18	8.24	9.5	8.3	7.2	5.03
19	8.12	9.8	8.6	7.3	4.55
20	8.00	10.0	8.8	7.5	4.48
21	7.48	10.3	9.0	7.7	4.41
22	7.37	10.5	9.2	7.9	4.34
23	7.26	10.8	9.4	8.1	4.28
24	7.16	11.0	9.7	8.3	4.22
25	7.06	11.3	9.9	8.6	4.15
26	6.56	11.5	10.1	8.7	4.10
27	6.47	11.8	10.3	8.9	4.04
28	6.38	12.1	10.6	9.1	3.59
29	6.29	12.3	10.9	9.3	3.54
30	6.21	12.6	11.0	9.5	3.49

### 2-1-2-mesure de conductivité électrique (Ce)

La salure d'un sol est due aux sels solubles en générale qui sont les chlorures, les sulfates, les carbonates, les bicarbonates et parfois les nitrates. Pour déterminer cette salure on mesure la conductivité électrique de l'extrait de saturation d'une pâte de sol. La salinité global pâte de la saturé se déterminée par la mesure de la (Ce) exprimée en DS/m et corriger à une température 25 °C

#### ➤ La conductivité de l'extrait aqueux 1/5

##### • Mode opératoire

-placer dans un flacon de 500 ml à agitation 10 g de terre tamisée à la maille de 2 mm et 50 ml d'eau distillée-agiter 5 minutes à l'agitateur en verre.

-laisser reposer une heure.

-mesurer de la conductivité

- Echelle de la salure en fonction de conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5

**Tableau 06 :** Norme de la salure(INSID).

Non sale	Peu salé	Salé	Trèssalé	Extrêmementsalé
C ex 1/5	0.5	1,2	2,4	6

### 2-1-3 Détermination du pH

##### • Principe

La mesure est effectuée sur une suspension terre/solution soit dans le témoin soit dans des solutions normales de kcl par la méthode électrométrique au moyen d'un pH-mètre à lecture directe. Le ph est un mode d'expression de la concentration en ions hydrogène dans un apport terre fine/eau (1/2.5) ; il s'exprime selon une échelle de 0-14 il est de valeur faible avec  $\text{pH} < 6,5$  indiquant une acidité ; la valeur  $> 7,5$  correspond a un ph basique ,la valeur entre 6,5 et 7,5 indique un milieu neutre.

##### • Mode opératoire

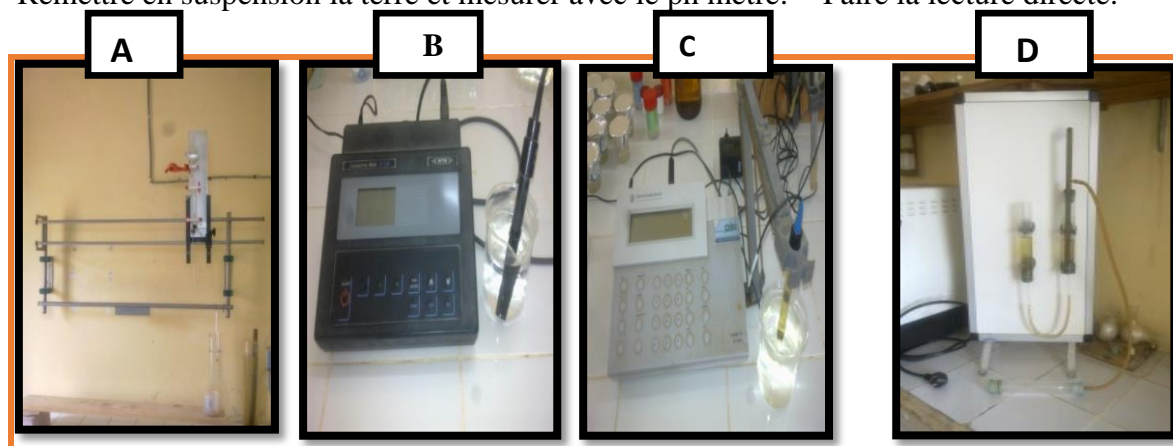
-Mettre 20g de terre fine dans un bécher.

-Ajouter 50ml d'eau distillée dans un bécher de 100ml.

-Agiter et laisser en contact pendant 2heures.

-Etalonner le ph mètre avec les solutions tampons.

-Remettre en suspension la terre et mesurer avec le ph mètre. -Faire la lecture directe.



**Figure 8 :** pipette de robinson (A), appareil conductimètre (B), pH-mètre (C), Calcimètre de Bernard (D).

## 2-2-Analyse chimique

### 2-2-1-Dosage de calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )

- **Principe**

Le plus souvent cette variable est déterminée par {calcimètre volumétrique} c'est-à-dire par mesure du volume de  $\text{CO}_2$  dégagé suite à l'action d'un excès de l'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon du sol. On recueille le gaz et on mesure le volume dégagé. Le volume dépend de la pression et de la température d'où l'étalonnage du calcimètre avec le calcium pur.

**Tableau 07 :** norme de calcaire  $\text{CaCO}_3$  (L.A.N)

$\text{CaCO}_3$ total	Statut
$\text{CaCO}_3 \leq 5\%$	<b>Sol non calcaire</b>
$5 < \text{CaCO}_3 < 12.5\%$	<b>Sol faiblement calcaire</b>
$12.5 < \text{CaCO}_3 \leq 25\%$	<b>Sol modérément calcaire</b>
$25\% < \text{CaCO}_3 \leq 50\%$	<b>Sol fortement calcaire</b>
$\text{CaCO}_3 > 50\%$	<b>Sol très fortement calcaire</b>

- **Mode opératoire**

- Remplir le calcimètre de solution de chlorure de sodium saturée.
- Introduire 0,3g de carbonates de calcium pur, ajouter un peu d'eau distillée.
- Introduire 15ml de HCl, boucher l'appareil en s'assurant que le liquide est bien au zéro de l'échelle graduée.
- Mettre en contact le HCl et CaCO<sub>3</sub> en agitant énergiquement.
- Déplacer l'ampoule mobile de façon à ce que les niveaux de liquide soient toujours les mêmes dans le tube et dans l'ampoule.
- Faire la lecture lorsque le niveau de liquide est stable.
- Recommencer la même opération en remplaçant le CaCO<sub>3</sub> par 0,5 g de sol

➤ **Formule appliquée**

$$\text{CaCO}_3\text{T} = (h_1 - h_2) \times 2.12264 \%$$

- **Nb :** La valeur en% fois 2, si est supérieur à 10 fait total actif  $h_1$  et  $h_2$  calculées par le calcimètre de Bernard.

### 2-2-2 Dosage de calcaire actif CaCO<sub>3</sub>(méthode de Drouin eau-Galet 1956)

- **Principe**

Le calcaire actif correspond au calcaire fin, facilement solubilisé. Au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble. Le reliquat de solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium. le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité. la méthode ne convient pas pour les sols humifères.

- **Mode opératoire**

- mettre 10g de sol séché dans un flacon de 250ml.
- Ajouter 250ml d'oxalate d'ammonium à (0.2N).
- Deux heures (02) d'agitation mécanique.
- filtrer et jeter les premiers goûtes.
- le témoin : 10 ml d'oxalate d'ammonium à (0.2 N).

- prendre 10 ml du filtrat, et mettre dans un bécher de 100ml
- ajouter dans ce dernier 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1/10.
- porter le contenu du bécher à une température de (60°).
- mettre du (KMNO<sub>4</sub>):permanganate de potassium (0.2 N) dans une burette graduée procéder -à la titration jusqu'à l'obtention d'une rose persistant.
- Lire la valeur et la comparaître avec celle du témoin

➤ **Formule appliquée**

$$(H - h1) \times 12.5 \text{ en } \%$$

$$(H - h1) \times 1.25$$

H=témoin ; h1=le volume permanganate de potassium ; N=h1-H

### 2-2-3-Dosage de matière organique et carbone (Méthode Anne)

- **Mode opératoire**

- Prendre 0,5 g de terre fine dans un ballon de 250 ml, - Ajouter 10 ml de Dichromate de potassium à 08% ; -Ajouter 15 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- Chauffer le tout dans un bain de sable et poursuivre l'ébullition durant cinq (05) minutes (après la chute des premières gouttes), Laisser refroidir.
- transvaser dans une fiole de 100 ml et ajuster à 100 ml avec de d'eau distillée de rinçage jusqu'au trait de jauge
- Prélever à l'aide d'une pipette 20 ml de cette solution, les mettre dans un bécher de 400 ml en ajoutant 200 ml d'eau distillée + 1.5g de NAF +03 à 04 gouttes de diphénylamine et agiter le tout. -Titrer avec la solution de **Sel de Mohr** à 0.2 N (Normalité)

**Nb** :La couleur passe du brun au violet puis au vert

**Tableau 08:** normes de matière organique(INSID).

Valeur de MO%	Statut	Valeur de MO%	Statut
0 à 1%	<b>Très pauvre</b>	2 à 3%	<b>Moyenne</b>
1 à 2%	<b>Pauvre</b>	> 4%	<b>Riche</b>

**Tableau 09:** Normes de teneurs en MO% coïncident avec les taux d'argiles (INSID)

Argile	Matière organique
0 à 10% d'argile	<b>1.5 à 2%</b>
0 à 30% d'argile	<b>2 à 2.5%</b>
>30% d'argile	<b>2.5 à 3%</b>

➤ **Formule appliquée**

$$C \% = (VT - V1) \times 0.615$$

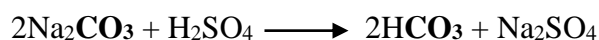
$$MO \% = C \% \times 1.72$$

- soit **V1** : le volume de solution de MOHR versé dans le bûcher.

- soit **VT** : le volume de solution de MOHR versée dans le témoin.

#### 2-2-4 Dosage de carbonates $CO_3^{2-}$ et bicarbonate $HCO_3^{-1}$

Lors d'une attaque acide; les carbonates se décomposent en deux étapes



En présence d'indicateurs, la fin de la réaction est indiquée par un virage de couleur

- **Mode opératoire**

-Prélever une prise d'essai de 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'eau à analyser V

-Ajouter 5 à 10 gouttes de Phénophtaléine ; en présence des carbonates, la couleur devient rouge.

\*Si la couleur rouge n'apparaît pas ... L'échantillon ne contient pas de carbonates.

\*Passer alors au dosage des bicarbonates

\*si l'échantillon contient des carbonates, titrer à l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de cette couleur rouge, Noter le volume d'acide utilisé V1

-Dans la même prise d'essai, ajouter 5 à 10 gouttes de méthyle orange et titrer à l'acide sulfurique, jusqu'à l'apparition de la couleur orange ; noter le volume de l'acide utilisé V2.

-Effectuer un essai à blanc, témoin avec de l'eau distillée, soit V3, le volume d'acide sulfurique utilisé pour doser les bicarbonates.

➤ **Formule appliquée**

$$\text{CO}_3^{2-} \text{ en Meq/l} = 2 * (\text{V1} * (0.1/\text{N}) * 1000 * (\text{D}/\text{V}))$$

$$\text{HCO}_3^{-1} \text{ en Meq/l} = (\text{V2} - \text{V3}) * 0.1 * 1000 * (\text{D}/\text{V})$$

**V**: volume de la prise d'essai.

**D**: inverse du rapport de dilution.

**2-2-5 Dosage de chlore :**

La méthode de **Mohr** est présentée ici : Le chlore est précipité par le nitrate en présence de chromate de potassium, la fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent.

• **Mode opératoire**

-Prélever une prise d'essai de 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'échantillon d'eau et la transférer dans une capsule en porcelaine ou bécher.

- Ajouter 5 à 10 gouttes de la solution saturée à 5% de chromate de potassium.

-titrer avec de l'AgNO<sub>3</sub> 0.1 N jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge due à la précipitation de l'Ag<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. -effectuer un essai témoin avec de l'eau distillée.

➤ **Formule appliquée**

$$\text{Cl en Meq/l} = ((\text{V} - \text{V}^*) * \text{N} * \text{D} * 1000) / \text{U}$$

Soit :

**V** : volume AgNO<sub>3</sub> utilisé pour titrer l'échantillon.

**V\*** : volume AgNO<sub>3</sub> utilisé pour titrer le témoin.

**U** : volume de la prise d'essai.

**D**: inverse du rapport de dilution de la solution titrée.

**N** : Normalité de l'AgNO<sub>3</sub> utilisé pour la titration.

### 2-2-6 Dosage des sulfates

La méthode gravimétrique présentée est basée sur le principe de faire précipiter les sulfates de baryum.

- **Mode opératoire**

-Prélever 10 à 50 ml de l'extrait ou de l'eau à analyser et les transférer dans un bécher de 250ml.

-Porter à douce ébullition à 60-65°C dans un bain-marie, ou sur un bain de sable.

-Faire précipiter les sulfates à chaud en ajoutant aux gouttes à gouttes à la pipete, la solution de chlorure de baryum, quand il ne se forme plus de précipités, ajouter quelques gouttes de chlorure de baryum, en excès.

-Laisser le bécher dans le bain-marie jusqu'à ce que les sulfates soient complètement déposés

-filtrer le surnageant en utilisant du papier filtre sans cendre.

-Ajouter 30 à 40 ml d'eau distillée bouillante, laisser les béchers dans le bain-marie jusqu'au dépôt des sulfates.

-filtrer le surnageant et répéter cette opération 3 fois (Faire passer le précipité sur le filtre à l'aide de l'eau bouillante).

-Laver le précipité à l'eau bouillante jusqu'à l'élimination complète des chlorures (faire le test  $\text{AgNO}_3$ ).

-Transférer le filtre contenant le précipité dans une capsule tarée.

-Faire sécher à l'étuve à 105°C durant 1 heure.

-Transférer la capsule dans un four à moufle, calciner à 500°C durant 1 heure.

-Laisser refroidir la capsule dans le four, après dans un dessiccateur, peser après refroidissement.

➤ **Formule appliquée**

$$\text{SO}_4^{2-} \text{ en Meq/l} = B * 8.56 * 1000 * D/V$$

**B** : poids de  $\text{BaSO}_4$  précipité ; **V** : volume de la prise d'essai ; **D** : inverse de facteur de dilution

### 2-2-7 Dosage de phosphore

#### 1-Détermination du phosphore assimilable méthode (Joret- Hebert)

##### 1-1-Préparation des solutions utilisées :(tableau 10).

##### A-Préparation de l'acide ascorbique

On met 1g d'acide ascorbique dans 1 litre d'eau distillée (A renouveler chaque semaine).

##### B-Préparation du étalon d'orthophosphate

-Mettez 1.917 g du  $\text{KH}_2\text{P}_2\text{O}_4$  dans 01 litre d'eau distillée ; La solution obtenue contient 1g/l de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

-Dans une fiole de 200 ml, mettre 10 ml de la solution à 1g/l de  $\text{P}_2\text{O}_5$  et compléter au volume avec de l'eau distillé ; homogénéisé. Cette solution contenant 50 mg/l à 50 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

##### ➤ Préparation de solution $\text{KH}_2\text{PO}_4$ de la gamme étalon.

Dans une fiole de 200 ml, mettre 10 ml de la solution à 1g/l de  $\text{P}_2\text{O}_5$  et compléter au volume avec de l'eau distillé ; homogénéisé. Cette solution contenant 50 mg/l à 50 ppm de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

##### C- Préparation de l'oxalate d'ammonium (0.2 N)

- on met 14.2 g d'oxalate d'ammonium dans 800 ml d'eau distillée chaude versée dans une fiole jaugée, et ajustez à 1000 ml.

-Vérifiez le pH de la solution (6 -07) et ajustez avec de l'NaOH ou Hcl

##### D-Préparation du réactif sulfomolibdyque.

-on met 37.5 g de molybdate d'ammonium dans un bêcher de 500 ml qui contient 150 ml d'eau distillée. -Mettez 280 ml d'acide sulfurique dans un bêcher de 1000 ml qui contient 200 ml d'eau distillée. -Laissez refroidir ; -Mélangez doucement 1 avec 2 ; et ajustez à 1 litre.

-Couvrez la solution (ballon de couleur).

**Tableau10** : préparation de la gamme étalon. Tube + appareil

N° DU TUBE	T	1	2	3	4	5
Solution $\text{KH}_2\text{PO}_4$ (ml)(50 mg/l de $\text{p}_2\text{O}_5$ )	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
Oxalate d'ammonium (ml)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Réactif sulfomolibdyque (ml)	2	2	2	2	2	2
Acide ascorbique (ml)	6.5	6.4	6.3	6.2	6.1	6

- Mettez les tubes à essai contenant ce mélange au même temps que les tubes des prises d'essai dans le bain de marie. Pour une durée de 10 minutes

- **Mode d'opérateur**

- Mettez 04 g de sol dans un flacon de 200 ml
- Ajoutez 100 ml d'oxalate d'ammonium
- Agitez durant deux (02) heures
- Filtrez et ajustez le filtrat à 100 ml d'oxalate d'ammonium
- Prélevez 1.5 ml pour chaque prise d'essai
- Ajoutez 02 ml du réactif sulfomolibdyque
- Ajoutez 6.5 ml d'acide ascorbique.
- Mettez le mélange dans des tubes à essai dans le bain de marie à une température de 80 °C durant 12 minutes.
- Laissez refroidir.
- transvaser le contenu dans des buses bien essuyées et passer dans le colorimètre sous onde de 650 nm
- porter les lectures sur tableau de calcul.

- **la formule appliquée**

$$P_{205} \text{ ppm} = C/6 * 1000 \quad C : \text{Concentration.}$$

### 3- Matériel biologique

#### a) Le blé

Le blé dur est une espèce hexaploïde ( $6n=42$ ) appartenant au genre *Triticum* de la famille des graminées. Il est la principale céréale des régions tempérées du monde. La plante adulte possède des limbes foliaires à oreillettes velues et à ligules, et des épis portant de 12 à 15 épillets. Chaque épillet comporte 2 ou 3 fleurs fertiles capables de s'autoféconder. Le grain de blé dur est un caryopse nu, blanc ou roux, ovoïde, pesant de 35 à 45 mg.

