

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**UNIVERSITE MOULOUDMAMMARI DE TIZI-OUZOU**  
**Faculté des Sciences Biologiques et sciences Agronomiques**  
**Département de Biologie**

# Mémoire



**En vue de l'obtention du diplôme de MASTER**

Filière : Ecologie et environnement  
Spécialité : Biodiversité et environnement

Thème

**Effet de la pollution par les carburants sur  
les paramètres phénoliques et biométriques  
de *Pisum sativum* et *Vicia faba*  
et évaluation de leurs efficacité dans la  
dépollution du sol**

Réalisé par :

KARA ouiza

OULDBENALI Soraya

Devant le jury :

Présidente : M <sup>me</sup> ALI AHMED SADOUDI D.	Professeur	U.M.M.T.O
Promotrice: M <sup>me</sup> CHEHRIT-HACID F.	MCB	U.M.M.T.O
Co-promotrice: M <sup>me</sup> ALI AHMED S.	MAA	U.M.M.T.O
Examineur : M <sup>me</sup> MANSOUR-BENAMAR M.	MCB	U.M.M.T.O

Promotion : 20-10-2018

# Remerciement

Nous remercier tout d'abord, le bon Dieu qui m'a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.

Nous tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude à ma promotrice Mme HACID F. née CHEHRIT. Qui a accepté de nous encadrer, de diriger ce travail, et pour son aide très précieuse et sa patience. Nous tiens à exprimer mes remerciements à nos Copromotrice : M<sup>elle</sup> Ali Ahmed pour sa contribution concrète, son aide et ses conseils afin de terminer ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail ; Mme ALI AHMED SADOUDI D. Mme MANSOUR BENAMAR M .

Mes sincères remerciements vont également à toutes les équipes des laboratoires de pédologie et laboratoires physiologique du département des sciences de la Nature et de la Vie pour leurs précieuses aides et collaborations.

Nous remercier tous les enseignants qui ont contribué à ma formation universitaire. Mes remerciements s'adressent aussi à tous mes amis.

Enfin, un grand merci à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

## *Dédicaces*

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents sources de tendresse et de force

Je vous remercie d'être toujours à mes côtés, de me soutenir, aimer et protéger.

A mes grands-parents, mes chères frères, à toute ma famille qui ont été d'un soutien moral

A mes amis (es)

A toute la promotion de Biodiversité et Environnement 2017/2018.

**SORAYA**

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail :*

- ☞ A ma très chère maman qui a consacré tout son temps pour notre bien.*
- ☞ A mon très cher papa à qui je dois tous et je ne rendrais assez jamais. et leur soutien tout au long de mes études, et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui et j'espère qu'un jour je serai capable de leur donner au moins le minimum car quoiqu'on face on arrivera jamais à leurs rendre tout.*
- ☞ A mes très chers frères et chères sœurs qui m'ont aidé énormément, je souhaite le succès dans leur vie.*
- ☞ A mes chers amis (es).*
- ☞ A toute la section Biodiversité et environnement (2018)*
- ☞ En fin à tous (e) qui me connaisse de près et de loin et à tout (e) qui sont chers a moi.*

**Ouiza**

## Liste des abréviations

Abs : Absorbance.

ACP : Analyse en composante principale.

BTEX : Benzène, Toluène, Etylbénzène et Xylène.

C : Carbone.

Ca : Calcium.

CE : Conductivité électrique.

Cont : Contaminé.

ETM : Elément trace métallique.

F : Fève

Fe : fer.

FT : Flavonoïde totaux.

FTaer : Flavonoïde totaux aériennes.

FTrac : Flavonoïde totaux racinaires.

H : Hydrogène.

HAP : Hydrocarbure aliphatique polycyclique.

HC : Hydrocarbure.

Mn : Manganèse.

MS : Matière sèche.

NC : Non cultivé

Non cont : Non contaminé.

P : Phosphore.

PPT : Polyphénol totaux.

PPTaer : Polyphénol totaux aériennes

PPTrac : Polyphénol totaux racinaires

K : Potassium.

SCNC : Sol contaminé non cultivé.

SNCNC : Sol non contaminé non cultivé.

TH : Tanins hydrolysable.

THaer : Tanins hydrolysable aériennes.

THrac : Tanins hydrolysable racinaires.

TC : Tanins condensés.

Zn : Zinc.

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Les structures chimiques des différents acides phénoliques (Tsao, 2010) .....	11
<b>Figure 2:</b> Structure de base des flavonoïdes (Tsao, 2010) .....	12
<b>Figure 3:</b> Structure chimiques des tannins condensés (a) et des tannins hydrolysables (b) d'après Delimont et al(2017).....	12
<b>Figure 4 :</b> Les voies de synthèse des polyphenols.....	14
<b>Figure N°05 :</b> pH du sol rhizosphérique après cultures de <i>V.faba</i> et <i>P.sativum</i> cultivée sur sol non contaminé et sol contaminée par les hydrocarbures.....	19
<b>Figure N°06:</b> Conductivité électrique (milli-Siemens/cm) des sols non cultivés et des sols après culture de <i>V.faba</i> et <i>P. sativum</i> sur le sol contaminé et sur le non contaminé.....	20
<b>Figure N°07 :</b> Teneurs moyennes en PPT (mg/g sol) dans la rhizosphère des deux espèces <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> en utilisant deux solvants différent acide et non acide.....	22
<b>Figure N°08 :</b> Teneur moyenne en FT (mg/s de sol) dans la rhizosphère de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> en utilisant deux solvants acides et non acides.....	23
<b>Figure N°9:</b> Teneur moyenne en PPT (mg/g MS) dans les parties aériennes de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> sur un sol non contaminé et un sol contaminé par les hydrocarbures.....	25
<b>Figure N°10 :</b> Teneurs moyennes en PPT (mg/g MS) des parties racinaires de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> sur un sol non contaminé et sol contaminé par les hydrocarbures.....	26
<b>Figure N°11 :</b> Teneurs moyennes en FT (mg/g MS) dans les extrais des parties aériennes de <i>V. faba</i> et <i>P.sativum</i> sur un sol non contaminé et un sol contaminé par les hydrocarbures.....	27
<b>Figure N°12 :</b> Teneurs moyennes en FT (mg/g MS) dans les extrais des parties racinaires <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> sur un sol témoin et un sol contaminée aux carburants.....	28
<b>Figure N°13 :</b> Teneurs moyennes en TH (mg/g MS) dans les extrais des parties aériennes <i>V. faba</i> et <i>P.sativum</i> cultivé sur un sol témoin et le sol contaminé par les hydrocarbures.....	29
<b>Figure N°14:</b> Teneurs moyennes en TH (mg/g MS) dans les extrais des parties racinaire de <i>V. faba</i> et <i>P.sativum</i> cultivé sur un sol non contaminé et le sol contaminé.....	30
<b>N°16 :</b> ACP des composés phénoliques des plantes (projection des variables).....	31
<b>Figure N° 15:</b> ACP des composés phénoliques (projection des individus).....	31
<b>Figure N°16 :</b> Taux de germination (%) de <i>V. faba</i> et de <i>P. sativum</i> sur un sol non contaminé et un sol contaminé par les hydrocarbures.....	34

<b>Figure N°17:</b> Croissance des tiges (cm) de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> sur un sol non contaminé et sol contaminé par les hydrocarbures.....	35
<b>Figure N°18:</b> Longueur racinaire de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> sur un sol témoin le sol contaminé par les hydrocarbures.....	36
<b>Figure N°19:</b> Nombre moyenne des feuilles de <i>V.faba</i> et <i>P. sativum</i> dans le sol témoin et le sol contaminé par les hydrocarbures.....	37
<b>Figure N°20:</b> Biomasse aérienne moyenne (g) <i>V.faba</i> et <i>P.sativum</i> dans le sol non contaminé et le sol contaminé par les hydrocarbures.....	38
<b>Figure N°22 :</b> Biomasse racinaire moyenne (g) de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> dans sol non contaminé et sol contaminé par les hydrocarbures .....	39
<b>Figure N° 23:</b> ACP des paramètres biométrique, projection des variables.....	40
<b>Figure N° 24:</b> ACP des paramètres biométrique, projection des variables.....	41
<b>Figure N° 25:</b> Taux de germination du maïs (%) dans les trois types de sols.....	43

## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> les sources de pollution par les hydrocarbures.....	4
<b>Tableau II :</b> les différentes techniques de bioremédiation.....	7
<b>Tableau III :</b> Avantages et limites de la Phytoremédiation.....	9
<b>Tableau V:</b> Table de corrélation des variables des paramètres biométriques.....	41
<b>Tableau IV:</b> Table de corrélation des paramétrés phénoliques.....	32

# Sommaire

Introduction général.....	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	
I. Généralités sur le sol.....	3
I.1.Définition .....	3
I.2. Propriétés chimiques .....	3
I.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH) .....	3
I.2.2. Conductivité électrique .....	3
II. Pollution du sol .....	3
II.1. Définition .....	3
II.2. Pollution du sol par les hydrocarbures .....	3
II.2.1. les sources de pollution .....	3
II.3. Les hydrocarbures .....	4
II.3.1. Définition .....	4
II.3.2. Types d'hydrocarbures .....	4
II.3.2.1. Les hydrocarbures aliphatiques .....	4
II.3.2.2. Les hydrocarbures aromatiques .....	4
II.3.2.3. Le mélange d'HC .....	4
II.4. Le devenir des hydrocarbures dans le sol .....	5
II.4.1. Volatilisation .....	5
II.4.2. Sorption .....	5
II.4.3. Solubilisation .....	5
II.4.4. La dégradation .....	5
II.4.4.1.Dégradation biotique (biodégradation) .....	5
II.4.4.2.Dégradation abiotique .....	5
II.5. Impacte des hydrocarbures .....	5

II.5.1. Impacte sur les caractéristiques du sol .....	5
II.5.2. Effet sur la flore .....	6
II.5.3. Effet sur la santé humaine .....	6
II.6. Procédés de dépollution .....	6
II.6.1 Définition .....	6
II.6.2 Procédés physiques et chimiques .....	6
II.6.3 Procédés thermiques .....	7
II.6.4 Procédés biologiques.....	7
III. La phytoremédation .....	8
III.1. Définition .....	8
III.2. Les différentes techniques .....	8
III.2.1. La phytostabilisation .....	8
III.2.2.La phytoextraction .....	8
III.2.3.Rhizofiltration .....	8
III.3. Avantages et limites de la Phytoremédiation .....	8
III.4. Caractéristiques des espèces végétales choisies en Phytoremédiation .....	9
II.4.1. Les pois .....	9
III.4.1.1 Classification .....	9
III.4.1.2 Caractéristique des pois .....	10
III.4.2. La fève .....	10
III.4.2.1 classification .....	10
III.4.2.2. caractéristiques de la fève .....	10
IV. Généralités sur les polyphenols .....	11
IV.1.Définition .....	11
IV.2. Classification des polyphenols .....	11
IV.2.1. Les acides phénoliques .....	11
IV.2.2. Les flavonoïdes .....	11

IV.2.3. Les polyphenols sous forme de polymère .....	12
IV.2.3. Tanins .....	12
IV.2.3.1. Les tanins hydrolysables .....	12
IV.2.3.2. Tannins condensés (TC) .....	13
IV.2.3.4. Les lignines .....	13
IV.3. Rôle de polyphénol .....	13
IV.4. Biosynthèse de polyphénol .....	14

## Chapitre II : Méthode et matérielle

I. Matérielle et méthode .....	15
I.1. Le sol .....	15
I.2. Suivre des cultures .....	15
I.3. Effets des hydrocarbures sur la rhizosphère de <i>V. faba</i> et de <i>P. sativum</i> .....	16
I.3.1. Le pH du sol rhizosphérique .....	16
I.3.2. La conductivité électrique .....	16
I.3.3. Les teneurs en polyphénols dans le sol rhizosphérique .....	16
I.4. Effet des hydrocarbures sur les paramètres biochimique de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> .....	17
I.4.1. Extraction des polyphénols des végétaux .....	17
I.4.2. Dosage des polyphénols totaux des plantes et rhizosphérique .....	17
I.4.3. Dosage des flavonoïdes totaux des extraits des végétaux et la rhizosphère .....	17
I.4.4. Dosage des tanins hydrolysables .....	17
I.5. Effets des hydrocarbures sur le taux de germination des plantes .....	18
I.7. Evaluation de l'efficacité du <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> dans la décontamination du sol .....	18
II-Analyse statistique .....	18

## Chapitre III : Résultats et discussion

I. Effets des hydrocarbures sur le sol rhizosphérique de <i>V. faba</i> et <i>P. sativum</i> .....	19
I.1. Effet sur le pH rhizosphérique .....	19
I.2. Effet sur la conductivité électrique du sol rhizosphérique .....	20

I.3. Effet des hydrocarbures sur les teneurs moyenne des composés phénoliques dans la rhizosphere .....	21
I.3.1. Teneur en polyphénols totaux .....	21
I.3.2. Teneur en flavonoïdes totaux .....	23
II. Effets des hydrocarbures sur les paramètres biochimiques des plantes .....	24
II.1. Teneur des polyphénols totaux .....	24
II.1.1. Dans les parties aériennes .....	24
II.1.2. Dans les parties racinaires .....	25
II.2. Teneurs moyennes en flavonoïdes totaux .....	26
II.2.1. Dans les parties aériennes .....	26
II.2.2. Dans les parties racinaires .....	27
II.3. Teneur en tannins hydrolysables .....	28
II.3.1. Dans les parties aériennes .....	28
II.3.2. Dans les parties racinaires .....	29
III. Effets des hydrocarbures sur le taux de germination .....	34
IV. Effets des hydrocarbures sur les paramètres biométriques des plantes .....	35
IV.1. Cinétique de croissance de la tige .....	35
IV.2. Longueur racinaire .....	36
IV.3. Nombre de feuilles .....	37
IV.4. biomasse aérienne .....	38
IV.5. Biomasse racinaire .....	39
V. Evaluation de l'efficacité de la phytoremédiation .....	42
Conclusion général .....	44

Annexes

Résumé



L'exploitation humaine de gisements de pétrole n'a cessé d'augmenter depuis le 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 (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 sante humaine, liée notamment à la propagation des molécules dangereuses et dans la chaîne alimentaire d'autre part, par des coûts exorbitants engendrés par les projets de réhabilitation qui exigent souvent l'excavation des sols et les transports onéreux vers les installations de dépollution (Gabet, 2004).

La dépollution des sols contaminés se fait par de nombreuses méthodes en fonction de la toxicité du polluant et du risque qu'il représente. De nouvelles technologies sont en développement. Les techniques de traitement thermiques et physico-chimiques sont les plus répandues mais elles ont leurs limites du fait de leurs coûts ou de leurs impacts secondaires sur l'environnement, La voie biologique (bioremédiation) est en plein essor et suscite de très nombreux travaux par le monde. Elle fait appel, entre autres, aux micro-organismes pour réduire la toxicité des matières organiques à risques ou pour les transformer en matières non toxiques (Guitoun, 2013).

La phytoremédiation compte parmi les méthodes innovantes de dépollution des sols. cette technique cherche à éliminer la pollution à l'aide des espèces végétales tolérantes aux milieu pollué (Salt et *al.*, 1998).

C'est une technologie en voie de développement, elle suscite l'intérêt de nombreux laboratoires de recherche à travers le monde. Dans ce contexte, nous avons choisi des espèces de légumineuses, pour mener un traitement de sols pollués avec les hydrocarbures au laboratoire, ce choix est fait en se référant aux travaux déjà entrepris dans le cas de sols contaminés par les essences et le pétrole (Henner, 2000).

Plusieurs travaux de phytoremédiation ont été réalisés à l'U.M.M.T.O sur différentes espèces (Ali Ahmed et Belkaid, 2006 ; Belkacem et Rouas, 2012 ; Alilouche et Toudouft 2014 ; Salmi et Salmi, 2017 ; Saib et Tadjer, 2017) ont montré que la fève est l'espèce la plus tolérante vis-à-vis des hydrocarbures.

L'objectif de la présente étude consistent, d'une part, à déterminer l'éventuelle tolérance de fève (*V. faba*) et de pois (*P. sativum*) à la phytotoxicité des carburants (essence super et gasoil) et d'évaluer leurs capacités à décontaminer le sol dans un essai de Phytoremédiation.

D'autre part, d'étudier l'effet de la pollution par les carburants sur quelque paramètres, biométrique et polyphénoliques de *V. faba* et *P. sativum* sur leurs polyphénols du sol rhizosphérique.

Le présent travail est subdivisé en trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en un rappel bibliographique sur la pollution du sol par les hydrocarbures, la description de certaines techniques de phytoremédiation et des généralités sur les polyphénols.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons le matériel et les méthodes utilisés au cours de ce travail
- Dans le troisième chapitre seront présentés les résultats obtenus ainsi que leur discussion.
- Enfin, nous clôturons ce mémoire par une conclusion générale et quelques perspectives.

# Synthèse bibliographique

---

## I. Généralités sur le sol

### I.1. Définition

Koller (2004) définit le sol comme étant une couche de quelques centimètres à plusieurs mètres, constituée d'un mélange de matières organique et minérale qui s'accumulent au-dessus de la roche mère, susceptible de porter la végétation et de nombreux organismes vivants.

Le sol est un milieu triphasique avec une phase solide (les particules du sol), liquide (l'eau du sol) et gazeux (l'air emprisonné dans le sol) (Gabet, 2004).

Le sol constitue un environnement physique, chimique et biologique pour les organismes vivants, ces derniers sont sensibles à toutes modifications des caractéristiques de cet environnement (Calvet, 2003).

### I.2. Propriétés chimiques

#### I.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

L'acidité du sol est définie par la concentration des ions  $H^+$ . Le pH exprime l'acidité actuelle qui est le logarithme de la concentration en ions  $H^+$  de la solution du sol et permet de définir l'état du complexe absorbant et le taux de saturation (Dauchfour, 2001).

#### I.2.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. Elle exprime la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon qui signifie le degré de salinité (Clement, 2009).

## I. Pollution du sol

### II.1. Définition

La pollution est toute modification défavorable des milieux naturels sous l'action humaine, elles sont considérées comme une accumulation de plusieurs polluants (Koller, 2004). Cela engendre des altérations des critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation de la constitution physico-chimique et de l'abondance des êtres vivants (Ramade, 1992).