## Fiche d'identité

**Règne** :Plantae  
**Sous-règne** : Tracheobionta  
**Division** :Magnoliophyta  
**Classe** :Liliopsida  
**Sous-classe** :Commelinidae  
**Ordre** :Cyperales  
**Famille** :Poaceae  
**Sous-famille** : Poideae  
**Tribu** :Triticeae  
**Genre** :Triticum  
**Espèces** :*Triticum durum*



**Figure 09** : *Triticum durum*.

## b)la lentille

La lentille *Lens culinaris* est une plante annuelle herbacée de 20 à 72 cm de haut. Les tiges sont dressées et très rameuses. ses feuilles, alternes, composées pennées, comptent de 10 à 14 folioles opposées, oblongues, et sont terminées par une vrille généralement simple ou bifide. À la base elles sont munies de stipules dentées

## ➤ Fiche d'identité

**Règne** :Plantae  
**Sous-règne** :Tracheobionta  
**Division** :Magnoliophyta  
**Classe** :Magnoliopsida  
**Sous-classe** :Rosidae  
**Ordre** :Fabales  
**Famille** :Fabaceae  
**Genre** : Lens  
**Espèce** : *Lens culinaris*



**Figure 10** : *Lens Culinaris*

Les fleurs, à la corolle papilionacée typique de la sous-famille des *Faboaceae*, sont de couleur blanche ou bleu pâle et groupées par petites grappes de deux à quatre. Le calice est régulier, à cinq dents étroites et relativement longues. La floraison estivale intervient entre mai et juillet. Les fruits sont des gousses aplaties, courtes, contenant deux graines aplaties en forme caractéristique de disque faiblement bombé. La couleur des graines varie selon les variétés des plus pâles (vert pâle, blond, rose) au plus foncé (vert foncé, brun, violacé...).

### 3-1--Les hydrocarbures

#### a) Le pétrole brut

Les pétroles sont des mélanges complexes constitués essentiellement d'hydrocarbures. Un hydrocarbure est un composé chimique constitué uniquement de carbone et d'hydrogène. voici quelques exemples d'hydrocarbures. Les pétroles résultent de la décomposition extrêmement lente, à l'abri de l'air, de débris végétaux et d'animaux microscopiques (plancton). Les pétroles, formés au bout de plusieurs millions d'années, sont des liquides qui s'accumulent dans des roches appelées roches magasin.

#### b) Huile de moteur brûlée

L'huile moteur, généralement utilisée pour la lubrification des moteurs à explosion, est une huile minérale, semi-synthétique ou synthétique, dérivée du pétrole et enrichie en additifs techniques. Elle lubrifie, nettoie, inhibe la corrosion, améliore l'étanchéité et contribue à évacuer la chaleur de friction et de combustion (circulation dans les calottes de pistons) de façon que les pièces du moteur restent dans les tolérances de fonctionnement (dimensionnelles et de résistance mécanique).

#### c) Le gazole

Substance liquide de la distillation du pétrole constituée d'hydrocarbures paraffinés, naphthéniques, aromatiques et oléfiniques, avec principalement des hydrocarbures de C9 à C20.

#### d) Tween 80 :(polysorbate 80)

Est un liquide visqueux non ionique qui facilite le mélange des huiles comme les hydrocarbures avec l'eau.

### 3.2. Test de toxicité

#### 3-2-1 Test de germination

##### a) Choix des graines :

Pour notre étude de germination nous avons utilisés des graines stockées pendant une année, non contaminées et de taille moyenne. Ces graines provenant d'espèces suivantes :

- Plantes culinaires : la lentille
- Plantes fourragères : le blé

##### b) Préparation de la germination

###### 1- Sur un sol pollué par hydrocarbures

Le test de germination est basé sur l'inhibition de la germination et du développement de l'embryon de la semence et des organes essentiels qui prouvent leur aptitude à produire une plante normale. Dans chaque assiette plastique, de **19cm** de diamètre et **2.5 cm** hauteur, **1kg** de sol pollué par les hydrocarbures (le pétrole, huile de moteur brûlé, gasoil) à des concentrations suivant : **0.25 % (2.5 ml de gazole)** , **0.5% (5 ml )** , **1% ( 10 ml )** et **2.5% ( 5ml )** , **5% (10ml )** , **10% ( 100 ml )** pour huile brûlée et le pétrole brut.

Les graines des espèces cités été déposés d'une façon uniforme (50 graines par assiettes). Les boites ont été exposées à l'air libre. En parallèle, le témoin a été lancé, formé du même nombre de graines sur sol sans traitement par assiette plastique (témoin blé, lentille). L'ensemble des graines ont été humidifiées avec l'eau de robinet et exposé à l'air libre pendant 15 jours. Chaque 24heure les graines germées ont été comptées. Nous avons considéré une graine germée lorsque l'émergence de la radicule se manifeste (*Dussert et al, 2002*).

###### 2-Sur une émulsion tween 80--hydrocarbures

Dans chaque boite de pétri de 10 cm de diamètre et 2 cm d'hauteur ,10 graines des espèce cités , rincés par l'eau de javel, les graines ont été déposé d'une façon uniforme sur papier filtre avec un solution composée de tween 80 et les types de hydrocarbures de chacune à concentration suivante : **Go 0.25% (150 gtt)** , **0.5% (200 gtt)** , **1% (225 gtt)** ; **pour huile à moteur brûlée et pétrole brute : 2.5% (240 gtt)** , **5% (245 gtt)** , **10% (250 gtt)**.

L'ensemble des graines humidifie par l'eau de robinet Pour chaque test 3 répétitions. Les boites ont été placées dans une étuve réglée à 21heure à l'obscurité 30c ° pendant 20 jours. En parallèle, le témoin a été lancé, formé du même nombre de graines sur papier filtre.

### 3-2-2 Test de croissance (Culture en bouteille de l'eau minérale de végétation)

Les plantes utilisées sont des variétés d'espèces largement utilisées par la population algérienne, cultivées généralement dans des jardins agronomiques par les agriculteurs autour des sites contaminés.

Une quantité de 3kg de sol sec est mis dans un pot (des bouteilles d'eau minérale Messergine 1,5 L) de végétation avec 3 concentration pour chaque échantillon de sol ; gazole 0.25% , 0.5%,1% et huile à moteur brûlé+ pétrole brute 2.5 % (15ml ) , 5% ( 30ml ) et 10% ( 300 ml) Les pots ont été humidifiés à leur capacité du champ. Le semis a été réalisé en déposant 6 graines de chacune des espèces testées, ensuite les pots ont été placés dans une chambre de culture à une photopériode de 16 heure jour et 8 heure par obscurité à une température 25°C. La croissance a été suivie sur 6 semaines. Les pots ont été arrosés à l'eau de robinet.

#### ✓ Remarque

La biométrie, la longueur de tige et le nombre des graines germées ont été appliqués chronologiquement en fonction de la croissance des plantules pour chaque espèce.

### 3-2-3 Evaluation de l'effet des hydrocarbures sur la biomasse de la partie aérienne :

Analyse de l'effet des hydrocarbures a été réalisée pour les échantillons de sol et la végétation à savoir que l'étude a été appliquée uniquement sur la partie aérienne car cette dernière est consommée par les populations humaine et animale.

#### ➤ Minéralisation

Les feuilles ont été incubées à 70° pendant 48 heures jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les biomasses sèches des deux espèces végétales ont été pesées et broyées minéralisées comme suite :

- 0,1g de la poudre végétale a été calciné dans un four à moufle à 450°C pendant 2h.
- Le résidu pris par quelques gouttes d'acide nitrique pur (HNO<sub>3</sub>), ensuite dessécher la cendre mouillée pendant 1 h à l'étuve 100°C
- Recalciné à 450°C pendant 1 h puis ajuster à 5 ml HCL diluée à 5% à chaud
- Ramener ensuite à sec dans un bain de sable puis solubilisé par 5 ml de Hcl diluée à 5 % à chaud
- Ajuster 10 ml de Hcl diluée à 5%

- La lecture des résultats a été réalisé par le spectromètre d'absorption atomique de type PERKIN ELMER 380. Utilisant une flamme Acétylène Air.

### **3-3-Evaluation des risques de toxicité**

Les principales voies d'exposition humaine aux hydrocarbures sont l'inhalation, l'ingestion et l'absorption cutanée. Dans notre étude nous considérons que la toxicité est assurée par la consommation directe des plantes utilisées, et la voie par chaine trophique. Nous avons choisi 2 espèces (le blé et la lentille).

### **I. Résultat de la capacité de rétention du sol étudié**

Les résultats d'analyses de taux de rétention d'un sol polluée par les hydrocarbures sont représentés dans le tableau 10. D'après le tableau 10, les valeurs enregistrés de taux de rétention du sol par les différentes concentrations des hydrocarbures est comme suite :(16%) par la concentration GO 0.25%, (9.9%) avec la concentration GO 0.5% et de (10%) avec la concentration de GO 1%. Cependant le taux de rétention enregistrée au niveau des trois concentrations d'huile brulé est :(12%) par la concentration HB 2.5%,(11%) par la concentration HB 5% et de (23%) par la concentration HB 10%.

On outre les valeurs enregistrés au niveau de trois concentration de pétrole brulé est :(6%) avec la concentration PE 2.5%(5%) avec la concentration PE 5% et de (1%) avec la concentration PE 10%. On a conclut que la forte capacité de rétention du sol est enregistrée par la concentration HB 10%, GO 0.25%.

**Tableau 11:** La capacité de rétention du sol pollué par différentes concentrations des HC.

Les concentrations des hydrocarbures %	Capacité de rétention
GO 0.25%	16%
GO 0.5%	9.9%
GO 1%	10%
HB 2.5%	12%
HB 5%	11%
HB 10%	23%
PE 2.5%	6%
PE 5%	5%
PE 10%	1%

### **II. Résultats des analyses physico-chimiques du sol (Mostaganem)**

#### **a). l'analyse granulométrique**

Les résultats de l'analyse granulométrique du sol de Mostaganem (tableau 12), nous ont permit de déterminer les différentes proportions de constituant du sol de site qui définirent sa texture. Les résultats de l'analyse granulométrique donner dans le tableau 10 qui mettent en évidence une texture totalement sableux argileux (sable très argileux à sable grossiers, la teneur en argile est de 15%, 56,80% de sable fin ,24.54% sable grossier , 1.14% limon

grossiers et de 2.53% limon fin, dans ces conditions la migration en profondeur des éléments nutritif est possible et les pertes par lessivage risquée beaucoup plus à sol limoneux.

Le sol est suffisamment perméable pour permettre le transfert entre les différentes phases et une bonne oxygénation due au volume très important des pores entre les particules du sol.

**Tableau 12:** Résultats de l'analyse du sol de Mostaganem (kherrouba).

	Poids et tare A, SG, SF, AL	Granulométrie%
		Echantillon 01
Argile A	Poids sec A	15%
	Tare A	
Sable grossiers SG	Poids sec SG	24.54%
	Tare SG	
Sable fin SF	Poids sec SF	56.80%
	Tare SF	
Limon grossiers LG	Poids sec AL	1.14%
	Tare AL	
Limon fin LF		2.53%

#### b).Analyse physico-chimique

Le tableau 12 représente les résultats d'analyse physico-chimique du sol de Mostaganem région Kherroubi.

D'après le tableau 12 ,le Ph est basique de 7.78 sont compris entre 5.5 et 8.5 ,ces valeurs sont dans la marge optimale et favorable à la biodégradation des hydrocarbures selon plusieurs auteur (*Lecompte ,1994,Battle et Nfesc,1996,Ballerni ,1999,Comeau,1999* ).a cette valeur de Ph ,l'activité de la flore autochtone du sol dégradent les hydrocarbures .elle est aussi dans la marge favorable à la croissance des végétaux. Cependant la conductivité électrique le sol est non salée avec une valeur de 0.095 ds/m (voir l'échelle salissure dans la partie matériel et méthode). Les sols classées selon leur teneur en calcaire totale avec une teneur 5.94%, nous pouvons classes le sol dans la classe des sols à faible calcaire pauvre en matière organique (voir tableau de norme dans la partie matériel et méthode).

Cependant le sol est pauvre en matière organique selon leur teneur 1.19%(voir le tableau dans la partie matériel et méthode). Vu les valeurs obtenues de ( $\text{CO}_3^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ) cela explique que ces éléments sont moins lessivés en profondeur car le sol est partiellement perméable. Par ailleurs le sol est pauvre en azote d'après la comparaisant avec les valeurs

## *Résultats et interprétations*

---

donnée dans l'annexe, l'azote et un élément indispensable, sa carence inhibe la croissance et entraîne la chlorose des feuilles par diminution de la teneur en chlorophylle en commençant par les plus vieilles (*Heller et al*, 1993).

Le taux de phosphore est de 39.73 un taux bien défini car s'explique que le sol est très riche en phosphore d'après la comparaison avec les valeurs enregistrées dans l'annexe. Le phosphore est indispensable à la croissance, il est surtout abondant dans les organes des jeunes plantes.

**Tableau 13** : Résultats de l'analyse physico-chimique du sol de Mostaganem.

<b>Les paramètres physico-chimiques</b>	<b>Mesure</b>
Ph	7.78
Ce ds/m	0.095
CaCO <sub>3</sub> T%	5.94
CaCO <sub>3</sub> A%	0.37
C%	0.69
MO%	1,19%
N %	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	39.79
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> Meq/l	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Meq/l	2.9
Cl Meq/l	0.6
SO <sub>4</sub> Meq/l	12.01

### III- L'effet des hydrocarbures sur la germination

#### a-test de germination

L'essai de germination des semences d'espèces végétales choisies est un test de toxicité global. D'après (Kong et al ,1995), ce test se manifeste avec une forte sensibilité pour les substances organiques qu'aux substances métalliques. L'application de ce test se résume seulement au sol pollué par les hydrocarbures.

Les figures 10,11 représentent les résultats de germination pour les espèces testées (*Triticum durum* , *Lens culinaris*)

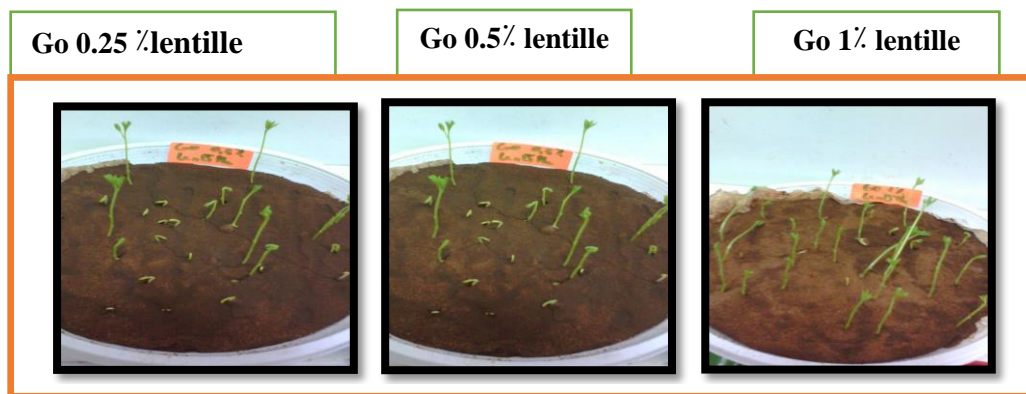


Figure 10: germination des graines de lentille sur un sol pollué par 0.25%,0.5% et 1% de gazole apres six jours

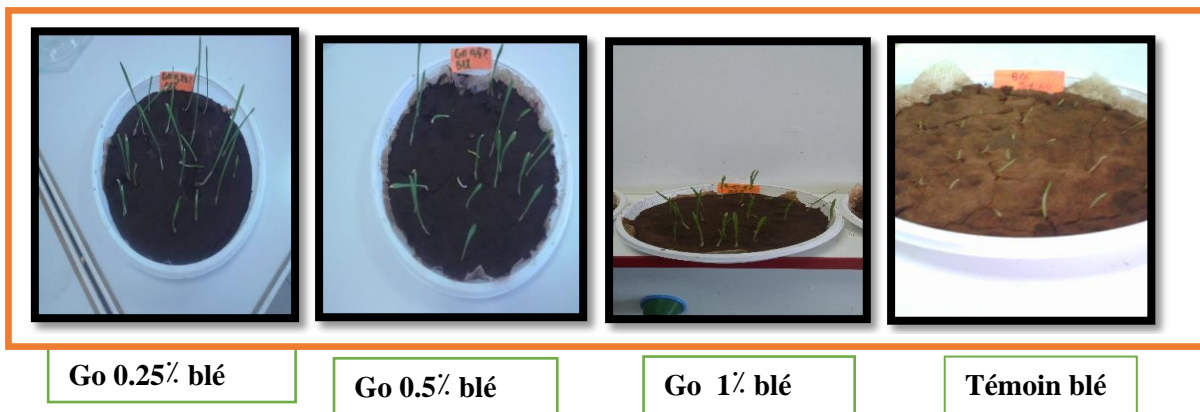
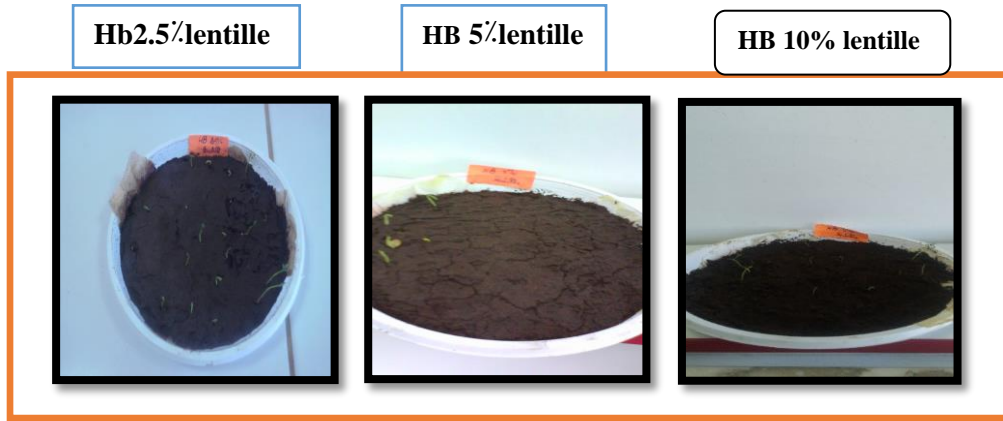


Figure 11: germination des grainres de blé sur un sol pollué par 0.25%,0.5% et 1% de gazole apres sept jours.

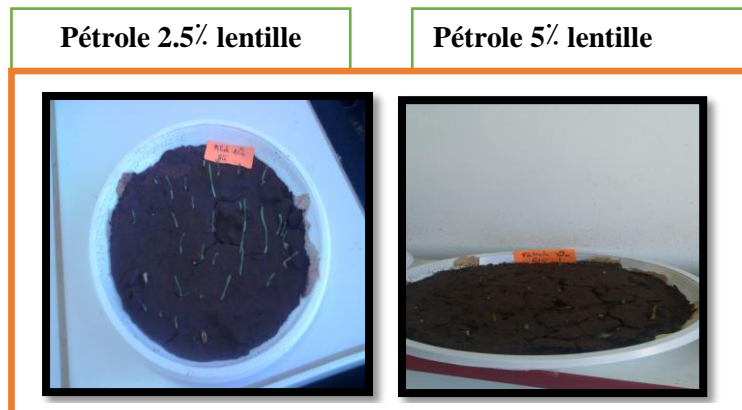
Nous avons noté que la germination des graines de plantes s'est effectuée entre le troisième et le quatrième jour et ça continue jusqu'au 15<sup>ème</sup> jour. Le pouvoir germinatif est plus marqué chez le lentille sachant que la totalité des graines ont germé durant 7 jours. En comparant avec les temoins, on relève une différence importante sauf que la germination des temoins est plus précoce, de 72h pour le lentille.