### II.2. Pollution du sol par les hydrocarbures

#### II.2.1. les sources de pollution

Colin (2000) précise que les activités humaines sont l'origine de nombreuses contaminations localisées ou diffusées au niveau des sols et sous-sols, le tableau N°I explique les différentes sources de pollution par les hydrocarbures :

# Synthèse bibliographique

**Tableau I** : les sources de pollution par les hydrocarbures (Colin, 2000).

Les sources naturelles	Les sources anthropiques
-Les éruptions volcaniques -Les incendies de forêts -Les végétaux supérieures et algues	-Les activités industrielles : des accidents, lors de l'extraction du stockage, de la transformation et du transport de matières première. - Les Activités urbaines : Les déchets issus des activités artisanales et industrielles -Les activités agricoles : Utilisation intensives des produits fertilisants ou phytosanitaire, l'élevage.

## II.3. Les hydrocarbures

### II.3.1. Définition

Les hydrocarbures (HC) sont des composés organiques contenant exclusivement du carbone (C) et d'hydrogène (H) de formule générale  $C_nH_m$  (Frenne et *al.*, 1998 ., Koller, 2004). Ce sont les substances les plus répandues et les plus dangereuses pour l'environnement notamment pour les eaux de surface (Marchalava et *al.*, 2011).

Ils peuvent être d'origines naturelles telles que les incendies de forêts et les éruptions volcaniques (Barriuso et *al.*, 1996 ; Lemiére et *al.*, 2001) comme ils peuvent être d'origine anthropique (Koller, 2004 ; Pimese, 2014) qui se résume : activités des secteurs énergétiques et industrielles, transport de la matière première, combustion des combustibles fossiles, activités agricoles.

### II.3.2. Types d'hydrocarbures

#### II.3.2.1. Les hydrocarbures aliphatiques

Ce sont des composés à chaîne ouverte (linière ou ramifiée), leur nom vient du grec "aliphar" qui signifie l'huile ou graisse, ils peuvent être saturées ou insaturées (Lefebvre, 1978).

#### II.3.2.2. Les hydrocarbures aromatiques

Les HC aromatiques sont des composés contenant au moins un noyau benzénique dans leurs molécules. Ce sont des HC persistant dans l'écosystème à cause de leur faible solubilité dans l'eau (Ceringilia, 1992 in Ali Ahmed 2010). Ils peuvent être monocycliques Benzène Toluène Ethylène Xylène (BTEX) ou hydrocarbure aromatique polycycliques (HAP).

#### II.3.2.3. Le mélange d'HC

Les carburants tels que l'essence et le gazole sont des mélanges complexes d'HC pétroliers. Ils sont stockés et vendus dans les stations-services. Leurs compositions dépendent

# Synthèse bibliographique

---

de plusieurs facteurs comme l'origine du pétrole brute et les conditions du raffinage (Salmi et Salmi, 2017).

## II.4. Le devenir des hydrocarbures dans le sol

Le comportement et le devenir des HC dans l'environnement dépendent de leurs propriétés chimiques et la nature du sol. Les HC peuvent subir des dégradations abiotiques et des transferts biotiques liés aux micro-organismes du sol (Barriuso, 1996 ; Gabet, 2004).

**II.4.1. Volatilisation :** ce phénomène concerne les HC légères et certains HAP (la volatilisation diminue avec l'augmentation du nombre de cycles benzénique), entrainer par l'air. Ce phénomène dépend des conditions atmosphériques (vent, humidité, température). (Wilson et Jones, 1993)

**II.4.2. Sorption :** c'est un processus au cours duquel les solutés (HAP) s'accumulent sur les surfaces ou aux interfaces (cas de l'adsorption) du sol ou se partagent entre les interfaces (cas de la dissolution) par conséquence, le devenir des HAP dans l'environnement dépend fortement de sa capacité à se sorber et à se désorber. (Huang et al, 2003)

**II.4.3. Solubilisation :** selon Soltani (2004), la grande majorité des HC est insoluble dans l'eau, bien que certains sont solubles, plus dangereux et difficiles à éliminer ; ces derniers présentent une molarité faible et une polarité élevé.

### II.4.4. La dégradation

**II.4.4.1. Dégradation biotique (biodégradation) :** c'est la décomposition totale des composés toxiques et non toxiques sous l'action des micro-organismes (Sikandar et al, 2013). Le processus de dégradation des HC est appelé hydrocarbonclaste (Soltani, 2004).

A la fin de la dégradation on obtient des sous-produits simples généralement le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et l'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Rivière, 1998).

**II.4.4.2. Dégradation abiotique :** la photolyse, les réactions d'oxydo-réduction et d'hydrolyse sont les principaux processus à l'origine de la dégradation abiotique des polluants.

## II.5. Impacte des hydrocarbures

La présence des HC dans le sol présente de nombreuse danger vis-à-vis la faune et la flore, la composition physique- chimique du sol ainsi sur l'environnement.

### II.5.1. Impacte sur les caractéristiques du sol :

HE et *al* (1995) cité par Diagne et Talhi (1999) Ont rapporté que la présence des HC dans le sol modifie légèrement sa structure, après une semaine de leur déversement le sol devient poudreux.

D'après Requero et *al* (1987), les HC enrobent les particules minérales du sol et assurent leurs dispersions. Comme ils augmentent la capacité de rétention d'eau.

# Synthèse bibliographique

---

Cependant Chaineau et *al* (1996) rapportent que la présence des HC provoque une diminution du pH du sol et de sa teneur en potassium (K), en calcium (Ca) et en phosphore (P), en revanche une augmentation du carbone organique totale ainsi une augmentation de la concentration des éléments traces dans le sol telle que le manganèse (Mn), le Zinc (Zn) et le fer (Fe).

## **II.5.2. Effet sur la flore**

La phytotoxicité par les HC se manifeste par une inhibition de la germination de la graines et /ou celle de la croissance végétative qui a un impact négatif sur la biomasse en matière sèche (Chaineau et *al*, 1997).

Selon Morris et *al* (2000), la présence d'agent toxique dans le milieu de croissance d'une plante mène à une diminution de la biomasse des racines, une diminution de la longueur, taille des racines, des tiges et des feuilles et une sénescence prématurée des feuilles.

## **II.5.3. Effet sur la santé humaine**

Les HC ont des effets nocifs sur la santé humaine en particuliers les HAP qui présentent un fort pouvoir cancérigène, mutagène. L'exposition humaine à ces derniers peut se faire via l'alimentation, par voie pulmonaire ou par voie cutanée. (Nilson et *al*, 1996 in Norini 2007).

## **II.6. Procédés de dépollution**

### **II.6.1 Définition**

La dépollution ou la décontamination est un ensemble de techniques consistant à épurer ou tout au moins à isoler un milieu ayant été exposé à une pollution chronique ou récurrente qui la rendu inutilisable pour les activités domestiques, agricoles ou industrielles. (Koller, 2004).

### **II.6.2 Procédés physiques et chimiques**

Ce sont des traitements qui peuvent être mis en œuvre sur site (in-situ) ou bien hors site (ex-situ), avec ou sans excavation du sol (Koller, 2004).

Le principe des méthodes physiques consistent à utiliser des fluides (eau ou gaz) comme vecteurs pour transporter les polluants vers des points d'extraction ou pour les immobiliser. la méthode la plus utilisée est le lavage des sols qui consiste à extraire les contaminants grâce à un solvant approprié avant de les mettre en suspension (Pavel et Galvriliscu, 2008 ; Colombano et *al.*, 2010).

Les procédés chimiques, quant à eux, consistent à utiliser des réactifs chimiques pour détruire les polluants ou les transformer en une forme moins nocifs pour l'environnement et /ou plus facilement biodégradable, en modifiant les caractères des HC (mobilité, toxicité, etc...).

# Synthèse bibliographique

Ces méthodes présentent un coût fait et un excellent rendement, tandis que les méthodes physique sont adapté au sols perméables, et les méthodes chimique s'applique a des tonnages élevé et les réactifs utiliser peuvent être une source de pollution (Ademe, 2010).

## II.6.3 Procédés thermiques

Cette méthode se base sur l'utilisation des T° élevées pour détruire les produits polluants ; méthode efficace pour une large gamme de produits et représente une option courante à ce jour dans les filières de décontamination. Elle comprend l'incinération, pyrolyse et la désorption thermique (Koller, 2004 ; Pavel et Galvriliscu 2008).

## II.6.4 Procédés biologiques

Ce sont des techniques qui se basent sur l'utilisation des organismes vivants (végétaux ou microorganisme) dans le but d'extraire ou de dégrader les polluants. Ces organismes utilisent une partie des polluants comme source de carbone et d'énergie (Sikandar et al. ,2013).

Ce sont les méthodes les plus efficaces pour éliminer une grande variété de polluants organiques et inorganiques. Elles regroupent plusieurs techniques de dépollution applicable sur site ou hors site, qui sont résume dans le tableau suivant (Sikandar et al. ,20013).

**Tableau II** : les différents techniques de bioremédiation (Colombano et al. ,2010).

<b>Traitement ex-situ</b>	<b>Bioréacteur :</b> -mélange des sols pollués avec l'eau et divers additifs, - formation des boues. -Traitement biologique. -Déshydratation.
	<b>Biopile :</b> -amendement des sols pollués dans des conditions contrôlé.
	<b>Landfarming :</b> - étaler le sol sur un support imperméable à une épaisseur faible Biodégradation des contaminants
<b>Traitement in-situ</b>	<b>Biostimulation :</b> c'est l'utilisation des microorganismes indigènes dans des conditions favorables.
	<b>Bioaugmentation :</b> -Introduction des microorganismes non indigène
	<b>Bioventing :</b> apport d'oxygène dans des zones non saturée Biodégrations des HC volatile ou semi volatile
	<b>biosparging :</b> apport d'oxygène dans des zones saturées et la zone capillaire.
	<b>Phytoremédiation :</b> utilisation des plantes.

## **III. La phytoremédiation**

### **III.1. Définition**

C'est une technique biologique qui se réalise sur site, elle consiste en l'utilisation de plantes pour transformer, réduire, dégrader ou immobiliser les composés organiques du sol, l'eau et de l'air. Elle traite également des polluants inorganiques tels que les Eléments Trace Métalliques(ETM) (Ramade, 2000 ; Schnoor et Mccutcheon, 2003 ; Koller, 2004)

### **III.2. Les différentes techniques**

Colin (2000) et Colombano et al(2010) ont classifié les différentes techniques de la Phytoremédiation selon le principe d'action :

#### **III.2.1. La phytostabilisation**

C'est l'utilisation des plantes pour réduire la mobilité et la biodisponibilité des contaminants dans le sol cette stabilisation à lieu essentiellement dans les racines et les zones périphériques.

#### **III.2.2.La phytoextraction**

Cette technique utilise des plantes ayant un caractère hyper accumulateur capable d'accumuler les polluants (souvent les ETM) dans leurs parties aériennes (tige et feuilles). Ces plantes sont récoltées et incinérées, les cendres sont stockées dans les centres d'enfouissement technique ou valorisées pour récupérer les métaux accumulés.

#### **III.2.3.Rhizofiltration**

Cette technique utilise les racines des végétaux pour décontaminer l'eau polluée par les métaux lourds. Ces racines sont récupérées après leur saturation en contaminants et seront mis en décharge puis remplacées par des plantes neuves

### **III.3. Avantages et limites de la Phytoremédiation**

D'après Weyens et al(2009) et Colombano et al (2010), la Phytoremédiation est une technique révolutionnaire pour décontaminer les sites pollués, elle présente de nombreux avantages d'ordre environnementaux et économiques, mais elle présente de nombreux inconvénients devant ces nombreux avantages qui limitent son utilisation, qui sont résumés dans le tableau III.

# Synthèse bibliographique

**Tableau III:** avantages et limites de la Phytoremédiation (Colombano et *al.*, 2010)

<b>Avantages</b>	<b>limites</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût modéré par rapport aux autres techniques de dépollution</li><li>- Traitement <i>in situ</i></li><li>- Technique adaptée à une pollution faible sur une grande surface</li><li>- Prévient l'érosion du sol pollué, n'affecte pas la fertilité du sol</li><li>- Permet de maintenir la pollution en attente d'un traitement définitif</li> <li>- Permet de récupérer une énergie à partir de la biomasse récoltée par leur combustion</li><li>- Permet de récupérer et réutiliser les métaux lourds accumulés dans les végétaux</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Longueur du traitement, mais le coût est étalé dans le temps</li><li>- Nécessite une étude au cas par cas : choix des espèces, traitement du sol,...</li><li>- Efficacité variable suivant les saisons</li><li>- Peu applicable en cas de pollution aiguë ou multiple</li><li>- Transfert possible du contaminant dans la chaîne trophique</li> <li>- La Phytoremédiation est limitée à la surface et à la profondeur occupée par les racines.</li><li>.</li></ul>

## III.4. Caractéristiques des espèces végétales (*V. faba* et *P. sativum*)

Les espèces végétales privilégiées en Phytoremédiation ont un système racinaire large et dense ; grande capacité d'absorption ; croissance rapide et forte production de biomasse ; grande de pompage de l'eau reliée à leur taux de transpiration ; un fort taux de photosynthèse ; tolérance à la sécheresse ; aux salinités élève et la chaleur (Pilon Smiths, 2005 ; Di Baccio et *al.*, 2011).

### II.4.1. Les pois

#### III.4.1.1 Classification : selon Crouquist, (1981)

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnolipopsida

Classe : Magnolipopsida

Sous-classe : Rosidae

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Sous-famille : Faboideae

Genre : *Pisum*

Espèce : *Sativum*

# Synthèse bibliographique

---

## III.4.1.2 Caractéristique des pois

C'est une plante annuelle de la famille des fabacées, ces besoin en eau augmente durant la période de fleurissement car durent cette période on estime un développement important, elle est connu pour son pouvoir accumulateur de polluants (Crouquist, 1981).

## III.4.2. La fève

### III.4.2.1 classification : selon Cronquist, (1981)

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnolipsida

Sous-classe : Rosidea

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Genre : *Vicia*

Espèce : *Faba*

### III.4.2.2. caractéristiques de la fève

La fève est une légumineuse de la famille des fabacées, elle révèle une tolérance particulière à la contamination du sol par les divers hydrocarbures (Diab, 2008 , 2012 ; Bourkache et *al.*, 2015).

La fève possède un système racinaire puissant et une caractéristique de symbiose : qui est l'association des bactéries fixatrice d'azote (*Rhizobium léguminosarum*) avec les racines des légumineuses, cela procure au sol une bonne aération au sol comme elle accélère la dégradation naturelle des hydrocarbures (Crouquist, 1981).

## IV. Généralités sur les polyphénols

### IV.1. Définition

Les polyphénols, également nommés composés phénoliques, sont des produits du métabolisme secondaire du règne végétal. C'est un très vaste groupe de substance dont l'élément structural commun est la présence d'au moins un noyau aromatique lié un groupement hydroxyle (Bzozwska et Hanower, 1976).

Ces composés sont impliqués dans les mécanismes biochimiques de défense et de lutte contre divers stress biotiques et abiotiques (Tsao, 2010 ; Lima et *al.*, 2014)

### IV.2. Classification des polyphénols

Selon Tsao (2010) et Lima et collaborateurs (2014), les composés phénoliques se subdivisent en trois familles différentes :

#### IV.2.1. Les acides phénoliques

Ce sont tous les composés organiques possèdent une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. Ils sont incolores et largement présent dans la nature, on trouve deux classes : les dérivés de l'acide benzoïque à sept atomes de carbone (C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub>) et les dérivés de l'acide cinnamique à neuf atomes de carbone (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>) (figure 1)

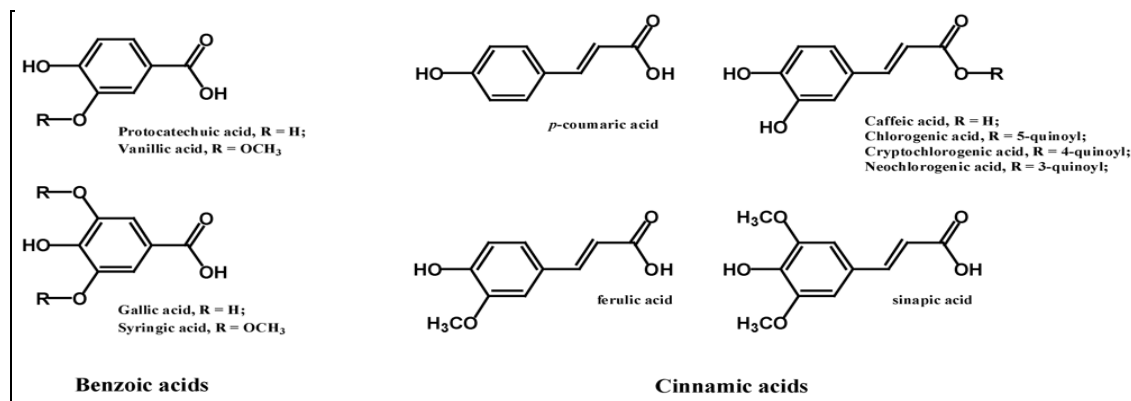
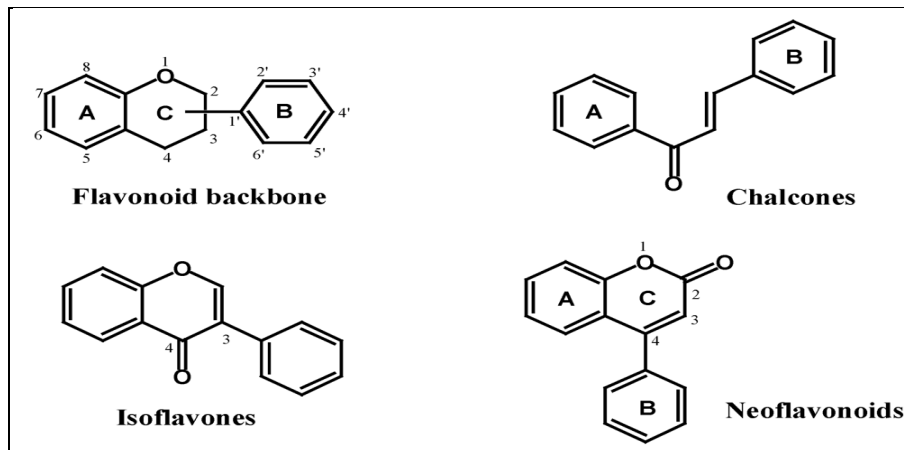


Figure N°01: Les structures chimiques des différents acides phénoliques (Tsao, 2010).

#### IV.2.2. Les flavonoïdes

C'est la plus vaste classe polyphénols. Ils sont caractérisés un squelette de base de 15 atomes de carbones, constitué de deux cycles en C<sub>6</sub> (A et B) relié par un hétérocycle à trois carbones. (figure 2).

Certains sont des pigments qui existent sous forme libre dite 'aglycone' ou sous forme d'hétéroside c'est-à-dire liée a des oses et autres substances (Heller et Forkmann, 1993)



**Figure 2 :** structure de base des flavonoïdes (Tsao, 2010).

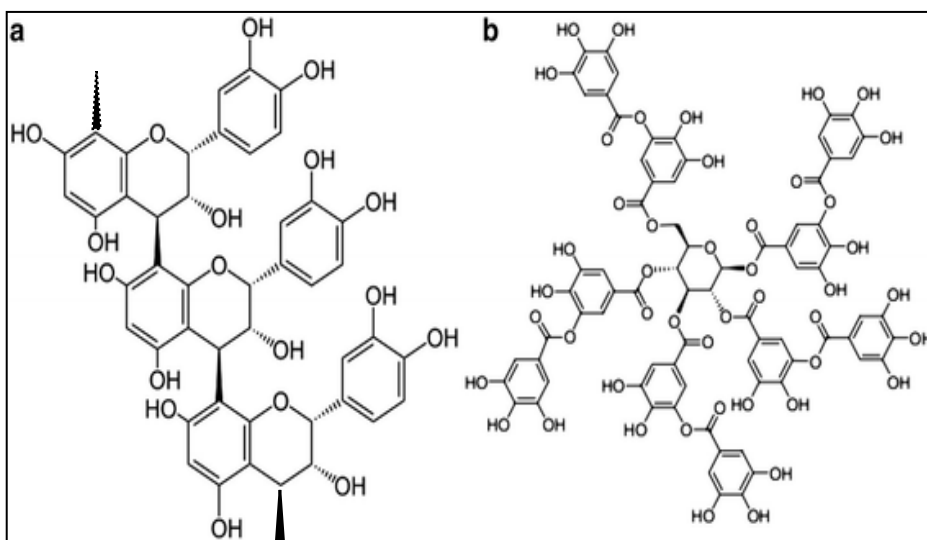
### IV.2.3. Les polyphénols sous forme de polymère

Les polyphénols se rencontrent aussi dans les tissus des plantes sous forme de polymères complexes avec un grand poids moléculaires, ce sont essentiellement les tanins et lignines (Dagila, 2012) :

#### IV.2.3.. Tanins

##### IV.2.3.1. Les tanins hydrolysables

Ce sont des esters de molécules d'acide gallique et de glucose ou autre polyol ; ces derniers occupant le noyau central (figure 3). (Mojzer *et al.*, 2016)



**Figure N°03 :** Structure chimiques des tanins condensés (a) et des tanins hydrolysables (b) d'après Delimont *et al.*(2017)

## IV.2.3.2 Tannins condensés (TC)

Nommés aussi tannins catéchiques ou proantocyaniques, ce sont des polymères flavonoïques constitués d'unités flavan-3-ol (catechines) ou flavan-3,4-diol (proanthocyanidol) (figure 3) (Mojzer et *al.*, 2016)

## IV.2.3.4. Les lignines

Ce sont des polymères très complexes qu'on trouve dans toutes les plantes vasculaires, ils sont issus de polymérisation de trois alcools appelés monolignols (p.coumarylique, coniferylique et sinaphylique). Ils se caractérisent par leur nature hydrophobe qui contribue à la rigidité et l'imperméabilité des membranes cellulaires des végétaux, ils forment une barrière mécanique de goût désagréable ce qui diminue la digestibilité des sucres de la paroi, elle contribue aussi à la résistance des plantes aux microorganismes et aux herbivores (Murry et *al.*, 1982).

## IV.3. Rôle de polyphénol

Les composés phénoliques jouent un rôle de défense contre les différents stress environnementaux, ils offrent une protection contre les Ultra-violet, les agents pathogènes, les parasites et les végétaux prédateurs (Mojzer et *al.*, 2016). Comme ils jouent un rôle dans la morphogénèse et la lignification (Brzozwska et Hanower, 1976).

Ils interviennent dans les processus de signalisation et dans la formation des nodules dans les racines des légumineuses (Musilova, 2016).

Les polyphénols ont également un rôle dans le contrôle de la croissance et le développement des plantes en interagissant avec les diverses hormones végétales de croissance. Ils permettent aux végétaux de se défendre contre les rayons ultraviolets. Certains d'entre eux comme les isoflavonols permettant de lutter contre les infections causées par les champignons, ou par les bactéries (Makoi et Ndakidemi, 2007).

# Synthèse bibliographique

## IV.4. Biosynthèse de polyphénol

Le métabolisme phénolique est un processus complexe résultant de l'interaction d'au moins cinq voies différentes reliant le métabolisme primaire au métabolisme secondaire (figure 5) (Macheix *et al.*, 2005). L'acide cinnamique, synthétisé à partir de la phénylalanine via la voie du shikimate.

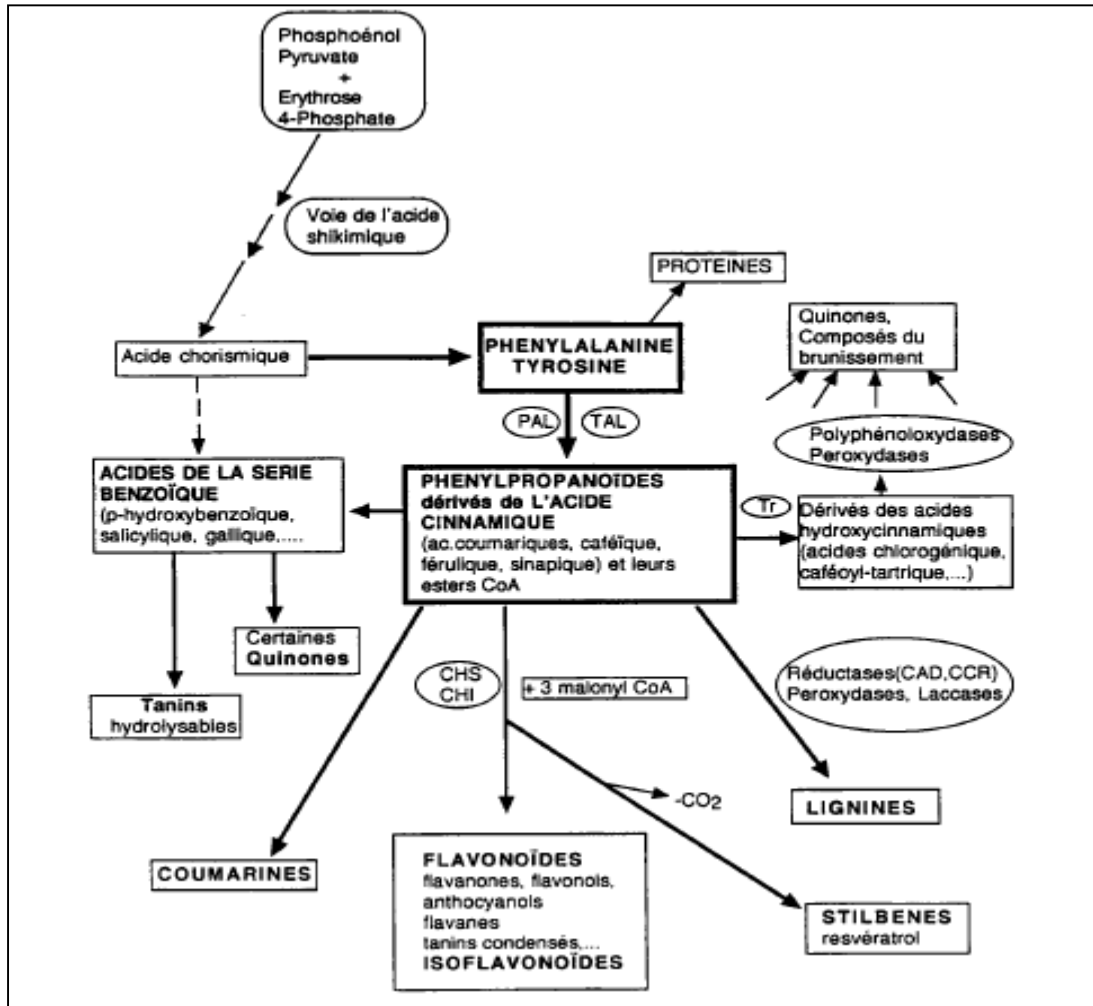


Figure 4 : Les voies de synthèse des polyphénols (Macheix, 1996).

Le travail a été réalisé dans le but d'évaluer l'effet des hydrocarbures sur les paramètres biométrique, phénoliques et sur les paramètres physico-chimiques du sol rhizosphérique ainsi que la réponse des plantes aux carburants, la mise en place de l'expérimentation est réalisée au niveau des laboratoires de la faculté des sciences biologique et agronomique (laboratoire commun I et II, laboratoire BA/BV, laboratoire biochimie I) de l'université de Mouloud Mammeri

### **I. Matérielle et méthodes**

#### **I.1. Le sol**

L'étude expérimentale a été réalisée sur des échantillons de sol qui proviennent d'une parcelle de la faculté de biologie de l'Université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. Le prélèvement correspond à la couche superficielle du sol (0 à 20 cm).

Le sol a été séché à l'aire libre, puis tamisé à l'aide d'un tamis de 5mm de diamètre (cela pour faciliter l'homogénéisation des HC dans le sol ainsi que pour préserver la structure du sol), puis divisée en 2 lots l'un a été contaminé par un mélange d'HC (l'essence super et gasoil à 5%, (V/P))et l'autre non contaminé servie de témoin.

La mise en place des cultures a été réalisé le 11/03/2018 pour les deux espèces (*Vicia faba* et *Pisum sativum*) dans des sachets contenant 1Kg de sol à raison de quatre graine par sachets pour les fèves et huit pour les pois. Ces sachets ont été répartis en quatre lots :

- Un lot contenant du sol non pollué servi à la culture des fèves.
- Un lot contenant du sol non pollué servi à la culture des pois.
- Un lot contenant du sol contaminé servi à la culture des fèves.
- Un lot contenant du sol contaminé servi à la culture des pois.
- Un sachet contient du sol non contaminé non cultivé qui sert d'un témoin.
- Un sachet contient du sol contaminé non cultivé qui sert d'un témoin.

#### **I.2. Suivre des cultures**

Cela consiste à des observations journalières de l'évolution de l'état des cultures avec un arrosage régulier, chaque jour jusqu'au jour de la récolte.

Un désherbage est fait dans les sachets et aussi prélèvement de Gastéropodes.

La récolte des plantes (les parties aériennes et racinaires) a eu lieu le 23/05/2018 après 11 semaines de culture, période correspondant au début de floraison des deux espèces. Le matériel végétal a été nettoyé et séché à l'étuve à 45°C jusqu'à stabilité de leurs poids secs (15 jours).

### **I.3. Effets des hydrocarbures sur la rhizosphère de *V. faba* et de *P. sativum* :**

#### **I.3.1. Le pH du sol rhizosphérique:**

Selon Dauchaufour (2001), consiste à prendre 10g de sol cultivé par *V. faba* et *P. sativum* tamiser à 2 mm, les mélanger avec 25 ml d'eau distillée puis les agiter pendant 10 mn.

La lecture a été réalisée après 2h de repos avec un pH mètre, en introduisant l'électrode de l'appareil dans la solution obtenue. La mesure du pH a été faite pour les 5 répétitions du sol des deux lots

#### **I.3.2. La conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une solution dépend de sa concentration en électrons. La mesure de la conductivité est réalisée selon la méthode décrite par Mathieu et Pielteau (2003), qui consiste à prendre 10g de sol traité par *V. faba* et *P. sativum* tamisé à 2 mm, les dissoudre dans 50 ml d'eau distillée et les agiter pendant 2 mn. Puis les laisser reposer pendant 30 mn. Ensuite filtrer les extraits jusqu'à obtention de filtrats claires à l'aide d'un papier filtre.

La lecture est réalisée en plongeant l'électrode du conductimètre dans la suspension obtenue.

#### **I.3.3. Les teneurs en polyphénols dans le sol rhizosphérique :**

Les plantes synthétisent d'énorme quantité de composés organiques, dont les composés organiques secondaires tels que les composés phénoliques, certains de ces derniers sont libérés dans la rhizosphère (Liu et al., 2017). Dans le but d'identifier les composés phénoliques dans le sol rhizosphérique et de tester l'efficacité de l'acidification du solvant sur l'extraction des polyphénols, on a procédé à l'extraction de ces derniers en utilisant deux solvants différents, acide et non acide. Car le milieu acide a tendance à préserver la nature des composés phénoliques et empêche leur dissolution (Ardestani et al., 2016 in Inhwon et Jihyun, 2017)

- **Echantillons acidifiés :** 1g de sol de chaque type de sol et le mélanger avec 50 ml d'éthanol à 70% et 5 ml d'acide chlorhydrique à 37%.
- **Echantillons non acidifiés :** on a pris 1g de sol de chaque type de sol mélangé avec 50 ml d'éthanol à 70%

Ces échantillons ont été mélangés au vortex pendant 2min et placés dans le bac à ultrasons pendant 30 min à température ambiante. Ensuite centrifuger à une vitesse de 500 tours/mn pendant 10min à une température ambiante. Le surnageant a été récupéré dans des tubes et stocker au frais à 3°C et à l'obscurité jusqu'à utilisation.

### **I.4. Effet des hydrocarbures sur les paramètres biochimique de *V. faba* et *P. sativum* :**

#### **I.4.1. Extraction des polyphénols des végétaux :**

L'extraction des polyphénols totaux dans les deux parties aérienne et racinaires de *V. faba* et *P. sativum* est réaliser de la même manière que pour le sol avec quelque modification. Ainsi 0.19 g de matière sèche est prise mais cette fois le solvant utilisé est l'éthanol non acide uniquement (Liu *et al.*, 2017).

#### **I.4.2. Dosage des polyphénols totaux des plantes et la rhizosphérique:**

Les teneurs en PPT des extraits des parties aérienne et racinaire de *V. faba* et *P. sativum* ainsi que les extraits de la rhizosphère sont déterminés à partir de la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu basé sur le principe d'oxyde/réducteur (Singleton et Rossi, 1965). Ainsi une aliquote de 500 µl des extrait du sol (20 µl des extraits des végétaux) ont été mélangé avec 2.5 ml de Folin-Ciocalteu (1/10), puis 7.5 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (7.5%) ont été ajouté après 5 min. Les mélanges ont été agités au vortex puis mis à incuber pendant 60 min à température ambiante et à l'obscurité puis les solutions des extraits de la rhizosphère sont mises à centrifuger pendant 10 min à une vitesse 500 tours/min. Les absorbances ont été lues à 740 nm. Les teneurs en PPT sont exprimer en mg équivalent acide gallique /g matières sèche(MS) (et/ou du sol) (Dallali *et al.*, 2017) (Annexe 1).

#### **I.4.3. Dosage des flavonoïdes totaux des extraits des végétaux et la rhizosphère :**

La teneures en FT des extraits végétaux et notamment ceux de la rhizosphère ont été déterminés selon la méthode décrite par Li *et al.*, (2010). Elle est basée sur la nitration du noyau aromatique portant un groupe catéchol. Brièvement 0.1 ml de chaque extrait des plantes a été introduit dans un tube à essai le volume a été complété jusqu'à 0.6 ml avec l'éthanol à 70% puis 0.06 ml de  $\text{NaNO}_2$  (1 :20) ont été ajouté. Après 6 min 0.06 ml d' $\text{AlCl}_3$ (1/10) ont été ajoutés, 6 min plus tard 0.8 ml de NaOH 1M ont été additionné, les mélanges ont été agités puis mis à incuber pendant 15 min à température ambiante et à l'obscurité.

Les absorbances ont été lues à 506 nm. Les teneurs en FT sont exprimer en mg équivalent de la rutine /g matières sèche (MS) (et/ou sol). (Annexe 3)

#### **I.4.4. Dosage des tanins hydrolysables :**

Les TH dans les extraits éthanoliques ont été déterminés par la méthode décrite par Willis et Allen (1998) in Cam et Hisil (2010). Ainsi 0.5 ml des extrait ont été mélangé avec 0.45 ml d'eau distillé et 0.25 ml de  $\text{KIO}_3$  à 2.5. Les mélanges obtenus ont été agités puis mis à incuber pendant 30 min à température ambiante et à l'obscurité.

Les absorbances ont été lues à 550 nm contre une gamme d'étalon d'acide tannique. Les teneurs de TH ont été exprimés en équivalent des acides tannique mg/g de MS (Annexe2).

### **I.5. Effets des hydrocarbures sur le taux de germination**

Consiste à établir un pourcentage de germination dans chaque lot en dénombrant les graines ayant germées, par la formule suivante :

$$\text{Taux de germination} = (\text{nombre de graines germée} / \text{nombre total de graines}) \times 100.$$

### **I.6. Effets des hydrocarbures sur les paramètres biométriques des plantes**

Afin d'évaluer les effets phytotoxique des hydrocarbures nous avons procédé à la mesure de quelque indicateurs de croissance telle que l'évolution de la tige, la longueur des racines, le nombre de feuilles ainsi la biomasse aérienne et racinaire de *V. faba* et *P. sativum*.

### **I.7. Evaluation de l'efficacité du *V.faba* et *P. sativum* dans la décontamination du sol**

Après la récolte des deux cultures, nous avons évalué l'efficacité de ces espèces à décontaminer le sol par un test de germination du maïs, qui consiste à mettre dans une boîte de Pétrie 100g de sol à raison de 20 graines de maïs pour chaque répétition de l'expérience, puis les laisser dans des conditions favorables pendant 10 jours.

Après germination le pourcentage de la germination a été établi dans chaque lot en dénombrant les graines germées par la formule suivante :

$$\text{Taux de germination} = (\text{nombre de graines germée} / \text{nombre total de graines}) \times 100.$$

## **II-Analyse statistique**

Les résultats des effets des hydrocarbures sur les espèces et sur le sol ont été soumis à une ANOVA à 2 facteurs ou à son équivalent non paramétrique; teste Kruskal-Wallis lorsque les données ne suivent pas une loi normale. La différence est considérée significative à  $p > 0.05$ . Un test post- hoc est réalisé pour établir les groupes homogènes dans le cas où les différences sont significatives et une ACP pour établir la relation entre les variables.