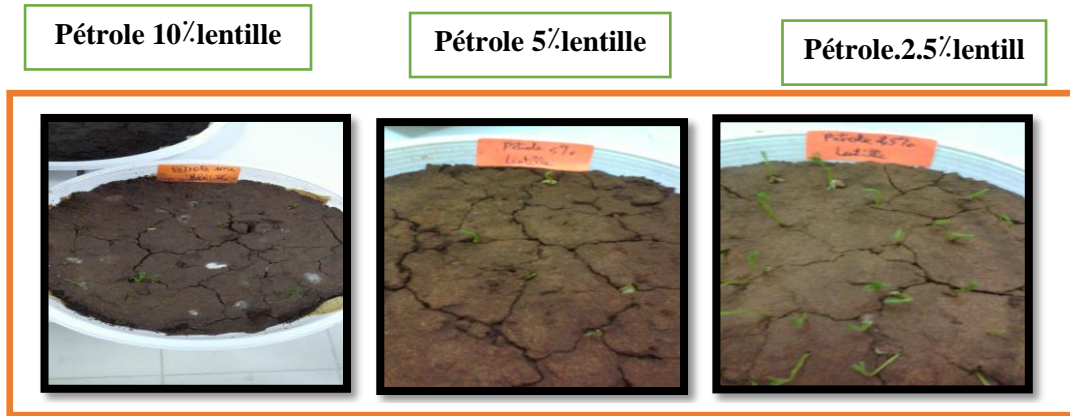
**Figure 12:** germination des grainres lentille sur un sol polué par 2.5 %,5% et 10% de huile brulé après six jours



**Figure 13 :** germination des grainres de blé sur un sol polué par 2,5%,5% et 10% de huile brulé après six jours.



**Figure 14 :** germination des grainres de lentille sur un sol polué par 2 ,5%,5% et 10% de pétrole brute après six jours.

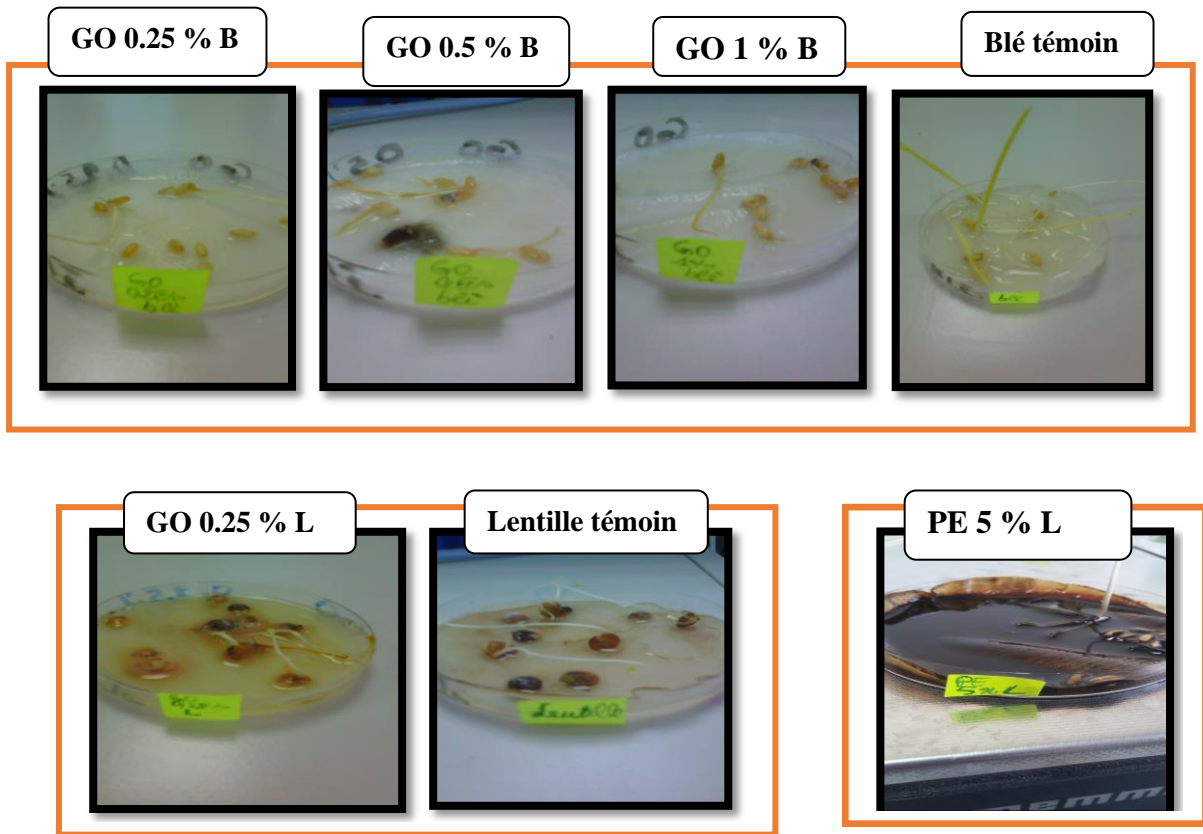


**Figure 15:** germination des graines lentille sur un sol pollué par 2.5%,5% et 10% de pétrole brut après six jours.

Nous avons remarqué que les graines du lentille et du blé ont germé au 4<sup>ème</sup> jour sur toutes les concentrations du gazole, huile brute et pétrole, par contre aucune germination en ce qui concerne le blé 5% et 10% pour l'huile brûlé et le blé 10% pour le pétrole brute. Pour la germination du blé 5% pétrole brute, les résultats de la germination sont notés du 8<sup>ème</sup> jours jusqu'à le 15<sup>ème</sup> jours.

### **1-b-La germination des grains sur une émulsion hydrocarbure-tween 80**

L'essai de germination des semences d'espèces végétales choisies avec la solution de tween 80. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure 16. D'après la figure 16 on a remarqué que les graines de blé et de la lentille ont germés avec le mélange de la solution de tween 80 par les différentes concentrations d'hydrocarbures, une croissance importante pour le témoin de blé et lentille dès le troisième jour jusqu'à le 20 jours, cependant on a enregistré des faibles résultats qui concernent la germination des graines de blé et de la lentille avec la solution de tween 80. On a conclu que le mélange de la solution de tween 80 par les hydrocarbures ralentissent la germination des semis.



**Figure 16 :**taux de germination des graines de blé et la lentille sur une solution de tween 80-gazole.

## 2.Le pouvoir germinatif

### a)Sur les hydrocarbures

Le pourcentage des concentrations des plantes considérée (*Triticum durum* ; *Lens culinaris*) sont présentés dans la figure 17. D'après la figure 17, on distingue que le taux de germination de GO 0,25 est initié le 2<sup>ème</sup> jour après la semance des graines avec un taux élevés de 68% proche au pourcentage du témoin de 76 %, par contre on remarque que la germination avec la concentration de GO 0,5% est initiée le 3<sup>ème</sup> jour à la suite de la semance de la graine avec un pourcentage de 50% au bout du 15<sup>ème</sup> jours. La germination avec un taux de concentration du GO 1% est observée dès le 5<sup>ème</sup> jours avec un pourcentage de la concentration faible à 42%. Les résultats de l'analyses de taux de germination de Lentille sont présentés dans la figure 20.Nous pouvons dire que le taux de germination des graines de lentilles est assez importante avec des contamination de gazoil de concentrations de Go 0.25% et de Go 0.5% par des valeurs respectives de 92% et 96%, sans oublier que le taux de germination des graines de témoin est plus élevés par une valeur de 100% achevée après

seulement 5 jours. Cependant une faible concentration est enregistrée avec un taux de 80% sur le GO 1%.

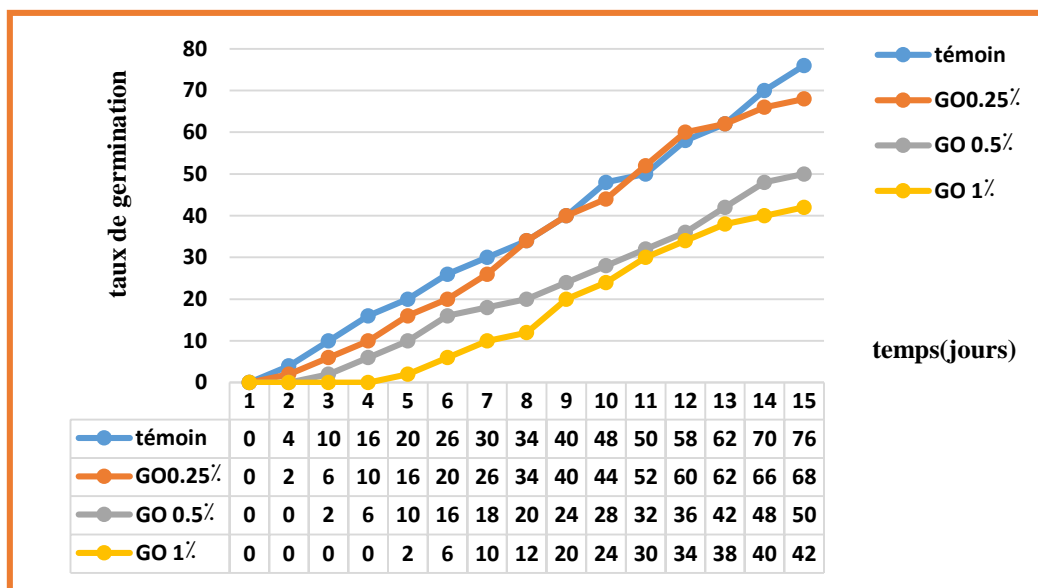


Figure 17 : Taux de germination de blé sur un sol pollué par le gazole (0.25%, 0.5% et 1%)

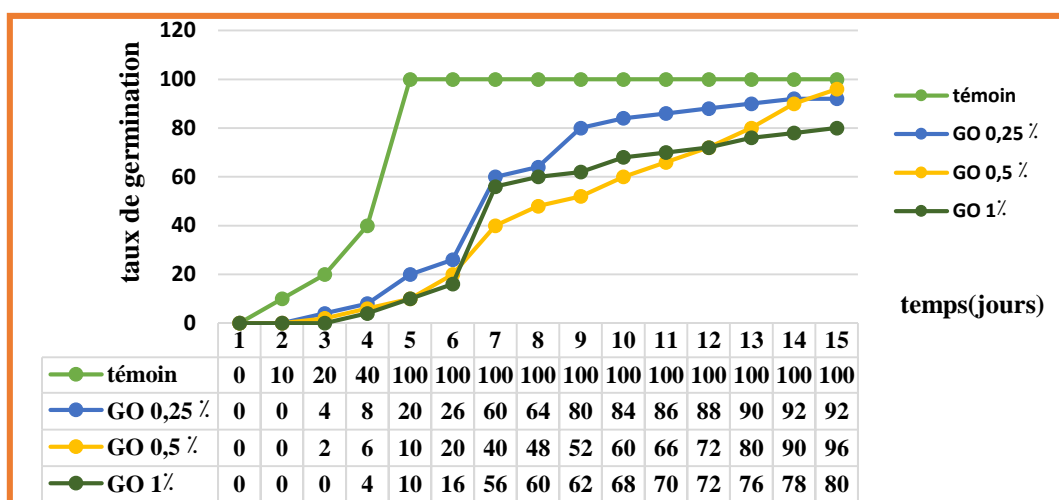


Figure 18 : Taux de germination de lentille sur un sol pollué par le gazole (0.25% , 0.5% et 1%)

Les résultats de l'analyse de taux de germination de blé dans un sol pollué avec l'huile de moteur brûlé est présentés sur la figure ci-dessous (figure 19).

D'après la figure ci-dessus (figure 19), on a remarqué que la germination s'est effectuée sur le sol pollué avec une seule concentration du Hb 2.5% dès le 5<sup>ème</sup> jour après la semée des graines avec un taux de 2% au cinquième jour et 62% au quinzième jours. Par contre les graines du témoin sont commencés a germées dès le 2<sup>ème</sup> jours avec un taux 4% et 76% lors du 15<sup>ème</sup> jours.

Cependant les graines du blé n'ont donné aucun résultat positif sur le sol pollué par les concentrations HB 5% et HB 10%.

Les résultats de taux de germination de la lentille sont présentés dans la figure 20.

Les valeurs enregistrées dans la figure ci-dessus (figure 20), représentent un pourcentage élevé de germination de la lentille avec la pollution du sol par une concentration de HB 2.5%, celle-ci a été relevée dès le 6<sup>ème</sup> jour à 2%. Le pourcentage progresse jusqu'à le 15<sup>ème</sup> jours à 96%. En outre, une faible germination de lentille avec un pourcentage de 16% pour la concentration HB 5%, par contre, elle est très faible pour le HB 10% avec un taux de 4 %.

Les valeurs de HB pour la lentille avec toutes les concentrations (2.5%,5% et 10%) sont très élevées par rapport à celles du blé.

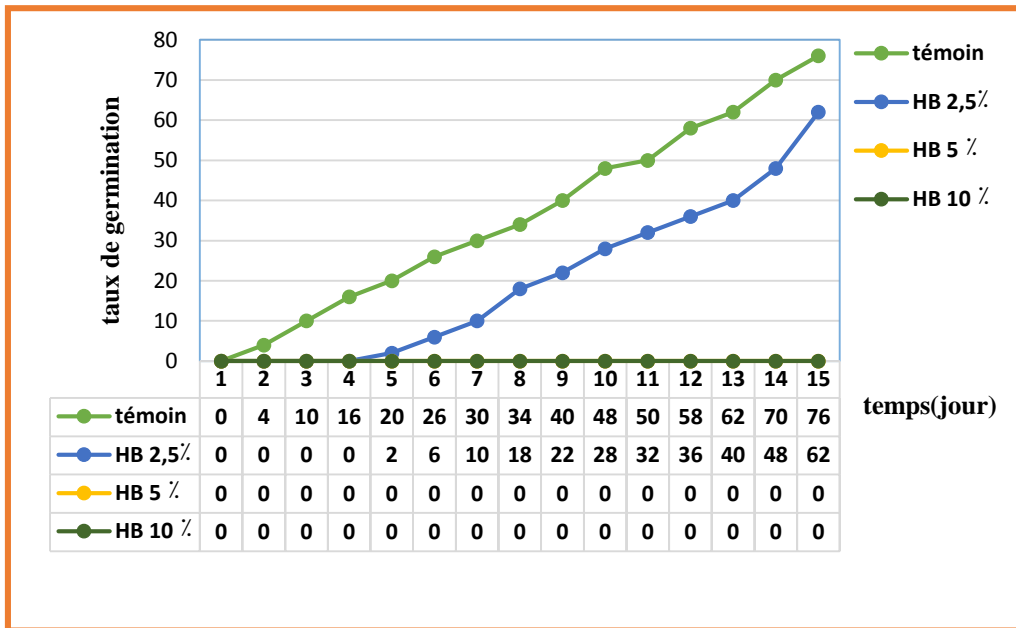


Figure19 : Taux de germination de blé sur un sol pollué par l'huile de moteur brûlé (2.5%, 5% et 10%).

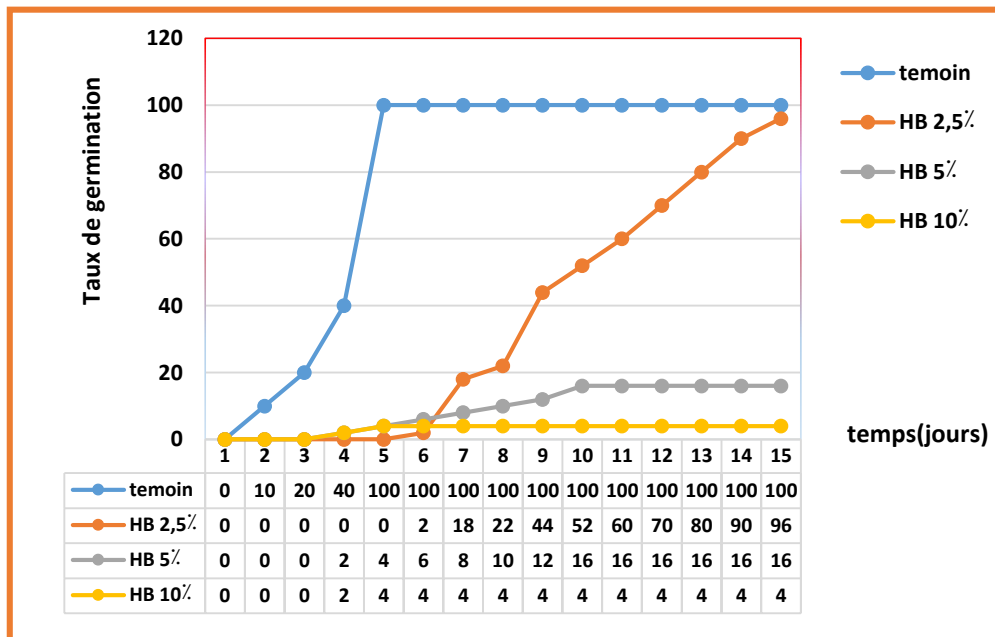


Figure 20: Taux de germination du lentille sur un sol pollué par l'huile de moteur brûlé (2.5%, 5% et 10%)

La figure 21 présente les valeurs de germination de blé sur un sol pollué par trois concentrations de pétrole brute.

Nous pouvons dire que la 1ère valeur qui était remarquée après le test de germination c'est avec le témoin dans le 2<sup>ème</sup> jour de 4 % jusqu'à le 15<sup>ème</sup> jour avec un taux de 72%.

Cependant la 2ème valeur distinguée c'est avec le pétrole 2.5% par un pourcentage de 4% dans le 5ème jour, suivie par la 3ème valeur sur le pétrole brute à 5% avec un taux de germination de 2% dans le 8<sup>ème</sup> jours et 20% dans le 15<sup>ème</sup> jours, et 0% pour le pétrole brute 10%.

La figure 22 présente les résultats de taux de germination des graines de la lentille sur un sol pollué par le pétrole brute durant 15 jours.