L'analyse statistique des résultats obtenus a été effectuée avec le logiciel R 3.5.1 et STATISTICA et une ACP pour établir la relation entre les variables.

Chapitre III : Résultats et discussion

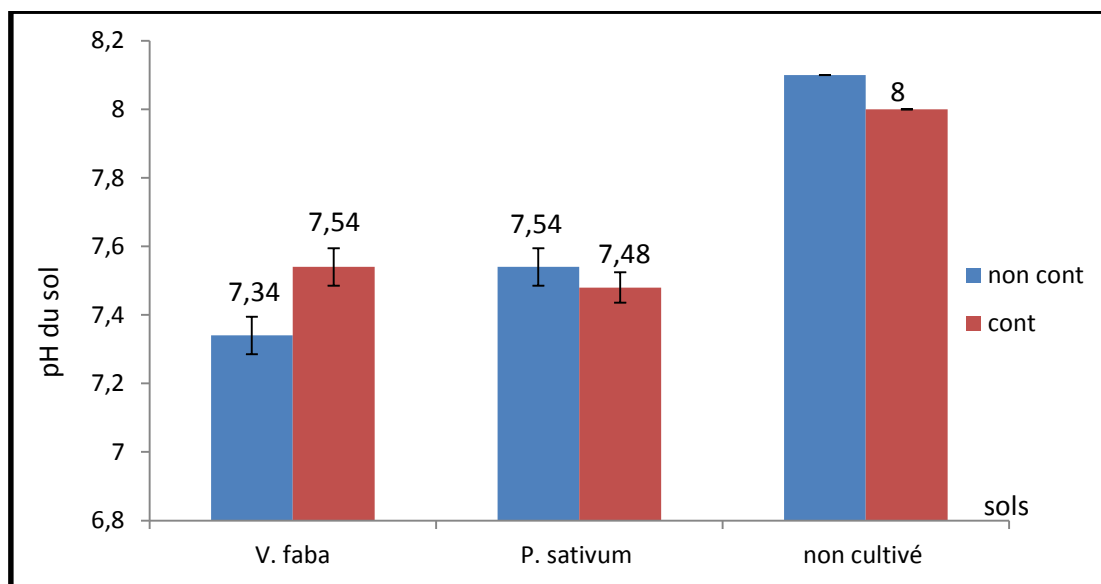
**I. Effets des hydrocarbures sur quelques caractéristiques du sol rhizosphérique de *V. faba* et *P. sativum* :**

**I.1. Effet sur le pH rhizosphérique :**

Les valeurs de pH du sol après culture de *V. faba* et de *P. sativum* sur sol témoin et sol contaminé sont présentées dans la figure N°06

Le pH des sols non contaminé non cultivé (SNCNC) et contaminé non cultivé (SCNC) se caractérisent par un pH basique (8,1 et 8 respectivement). Le pH du sol rhizosphérique non contaminé après culture des fèves est de 7,34, par contre le pH du sol rhizosphérique non contaminé cultivé par le pois est de 7,54. Le pH du sol rhizosphérique contaminé après culture des fèves est de 7,54 par contre celui du sol cultivé par les pois est de 7,48.

Nous observons une augmentation du pH rhizosphérique entre les sols contaminés et les sols non contaminés cultivé par les fèves de 7,34 à 7,54. Contrairement aux sols cultivés par les pois on constate une légère diminution du pH de 7,54 à 7,48. On observe une diminution du pH des sols rhizosphériques contaminés et non contaminés cultivés par les fèves et les pois par rapport aux sols non contaminés non cultivés et contaminés non cultivés.



**Figure N°06 :** pH du sol rhizosphérique après cultures de *V.faba* et *P.sativum* cultivée sur sol non contaminé et sol contaminée par les hydrocarbures.

Le test de Mann Whitney du pH du sol contaminé et non contaminé après culture de *V. faba* et *P. sativum* (annexe 4) a montré qu'il y a une différence non significative pour le facteur sol ( $p=0.252$ ). Cela signifie que la pollution du sol n'a pas d'effet sur l'augmentation ou la diminution du pH du sol.

Le test de Kruskal Wallis concernant le pH du sol contaminé et non contaminé après culture de *V. faba* et *P. sativum* (annexe 5) a montré qu'il y a une différence significative pour le facteur plantes ( $p=0.024$ ) et une différence hautement significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p=0.005$ ). Cela signifie que les plantes ainsi que son interaction avec le facteur sol ont un effet sur la régulation du pH rhizosphérique.

Le test de Newman Keuls concernant le pH du sol contaminé et non contaminé après culture de *V. faba* et *P. sativum* (annexe 6) pour le facteur plante a ressorti deux groupes homogènes. Legroupe A contient le sol non cultivé avec un pH basique de 8,05. Le groupe B contient les sols cultivés par les deux espèces pois et fèves avec un pH moins basique (7.51 et 7.44 respectivement).

Le test de Kruskal Wallis concernant le pH du sol contaminé et non contaminé après culture des deux plantes (annexe 7) pour l'interaction des facteurs a ressorti trois groupes homogènes dont le groupe A contient le sol non contaminé non cultivé et le sol contaminé non cultivé avec des moyennes : 8.10 et 8 respectivement, 1 groupe B regroupe les sols : contaminé cultivés par les fèves, le sol non contaminé cultivé par les pois et le sol contaminé cultivé par les pois avec des moyennes : 7.54, 7.54 et 7.48. Tandis que le groupe C regroupe le sol non contaminé cultivé avec les fèves avec une moyenne 7.34.

Nos résultats sont contradictoires avec ceux obtenus par Chibane (2013) qui a constaté qu'il y a une différence non significative pour les deux facteurs sol et plante ainsi l'interaction des deux, tandis que Dali et Idir (2018) pour *V. faba*, *Medicago sativa* et *Phaseolus vulgaris* ont constaté qu'il y a une différence très hautement significative pour le facteur sol. Cela pourrait s'expliquer par le pouvoir tampon élevé du sol.

Selon les travaux de Betencourt (2012), les légumineuses sont distinguées par leurs capacités d'acidifier leurs rhizosphères, du fait de leurs faible prélèvement d'anions lors de la fixation de N<sub>2</sub>, elles absorbent plus de cation que d'anion ce qui entraîne une libération de protons dans le milieu qui entraîne la diminution du pH des sols.

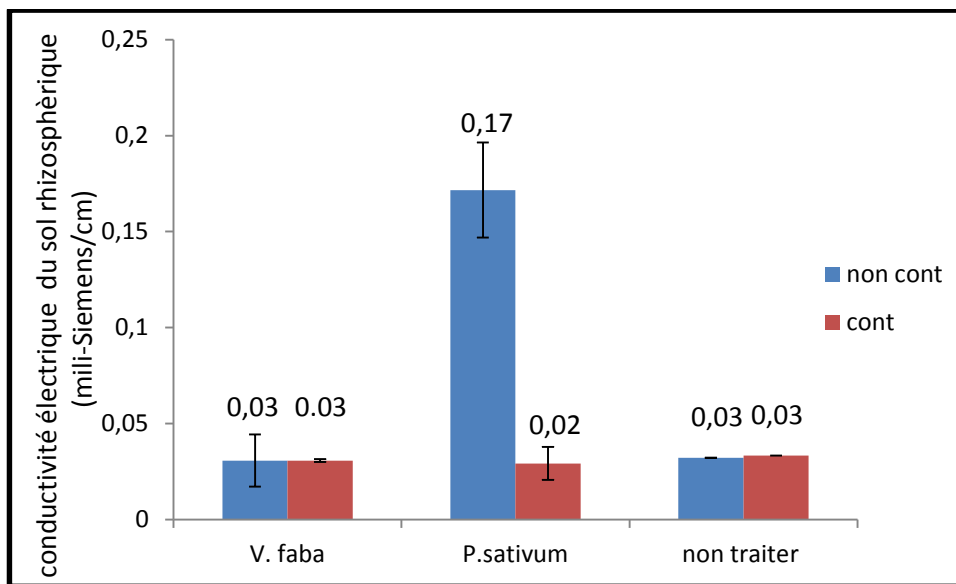
D'après Bargagli (1998) la plante modifie la composition physico-chimique et microbienne du sol proche de la racine, en absorbant des nutriments et en excrètent des produits. La racine peut ainsi libérer des sécrétions, des mucilages, des cellules mortes, de CO<sub>2</sub> dans leurs entourages, ce qui a pour effet de changer le potentiel redox et de faire baisser le pH.

### **I.2. Effet sur la conductivité électrique du sol rhizosphérique:**

Les mesures de la conductivité électrique des sols après culture de *V. faba* et *P. sativum* sur le sol témoin et sol contaminé sont présentées dans la figure N°07.

La conductivité électrique des sols non contaminé et contaminé non cultivé est de 0.03 mS/cm. Elle reste inchangée dans le sol non contaminé et contaminé cultivé par les fèves est de 0.03 mS/cm, elle augmente dans le sol cultivé par les pois et atteint de 0.17 mS/cm. Celle des sols cultivées par les pois est de 0.02 mS/cm.

La conductivité électrique de la rhizosphère des fèves ne change pas entre les sols contaminés et non contaminés, par contre on constate une forte diminution de la conductivité de la rhizosphère des pois non contaminé et contaminé de 0.17 à 0.02 ms/cm. Selon l'échelle de salinité des sols (USSS, 1981), les sols traités ne sont pas salins.



**Figure N°07:** Conductivité électrique (mili-Siemens/cm) des sols non cultivés et des sols après culture de *V.faba* et *P. sativum* sur le sol contaminé et sur lenon contaminé

L'analyse de la variance de la conductivité électrique du sol contaminé et non contaminé après culture de *V. faba* et *P. sativum* (annexe 8) a révélé une différence non significative pour les deux facteurs sol et plantes ainsi pour leur interaction ( $p= 0.94, 0.924$  et  $0.981$  respectivement).

Nos résultats sont similaires avec ceux obtenus par Dali et Idir (2018) qui ont constaté une différence non significative entre la conductivité du sol contaminé et le sol témoin.

Selon les travaux de Malouhi (1989), la présence de la végétation ainsi que les faibles températures jouent un rôle dans la diminution des quantités de sel soluble dans le sol. Soltani (2004) note que les fortes salinités constituent une barrière naturelle pour la biodégradation des HC.

### **I.3. Effet des hydrocarbures sur les teneurs moyennes en composés phénoliques dans la rhizosphère :**

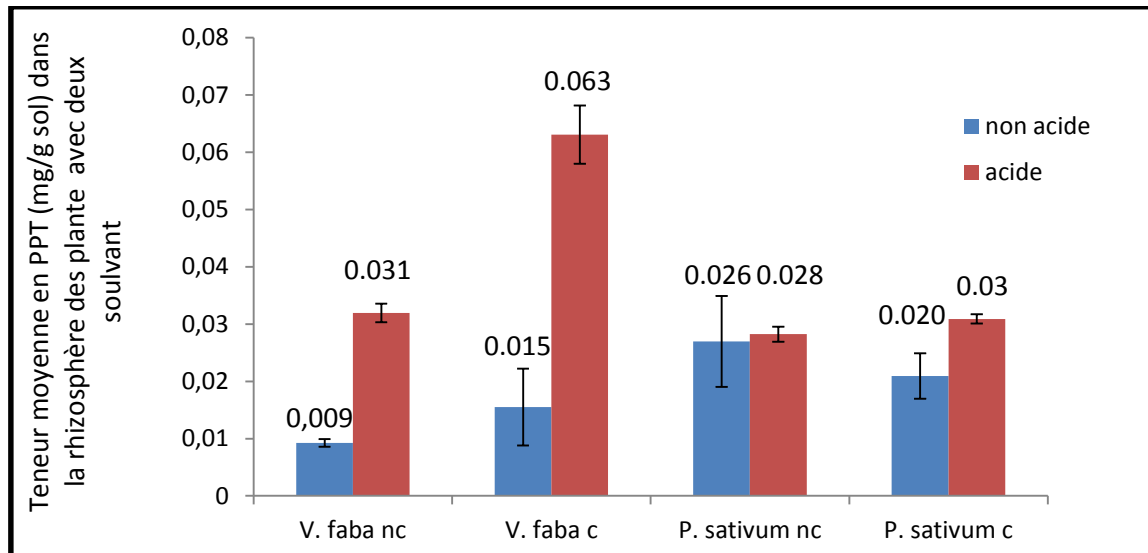
#### **I.3.1. Teneur en polyphénols totaux :**

L'analyse quantitatives des PPT est déterminer à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage d'acide gallique exprimer en mg équivalent de l'acide gallique/g du sol (Annexe 9)

Dans l'objectif de tester l'efficacité de l'acidification du solvant sur l'extraction des polyphénols, nous avons quantifié les PPT et les FT dans les extraits éthanoliques acidifiés des sols rhizosphérique.

D'après la figure N°8, on constate une différence entre les teneurs moyennes en PPT en fonction du solvant utilisé lors de l'extraction, les teneurs les plus élevées sont enregistrées lors de l'utilisation du solvant acidifié. Pour *V. faba* dans le sol non contaminé les teneurs moyennes en PPT extrait avec le solvant non acidifié est de  $0,009 \pm 0,0006$  mg/g de sol, cependant avec le solvant acide la concentration des PPT est de  $0,031 \pm 0,001$  mg/g de sol. Concernant les pois dans le sol non contaminé les teneurs en PPT avec le solvant non acide est de  $0,026 \pm 0,007$  mg/g de sol alors que avec le solvant acide les concentrations sont  $0,028 \pm 0,001$  mg/g de sol.

Pour les fèves, dans le sol contaminé les teneurs en PPT dans le solvant non acide est de  $0,015 \pm 0,006$  mg/g de sol, tandis que dans le solvant acide elles sont de  $0,063 \pm 0,005$  mg/g de sol. Concernant *P. sativum*, dans le sol contaminé les teneurs moyennes en PPT dans le solvant non acide  $0,020 \pm 0,003$  mg/g de sol, alors que avec le solvant acide les concentrations sont  $0,03 \pm 0,008$  mg/g de sol.



**Figure N°08 :** Teneurs moyennes en PPT (mg/g sol) dans la rhizosphère des deux espèces *V. faba* et *P. sativum* en utilisant deux solvants différents acide et non acide.

L'analyse de variance concernant la teneur moyenne en PPT dans les extraits non acides de la rhizosphère de *V. faba* et *P. sativum* cultivés dans le sol non contaminé et le contaminé avec le mélange d'HC (annexe 10) a révélé qu'il y a une différence non significative pour les deux facteurs sol et plantes et leurs interactions ( $p = 0,975, 0,216$  et  $0,461$  respectivement).

Le test de Mann-Whitney de la teneur moyenne en PPT dans la rhizosphère acide de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et le sol témoin (annexe 11) a montré qu'il y a une différence significative pour le facteur sol ( $p = 0,042$ ) et une différence non significative pour le facteur plante ( $p = 0,132$ ).

Le test de Kruskal-Wallis concernant la teneur moyenne en PPT dans la rhizosphère acide des plantes dans le sol témoin et le sol contaminé (annexe 12) a révélé qu'il y a une différence non significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p = 0,561$ ).

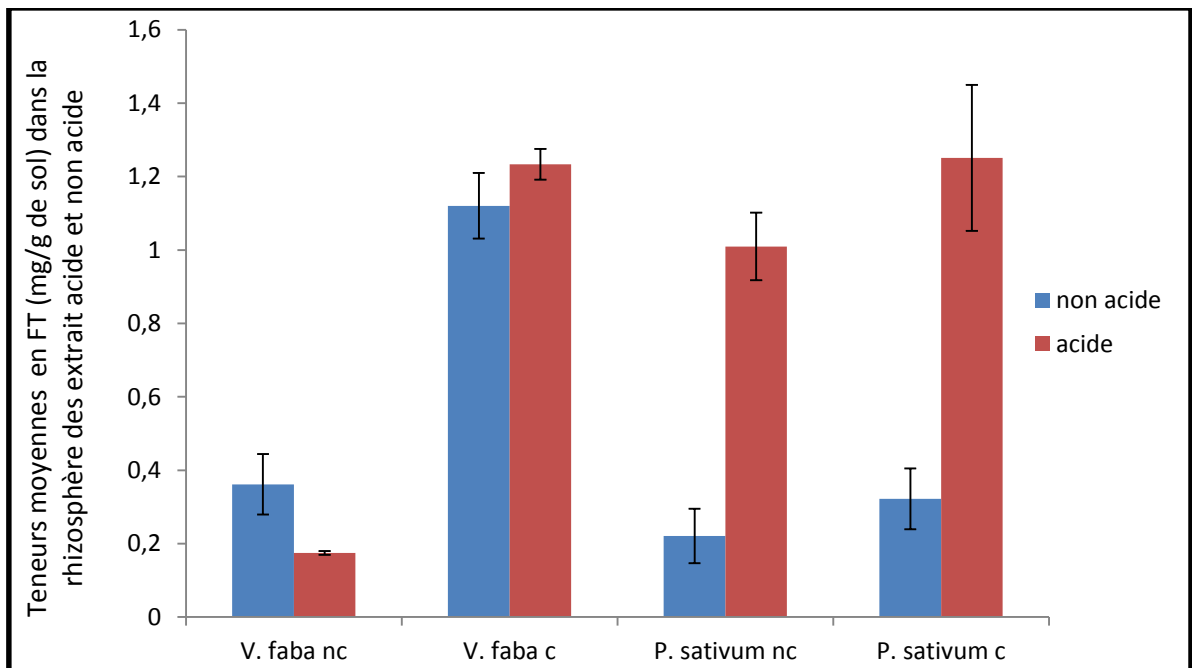
Le test de Newman-Keuls de la teneur moyenne en PPT dans la rhizosphère de *V. faba* et *P. sativum* des deux espèces dans le sol contaminé et non contaminé (annexe 13) pour le facteur sol a fait ressortir deux groupes homogènes dont le groupe A contient le sol contaminé avec une moyenne de  $0,046$  mg/g de sol tandis que le groupe B contient le sol non contaminé avec une moyenne de  $0,027$  mg/g de sol. Cela signifie que les teneurs moyennes en PPT dans le sol contaminé sont plus importantes que dans le sol non contaminé.

### I.3.2. Teneur en flavonoïdes totaux :

L'analyse quantitative des FT est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la rutine exprimé en mg équivalent de la rutine/g du sol (Annexe 14)

D'après la figure N°9, on constate que les teneurs moyennes en FT dans la rhizosphère de *V. faba* et *P. sativum* varient selon le type de solvant utilisé, on a remarqué que les concentrations les plus élevées sont enregistrées en utilisant le solvant acide. Pour les fèves dans le sol non contaminé la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère est de  $0,361 \pm 0,08$  mg/g de sol en utilisant le solvant non acide, contrairement aux pois dans le sol non contaminé est de  $0,22 \pm 0,07$  mg/g de sol. Concernant les teneurs moyennes en FT avec le solvant acide dans la rhizosphère des fèves non contaminé est de  $0,17 \pm 0,005$  mg/g de sol, tandis que celle des pois non contaminé est de  $1,009 \pm 0,09$  mg/g de sol.

Concernant les teneurs moyennes en FT dans la rhizosphère de *V. faba* contaminé avec le solvant non acide est de  $1,12 \pm 0,08$  mg/g de sol, par contre les teneurs moyennes dans la rhizosphère de *P. sativum* contaminé est de  $0,32 \pm 0,08$  mg/g de sol. Cependant les teneurs en FT avec le solvant acide dans la rhizosphère des fèves contaminé est de  $1,23 \pm 0,04$  mg/g de sol, par contre celle des pois est de  $1,25 \pm 0,19$  mg/g de sol.



**Figure N°09 :** Teneur moyenne en FT (mg/s de sol) dans la rhizosphère de *V. faba* et *P. sativum* en utilisant deux solvants acides et non acides.

Le test de Mann Whitney de la teneur moyenne en FT dans l'extrait rhizosphérique non acide de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol non contaminé et le sol contaminé (annexe 15) a montré qu'il y a une différence non significative pour les deux facteurs sol et plantes ( $p= 0,342$  et  $0,057$  respectivement). Cela signifie que les teneurs moyennes en FT dans la rhizosphère non acide des deux plantes n'est pas tributaire à la qualité du sol et aux types de plantes.

Le test de Kruskal Wallis concernant la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère non acide des plantes dans le sol non contaminé et le sol contaminé (annexe 15) a montré que y a une différence non significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0,138$ ).

Le test de Mann Whitney de la teneur moyenne en FT dans l'extrait rhizosphérique acide de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol non contaminé et le sol contaminé (annexe 16) a montré qu'il y a une différence significative pour le facteur sol ( $p= 0.028$ ) et une différence non significative pour le facteur plantes ( $p= 0.685$ ). Cela signifie que la contamination du sol joue un rôle la concentration des teneurs moyennes en FT dans la rhizosphère.

Le test de Kruskal Wallis concernant la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère acide des plantes dans le sol non contaminé et le sol contaminé (annexe 17) a montré que y a pas une différence significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0.111$ ).

Le test de Newman Keuls de la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère acide de *V. faba* et *P. sativum* des deux espèces dans le sol contaminé et non contaminé (annexe 18) pour le facteur sol a ressorti deux groupes homogènes dont le groupe A contient le sol contaminé avec une moyenne de 1.241 mg/g de sol tandis que le groupe B contient le sol non contaminé avec une moyenne de 0.591 mg/g de sol. Cela signifie que les teneurs moyennes en FT est plus importante dans le sol contaminé.

## **II. Effets des hydrocarbures sur les paramètres biochimiques des plantes :**

### **II.1. Teneur des polyphénols totaux :**

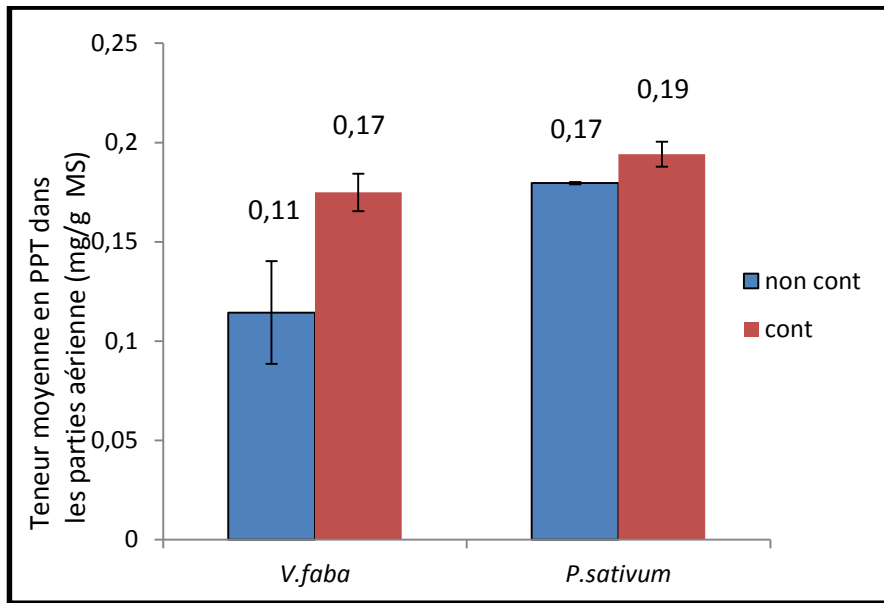
Les teneurs en PPT ont été déterminées à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique exprimées en mg équivalent d'acide gallique/mg de la matière sèche (Annexe 9)

#### **II.1.1. Dans les parties aériennes :**

Les teneurs moyennes en PPT dans les extrais des parties aériennes de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et non contaminé sont illustrées par la figure N°12.

On constate que *P. sativum* présente aussi bien dans le sol non contaminé que dans le sol contaminé des teneurs élève en PPT dans les extrais des parties aériennes que *V. faba*. Elles varient de  $0,17 \pm 0,0004$  et  $0,11 \pm 0,02$  mg/g MS et de  $0,19 \pm 0,01$  et  $0,11 \pm 0,02$  mg/g MS respectivement.

Bien que nous constatons une augmentation des teneurs moyennes en PPT dans les extrais des parties aériennes des pois dans les sols non contaminés par rapport aux fèves dans les sols contaminés et non contaminate qui est de  $0,17 \pm 0,0004$  à  $0,19 \pm 0,01$  mg/g MS et  $0,11 \pm 0,02$  à  $0,17 \pm 0,01$  mg/g MS respectivement.



**Figure N°12:** Teneur moyenne en PPT (mg/g MS) dans les parties aériennes de *V. faba* et *P. sativum* sur un sol non contaminé et un sol contaminé par les hydrocarbures.

Le test de Mann Whitney de la teneur moyenne en PPT dans les parties aérienne de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et le sol témoin (annexe 21) a révélé qu'il y a pas une différence significative pour le facteur sol et plantes ( $p= 0.342$  et  $0.14$  respectivement).

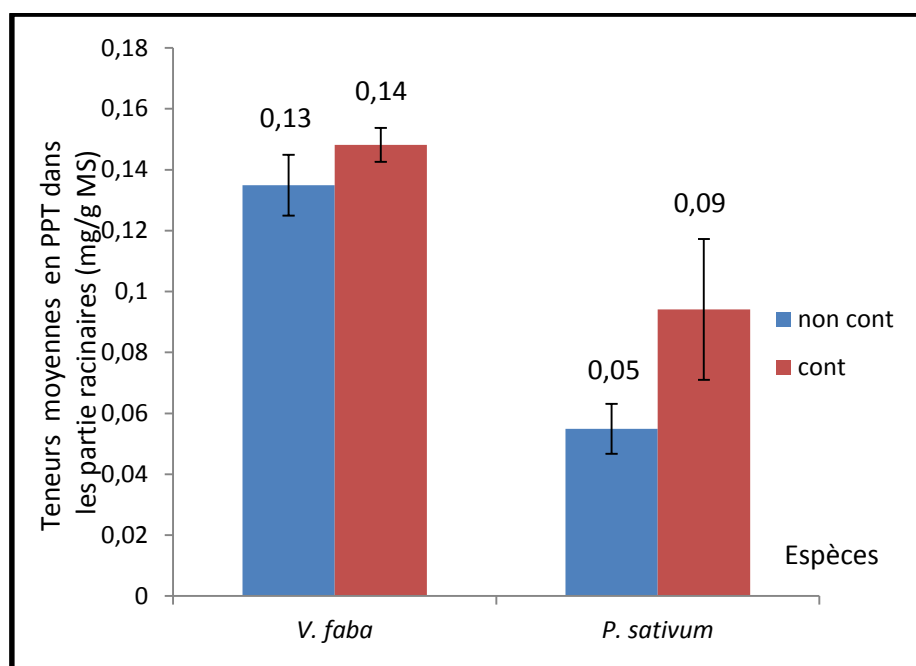
Le test de Kruskal Wallis pour les teneurs moyennes en PPT dans les parties aériennes de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et non contaminé (annexe 22) a révélé qu'il y a pas une différence significative pour l'interaction de ces deux facteur ( $p= 0.342$ ).

### II.1.2. Dans les parties racinaires

Les teneurs en PPT dans les extrais des parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et non contaminé sont illustré dans la figure N°13.

*V. faba* présente aussi bien dans le sol contaminé que le non contaminé des teneurs élève en PPT dans les extrais des parties racinaires que *P. sativum*. Elles varient de  $0,14 \pm 0,005$  et  $0,09 \pm 0,02$  mg/g MS et  $0,13 \pm 0,009$  et  $0,05 \pm 0,008$  mg/g MS respectivement.

Nous constatons une légère augmentation des teneurs en PPT aussi bien des racines des fèves que celle du pois cultivées sur sol contaminé par rapport aux teneurs en PPT des racines des plantes cultivées sur sols non contaminés ;  $0,13 \pm 0,009$  à  $0,14 \pm 0,005$  et  $0,05 \pm 0,008$  à  $0,09 \pm 0,02$  mg/g MS respectivement.



**Figure N°13 :** Teneurs moyennes en PPT (mg/g MS) des parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* sur un sol non contaminé et sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de la variance pour la teneur moyenne en PPT dans les parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* cultivé dans les sols contaminé et le non contaminé (annexe 23) a révélé qu'il y a une différence significative pour le facteur plante ( $p= 0.002$ ) et une différence non significative pour le facteur sol (0.050) et une différence non significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0.262$ ).

Le test de Newman Keuls concernant les teneurs moyennes en PPT dans les parties racinaires des plantes (annexe 24) pour le facteur plante a fait ressortir deux groupes homogène dont le groupe A contient les fèves avec une moyenne de 0.141 mg/g MS et le groupe B contient les pois avec une moyenne de 0.074 mg/g MS.

## II.2. Teneurs moyennes en flavonoïdes totaux :

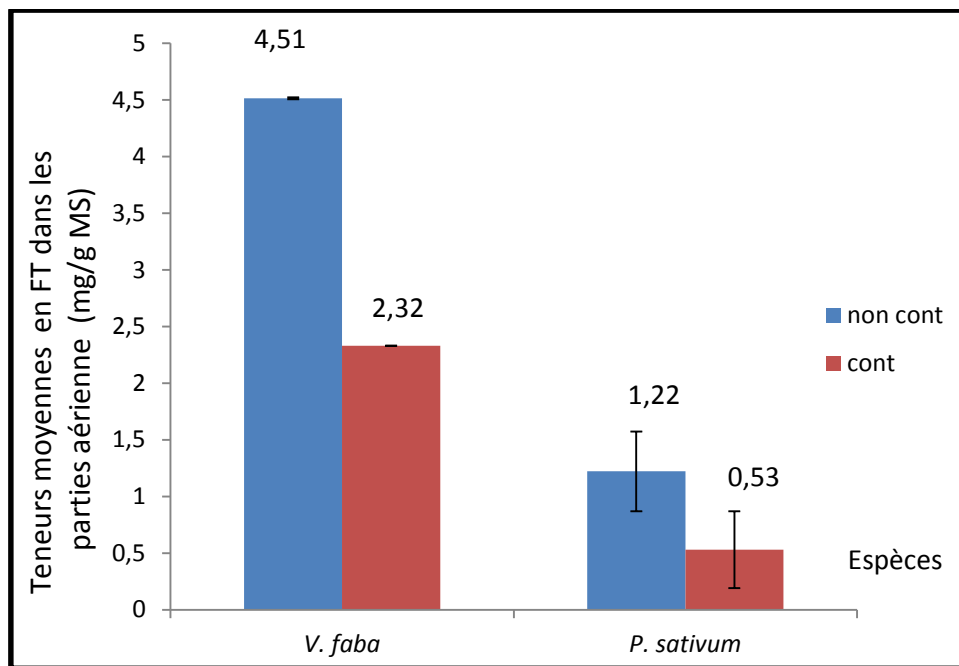
Les teneurs en FT sont déterminées à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage de la rutine exprimé en mg équivalent de la rutine/g de MS (Annexe 14).

### II.2.1. Dans les parties aériennes :

Les teneurs moyenne en FT dans les extrais des parties aériennes de *V. faba* et *P. sativum* cultivées sur sol témoin et le sol contaminé sont présentées dans la figure N°14.

On constate que *V. faba* présente aussi bien dans le sol non contaminé que le contaminé des teneurs élève en FT dans les extrais des parties aériennes que *P. sativum*. Elles varient de  $4,51 \pm 0,008$  et  $1,22 \pm 0,35$  mg/g MS et de  $2,32 \pm 0$  et  $0,53 \pm 0,33$  mg/g MS et respectivement.

On constate une forte diminution des teneurs moyennes en FT dans les parties aériennes des fèves du sol non contaminé qui est de  $4,51 \pm 0,008$  mg/g MS à  $2,32 \pm 0$  mg/g MS de fèves contaminées. Ainsi pour les pois de  $1,22 \pm 0,35$  à  $0,53 \pm 0,33$  mg/g MS



**Figure N°14 :** Teneurs moyennes en FT (mg/g MS) dans les extrais des parties aériennes de *V. faba* et *P. sativum* sur un sol non contaminé et un sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de la variance sur les teneurs moyennes en FT dans les parties aériennes de *V. faba* et *P. sativum* cultivés dans le sol pollué et dans le sol témoin (annexe 25) a révélé qu'il y a une différence très hautement significative pour le facteur plantes ( $p= 0.0007$ ) et une différence hautement significative pour le facteur sol ( $p= 0.006$ ), une différence non significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0.054$ ).

Le test de Newman Keuls concernant la teneur moyenne en FT dans les parties aérienne des plantes (annexe 26) pour le facteur sol a ressorti deux groupes homogènes, dont le groupe A contient le sol non contaminé avec une moyenne de 2.866 mg/g MS et le groupe B contient le sol contaminé avec une moyenne de 1.429 mg/g MS.

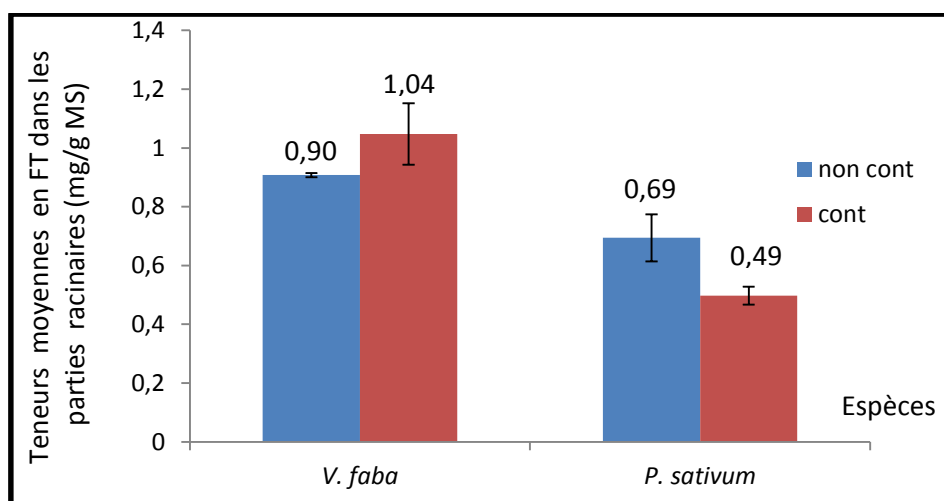
Le test de Newman Keuls concernant la teneur moyenne en FT dans les parties aérienne des plantes (annexe 27) pour le facteur plantes a ressorti deux groupes homogènes, le groupe A contient les fèves avec une moyenne de 3.421 mg/g MS, tandis que le groupe B contient les pois avec une moyenne de 0.875 mg/g MS.

### II.2.2. Dans les parties racinaires

Les teneurs moyennes en FT dans les extrais des parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol témoin et le sol contaminé sont présente dans la figure N°15.

On constate que *V. faba* présente aussi bien dans le sol contaminé que le non contaminé des teneurs élève en FT dans les extrais des parties racinaires que *P. sativum*. Elles varient de  $1,04 \pm 0,10$  et  $0,49 \pm 0,003$  mg/g MS et de  $0,90 \pm 0,006$  et  $0,69 \pm 0,07$  mg/g MS respectivement.

On constate une légère augmentation des teneurs moyennes en FT dans les extrais des parties racinaires des fèves du sol contaminé par rapport au non contaminé qui est de  $0,90 \pm 0,006$  à  $1,04 \pm 0,10$  mg/g MS. Contrairement chez les pois on constate une léger diminution de  $0,69 \pm 0,07$  à  $0,49 \pm 0,003$  mg/g MS respectivement.



**Figure N°15 :** Teneurs moyennes en FT (mg/g MS) dans les extrais des parties racinaires *V. faba* et *P. sativum* sur un sol témoin et un sol contaminée aux carburants.

L'analyse de la variance de la teneur moyenne en FT dans les parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* cultivé dans le sol pollué et dans le sol témoin (annexe 28) a montré qu'il y a une différence hautement significative pour le facteur plante ( $p= 0.005$ ) et une différence non significative pour le facteur sol et pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0.699$  et  $0.069$  respectivement).

Le test de Newman Keuls concernant la teneur moyenne en FT dans les parties racinaires des plantes dans le sol témoin et le sol contaminé (annexe 29) a ressorti deux groupes homogènes dont le groupe A contient les fèves avec une moyenne de  $0.977$  mg/g MS, le groupe B contient les pois avec une moyenne de  $0.595$  mg/g MS.