On remarque que la première valeur enregistrée est de 1% avec le témoin après seulement 24H suite à la semence. Cependant la deuxième valeur relevée est celle du pétrole brute 2,5% dès le 4<sup>ème</sup> jour avec 2% tout en continuant à progresser jusqu'à le 15<sup>ème</sup> jour avec 80%.

Concernant pour la germination du pétrole brute 5%, elle s'est effectuée dès le 5<sup>ème</sup> jour avec un pourcentage de 4% tout en progressant jusqu'à le 15<sup>ème</sup> jour par un pourcentage de 28%. Notant que la faible valeur est celle du pétrole brute 10% avec un pourcentage de 16%.

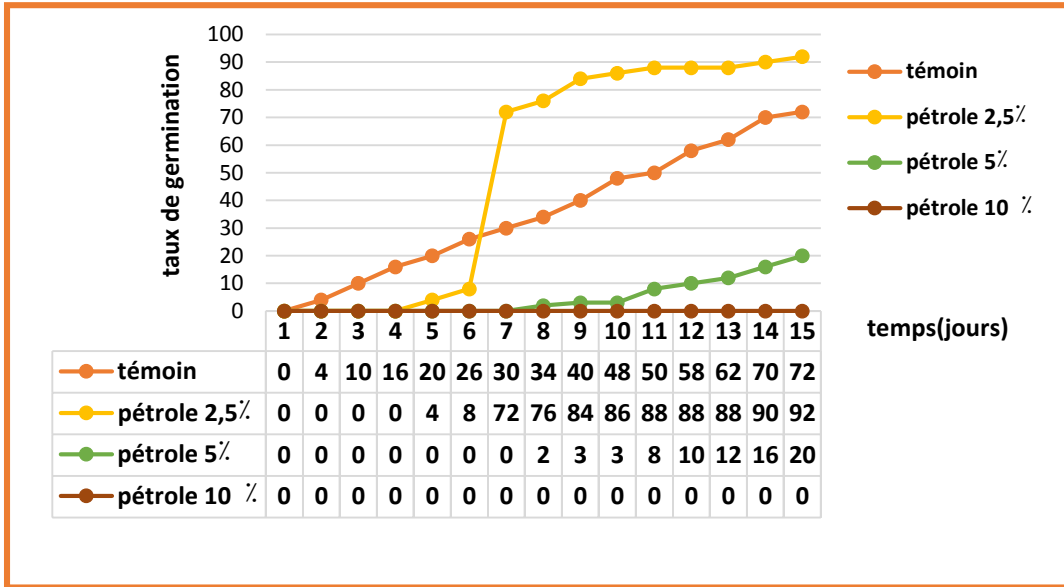


Figure21 : taux de germination de blé sur un sol pollué par le pétrole brute (2.5%, 5%, et 10%)

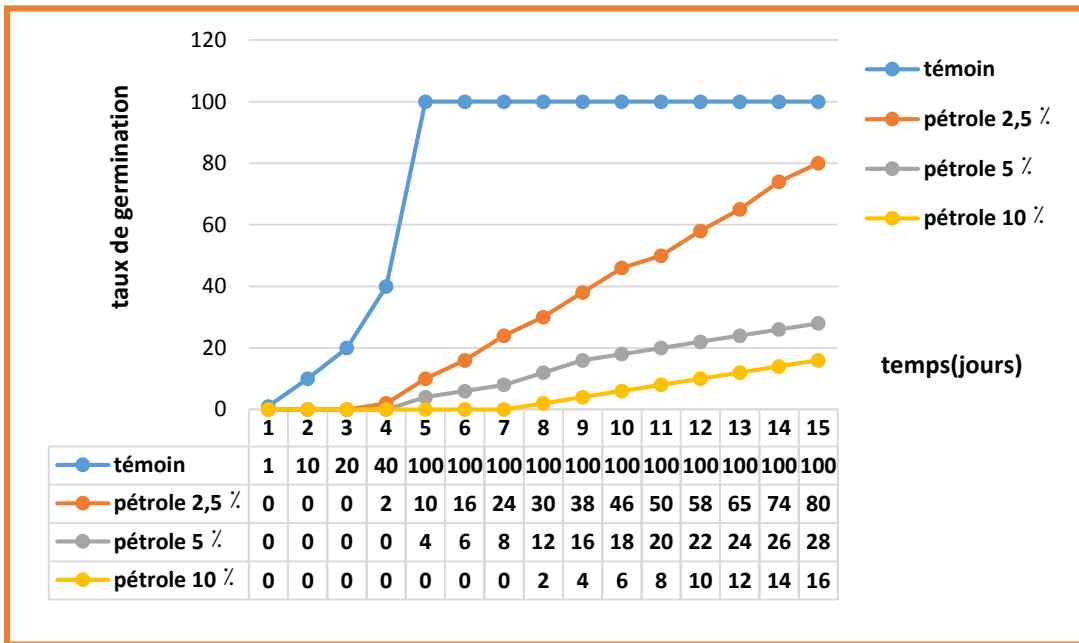


Figure22:taux de germination de la lentille sur un sol pollué par le pétrole brute (2.5% , 5%, et 10%)

**B) Le pouvoir germinatif sur une émulsion composée d'hydrocarbures- tween 80.**

Les résultats de la germination des graines de blé sur une émulsion composée de gazole-tween 80 sont présentés dans la figure 23.

D'après les résultats obtenus et qui sont présentés dans la figure 23, nous avons enregistré que l'effet de Tween est remarqué dans le 5<sup>ème</sup> jour par le témoin avec un pourcentage de 10% par contre la 2<sup>ème</sup> valeur observée c'est celle de la concentration Go 0.25% avec un pourcentage de 10%, par ailleurs la concentration Go 0.5% est observée dans le 7<sup>ème</sup> jours avec un taux 10%, suivie du GO 1% dans le 10<sup>ème</sup> jour avec un taux de 20%.

Enfin, nous avons constaté que dans le dernier jour toutes les concentrations sont à égalité avec un taux de 40% sauf le témoin à 50%.

Les résultats de germination de grains de lentille sur une émulsion composée de gasoil- tween 80 sont représentés dans la figure 24.

Nous pouvons dire que le taux de germination de la lentille est assez importantes pour le témoin avec un pourcentage de 80%, cependant la germination de la lentille par le Go 0.5% est à la moyenne par un taux de 38%, et elle est faible sur le Go 0.25% et GO 1% avec une valeur de 32%.

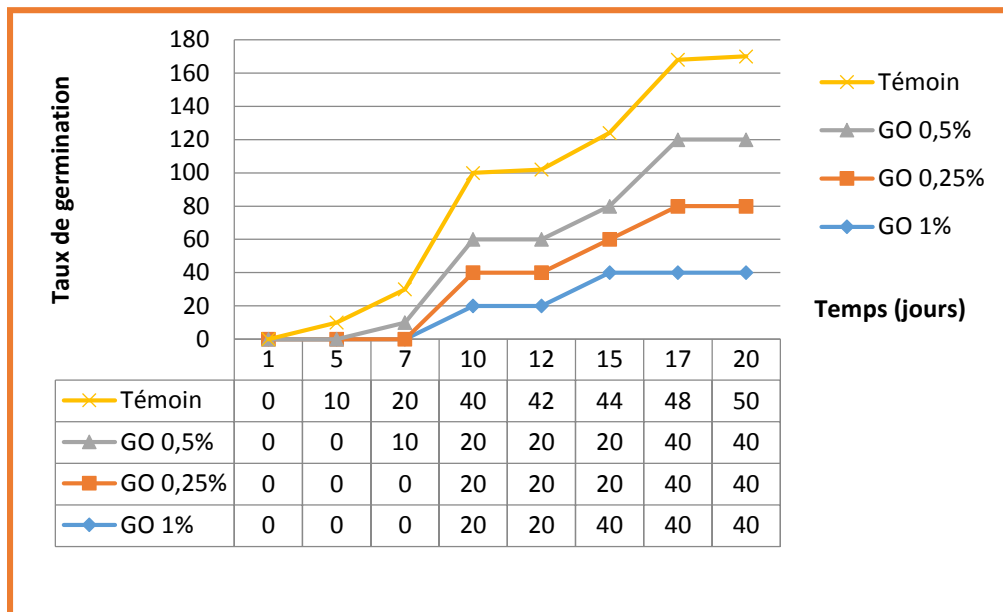


Figure 23 : taux de germination de blé sur une émulsion composée de gazole- tween 80.

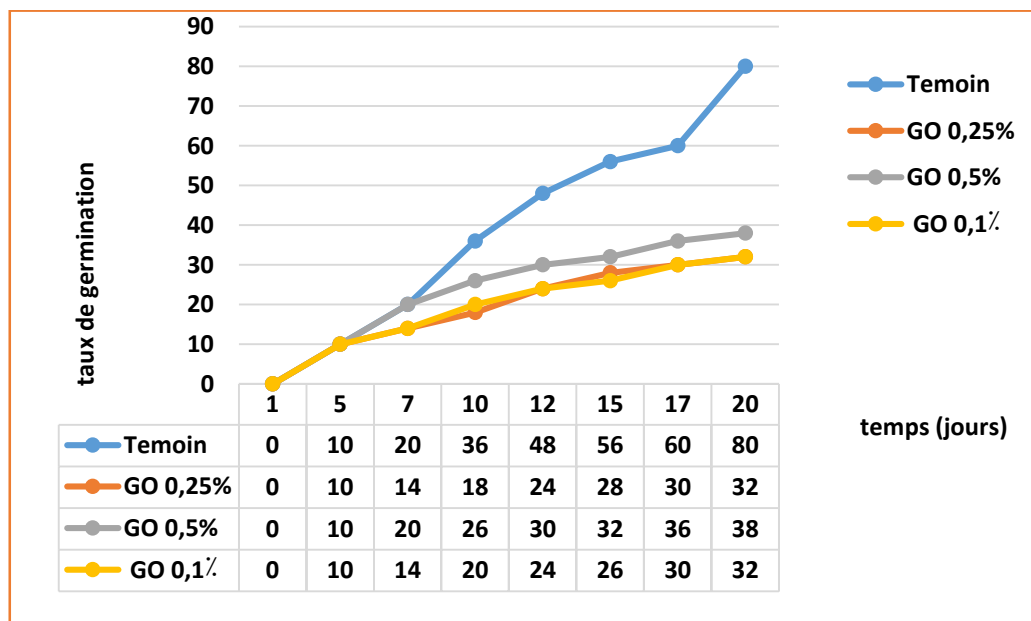


Figure 24 : taux de germination de la lentille sur une émulsion composée de gazole- tween

80.

Les valeurs de germination des graines du blé sur une émulsion composée de l'huile de moteur brûlé - tween 80 sont présentées dans la figure 25.

Nous avons enregistré une valeur très importante pour le témoin avec un pourcentage de 50% dès le 20<sup>ème</sup> jour d'incubation. Cependant un résultat assez remarquable pour le HB 5% avec un taux de germination de 28%, et il est faible sur le HB 2.5% avec un taux de 20%, et on a rien enregistré pour le HB 10% (0%) sur toute la phase de l'incubation.

Les résultats de germination des grains de lentille sur une émulsion composée de l'huile de moteur brûlé - tween 80 sont présentés dans la dans la figure 26.

Le premier résultat observé est enregistré sur les deux concentrations suivantes HB 5% et HB 10% par un taux de germination 0%, par contre on a enregistré un excellent résultat pour la concentration HB 2.5% avec un pourcentage de 14%, aussi important sur le témoin avec un taux de 80%.

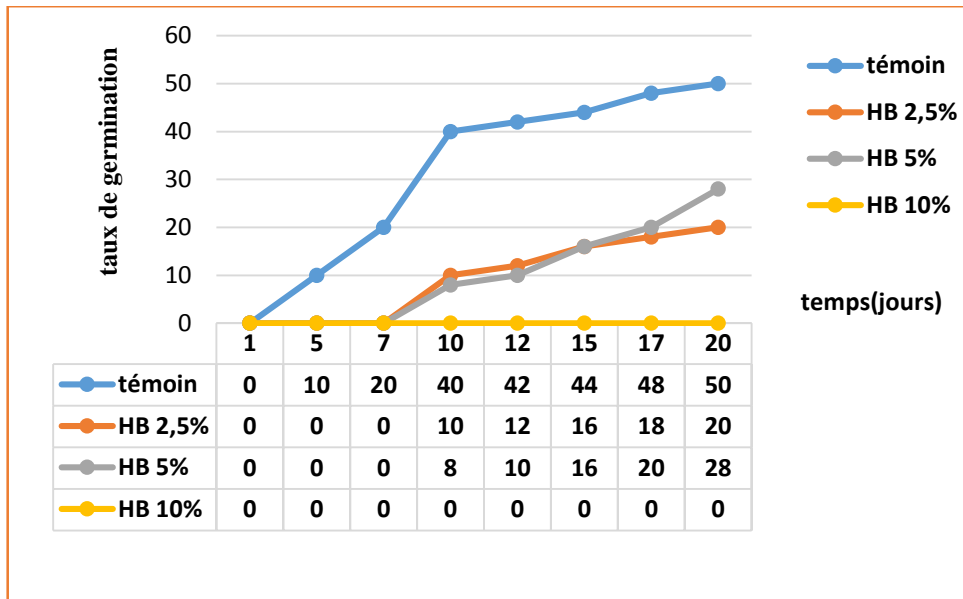


Figure 25 : taux de germination des grains de blé sur une émulsion composée de l'huile de moteur brûlé - tween 80.

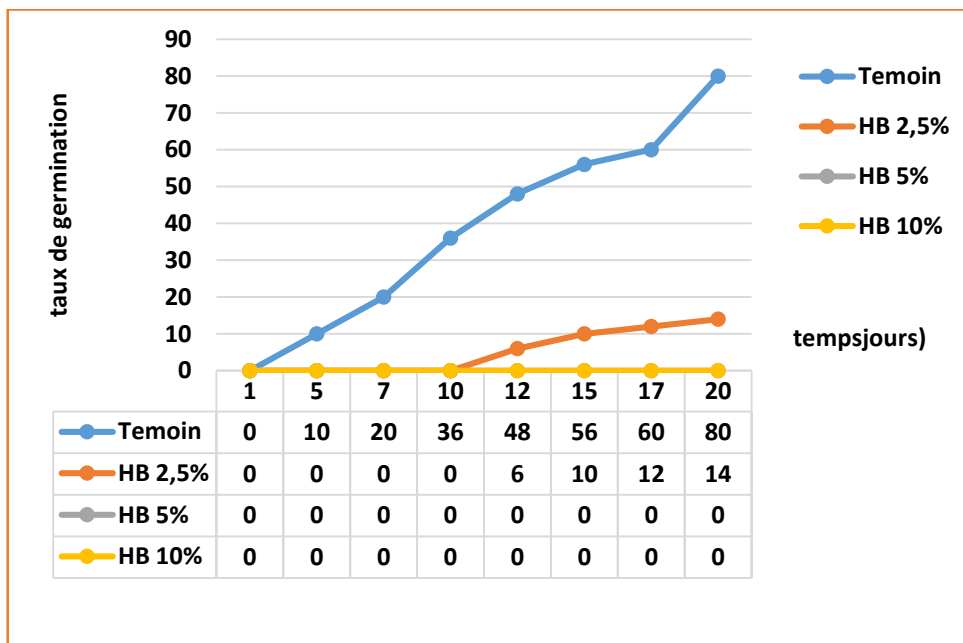


Figure 26 : taux de germination des grains de lentille sur une émulsion composée de l'huile de moteur brûlé -80.

-Les résultats de germination du blé par le mélange de la solution Tween 80 et les trois concentrations de pétrole brute sont enregistrés dans la figure 27.

Nous avons dit que la germination du Blé par le Tween sur le témoin est assez importante avec un taux de 50%, par contre les 3 autres concentrations suivantes PE 2.5%, PE 5% et PE 10% , la germination est quasiment est faible par une valeurs de 20%.

--Les résultats de germination de la lentille sur le mélange de la solution Tween 80 et les trois concentrations de pétrole sont enregistrés dans la figure 28

Nous avons enregistré un très bon résultat avec le témoin par un taux de germination de 80% , ensuite le 2ème résultat observé sur le PE 5 % avec un pourcentage de 30%, par contre on a rien observé pour le PE 2.5% et PE 10%(0%).

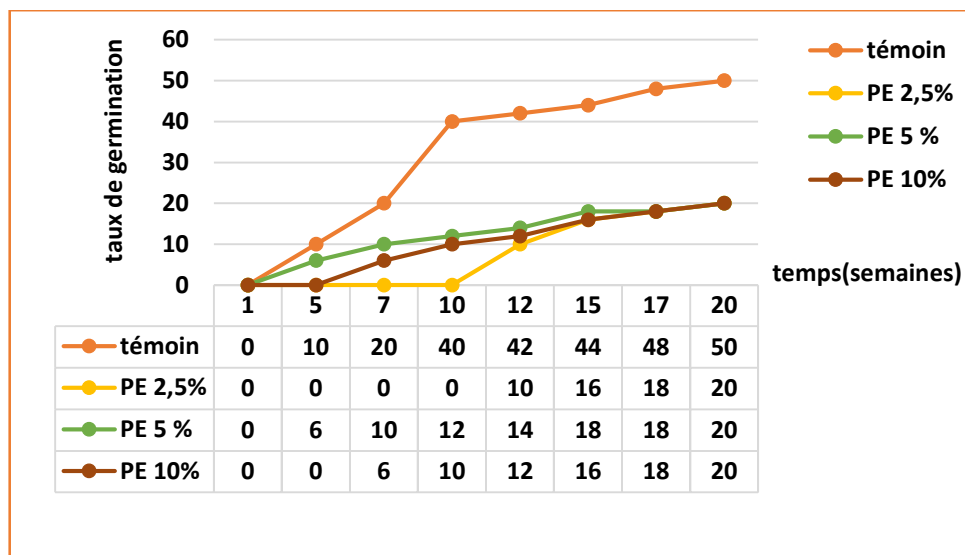


Figure 27 : taux de germination de blé des grains de blé sur une émulsion composée de pétrole brute - tween80.