### II.3. Teneur en tannins hydrolysables :

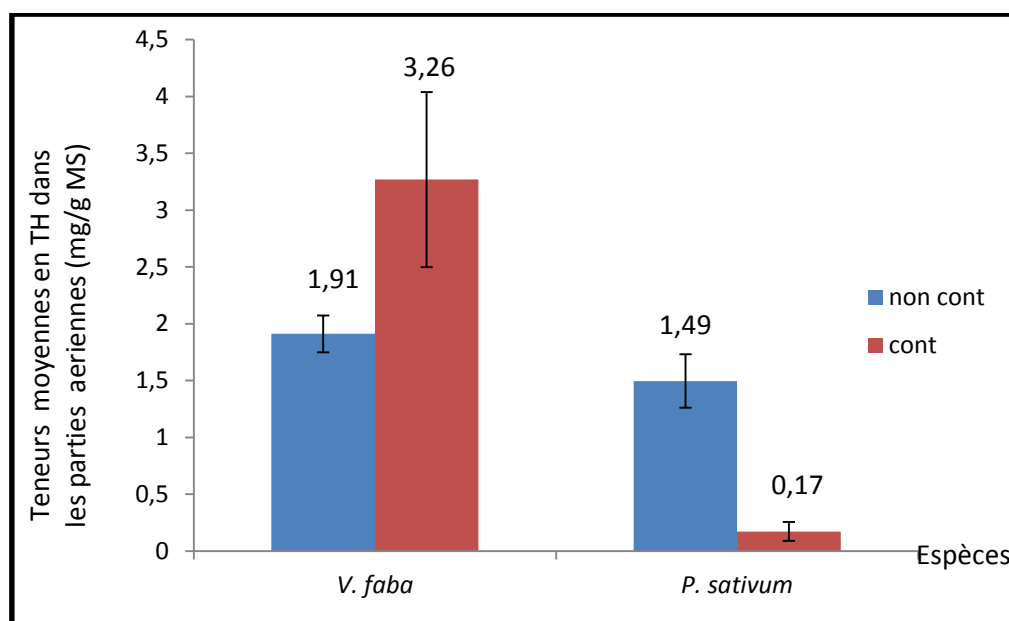
Les teneurs en TH des parties aériennes ont été déterminées à partir de l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage de l'acide tannique exprimées en mg équivalent d'acide tannique/mg de matière sèche (Annexe 30).

#### II.3.1. Dans les parties aériennes :

Les teneurs moyennes en TH dans les extrais des parties aériennes *V. faba* et *P. sativum* cultivées sur un sol non contaminé et le sol contaminé sont présentées dans la figure N°16.

On constate qu'aussi bien dans le sol contaminé que non contaminé, des teneurs en TH dans les parties aériennes plus élevées chez *V. faba* que *P. sativum* dans le sol non contaminé ( $1,91 \pm 0,16$  ;  $1,49 \pm 0,23$  mg/g MS et  $3,26 \pm 0,77$  et  $0,17 \pm 0,08$  mg/g MS respectivement).

Nous constatons une forte augmentation dans les teneurs en TH des parties aérienne des fèves dans le sol contaminé par rapport aux sols non contaminées qui est de  $1,91 \pm 0,16$  à  $3,26 \pm 0,77$  mg/g MS. Contrairement chez les pois on constate une forte diminution de  $1,49 \pm 0,23$  à  $0,17 \pm 0,08$  mg/g MS respectivement.



**Figure N°16 :** Teneurs moyennes en TH (mg/g MS) dans les extrais des parties aériennes *V. faba* et *P. sativum* cultivé sur un sol témoin et le sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de la variance de la teneur moyenne en TH moyenne dans les parties aérienne de *V. faba* et *P. sativum* cultivé dans le sol pollué et dans le sol non pollué (annexe 31) révèle qu'il y a une différence significative pour le facteur plante ( $p= 0.039$ ) et y a une différence non significative pour le facteur sol et l'interaction de ces deux facteur ( $p= 0.978$  et  $0.083$  respectivement).

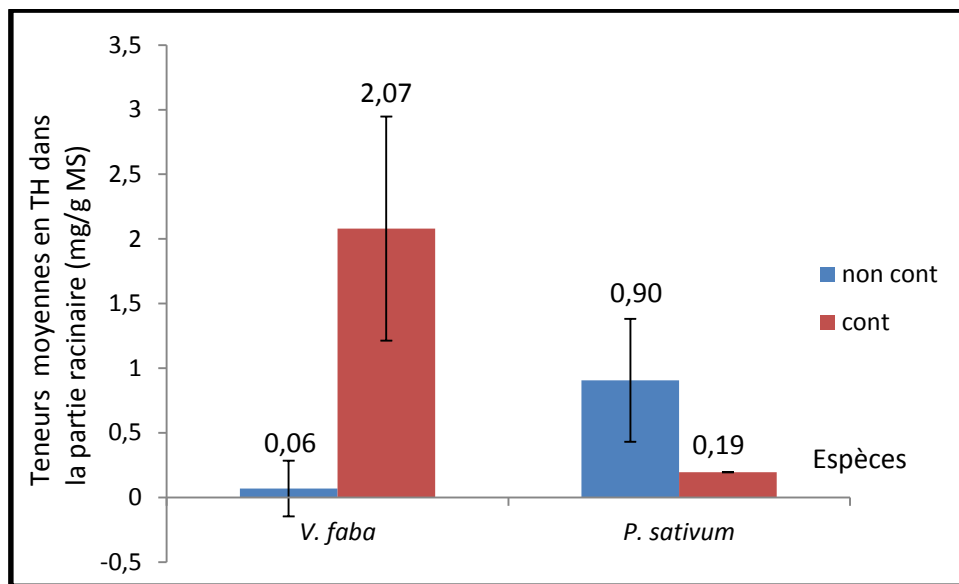
Le test de Newman Keuls concernant la teneur moyenne en TH dans les parties aérienne des plantes (annexe 32) pour le facteur plantes a ressorti deux groupes homogènes, dont le groupe A contient les fèves avec une moyenne de 2.582 mg/g MS, le groupe B contient les pois avec une moyenne de 0.834 mg/g MS. D'après ce teste on conclue que les fèves sont celle qui synthétise le plus les TH dans la parties aérienne par rapport aux pois.

### II.3.2. Dans les parties racinaires :

Les teneurs moyennes en TH dans les extrais des parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* cultivé sur un sol témoin et le sol contaminé sont présente dans la figure N°17.

On constate que *P. sativum* a des teneurs plus élève en TH dans les parties aérienne que *V. faba* dans le sol non contaminé ( $0.90 \pm 0.47$ ,  $0.06 \pm 0.21$  mg/g MS respectivement). Contrairement dans le sol contaminate *V. faba* présente des teneurs élève en TH que *P. sativum* ( $2.07 \pm 0.86$  mg/g MS,  $0.19 \pm 0$  mg/g MS respectivement).

Nous constatons qu'il y a une forte augmentation des TH des extraits racinaire de fèves sur sol contaminé par rapport au sol non contaminé qui  $0.06 \pm 0.21$  à  $2.07 \pm 0.86$  mg/g MS respectivement. La situation est inverse chez les pois avec  $0.90 \pm 0.47$  à  $0.19 \pm 0$  mg/g MS respectivement.



**Figure N°17:** Teneurs moyennes en TH (mg/g MS) dans les extraits des parties racinaire de *V. faba* et *P. sativum* cultivé sur un sol non contaminé et le sol contaminé.

Le test de Mann Whitney de la teneur moyenne en TH dans les parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et le sol non contaminé (annexe 33) a révélé qu'il y a une différence non significative pour les deux facteurs sol et plantes ( $p= 0.884$  et  $0.191$ ).

Le teste de Kruskal Wallis de la teneur moyenne en TH dans les parties racinaires de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et non contaminé (annexe 34) a montré qu'il y a pas une différence significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0.155$ ).

L'analyse de composante principale (ACP) sur les teneurs moyenne en polyphénols dans les systèmes aériens et racinaires de *V. faba* et *P. sativum* ainsi leurs rhizosphère (Figure N°18 et 19) indique que les axe I et II expliquent 79% d'information. L'axe I est expliqué par les variables FT aer. L'axe II est principalement expliqué par la variable TH du système racinaire (figure N°18). Les variables PPT racinaires, FT racinaires et TH dans le système aérien sont positivement corrélées entre eux ( $R= 0.72$  et  $0.52$  respectivement); la variable PPT du système aérien est bien corrélée à la variable PPT dans la rhizosphère ( $R= 0.79$ ). Tandis que ces deux sont corrélé négativement avec la variable FT aérienne ( $R= -0.80$  et  $-0,87$  respectivement). D'autre part, la variable th dans le système racinaire n'est pas corrélée avec PPT aérienne et FT aérienne ( $R= -0.06$  et  $-0.02$  respectivement.)

La projection des individus (figure N°19) révèle que les pois dans le sol contaminé et non contaminé présentent les concentrations les plus élevé en PPT dans les parties aériennes et en FT dans la rhizosphère, les fèves dans le sol non contaminé présentent une concentration plus élevée de FT dans les parties aérienne et racinaires ainsi que les PPT dans le système racinaire, tandis que les fèves dans le sol contaminé caractérisent par des concentrations les plus élevées en TH dans les parties racinaires et aériennes.

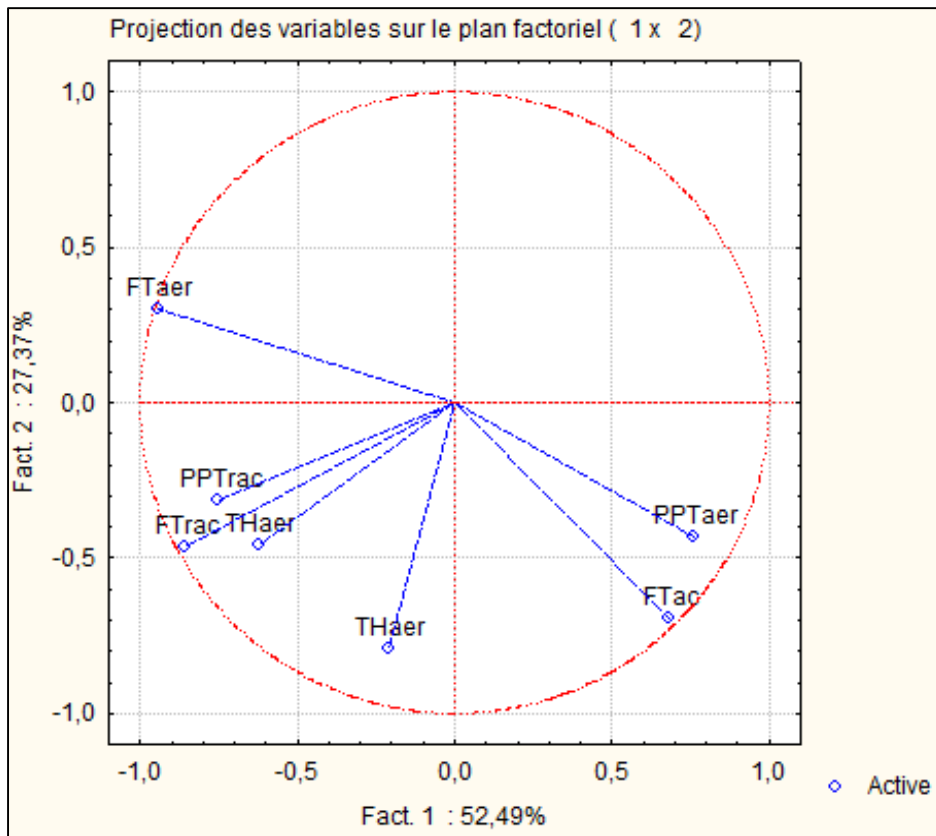


Figure N°18 : ACP des composés phénoliques des plantes graphes des variables

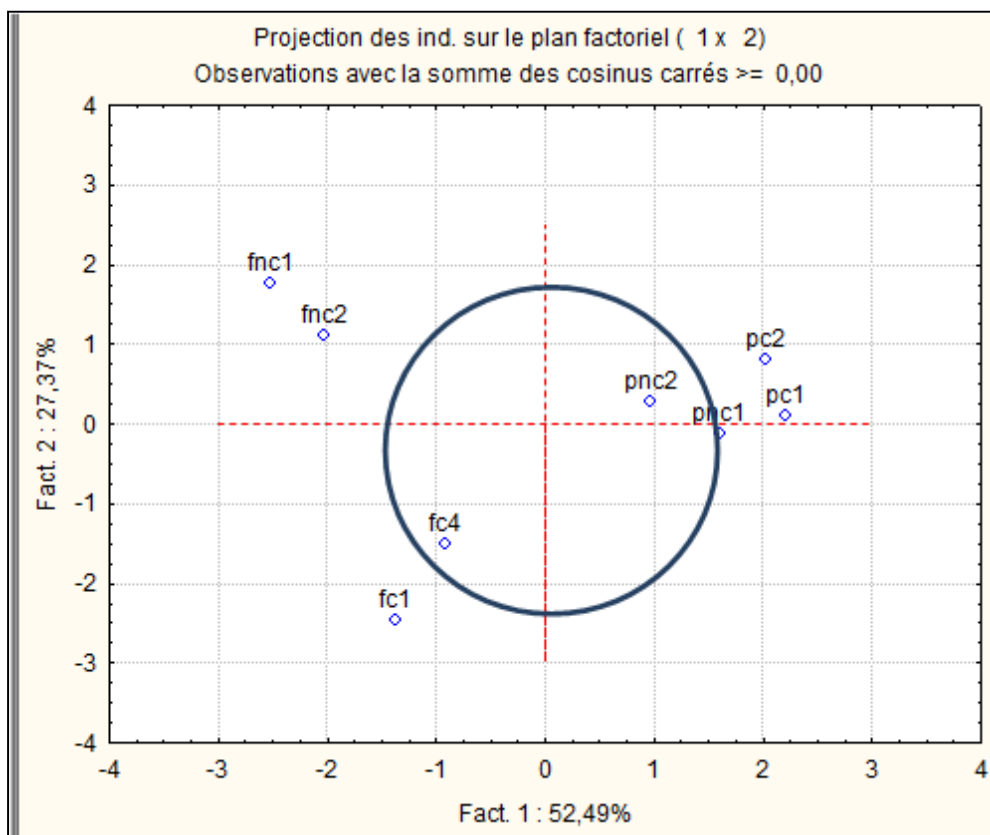


Figure N°19 : ACP des composés phénoliques graphes des individus.

Corrélations (Feuille w.sta)							
Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$							
N=8 (Observations à VM ignorées)							
Variable	ftaer	frac	thaer	thrac	pptaer	pptrac	ftac
ftaer	1,00	0,68	0,47	-0,06	-0,80	0,61	-0,87
frac	0,68	1,00	0,72	0,59	-0,45	0,72	-0,28
thaer	0,47	0,72	1,00	0,24	-0,11	0,52	-0,12
thrac	-0,06	0,59	0,24	1,00	-0,02	0,27	0,36
pptaer	-0,80	-0,45	-0,11	-0,02	1,00	-0,38	0,79
pptrac	0,61	0,72	0,52	0,27	-0,38	1,00	-0,21
ftac	-0,87	-0,28	-0,12	0,36	0,79	-0,21	1,00

Figure N°20: Table de corrélation des paramétrés phénoliques

D’après nos résultats sur les teneurs moyennes en PPT et FT dans le sol rhizosphérique non acide contaminé et non contaminé traiter par *V. faba* et *P. sativum* nous constatons une différence non significative pour les deux facteurs sol et plantes ainsi leurs interaction. Concernant les résultats obtenus sur les teneurs moyennes en PPT et en FT dans la rhizosphère acide du sol contaminé et non contaminé traité par *V. faba* et *P. sativum* nous constatons une différence significative. Car le solvant acide a tendance à dénaturer la cellule membranaire et permettant la dissolution des anthocyanes (Ardestani et al., 2016 in Inhawan et Jihyun 2017).

Nos résultats indiquent aussi que la libération des composés phénolique dans la rhizosphère acide n’est pas tributaire au type de plante mais à la qualité du sol où le sol contaminé contient un taux plus élevé des composés phénolique. Qui est une réponse au stress causé par la présence des hydrocarbures (Musilova et al., 2016).

D’après nos résultats de l’ACP (Figure N° 18 et 19) des composés phénolique dans les systèmes aériens et racinaires de *V. faba* et *P. sativum* ainsi que ceux de leurs rhizosphère respectives, ainsi nos résultats de l’ANOVA, nous constatons aussi que *V. faba* dans le sol contaminé libère plus de polyphénols totaux dans la rhizosphère, alors que *P. sativum* dans le sol contaminé libère plus de flavonoïdes totaux dans le sol rhizosphérique, cela est peut être due à la génétique des deux espèces, la quantité des exsudats libéré par les cellules racinaires, ou bien les variations saisonnier (Musilova et al., 2016). Selon Gobbet-Neto et Lopes (2007) la libération des composés phénolique est en relation avec le rôle de chaque classe de composé phénolique, ainsi la synthèse des flavonoïdes augmente avec l’intensité des rayons UV. Noori et al (2012), pensent que la pollution par le pétrole brute ou les hydrocarbures peuvent activer ou inhiber certains enzymes nécessaires à la synthèse des flavonoïdes.

Selon Blum et al., 2000 in Musilova et al., 2016 les exsudats racinaires d’acide phénolique ont un rôle important dans le processus de nodulation en servant d’attraction pour les espèces rhizobium.

Nos résultats sont similaires avec ceux obtenue par Ammar et Nafil (2014) qui ont travaillé sur l’effet des carburants (essence super, essence normale et le gasoil) sur la production des polyphénols chez *V. faba* et ceux de Salmi et Salmi (2017) qui ont travailler sur l’effet de mélange de l’essence et le gasoil sur *V. faba*, *Chlorophytum Comosum* qui ont constatées qu’il n’y avait pas de différence significative de la synthèse des PPT dans les parties aérienne et TH dans les parties racinaires.

D'après nos résultats de l'ANOVA on a constaté que les teneurs moyennes en PPT dans les parties racinaires et FT dans les parties aérienne et racinaire ainsi que TH aérienne de *V. faba* et *P. sativum* présentent une différence significative entre le sol contaminé et le sol témoin.

Nos résultats sont contradictoires avec ceux obtenus par Salmi et Salmi (2017) et Saib et Tadjer (2017) qui ont constaté qu'il n'y a pas une différence significative de la production des composés phénolique entre le sol témoin et le sol contaminé.

Nos résultats de l'ACP indiquent aussi que *P. sativum* dans le sol contaminé et non contaminé présentent des teneurs élevés en PPT dans les parties aériennes, alors que les fèves dans le sol non contaminé présente des concentration élevé en PPT dans les parties racinaires, FT dans les parties aériennes et racinaire et TH dans les parties aériennes, tandis que les fèves dans le sol contaminé présentent des teneurs élevé en TH dans les parties racinaires.

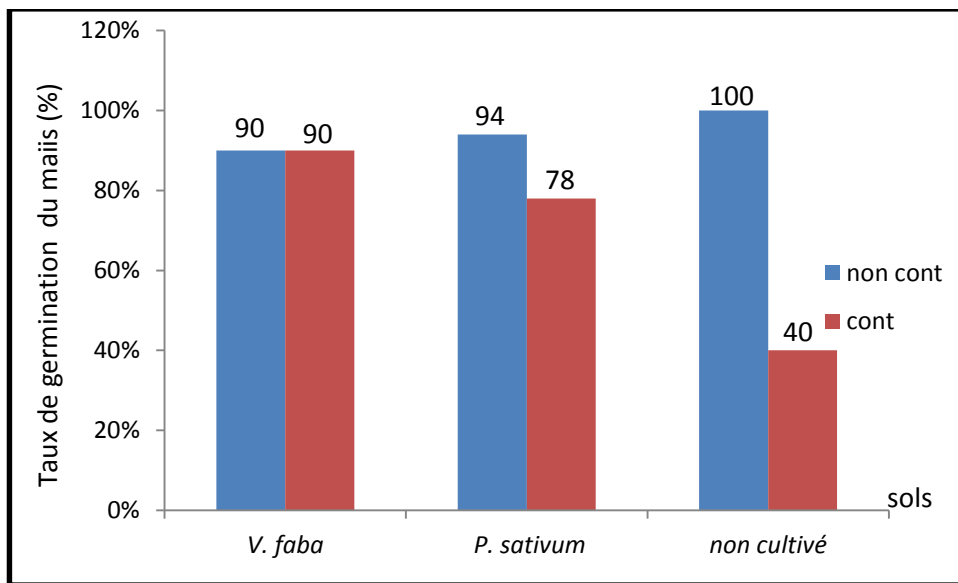
Selon Gobbo-Neto et Lopes ces variations des teneurs en composés phénoliques est due à la différence de la génétique des espèces qui répondent de manière différente au stress, certains espèces synthétisent plus de composés phénoliques d'autres synthétise moins. Selon Zangh (2007), la synthèse des polyphénols varie selon le type du polluant dans le sol, la quantité et la concentration, le temps d'exposition des plantes à ce polluant.

### III.Effets des hydrocarbures sur le taux de germination :

Les résultats des taux de germination chez *P. sativum* et *V. faba* dans le sol non contaminé (SNC) et le sol contaminé (SC) par le mélange d'hydrocarbure sont présentés dans la figure N°21.

On constate que *V.faba* a un taux de germination plus élevée dans les sols non contaminés que *P. sativum* (90% et 55% respectivement) ainsi que dans le sol contaminé (35% et 25% respectivement.)

La levée chez *P. sativum* a été observée après deux semaines de culture ; tandis que chez *V. faba* elle n'a été observée qu'après la troisième semaine. On constate une forte diminution du taux de germination de *V. faba* dans les sols non contaminés par rapport aux sols contaminés (de 90% à 35% respectivement) ainsi pour les pois de 55% à 25% respectivement.



**Figure N°21 :** Taux de germination (%) de *V. faba* et de *P. sativum* sur un sol non contaminé et un sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de la variance (annexe 35) a révélé qu'il y a une différence hautement significative pour le facteur sol (0.003), une différence non significative pour le facteur plante (0.309) et une différence non significative pour l'interaction des deux facteurs sols et plantes (0.882).

Le test de Newman Keuls concernant le taux de germination chez *V.faba* et *P.satvum*(annexe 36) pour facteur sol a ressorti deux groupes homogènes, le groupe A inclue le sol non contaminé avec une moyenne de 4% et le groupe B inclue le sol contaminé par les hydrocarbures de avec une moyenne de 1.7 %. Cela signifie que le taux de germination des espèces est élevé dans les sols contaminés par rapport aux sols non contaminés.

Nos résultats concordent avec ceux de Chibane (2013) pour *V. faba*, *Medicago sativa* et *Trifolium alexandriumen* termes de la stimulation de la germination en présence des HC, qui ont provoqué l'inhibition de la germination de certaines graines des pois et des fèves exprimer par la présence de graines pourries parmi celle qui n'ont pas germés. Les graines n'ont pas la même capacité de résistance à la contamination par le pétrole brut (Chaineau et al., 1996).

Par contre nos résultats concordent avec ceux obtenue par Chibane (2013) pour le facteur plante, qui a constater une différence non significative pour ce dernier, cela pourrait s'expliquer par une même capacité de résistance des plantes vis-à-vis la contamination par le pétrole brut (Chaineau *et al.*, 1996).

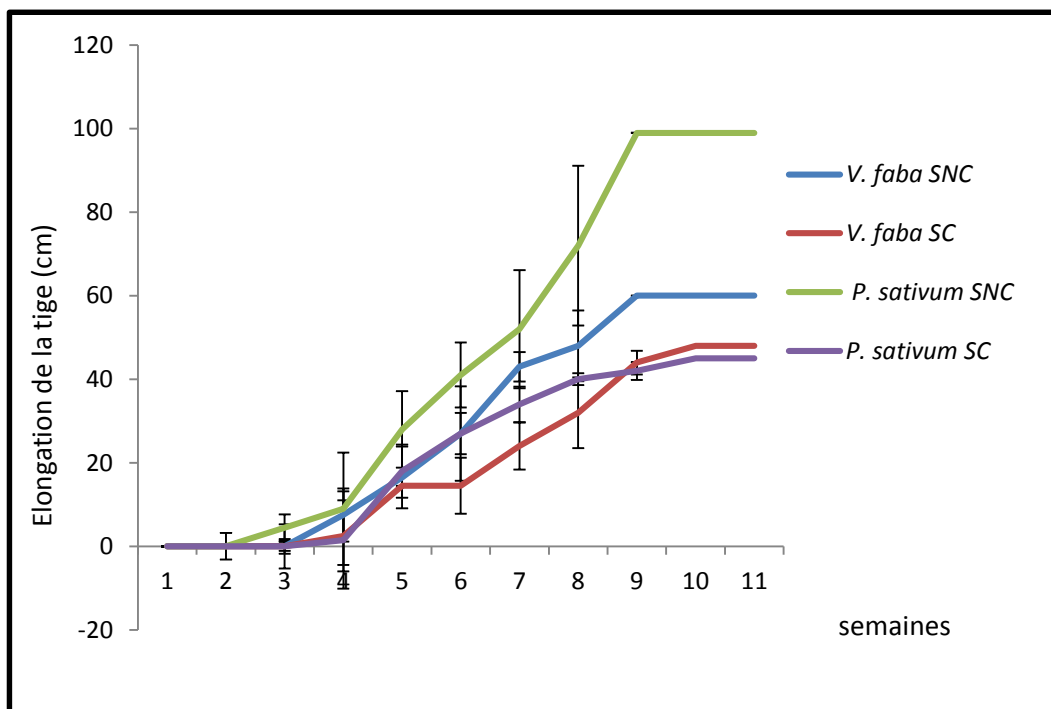
### IV. Effets des hydrocarbures sur les paramètres biométriques des plantes :

#### IV.1. Cinétique de croissance de la tige :

Les résultats de la croissance de la tige de *P. sativum* et *V. faba* dans le sol non contaminé (SNC) par les hydrocarbures et le sol contaminé (SC) durant 11 semaines de culture sont présentés dans la figure N°22.

On constate que *P. sativum* a une croissance de tige plus important dans les sols non contaminés *V. faba* (99 et 60 cm respectivement) la situation se diffère dans les sols contaminés ou *V.faba* présente une croissance des tiges plus importante que celle de *P. sativum* (48 et 45 cm respectivement.)

Les plants de *P. sativum* cultivés sur les sols non contaminés présentent une croissance hebdomadaire de la hauteur des tiges de la 2eme semaine de levée jusqu'à la 9eme semaine qui atteignent 99 cm, puis arrêt de croissance jusqu'au jour de la récolte. Par contre les pois contaminés présentent une faible croissance des tiges et n'atteint que 45 cm de hauteur. Contrairement à *V. faba* qui présente une faible croissance de la hauteur des tiges, elles atteignent 60 cm dans le sol témoin et n'excède pas les 48 cm dans le sol contaminé.



**Figure N°22 :** Croissance des tiges (cm) de *V. faba* et *P. sativum* sur un sol non contaminé et sol contaminé par les hydrocarbures.

Le test de Mann Whitney de la hauteur de la tige de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et le sol non contaminé (annexe 37) a révélé que il n'y a pas de une différence significative pour les deux facteurs espèces et sol ( $p= 0.546$  et  $0.152$ ) respectivement.

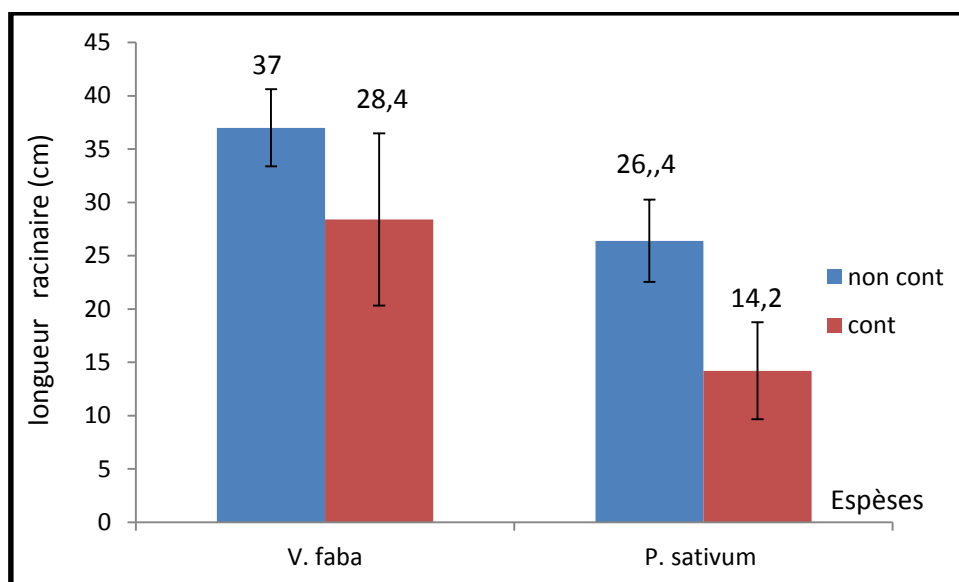
Le test de Kruskal Wallis de l'élongation de la tige des deux espèces dans le sol contaminé et non contaminé pour l'interaction des deux facteurs (annexe 38) a révélé que il n'y a pas une différence significative ( $p= 0.449$ ).

### IV.2 Longueur racinaire :

Les mesures de longueurs des racines de *V. faba* et *P. sativum* mesurées à la fin de la culture dans le sol témoin et sol contaminé par les hydrocarbures sont représentées dans la figure N°22.

On constate que *V. faba* à une longueur des racines plus important dans les sols non contaminés que *P. sativum* (37 et 26.4 cm respectivement) ainsi que dans le sol contaminé (28.4 et 14.2 cm respectivement).

On constate une légère diminution dans la croissance racinaire des fèves contaminés par rapport au témoin qui présente 37 cm et 28,4 cm pour les fèves contaminés. ainsi pour les pois qui est de 26,4 à 14,2 cm respectivement.



**Figure N°23:** Longueur racinaire de *V. faba* et *P. sativum* sur un sol témoin le sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de la variance de la longueur racinaire de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol polluée par le mélange d'HC et le sol non contaminé (annexe 39) a révéler qu'il y a une différence significative pour le facteur sol ( $p= 0.044$ ). Une différence significative pour le facteur plante ( $p= 0.019$ ). Par contre l'interaction de ces deux facteur n'a pas de différence significative ( $p= 0.710$ ). Cela signifie que la qualité du sol et le type de plante jouent un rôle dans la longueur racinaire.

Le test de Newman Keuls concernant la longueur racinaire des plantes (annexe 40) pour le facteur sol a ressorti deux groupes homogènes dont le sol non contaminé est classer dans le groupe A avec une moyenne 31.7 cm. Le groupe B contient le sol contaminé avec une moyenne de 21.3 cm. Cela signifie que les sols non contaminés est plus favorable à la croissance des racines par rapport aux sols contaminés.

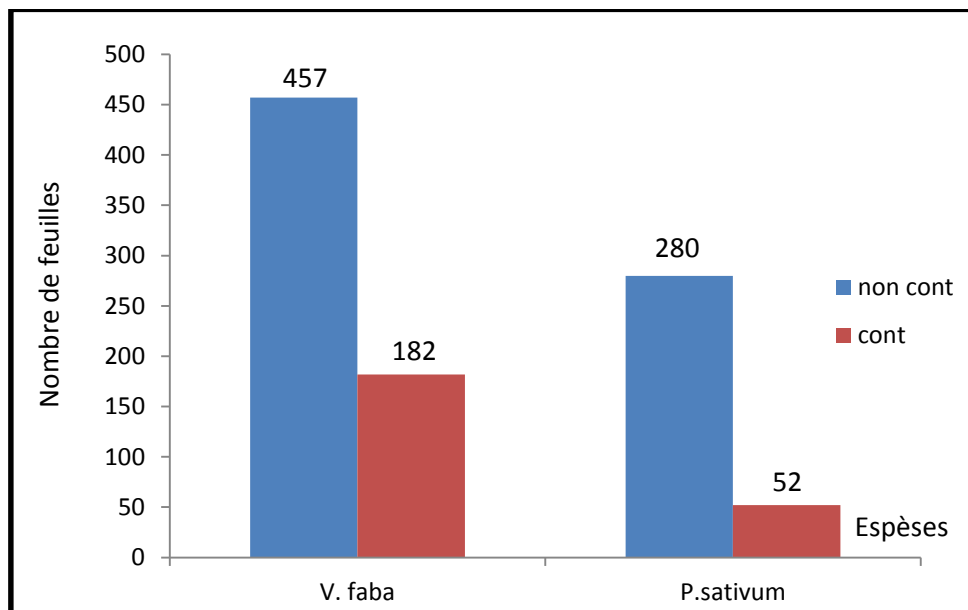
Le teste de Newman Keuls concernant l'élongation racinaire des plantes (annexe 41) pour le facteur plante a ressorti deux groupes homogène, le groupe A contient *V. faba* avec une moyenne de 32.7 cm tandis que le groupe B contient *P. sativum* avec une moyenne de 20.3 cm. Cela signifie que les fèves ont une meilleure croissance racinaire.

### IV.3. Nombre de feuilles :

Le nombre de feuilles de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol non contaminé (non cont) et dans le sol contaminé (cont) par les hydrocarbures sont présentés dans la figure N°24.

Nous constatons que *V. faba* présente un nombre de feuilles plus élevé que *P. sativum* dans les deux sols non contaminés ainsi dans les contaminés (457 et 280 ; 182 et 52 feuilles respectivement).

Nous avons constaté une grande diminution de nombre de feuilles des fèves contaminés par rapport à celles cultivés dans le sol témoin qui est de 457 feuilles à 182 feuilles, idem pour les pois qui présente un nombre moyen de feuilles de 280 feuilles dans le sol témoin et 52 feuilles dans le sol contaminé.



**FigureN°24:** Nombre moyenne des feuilles de *V.faba* et *P.sativum* dans le sol témoin et le sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de variance du nombre de feuilles des deux plantes *V. faba* et *P. sativum* dans le sol non pollué et le sol pollué par les hydrocarbures (annexe 42) a révélé qu'il y a une différence hautement significative pour le facteur sol ( $p= 8.419 \times 10^{-5}$ ), une différence significative pour le facteur plantes ( $p= 0.005$ ) et une différence non significative pour l'interaction des deux facteurs ( $p= 0.631$ ).

Le test de Newman Keuls (annexe 43) pour le nombre de feuilles des deux plantes pour le facteur sol a fait ressortir deux groupes homogènes. Le groupe A inclus le sol non contaminé avec une moyenne de 73.7 feuilles et le groupe B inclus le sol contaminé avec une moyenne de 23.4 feuilles. Cela signifie que le nombre le plus élevé de feuilles des deux plantes est enregistré dans les sols non contaminés

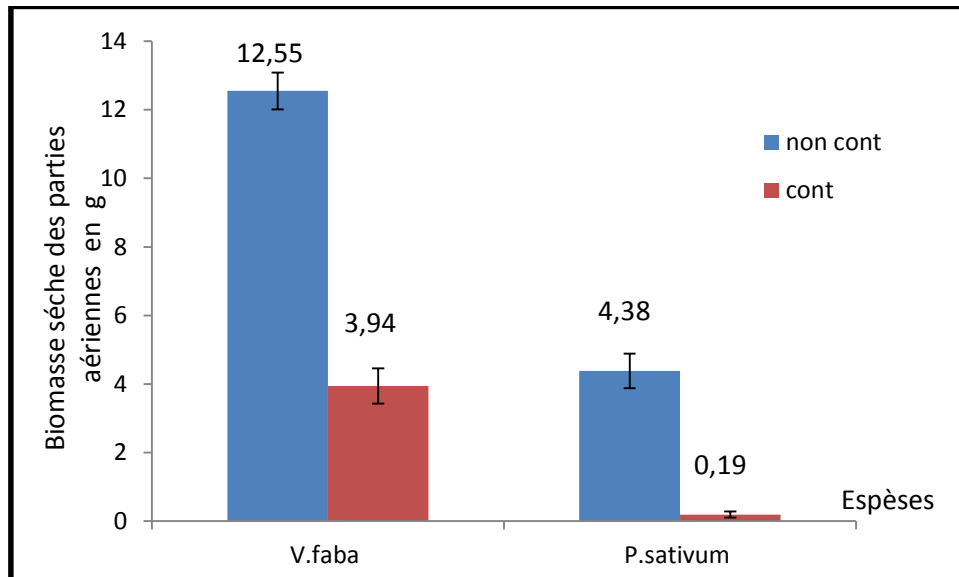
Le test de Newman Keuls (annexe 44) pour le nombre de feuilles des deux plantes pour le facteur plante a fait ressortir deux groupe homogènes. Le groupe A inclus *V. faba* avec une moyenne de 63.9 feuilles tandis que le groupe B inclus *P. sativum* avec une moyenne de 33.2 feuilles. Cela signifie que les fèves ont un nombre élevé de feuilles par rapport aux pois.