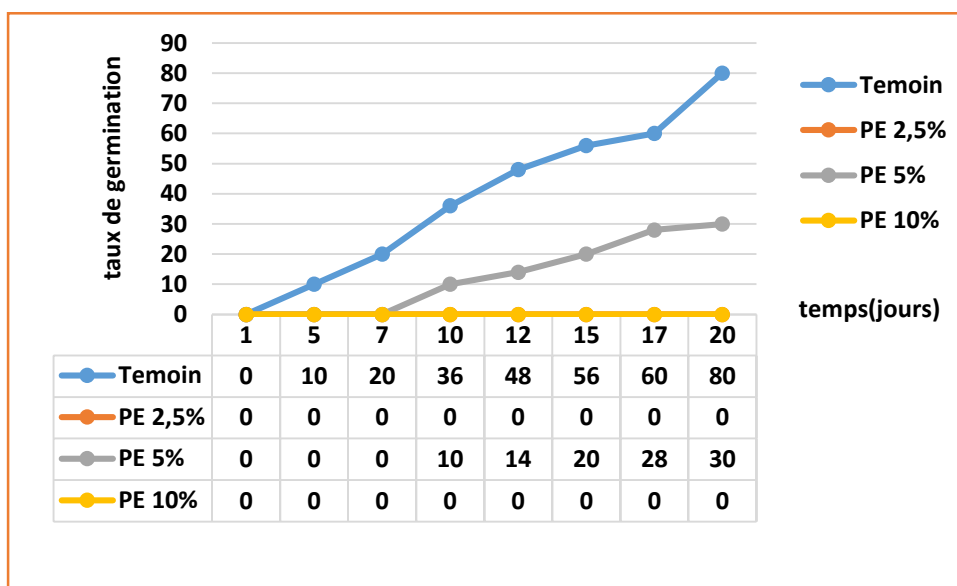


Figure 28 : taux de germination de lentille sur une émulsion de pétrole brute- tween80.

### **3-Croissance végétale**

Les deux plantes du blé et lentille ont été affecté par la présence des hydrocarbures sur le sol. Des anomalies ont été remarquées au niveau de leurs morphologies au cours de leurs croissances (figure 29).

#### **a. Hauteurs de la partie aérienne**

La figure 29 présente l'évolution hebdomadaire de l'auteur des plantes de blé en fonction de la concentration de gazole.

Au bout de la sixième semaine, nous avons remarqué que les plantes ont atteint une hauteur moyenne de 12 cm avec le témoin. Pour la concentration GO 0.25% nous avons remarqué qu'il a atteint une hauteur de 8 cm, cependant nous avons noté que la plante a atteint une hauteur de 6.8cm avec la concentration 0.5% dans la 6<sup>ème</sup> semaine, et avec une hauteur de 10 cm par la concentration GO 1%.

-La figure 30 représente les résultats de la hauteur de la lentille sur les trois concentrations de gazole.

D'après la figure 30, nous avons constaté qu'à la sixième semaine de culture, la plante de lentille a atteint une hauteur de 20 cm dans le témoin, et 16 cm d'hauteur par la concentration de GO 0.25%, encore pour la troisième concentration avec le GO 0.5%%, la hauteur de la plante est considérablement marquée dans la sixième semaine de 14 cm en parallèle avec la concentration GO 1% (14 cm).

D'après les figures 29 et 30 nous avons conclu que l'allure des courbes des deux plantes blé et lentille présente un ralentissement de la croissance de la plante blé par rapport à la lentille qui est très accéléré.

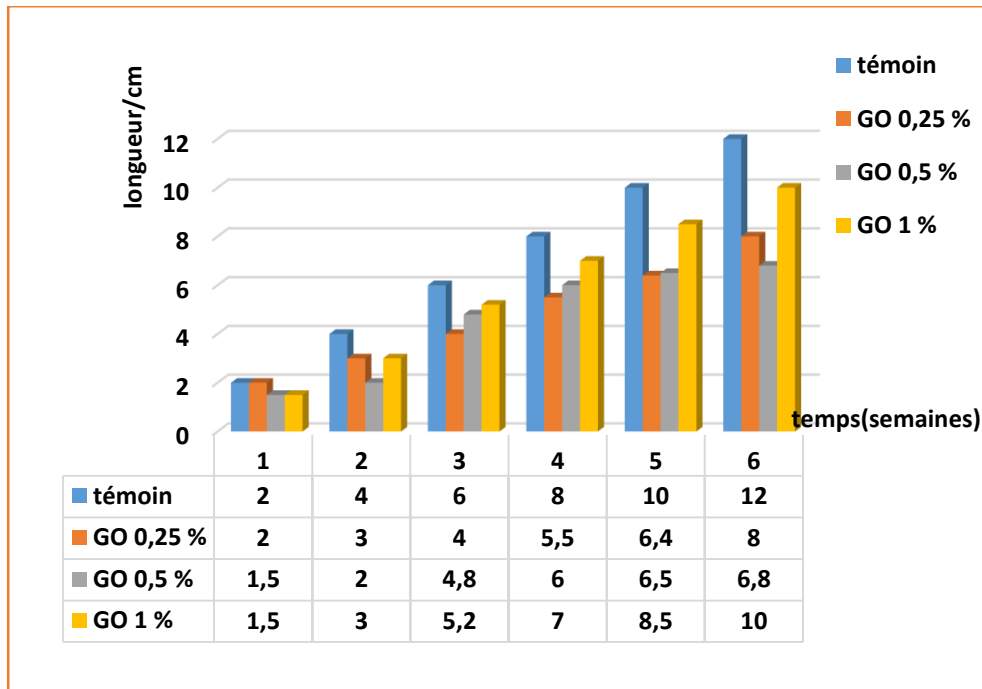


Figure29 : l'évolution de la hauteur moyenne du blé (*Triticum durum*) en fonction du temps.

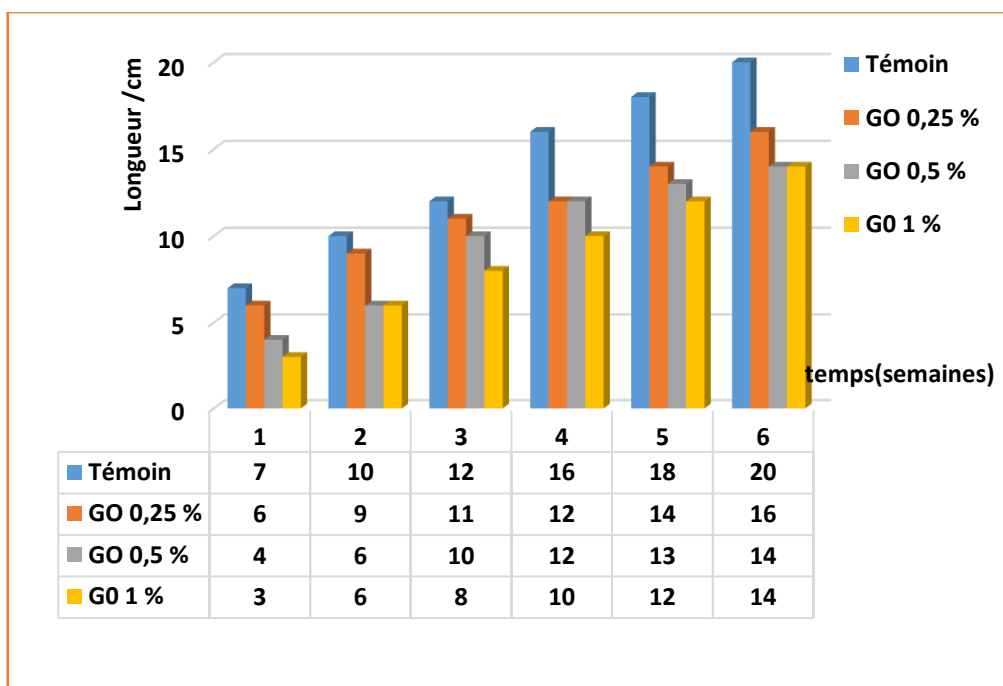


Figure30: l'évolution de la hauteur moyenne de Lentille (*Lens culinaris*) en fonction de temps.

-La figure 31 représente la longueur de la plante (*Triticum durum*) dans les sixième semaines sur les différentes concentrations d'huile de moteur brûlé.

Concernant le blé, la figure 31 montre qu'au bout de la sixième semaine, cette plante a atteint la hauteur de 12 cm dans le témoin, et 8 cm par la concentration HB 2.5%, et 0 % par les deux concentrations HB 5% et HB 10 %.

Nous constatons d'après la courbe de l'évolution de la hauteur moyenne de la plante que le seul résultat marqué est avec le témoin par la concentration HB 2.5%, cependant nous remarquons que le blé planté dans le sol pollué par l'huile brute avec les deux concentrations HB 5% et HB 10% a eu une croissance négative.

-les résultats ci-dessous (figure 32) représentent la longueur des tiges de la plante (*Lens Culinaris*).

Au bout de la 6<sup>ème</sup> semaine nous avons enregistré une hauteur de 20cm par le témoin, seulement qu'avec la concentration HB2.5%, nous avons noté une hauteur du 10.2cm.

Le blé planté dans le site pollué par huile brute avec la concentration 5% a atteint une hauteur de 7.3 cm dans la sixième semaine, et une hauteur de 9.5 cm pour la concentration HB 10%.

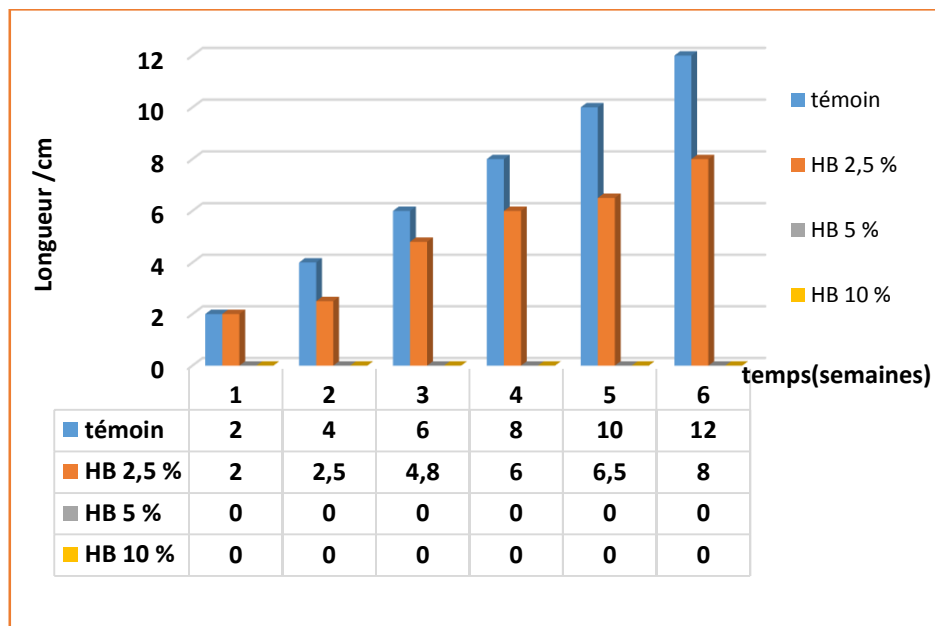


Figure31: l'évolution de la hauteur moyenne de blé (*Triticum durum*) en fonction de temps.

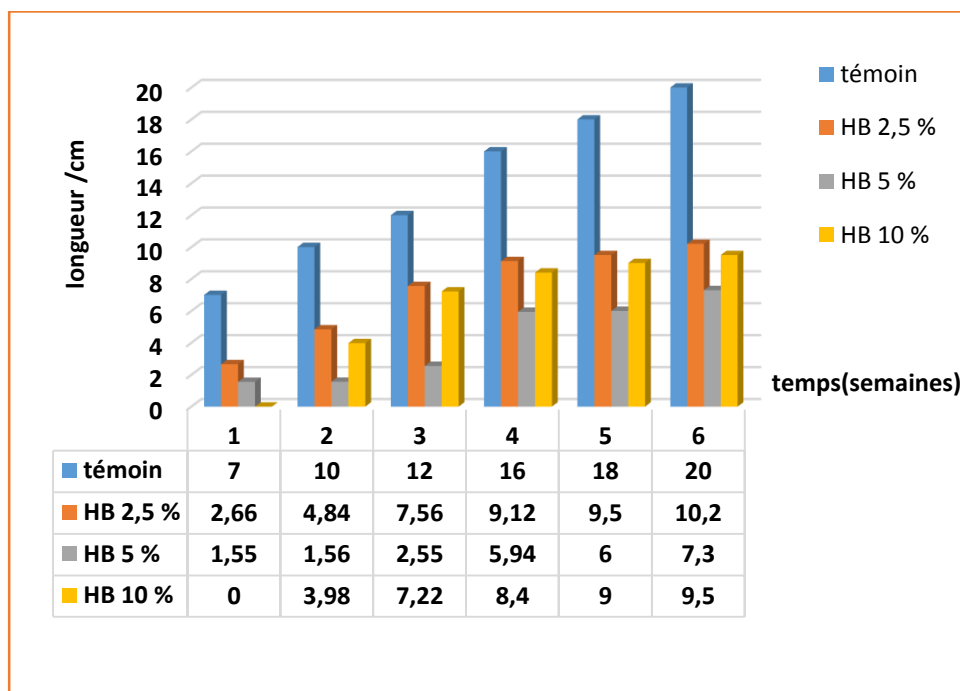


Figure 32: l'évolution de la hauteur moyenne de (*Lens Culinaris*) en fonction de temps.

-La figure 33 représente la longueur de la plante (*Triticum. durum*) en fonction de temps.

Nous avons constaté d'après la figure 33, qu'à la sixième semaine de culture, la plante *Triticum* a atteint une hauteur de 12 cm dans le témoin ,9 cm par la concentration de PE 2.5%, 6.2 cm par la concentration PE 5% et 0 cm par la concentration 10%.

D'après la figure 33, nous avons conclu que l'allure des courbes de *Triticum* connaît un ralentissement de croissance de façon très distinctive et une absence totale de la croissance par la concentration PE 10%.

-Les résultats de la longueur de la plante (*Lentis .C*) sont représentés dans la figure 34.

D'après la figure 34, nous avons remarqué dans la sixième semaine de la croissance une hauteur importante par le témoin 20 cm, et 9 cm d'hauteur par la concentration PE 2.5 %, en outre on a calculé l'évolution de la moyenne de la concentration PE 5 % qui atteint une hauteur de 6 cm dans la sixième semaine et une hauteur de 6.3 cm par la concentration PE 10% .

On a conclu après les figures 33 et 34 un ralentissement de croissance chez le blé par rapport à la lentille qui donne des bons résultats avec les trois concentrations de pétrole.

-La biométrie des tiges des deux espèces testées à la 6<sup>ème</sup> semaine a révélé une croissance positive qui varie d'une espèce à une autre selon les valeurs comparées au témoin. Pour le blé, la biométrie des échantillons testés est faible par rapport au témoin. Concernant la lentille, la biométrie des échantillons sur le sol pollué par les hydrocarbures est presque proportionnelle au témoin.

La lentille et le blé sont considérés comme plantes moins tolérables, la biométrie des tiges est respectivement 18.5 cm, 10.22 cm. Pour les autres espèces, ils présentent une légère phytotoxicité.

La biomasse est un paramètre important pour apprécier la croissance. Cette biomasse est proportionnelle à la biométrie des tiges et feuilles c'est-à-dire que les plantes en bonne croissance tel que la lentille et le blé présentent une biomasse élevée. La biomasse racinaire du blé et lentille inférieur à la biomasse des tiges car ces espèces présentent un rhizome souterraine dont sa biomasse s'ajoute à la biomasse racinaire.

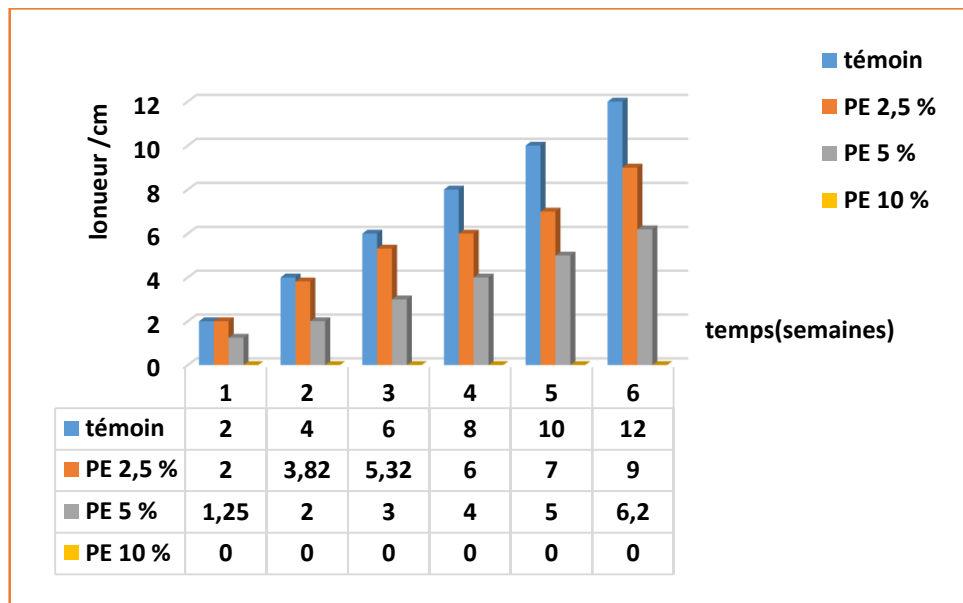


Figure 33 : l'évolution de la hauteur moyenne de blé (*Triticum durum*) en fonction de temps.

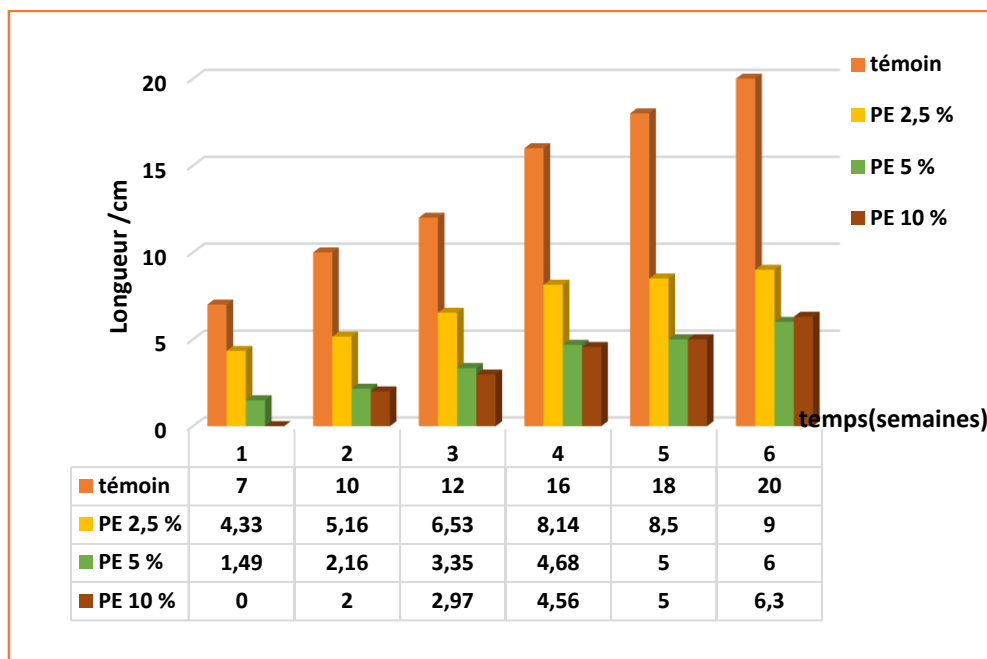


Figure 34 : l'évolution de la hauteur moyenne (*Lens culinaris*) en fonction de temps.

## **b- Nombre de feuille**

L'estimation du nombre de feuille est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse (*Fischesser et Dupuitate, 1996*).

-La figure 35 représente les résultats de nombre des feuilles de la plante (*Triticum durum*).

La figure 35 illustre l'évolution du nombre de feuille de blé dans les différentes concentrations de gazole durant les six semaines.

Pendant la sixième semaine de culture, le nombre de feuille du blé est 10 avec le témoin, et 8 feuilles avec la concentration GO 0.25%, cependant pour la troisième concentration, le nombre de feuille est 6 avec la GO 0.5% et 5 feuilles avec la GO 1%.

On a remarqué un nombre des feuilles élevés pour le témoin et la concentration GO 0.25 % par rapport aux deux autres concentrations GO 0.5 % et GO 1 %.

-La figure 36 représente le nombre de feuilles de lentille en fonction de temps.

Concernant la lentille (figure 36), nous avons constaté que pendant la sixième semaine, le nombre de feuille de lentille atteint la valeur maximale de l'ordre de 24 feuilles avec le témoin, et avec un nombre de feuille de 15.5 par la concentration GO 0.25%.

Cependant on a remarqué une valeur importante de nombre de feuille à 19 avec la concentration GO 0.5%, et 18 feuilles avec la concentration GO 1% pendant la sixième semaine.

D'après la courbe représentée dans la figure 36, nous avons marqué qu'à partir de la deuxième semaine le nombre de feuille de lentille dans les différentes concentrations a connu une augmentation due au développement de la plante.

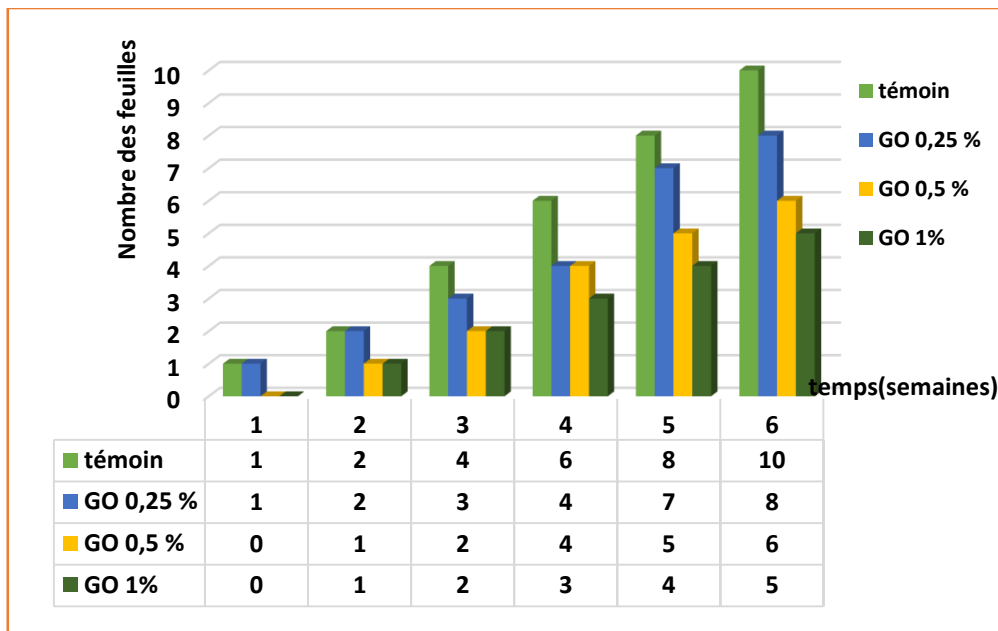


Figure35 : nombre des feuilles de *Triticum durum*.

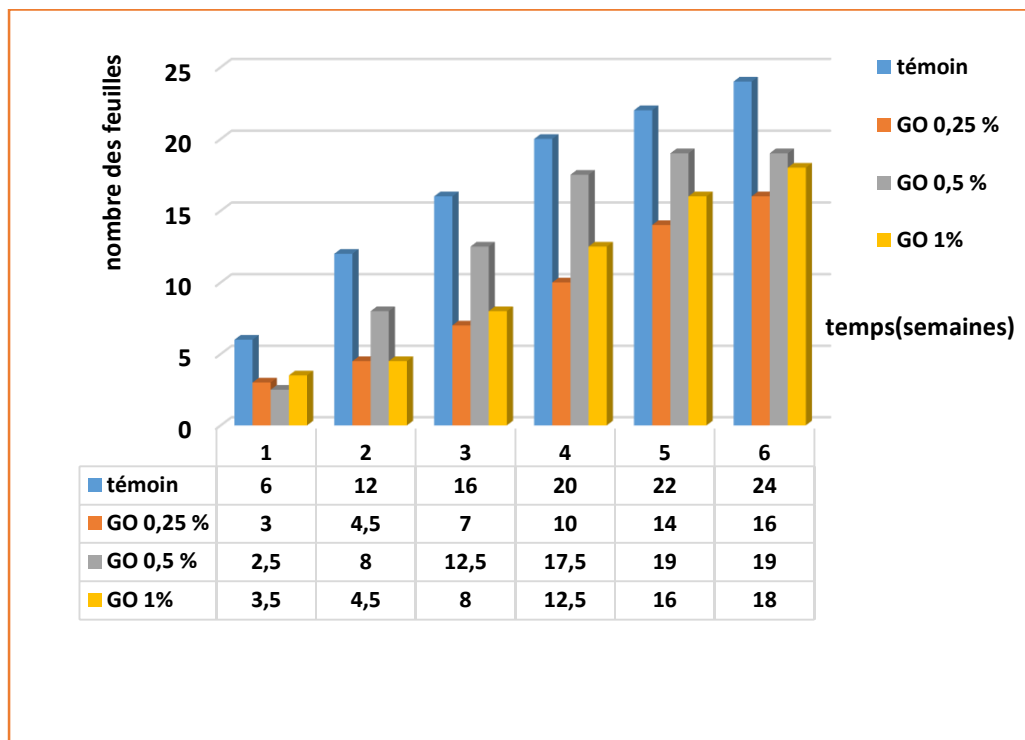


Figure 36: Nombre de feuilles de *Lens culinaris*

-La figure ci-dessous représente le nombre de feuille de blé par les différentes concentrations d'huile brûlé.

-Selon la courbe de la figure ci-dessus (figure 37), le nombre de feuilles de blé est élevé avec 10 feuilles par le témoin et 8 feuille par la concentration HB 2.5 % et aucune valeur concernant les deux autres concentrations HB 5% et HB 10 % (0 feuille).

A partir de la deuxième semaine on a remarqué un déclenchement du développement de la plante qui est marqué par un nombre important (2 et 1) par le témoin et la concentration HB 2.5%.

-La figure 38 représente la moyenne de nombre de feuille de lentille par les différentes concentrations.

Au bout de la sixième semaine nous avons relevé un nombre équivalent à 24 feuilles par le témoin, et 20 feuilles par la concentration HB 2.5 %.

Cependant nous avons calculé un nombre de 11 feuilles par la concentration HB 5% et 15 feuilles par la concentration HB 10%.

A partir de la deuxième semaine, on a remarqué une progression importante de nombre de feuilles lentille par les différentes concentrations de l'huile brute, ce qui indique une croissance idéale de la plante durant les six semaines, par contre, on a remarqué un ralentissement de la croissance de blé.

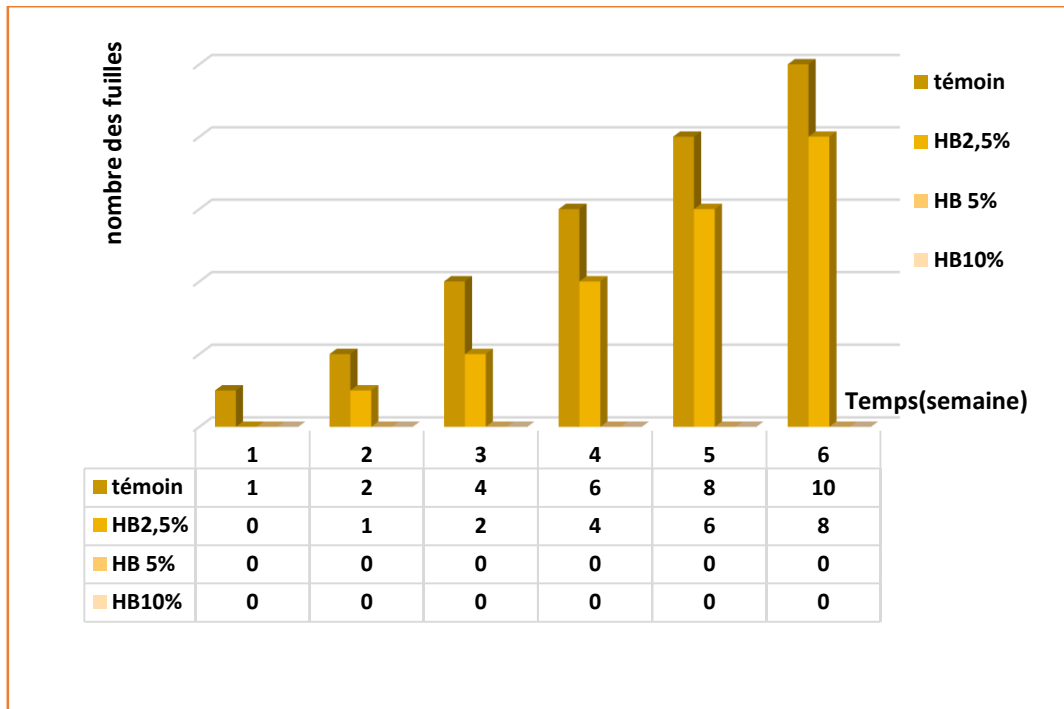


Figure 37 : Nombre de feuille de *Triticum durum*.

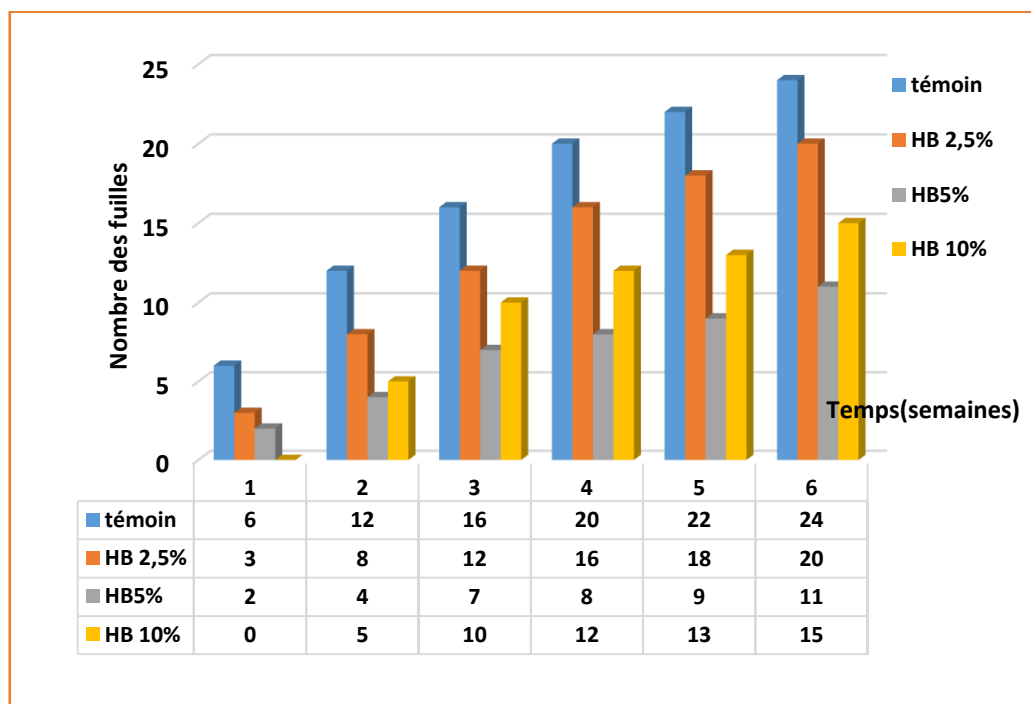


Figure 38 : Nombre de feuilles de *Lens culinaris*.

-La figure 39 présente l'évolution de nombre de feuille de lentille en fonction de temps par les trois concentrations de pétrole.

Concernant la plante de lentille (*Lens culinaris*), nous avons constaté que durant les six semaines un déclenchement de la croissance des feuilles à partir de la deuxième.

Concernant le témoin on a calculé un nombre de 24 feuille, un nombre très élevé dans la sixième semaine par rapport aux concentrations du pétrole brute.

Durant la sixième semaine, nous avons constaté un nombre de 16 feuilles par la concentration PE 2.5 %, 14 feuilles par la concentration PE 5% et 10 feuilles par la concentration PE 10%.

La figure 40 représente le nombre de feuilles de blé par les trois concentrations de pétrole brute. D'après la figure 40, on a constaté un nombre de feuilles de 10 feuilles par le témoin pendant la sixième semaine, et un nombre de 4 feuilles par la concentration PE 2.5%. En outre, on a calculé un nombre de 4 feuilles par la concentration PE 5%, et aucun résultat pour la concentration PE 10%.

D'après la courbe de la figure 40 on a remarqué qu'à partir de la deuxième semaine une baisse de développement de la plante due à la concentration de pétrole brute.

Enfin, on a conclut que le nombre de feuilles de lentille est élevé dans les différentes concentrations des hydrocarbures (gazole, d'huile brulé et pétrole brute) par rapport au blé qui a montré un ralentissement de croissance.

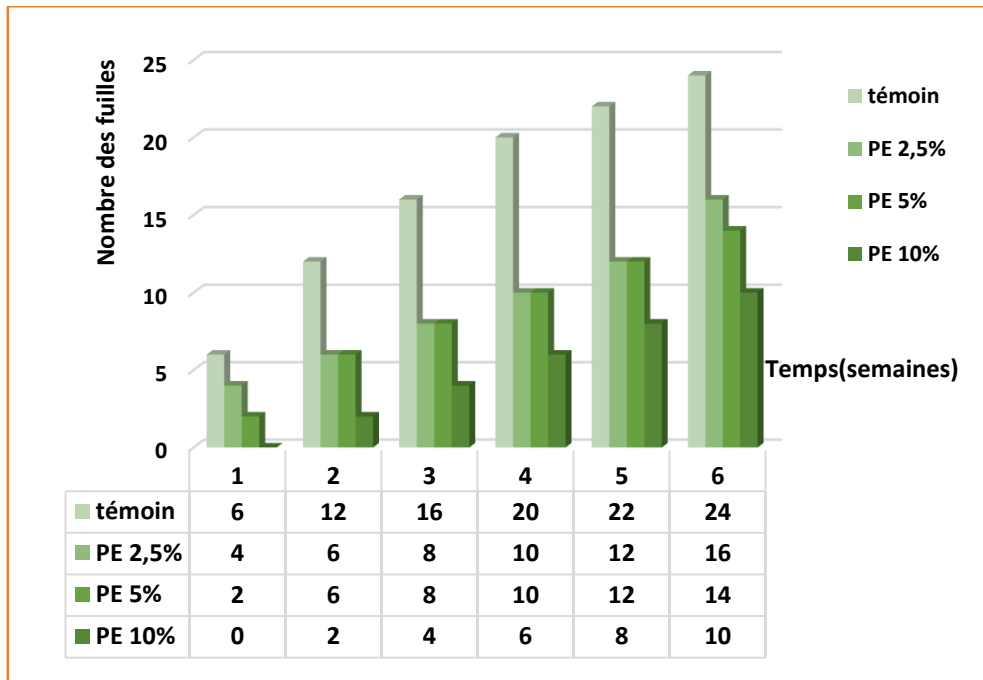


Figure 39 :Nombre de feuille de la *Lens culinaris*.

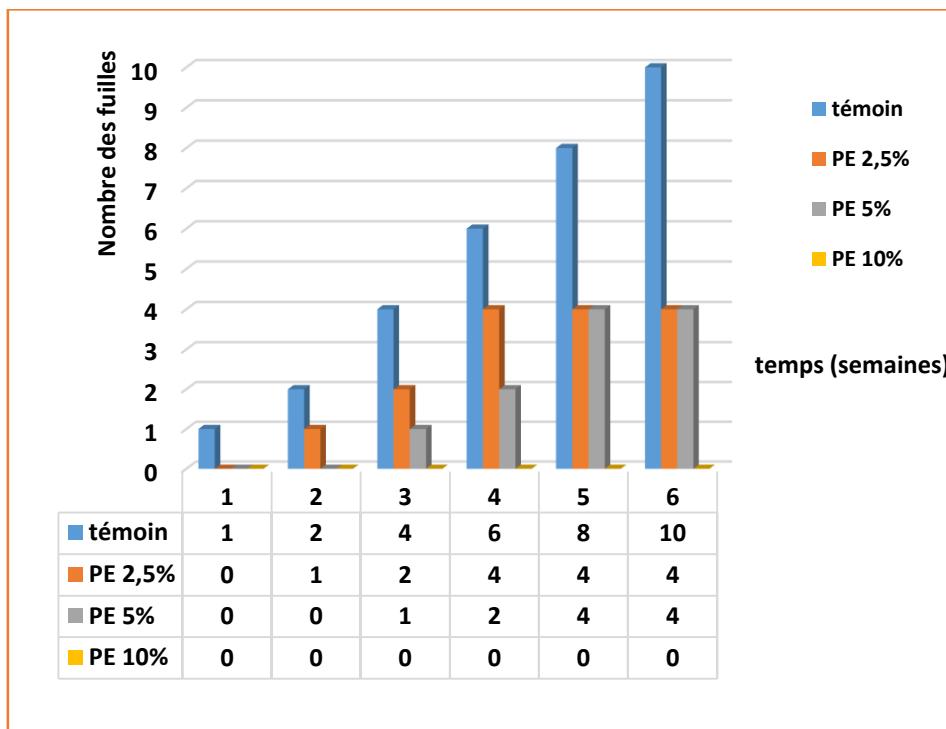


Figure 40: Nombre de feuilles de *Triticum durum*..

### **c-Evaluation des métaux lourds**

L'analyse des métaux lourds a été effectuée au niveau de la partie aérienne de deux espèces végétales (blé ;lentille).

Les résultats des analyses des métaux lourds (figure 41) montrent que la partie aérienne de la plante présente des teneurs métalliques élevées selon OMS .(le tableau dans l'annexe).

Le test de germination et de croissance sur la plante révèle une écotoxicité modérée selon l'espèce végétale. Cependant on a enregistré une valeur de (32 mg/kg) par le Cr avec la concentration GO 0.25%, (31.2 mg/kg) avec la concentration de GO 0.5% et de (19.2 mg/kg) avec la concentration GO 1%. Passant sur le troisième paramètre le Cu par une valeur de (28.3 mg/kg) avec la concentration GO 0.25%, (20.03 mg/kg) avec la concentration GO 0.5% et de (15.3 mg/kg) avec la concentration GO 1%.

Les moyennes de Nickel enregistrées chez la plante comme suite :(5.18 mg/kg) avec la concentration GO 0.25%, (2.1 mg/kg) avec la concentration GO 0.5% et de (3.4 mg/kg) avec la concentration GO 1%.

Les teneurs des métaux au niveau de la concentration HB 2.5% est enregistré par une valeur maximale de (42.2 mg/kg) par le Zn, se classe ensuite le Cr (33.45 mg/kg), le Cu (12.03 mg/kg) et enfin le Ni (4.25 mg/kg). Le zinc constitue une valeur de (60.45 mg/kg) avec la concentration PE 2.5%, (66.8 mg/kg) avec la concentration PE 5%.

D'après la (figure 42) les valeurs enregistrées des métaux lourds au niveau de la partie aérienne de la plante (*lens.culinaris*) est comme suite :

Une valeur très élevée de (67.9 mg/kg) par le métal Zn avec la concentration PE 10, (61.08 mg/kg) avec la PE 2.5%, (62.02 mg/kg) avec la GO 0.25%, (41.42 mg/kg) avec la GO 1% , selon l'arrêté de 8 janvier 1998 le taux de Zn est de (300 mg/kg) donc les valeurs enregistrées dans la figure ci-dessus ils sont à la norme . Cependant le GO 0.25% enregistré par le métal Ni est de (6.2 mg/kg), (5.26 mg/kg) avec la HB 2.5%,(5.28 mg/kg) par la PE 2.5%, (4.52 mg/kg) avec la PE 5% et de (3.5 mg/kg) avec la PE 10%.

Le taux en cuivre enregistrées dans les trois concentrations dans la plante est comme suite :

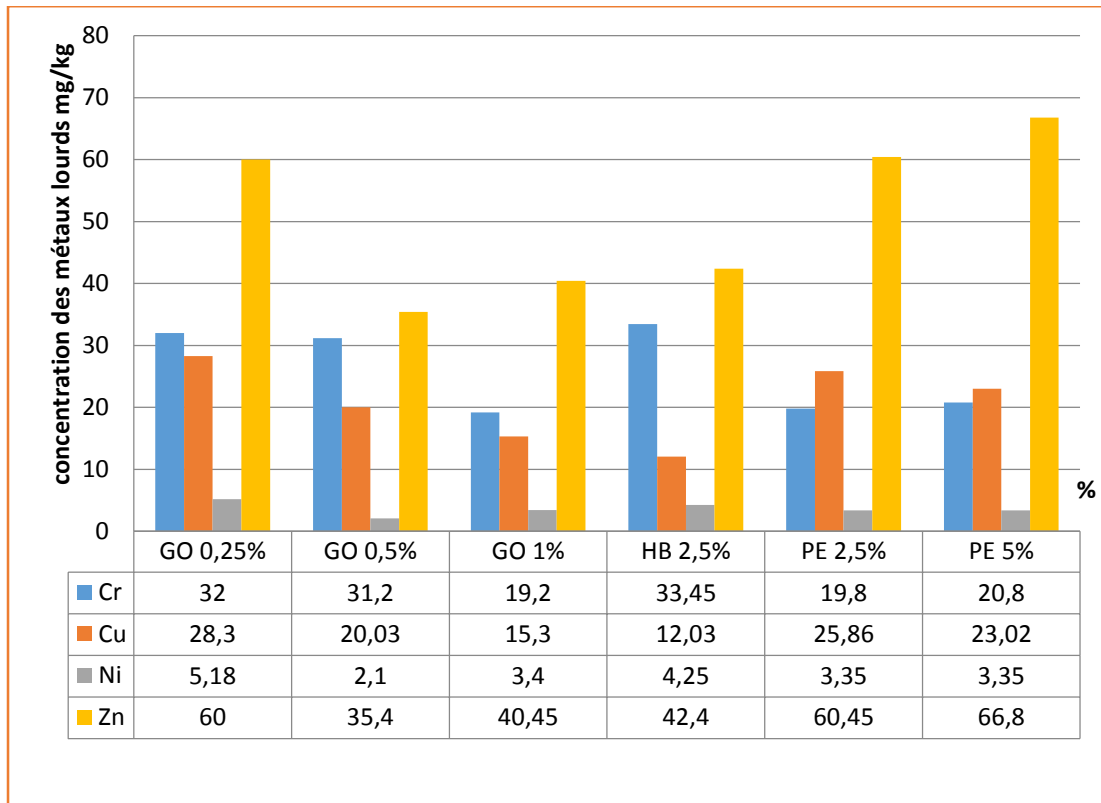
(29.6 mg/kg) par la GO 0.25%, (20.5 mg/kg) par la GO 0.5%,(16.02 mg/kg) par la GO 1% ca concerne les concentrations de Gazole. On outre les concentrations de Huile brute enregistrés

est : (13.05 mg/kg) par la HB 2.5%, (10.02 mg/kg) par la HB 5% et de (5.8 mg/kg) par la HB 10%.

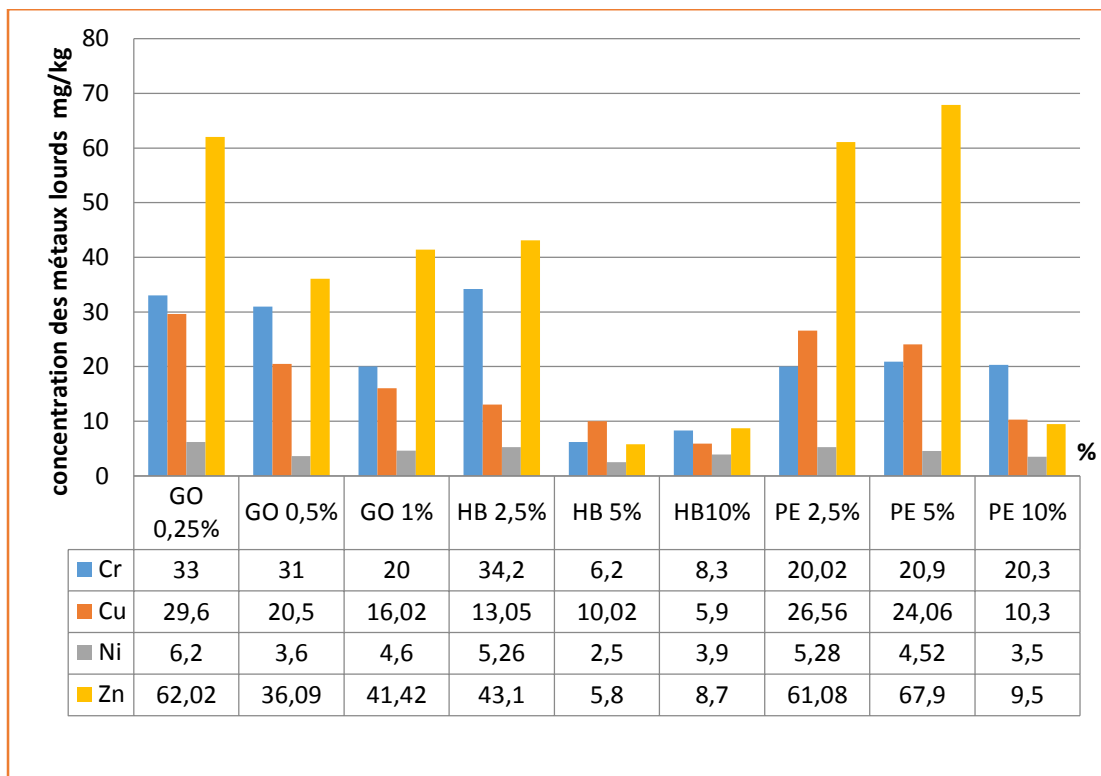
Les valeurs de pétrole calculées est : (26.56 mg/kg) par la PE 2.5%, (24.06 mg/kg) par la PE 5% et de 10.02 par la PE 10%.

En fin le dernier métal Cr enregistrée au niveau des trois concentration est de : (33 mg/kg) par la GO 0.25% , (31 mg/kg) par la GO 0.5% et de (20 mg/kg) par la GO 1% , on outre les valeur d'huile brute est : (34.2 mg/kg) avec la HB 2.5%, (6.2 mg/kg) avec la HB 5%, (8.3 mg/kg) avec la HB 10%, (20.02 mg/kg) avec la PE 2.5%, (20.03 mg/kg) avec la PE 5% et de (20.09 mg/kg) avec la PE 10%.

On a conclut que les concentrations des métaux lourds sont très élevées dans la lentille par rapport le blé ce qui indique qu'i ya une tolérance en métaux dans la lentille seuil en blé .



**Figure 41** : Teneurs moyennes des métaux lourds totaux (mg/kg) Cr, Cu, Zn, Ni dans la partie aérienne de la plante *Triticum .durum*.



**Figure 42** : Teneurs moyennes des métaux lourds totaux (mg/kg) Cr, Cu, Zn, Ni dans la partie aérienne de la plante *lens culinaris*.

## *Conclusion générale*

---

Ce travail s'inscrit dans une perspective d'évaluation et d'élimination du risque environnemental inhérent au sol polluée par les hydrocarbures. L'objectif vise à élaborer une méthodologie simple et réalisable permettant la réhabilitation des sites contaminés par les hydrocarbures tels que (gazole, pétrole brute, huile de moteur brûlé).

Cette pollution anthropique est révélée dans le sol pollué par les hydrocarbures à cause des teneurs élevées en métaux lourds notamment le Cr, Zn, Cu, Ni, Ces métaux non Biodégradables peuvent s'accumuler dans le sol et la plante et selon les conditions biogéochimiques passer dans la solution du sol. Cette dernière riche en éléments nutritifs est absorbée par la plante. Le sol est considéré comme fertile vu le dosage de l'ensemble des éléments chimique, le pH est basique. Un sol pauvre en ions  $H^+$  est dit alcalin ce pH est un facteur très important pour le développement des végétaux, lorsqu'il est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. La matière organique est quantitativement faible (1,78%) cela est en relation avec la dégradation lente de la matière source. Selon (*Mc Bride, 2000*) un sol très riche en matière organique tend à immobiliser les polluants.

Pendant la période de croissance, les plantules de blé et de lentille ont montré des symptômes de toxicité qui se traduit par le changement de l'aspect morphologiques des plantes tel que : une diminution de la croissance, nous avons aussi remarqués des modifications de la physiologie des plantes (réduction de la surface foliaires... etc.).

Pour la biomasse aérienne nous avons enregistré des valeurs bien défini sur les deux plantes sauf quand il y a des concentrations assez importante de polluant comme le HB 5% , HB 10% et le PE 10% ou la germination a été totalement inhibée pour le blé.

Au regard ces résultats, nous apercevons donc que cette essai sur un sol contaminé par le gazole est très satisfaisant pour la lentille et le blé. Ces derniers peuvent être utilisés comme moyenne biologique de la réhabilitation des sites et des sols pollués par le gazole.

L'implantation d'une couverture végétale pour une phytoremediation nécessite, une sélection des espèces végétale qui doit se faire en tenant compte de certain paramètre, dont notamment la tolérance aux conditions particulière du milieu, la facilité d'implantation, de croissance et de dissémination, la productivité....

En effet, certaines caractéristiques de substrat sont très dominantes pour le végétal (condition extrême du Ph, absence de nutriment, taux de matière organique, structure de sol,.....).

## Références bibliographiques

---

- Alcen ,(2011) :** environmental factors that influence the toxicity of heavy metals and gaseous pollutants to microorganisms, *Crit. Rev. Microbiol* ;8, 99-145.
- Arienzo, M., Adamo, P, et Cozzolino, V,( 2004).** « The potential of *Lolium perenne* for revegetation of contaminated soil from a metallurgical site”. *Total Environ.* 319:13-25.
- Atlas R. M,Bartha .R., (1992) :** « hydrocarbon biodegradation and oil spill bioremediation - ,In advances in microbial ecology ,vol 12(Marshall,k.c.,ed) ,plenum ,New york:287-338.
- AbdellyC,( 2006) :** « la bioremediation et la phytoremediation of toxics métal».thèse de doctorat. département des sciences naturelle .Tunis : Lewis Pub 240 :32 - 232.
- Alloway A, ( 1995):** Soil processes and the behavior of heavy metals”. In: Alloway,. B.J. (Ed.). *Heavy metals in soils. Chapman., Hall, London.*11-35.
- Bourque, P.A, (2004):**«*Planète Terre* ». *Les combustibles fossiles.* Département de Géologie et de Génie géologique. Université Laval, *Québec, Université, édition, 2004.*
- Blaylock, M J, Et Huang, J W,( 2000) :**« Phytoextraction of metals».In: I. Raskin and B.D.Ensley eds, *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment, John Wiley, Sons Inc, New York,47: 53-70.*
- Blaylock, M.J, Sait, D.E, Dushenkov, S., Zakharova, O., Gussman, C, Kapulnik, Y.,Ensley, B.D. Et Raskin, I.,( 1997):**«Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents». *Environ. Sci. Technol.*Indian, 31: 860-865.
- Baker,A.J.M.,Mcgrath,S.P.,Reeves,R.D., Smith, J.A.C. (1999):**« Metal hyper accumulator plants»: a review of ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal polluted soils. Ed. Terry N and Banuelos G. Lewis Publishers Boca Raton, London, New York, Washington,55: 85-107.
- Briat J.F, Lebrun M,(1999):** «Plant responses to metal toxicity ,Plant Biology and Pathology»:Ed. Terry N and Banuelos G. Lewis Publishers Boca Raton, London, New York, Washington, 322 :43- 54.
- Brooks, R .R, J, Reeves, R.D Et Jaffre, T,( 1977):**«Detection of botany». *University of California, 95616-8537 Davis, CA, USA*

## Références bibliographiques

---

**-Bousseboua H, 2005.**« Le sol et les éléments de microbiologie ». Campus-Club, Algérie, (2ème Edition), 179-199.

**-Bert, V., Macnair, M.R., De Laguerie, P., Saumitou-Laprade, P., Petit D,( 2000):** «Zinc tolerance and accumulation in metallicolous and non metallicolous populations of *Arabidopsis halleri* (Brassicaceae) ». *New phytologist. Vol 10:*146, 225-233.

**-Bertrand JC .et mille G(1989) :**'devenir de la matière organique exogène'un modèle :les hydrocarbures .In:Bianchi M, Marty D ,Bertrand J C CAUMETTE p et Gauthier MJ.(EDS) .microorganismes dans les écosystème océaniques .Masson (paris),chapitre 13,pp.343-385.

**Ballerin .P,(1999) :**'traitement biologique des sols' ,technique de l'ingénieur vol G2

**-Cunningham S.D, Dauguet. W, (1996):** « Promises and prospect of phytoremediation. Plant Physiol ». Effect of time, cadmium load, pH and calcium. *Water, Air, Soil, Pollut.Trends in Plant Science.*21: 715-719.

**-Calvet ,R.(2000) :** « Le sol propriétés et fonctions, constitution et structure, phénomènes aux interfaces ». *Tome 1. Edition France Agricole.* Paris (France), 83-90.

**-Calvet,( 2003 ):** « Le Sol Propriétés et fonctions.,Constitution et structure, phénomènes aux interfaces ». *Tome 1, Ed France Agricole – Dunod.*99 :58-60.

**-Camuzard, Jean-Pierre,(2001) :** « la différenciation des sols et leur facteurs de la pédogenèse ».Thèse : Ecole doctorale, Sciences de l'Environnement : Système Terre. Université d'Aix-Marseille.

**-Chaussod.,(2001):** « la qualité des sols est-elle menacée? Assise régionale de l'environnement ». *Dijon. 20 novembre 2001;* 13-14.

**-Colin . F .,(2000) :** « pollution localisé des sols et sous sols par les hydrocarbures et par les solvants colorés ».Académie des sciences ,rapport n°44 .Éditions Tec and Doc ,p.417.

**-DemolonA,( 1949) , Boulaine.,( 1984 ), LEGROS .,(2007),:** « la génétique des sols ». *lesparamètres du sol physique et chimique. vol.*133p.memoire

**-Eriksson T, Hibbs, M. S , Yoder, A. D. Delwiche, C. F, Donoghue, M. J, (2003) :** «the physiology of the plants and soil ». *these de magester .vol 23.paris. :126-222.*

**-Ernst, W.H.O.,( 1996):**'' Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by Plants''decontamination du metallourds.*paris.Appl. Geochem.* 11: 163-167.

## *Références bibliographiques*

---

**-El Houssine Zaid ,Mars( 2006) :** « complément de cours de physiologie végétale ».13. « Nutrition végétale et la croissance des plantes ».thèse de magister.Marroc.DDS.541788.memoire.

Frennenec J.P, le prince P,Trembouze P and Favennec J.P,(1998) : « le raffinage de pétrole :pétrole brut .produits pétroliers ,schéma de fabrication » ,tome 1.Technip.

**-FOY, CHANEY R.L., WHITE M.C.,( 1978):** “The Physiology of metal toxicity in plants”. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology* 29, 511-566.

**-GrosA ,( 1967) :** « The Physiology of metal toxicity in plants”. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology.vol-29*, 511-566.

**-Gabet S,(2004) :** « Remobilisation d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique ». *Thèse de doctorat de l'université de Limoges, spécialité Chimie et Microbiologie del'Eau*, p. 177.

**-Gagnard J,( 1984) :** « simplification des prélèvements foliaires sur vigne ». *Tome 2. Edition France*. Paris (France), 143 :15-30.

**-Gautier P,( 1984) :** « diagnostic foliaire de la vigne, Etude par analyse factorielles en composantes principale sur plusieurs années ». *Tome 1. Edition France Agricole*. Paris (France), 40-45.

**-Gupta J.M, Aragno M, Matthey W, (1998) :** « Les types de sol et la capacité d'échange»— Base de pédologie – Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes. Collection gérer l'environnement, *Environ St.paris* :260.14-20.

**-Gustave A,(1946) :**« propriétés générales des sols en agriculture », thèse de doctorat. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*,édition Armand Colin.paris.

29, 511-566.

**-Glorennec P. 2005 :** Explication et réduction de l'incertitude liée à l'ingestion de sol en évaluation des expositions environnementales. *Environnement, risques & santé*. P 258-62.

**- Goss ,M.J .(1991) :**'conséquence of the activity of roots on soil .In plant root growth :an ecological perspective' Ed.D.A Tkinson ,171 -186. Blackwell scientific publications lond.

**6Herve, M.,(2006) :** «short historical description and critical analysis of the more important soil classifications. Trav. Soc. Nat. Saint Petersburg en Russe. »histoire des pédologues et la science du sol. 5<sup>ème</sup> Edition .Masson, paris ,France .242

-Heller ,Esnault. R et Lance. C ,(1993) : « physiologie végétale 1 ». nutrition 5<sup>ème</sup> Edition ,Masson,Paris ,France .242p.

-**INSID** : institue nationale des sols irrigués et de drainage (laboratoire régional de l'ouest) matmar wilaya de relizane.

-**Juhasz et Naidu.,( 2000),Juhasz, A.L., Naidu, R.**” Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: A review of the microbial degradation of benzopyrene. *International Biodeterioration and Biodegradation*,Paris. vol:45:57-88.

-**Kumar P, Dushenkob V, Motto H, Raskin I, (1995): Phytoextraction:**” The use of plant to remove heavy metals from soils. *Environmental Science and Technology Plant and Soil* .vol:29, 1232.

-**Khalil, A.M., Abdel-Lateif, M.H., Bayoumi, M., Straalen, M.V.N., (1996):**” Analysis of separate and combined effects of heavy metals on the growth of *Aporrectodeacaliginosa*(Oligochaeta; Annelida), using the toxic unit approach”. *Applied Soil Ecology*.USA. 4, 213-219.

-**Kong I.C., Bitton G., Koopman B. et Jung K.H.J. (1995):** Heavy metal toxicity testing in environment samples. *Revue of Environment Contamination and Toxicology*. 142: 119-147.

-**LemeeG,(1978) :** « Précis d'écologie végétale », édition : *Masson, paris*.

-**Lecompte, R.,(1998) :** « les sites polluées ,traitements des sols et des eaux souterraines?. 48- .Lavoisier tec et doc ,Ed ,Dunod .Paris :204.15-19.

-**Lecompte. P., (1995) :** « les sites polluées », traitement des sols et des eaux souterraines .Edition technique et documentation. Lavoisier tec et doc ,Ed ,Dunod .Paris .204p.

-**Miller, W.P, Martens, D.C., Zelazny, L.W. Et Kornegay,( 1986) :** « Forms of solid-phase copper in copper-enriched swine manure». *J. Environ. Paris.Quai*. 15: 69-72.

-**Mc Grath, S.P, Et Zhao, F.J,( 2003):**”Phytoextraction of metals and metalloids from Contaminated soils”. *Curr. Opin. Biotechnology*.USA. vol: 277-282.

- Mengel et Kirkeb,(1978),Mengel.K, Kirkby.E.A , (1978) :** « Les principes de la nutrition des plantes végétales ». ».paris *Ecology*.Vol.55, 1163-1165.
- Stockwell. C,(1974):**« Heavy metal tolerance in Typhalatifolia without the evolution of tolerant races». *Ecology*. P 55, 1163-1165.
- Mbonigaba J.J.M,nzeyimana I.bucagu c.and culot ,(2009) :** « caractérisation physique ,chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda ,sous jachères naturelles,et traitées à leur productivité ». *Biotechnologie ,Agronomie ,société et environnement* ,13(4) :545-558.
- Morgan, J.E. and Morgan, A.J. (1994) :** « The accumulation of metals (Cd, Cu, Pb, Zn and Ca) by two ecologically contrasting earthworm species (*Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa*): implications for ecotoxicological testing ». *Applied Soil Ecology* 13, 9-20.
- Neef J M. (1979) :** « polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment » :source ,fat and biological effect .*applied science ,essex ,england* ,pp.262.
- OzendaPaul,(1982) :** « Les végétaux dans la biosphère ».écologie végétale(plants).2<sup>e</sup> édition, de rigol, (2007).vol 50 ;15-19 Paris.
- Peter Et Al., (2007),Peter H.Raven, Ray F.Evert, Susan E.Eichhorn ,(2007):**”Source Peter H.Raven, Ray F.evert, Susan E.Eichhorn:De la 7<sup>e</sup> édition américaine Jules Bouharmont et révision scientifique Charles-Marie Evrard) », *biologie végétale*, 2<sup>e</sup> édition, de Boeck, (2007).vol 50 ;15-19
- Pivetz, B.E,( 2001):**”Phytoremediation of Contaminated Soil and groundwater at hazardous waste sites”. Ground Water Issue, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development and Office of Soil Waste and Emergency.*Environ:15-18*.
- Paul E.A, Clark F.E,(1996):**«soil microbiology and biochemistry San Diego ».élément microbiologique du sol ,thèse de doctorat.université de CA,USA.*Environ. Quai*. 15: 69-78. Payne .J.français,c.m.and philipps,k .(1985) .a field guide to the mammals of borneo .kuala lumpur .the sabah society.
- QueneaK,( 2004) :** « Étude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d’une chronoséquence forêt/maïs (CESTAS, Sud ouest de la France) ». Thèse de Doctorat. Université de Paris 6 (France).volume 59 :15-20.

- Romic M. et Romic, D. (2003):** Heavy metals distribution in agricultural top soils in urban area. *Environmental Geology*, 43: 795–805.
- Rontani J. F. & Giusti G., (1987) : « Photosensitized oxidation of pristine in sea water: effect of photochemical reactions on tertiary carbons ». *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 40(A): 107-120. Rossjohn J., Polekhina G., Feil S. C., Allocati N., Masulli M., De Illio C., Parker M. W., 1998. A mixed disulfide bond in bes in mussel biometry
- RamadeF, ( 2005) :** Eléments d'écologie : « écologie appliquée aux élément écologique ». Thèse de Doctorat. Université de (paris). Édition Dunod, 6ème dds.5418
- Rufus, L.C, Minnie, M, Yin, M.L, Sally, L.B., Eric P.B., Scott-Angle J., and Alan, J.M.B. (1997).** «Phytoremediation of soil metals». *Current Opinion in Biotechnology Paris*, Dunod, 6ème édition. 8,p: 279-284.
- RobinsonB, GreenS, MillsT, Clothier, B, van der VeldeM, LaplaneR, Fung, L., DeurerM, Hurst S, Thayalakumaran, T. et van den Dijssel, C,( 2003) :** « Phytoremédiation: using plant as biopumps to improve degraded environments», *Aust. J. Soil Research* volume89.USA41: 599-611.
- Reeves,( 2006):**«hyper accumulation of trace elements by plants in: morel, Chavarria g. and goncharovan (EDS) phytoremediation of metal-contaminated soils». *NATO science series: IV: earth and environmental sciences* volume 68.Springer, New York 45:590-600.
- Stephanie A. E, John A. B, Thomas M. S.( 2007):**”Isolation and characterization of soil bacteria that define Terri Globus gen”. *Nov; in the phylum Acidobactria. Applied and environmental microbiology 2007.microbiologie* 20:125-140.
- Sait, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I. et Raskin, I,(1995):**” Phytoremédiation: a novel strategy for the removal of toxic metalsfrom the environment using plants”. *Biotechnology* 16: 468-473.
- Smith, R.A.H. et Bradshaw, A.D.,( 1972):**”Stabilisation of toxic mine waste by the use oftolérant plant populations ». *Trans. Inst. Min. Metall.* 81 A: 230-237.
- Smith G.G., Mccracken, A.D., Macey, E., Monro Gray, J.M. et Nowlan, G.S., (2007) :** « les sciences chimiques de la terre ». *Association Géologique du Canada*. Gouvernement du Canada : Ressources naturelles Canada.*Trans. Inst. Min. Metall.* 81 A: 230-237
- Soltani M, (2004) :** « Distribution lipidique et voies métaboliques chez quatre bactéries Gram négatives hydrocarbonoclastes. Variation en fonction de la source de carbone ». *Thèsle de doctorat de l'université Paris 6, spécialité chimie analytique*, p. 284.

## *Références bibliographiques*

---

- Salah Eddine, (2002)** : « Etude le contrôle alimentaire (nutrition minérale) par le diagnostic foliaire d'un Vignole dans la zone de Mactaa « Mostaganem ». *Plant and Soil, Environ Sci and Pollut*470:38-49.
  
- Scheu, S., Schlitt, N., Tiunov, A.V., Newington J.E., Jones, T.H. (2002) : « Effects of the presence and community composition of earthworms on microbial community functioning. *Oecologia* » 133, 254–260
  
- Shah ,k.and nongkynrih ,j.m (2007) : « metal hyperaccumulation and bioremediation .*biologia plantarum* « »51,618-634.
  
  
- Union Pétrolière., (2005) : « *Pétrole* »: *matière première et produits*.
  
  
- Vogel .t and Ballerina P., (2001) :”biorestauration des sols et des aquifers contaminé par des hydrocarbures et des composes halogens” .*Bull .soc.fr .microbial* ,16(3) :204-209.
  
- Vandecastee J.P .,(2005);” microbiologie pitroliér:concepts,implications envirenmentale ,applications industrielle” .IFP publications ,paris,france.
  
  
- Zaid E.H, 2006** : *Physiologie végétale*.
  
  
- Ye Z.H., Baker A.J.M, Wong M.H., Willis A.J ,(1997)**: Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by the common reed,«*Phragmitesaustralis* (Cav.) Trin. *Ex Steudel. Annals of Botany*» :80, 363-370.

# Annexes I

## -Analyse granulométrique

### -Matériels

- ✓ Pipette de robinson
- ✓ Plaque chauffante
- ✓ Etuve
- ✓ Becher de 300ml
- ✓ Verre e montre pour mettre sur les béchers
- ✓ Eprouvette de 1000ml
- ✓ Pipete de 1à 5ml
- ✓ Capsules en pyrex de 30ml
- ✓ Agitateur en verre
- ✓ Balance de précision
- ✓ Bain de sable

### Réactifs

- ✓ Eau oxygénée à 110 volumes
- ✓ Hexamétaphosphate de sodium
- ✓ Ammoniaque pure

## Mesure de conductivité électrique (Ce)

### Matériels

- ✓ spatule
- ✓ Becher de 100ml.
- ✓ agitateur en verre.
- ✓ éprouvette de 50m
- ✓ Balance.
- ✓ Conductivimètre
- ✓ centrifugeuse et l'accessoire des boites métalliques.
- ✓ papier joseph pour essuyer les électrodes.

Pissette d'eau distillée pour rinçage des électrodes

## **La conductivité de l'extrait aqueux 1/5**

### **Mesure de la (CE)**

- ✓ Allumer de l'appareil
- ✓ Tremper la cellule de mesure dans l'extrait de la pate saturée
- ✓ Mesurer la température de la solution
- ✓ Mettre le bouton de la constante de cellule

Faire la culture

### **Détermination de pH**

- ✓ Ph mètre.

### **Dosage de calcaire total (CaCO<sub>3</sub>)**

#### **Matériels**

- ✓ Calcimètre de Bernard, Becher

#### **Réactifs**

- ✓ Acide chlorhydrique HCL
- ✓ Carbonate de calcium
- ✓ Solution saturée de NaCl

### **Dosage de calcaire actif CaCO<sub>3</sub>**

#### **Réactifs**

- ✓ Oxalate d'ammonium: solution 0.2N (14.2g /l)
- ✓ Permanganate de potassium (KMNO<sub>4</sub>) : solution 0.2N
- ✓ Acide sulfurique concentré : 10ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> +100ML L'eau distille

### **Dosage de carbonates CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> et bicarbonate HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>**

#### **Matériels:**

- ✓ Capsule de porcelain.
- ✓ Burette de precision.
- ✓ Barreaux magnétiques avec agitateur.

#### **Réactifs:**

- ✓ Acide sulfurique 0.01N
- ✓ de méthyle à 0.01%
- ✓ Phénophtaléine à 1%

### **Dosage de chlore**

## Matériels

- ✓ Burette de précision
- ✓ Capsules en porcelaine
- ✓ Baguette d'agitation

## Réactifs

- ✓ Nitrate d'argent 0.1N:  $\text{AgNO}_3$
- ✓ Chromate de potassium: 05% :  $\text{K}_2\text{CrO}_4$

## Dosage des sulfates

### Matériels

- ✓ Filtres sans cendres
- ✓ Entonnoirs
- ✓ Etuve de séchage
- ✓ Four à moufle
- ✓ Béchers de 250 ml
- ✓ Capsules en porcelaine résistante à la calcination à 500° C

### Réactifs

- ✓ Solution de chlorure de baryum à 10 % :
- ✓ Dissoudre 25g de ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dans 200 ml d'eau distillée, ajouter 12.5 ml de l' HCL concentré, compléter le volume à 250 ml de l'eau distillée

## Préparation de la solution composée de tween 80 et les HC

### 1-pour le gazole

**GO 0.25 % :** 2.5 ml de gazole + 247.5 gouttes de tween + eau distillée

**GO 0.5% :** 5 ml de gazole + 245 gouttes de tween + eau distillée

**GO 1 % :** 10 ml de gazole + 240 gouttes de tween + eau distillée

### 2-pour l'huile brute et le pétrole

HB et Pé 2.5% : 25 ml + 225 gouttes de tween + eau distillée.

HB et Pé 5% : 50 ml + 200 gouttes tween + eau distillée.

HB et Pé 10 % : 100 ml + 150 gtt tween + eau distillée.

## 1-Les tableaux

**Tableau1** : la germination des graines du blé

jrs %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Go 0.25%	0	0	0	0	5	8	10	25	25	26	27	32	34	40	42
Go 0.5%	0	0	0	0	4	10	20	23	24	25	26	27	28	29	34
Go 1%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	10	14	21
HB 2.5%	0	0	0	0	1	4	12	16	20	27	30	36	38	40	46
HB 5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HB 10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pé 2.5%	0	0	0	0	4	10	14	20	36	38	40	42	42	44	46
Pé 5%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	6	8	10
Pé 10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Témoin blé	0	0	0	1	10	20	22	26	30	38	40	42	44	44	46

**Tableau 2 :**La germination des graines de la lentille

jrs %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Go 0.25%	0	0	0	2	5	10	13	20	26	30	32	32	40	44	46
Go 0.5%	0	0	0	0	4	12	18	30	36	36	36	38	40	44	48
Go 1%	0	0	0	1	0	0	0	8	12	20	28	30	36	38	40
HB 2.5%	0	0	0	0	1	11	12	18	20	21	22	26	38	40	48
HB 5%	0	0	0	0	2	6	8	10	11	12	14	16	18	18	20
HB 10%	0	0	0	0	0	0		0	0	1	2	3	3	3	4
Pé 2.5%	0	0	0	0	1	6	12	20	28	30	36	38	40	44	48
Pé 5%	0	0	0	0	0	1	2	4	6	8	10	11	11	12	14
Pé 10%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	7	8	9	10
Témoin lentille	0	0	0	6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tableau 3 :** les valeurs de poids du sol de Mostaganem

Les concentrations	Poids sec	Poids humide
<b>GO 0.25%</b>	398.2 g	462.6 g
<b>GO 0.5%</b>	411.8 g	452.8 g
<b>GO 1%</b>	404.3 g	446.8 g
<b>HB 2.5%</b>	300.8 g	338.90 g
<b>HB 5%</b>	404.1 g	449.6 g
<b>HB 10%</b>	446.1 g	552.6 g
<b>Pé 2.5%</b>	405.8 g	433.4 g
<b>Pé 5%</b>	386.5 g	406.6 g
<b>Pé 10%</b>	410.7 g	403.0 g

**Tableau 4** : les normes d'appréciations du calcaire totale du sol

	<5	Assez faiblement calcaire
Ca Co <sub>3</sub>	5 à 12.5	Faiblement calcaire
	12.5 à 25	Modérément calcaire
	25 à 37.5	Assez fortement calcaire
	37.5 à 50	Fortement calcaire
	Plus de 50	Très fortement calcaire

**Tableau 5** : les normes d'appréciations de la matière organique du sol

	0-1%	Extrêmement faible
MO %	1 – 1.5%	Très faible
	1.5-2.5%	Faible
	2.5-3.5%	moyenne
	3.5-4.5%	Moyenne élevé
	4.5-5%	Elevée
	>5	Très élevée

**Tableau 6** : normes d'interprétations pour l'azote (%) (Gros ,1979).

	Très pauvre	pauvre	moyen	moyen	très riche
Azote(%) KJEDHAL	<0.05	0.05 à 0.1	0.1 à 0.15	0.15 à 0.25	>0.25

**Tableau 7** : classe d'appréciation pour le phosphore assimilable (ppm).

Source : ministère de la coopération de la république française (1974).

Niveau de fertilité	Terres pauvres	Terres moyennes	Terres riches
Phosphore assimilable(ppm)	<11.45	Entre 11.45 à 22.9	>22.9

**Tableau 8** : proposition de seuils d'investigation (*Baize ,2000*).

Eléments	Valeur seuil de l'arrêté du 8 janvier 1998
Cd	2.0
Co	(30) (Godin ,1983)
Cr	150
Cu	100
Pb	100
Zn	300

**Tableau 9** : les normes d'appréciations de la réaction du sol (pH)

PH	< 4.5	Extrêmement acide
	4.6 à 5	Très fortement acide
	5.1 à 5.5	Fortement acide
	5.6 à 6	Moyennement acide
	6.1 à 6.5	Faiblement acide
	6.6 à 7.3	Neutre
	7.4 à 7.8	Légèrement basique
	7.9 à 8.4	Moyennement basique
	8.5 à 9	Fortement basique
	>9.1	Très fortement basique

**Tableau 10** : les normes d'appréciations de la matière organique dans le sol (%)

MO (%)	0- 1 %	Extrêmement faible
	1-1.5 %	Très faible
	1.5-2.5 %	Faible
	2.5-3.5 %	Moyen
	3.5-4.5 %	Moyen élevé
	4.5-5 %	Elevé
	>5%	Très élevé

**Tableau 11** : répartition des différents types de texture en fonction des classes de textures (*Henin, 1969*).

	Texture fine	Texture moyenne	Texture grossières
Types des textures	Argilo- sableuse, argileuse	Limoneuses fine, limoneuse	Limono- sableuse, sablo- limoneuse, sableuse