### IV.4. biomasse aérienne.

La biomasse aérienne moyenne de *V.faba* et *P.sativum* cultivées dans le sol témoin et le sol contaminé par le mélange des carburants sont présenté dans la figure N°25.

Nous observons que la fève présente une biomasse aérienne plus élevé par rapport aux pois dans les sols non contaminés ainsi les contaminés 12,55g et 4,38g ; 3,94 et 0,19g respectivement.

On constate une forte diminution de la biomasse aérienne chez *V. faba* ainsi *P. sativum* dans les sols non contaminés par rapport aux sols contaminés de 12,55g à 3,94g pour les fèves et 4,38g à 0,19g pour les pois.



**Figure N°25:** Biomasse aérienne moyenne (g) *V.faba* et *P.sativum* dans le sol non contaminé et le sol contaminé par les hydrocarbures.

L'analyse de la variance de la biomasse aérienne sèche de fèves et des pois cultivés dans le sol contaminé et le sol non contaminé (annexe 45) il a révélé une différence hautement significative pour les deux facteurs sol et espèces ( $p= 3.874e^{-05}$  et 0.0002 respectivement) et une différence non significative pour l'interaction de ces deux facteurs.

Le test de Newman Keuls concernant la biomasse aérienne des plantes (annexe 46) pour le facteur sol a ressorti deux groupes homogène, le groupe A contient le sol non contaminé avec une moyenne de 1.54 g. Le groupe B contient le sol contaminé avec une moyenne de 0.413 g. Cela signifie que la contamination du sol par le mélange d'HC à un effet sur la biomasse aérienne des espèces, le sol non contaminé est plus favorable pour la croissance des plantes.

Le teste de Newman Keuls concernant la biomasse aérienne des plantes (annexe 47) pour le facteur plante a ressorti deux groupes homogène, dont le groupe A contient les fèves avec une

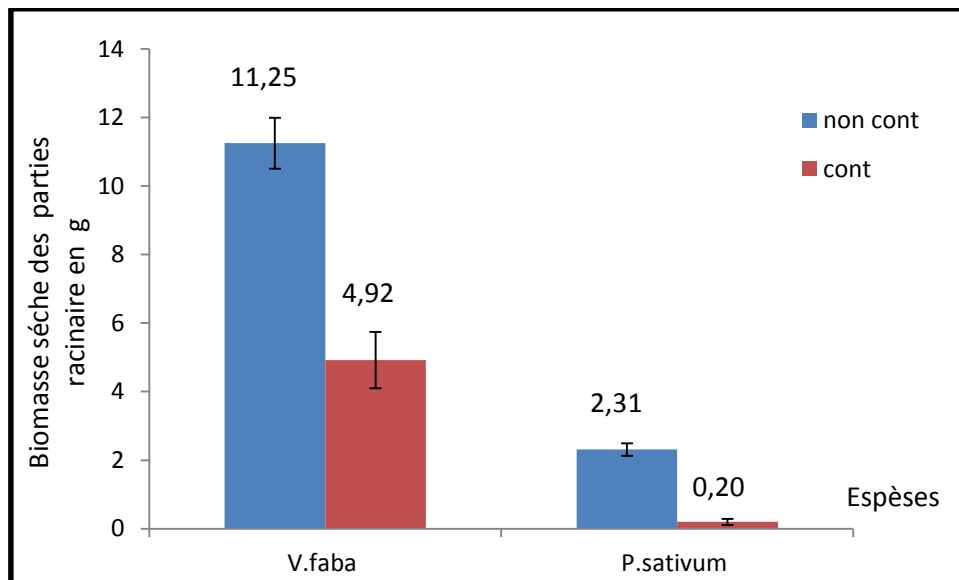
moyenne de 1.449 g et le groupe B contient les pois avec une moyenne de 0.504 g. cela signifie que les fèves ont une biomasse aérienne plus importante par rapport aux pois.

### IV.5. Biomasse racinaire

La biomasse racinaire moyenne *V.faba* et *P.sativum* cultivées dans le sol témoin et le sol contaminé par les hydrocarbures sont présentés dans la figure N°26.

On constate que *V. faba* a une biomasse racinaire plus élevé que *P. sativum* dans les deux sols contaminés et non contaminés avec 11,25 et 2,31g ; 4,92 et 0,20g respectivement.

On remarque d'après la figure qu'il y a une diminution des biomasses racinaires des fèves dans les sols non contaminés par rapports aux sols contaminés (11.25 à 4.29g respectivement). Idem pour les pois de 2.31 à 0.20g respectivement.



**Figure N°26 :** Biomasse racinaire moyenne (g) de *V. faba* et *P. sativum* dans sol non contaminé et sol contaminé par les hydrocarbures.

Le test de Mann Whitney de la biomasse racinaire de *V. faba* et *P. sativum* dans le sol contaminé et le sol témoin (annexe 48) a révélé une différence significative pour le facteur sol et plantes ( $p= 0.020$  et  $0.003$  respectivement).

Le test de Kruskal Wallis de la biomasse racinaire des deux espèces dans le sol contaminé et non contaminé (annexe 49) pour l'interaction des deux facteurs a révélé qu'il y a une différence significative ( $p= 0.002$ )

Le test de Newman Keuls concernant la biomasse racinaire des plantes (annexe 50) pour le facteur sol a ressorti deux groupes homogène dont le groupe A contient le sol non contaminé avec une moyenne de 1.356g et le groupe B contient le sol contaminé avec une moyenne de 0.512 g. Cela signifie que les biomasses racinaires les plus élevé sont enregistrés dans les sols non contaminé.

Le test de Newman Keuls concernant la biomasse racinaire des plantes (annexe 51) pour le facteur plante a ressorti deux groupes homogène dont le groupe A contient *V. faba* avec une moyenne

de 1.617 g et le groupe B contient *P. sativum* avec une moyenne de 0.251 g. Cela signifie que les fèves ont une biomasse racinaire plus importante que les pois.

Le test de Newman Keuls concernant la biomasse racinaire des plantes (annexe 24) pour l'interaction des deux facteurs (sol et plantes) a ressorti quatre groupes homogènes, dont le groupe A qui contient les fèves cultivées dans le sol non contaminé avec une moyenne de 2.250 g, le groupe B contient les fèves cultivées dans le sol contaminé avec une moyenne de 0.984 g, le groupe BC contient les pois cultivés dans le sol non contaminé avec une moyenne de 0.462 g et le groupe C contient les pois cultivés dans le sol contaminé avec une moyenne de 0.040 g. Cela signifie que les fèves cultivées dans les sols non contaminés ont une biomasse racinaire élevée suivies des fèves dans les sols contaminés, par contre les pois cultivés dans les sols contaminés ont la plus faible biomasse racinaire.

L'analyse en composante principale (ACP) sur les paramètres biométriques de *V. faba* et *P. sativum* (Figure N° 27 et 28) indique que les axes I et II expliquent 89 % d'information, l'axe I est bien expliqué par les variables biomasse aérienne, nombre de feuilles et élévation racinaire (Figure N°27).

La biomasse aérienne, biomasse racinaire, nombre de feuilles et l'élévation des racines sont tous corrélés entre eux ( $R = 0.68, 0.84, 0.73$  et  $0.65$  respectivement). La projection des individus (Figure N°28) a révélé que les individus de pois dans le sol contaminé et non contaminé présentent une faible croissance de tous les paramètres biométriques, tandis que les fèves dans le sol non contaminé ont une meilleure croissance avec une biomasse aérienne et racinaire plus importante ainsi qu'un nombre de feuilles plus important.

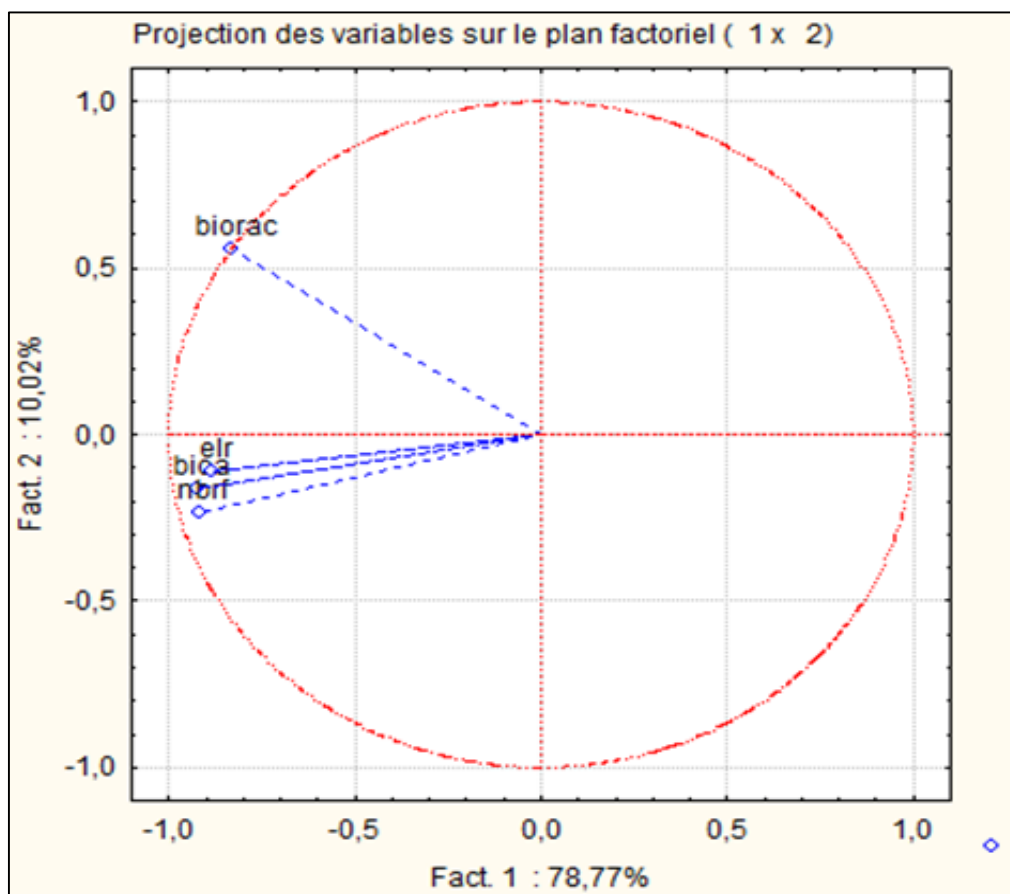


Figure N° 27: ACP des paramètres biométriques graphe des variables.

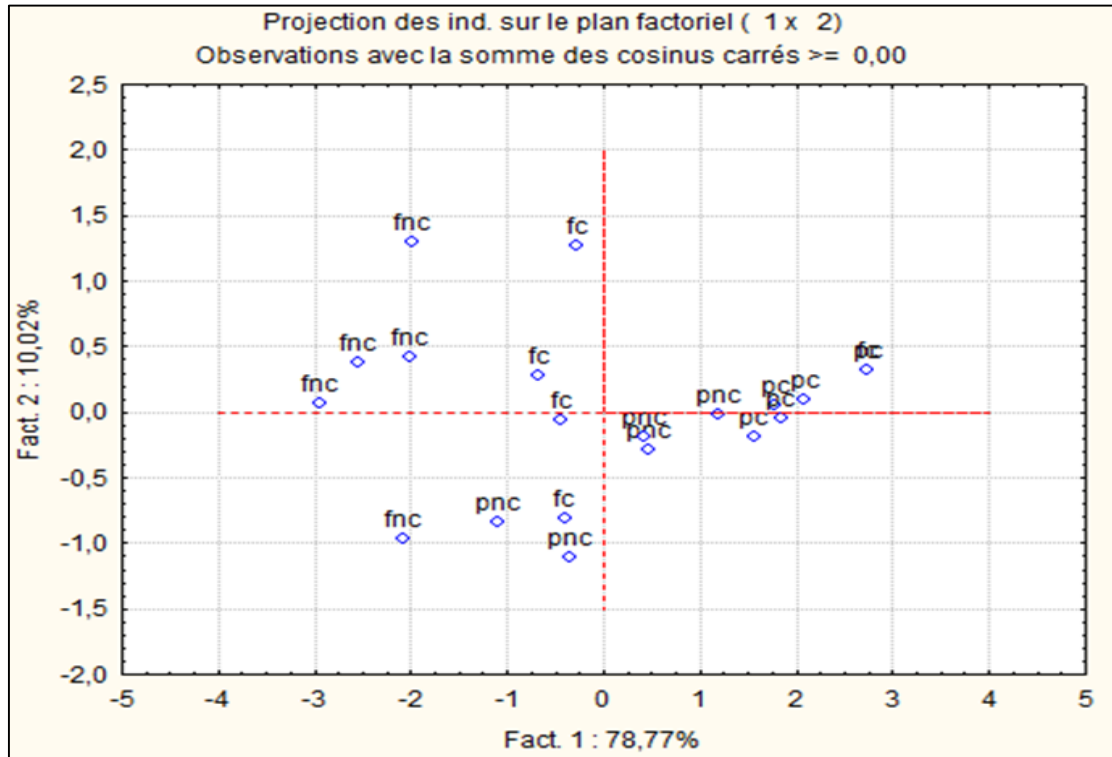


Figure N° 28: ACP des paramètres biométrique graphes des variables.

Corrélations (Feuille de données4)				
Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$				
N=20 (Observations à VM ignorées)				
Variable	bioa	biorac	nbrf	elr
bioa	1,00	0,68	0,84	0,73
biorac	0,68	1,00	0,65	0,65
nbrf	0,84	0,65	1,00	0,75
elr	0,73	0,65	0,75	1,00

Figure N° 29: Table de corrélation des variables des paramètres biométrique.

Nos résultats sont contradictoires avec ceux obtenue par Chibane (2013) sur la croissance de la tige, qui a constater une différence significative pour les deux facteurs sol et plantes. Cela est dû à la différence des variétés des espèces utilisé et leur réponse à la pollution par les hydrocarbures.

Nos résultats sur la longueur des racines sont similaires avec ceux obtenue par Chibane (2013), qui a constater que la présence des hydrocarbures inhibe la croissance des racines, qui est dû au contact directe des racines avec le sol pollué. Selon Norini, (2007) la diminution de la croissance

des racines peut être due aux propriétés hydrophobes des hydrocarbures qui peuvent limiter l'effet bénéfique de l'association plante-microorganismes, cela ne permet pas à la plante d'augmenter sa surface de contact avec son milieu de culture pour optimiser sa nutrition.

Nos résultats sur le nombre de feuilles sont similaires avec ceux obtenus par Chibane (2013), qui a constaté une forte diminution du nombre de feuilles dans les sols contaminés par le pétrole brut par rapport au témoin. Ce qui pourrait être expliqué par une carence en élément nutritif (Chaîneau et al., 1996)

Selon Chaîneau et al (1996), la présence des hydrocarbures dans le sol peut provoquer une diminution des teneurs en phosphore (P) et une augmentation du carbone organique total. La pollution par les hydrocarbures entraîne une faible infiltration de l'eau dans le sol, qui vont infecter le développement du système foliaire (Njoku et al., 2009).

Nos résultats sur la biomasse aérienne concordent avec ceux obtenus par Chibane (2013), Ammar et Nafil (2014) pour *V. faba* qui ont constaté que la biomasse aérienne des végétaux est affectée par la présence des HC dans le sol contaminé par rapport au sol témoin. Chaîneau et al(1997) montre que l'effet toxique des HC sur la biomasse aérienne s'exprime par un retard significatif de la croissance, cette diminution se traduit par la réduction du poids sec.

Nos résultats sur la biomasse racinaire se concordent avec ceux obtenus par Chibane (2013), Ammar et Nafil (2014), Salmi et Salmi (2017) et Saib et Tadjer (2017) qui ont constaté que la biomasse racinaires est affectée par la présence des hydrocarbures, cela est dû aux changements des caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol.

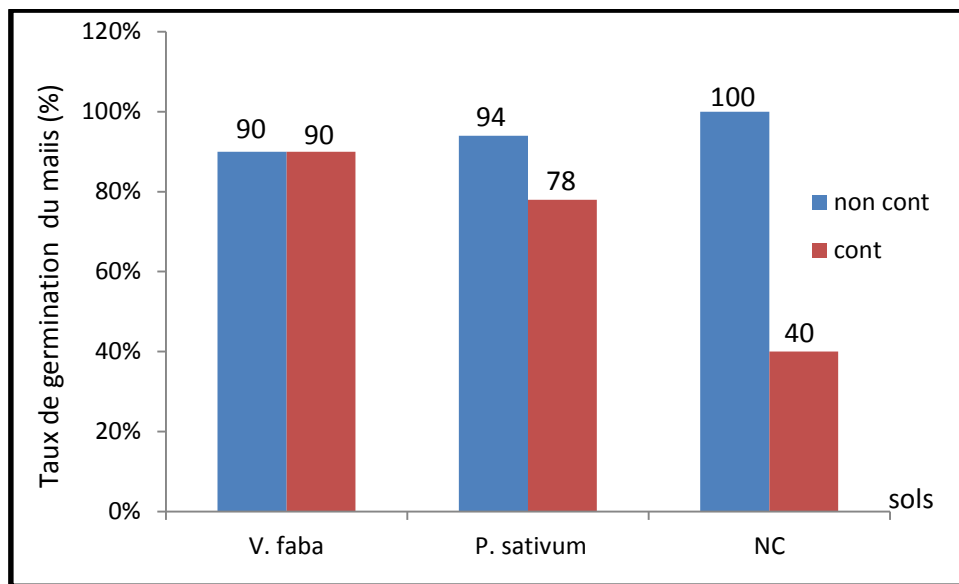
Selon Ait Tayeb et Titouche (2011) in Chibane (2013), la présence des hydrocarbures peuvent limiter l'évapotranspiration du sol et augmente sa rétention en eau, qui remplissant les pores du sol en eau à la place de l'air et provoque une asphyxie du végétale.

### **V. Evaluation de l'efficacité de la phytoremediation**

La figure 30 présente le taux de germination du maïs dans les sols traités par *V. faba* et *P. sativum* et les non cultivées (SNCNC et CNC).

D'après la figure N°30 nous constatons que le taux de germination du maïs dans le sol non contaminé non cultivé est de 100% par contre ce taux diminue jusqu'à 40% dans le sol contaminé non cultivé. Concernant le taux de germination du maïs dans les sols non contaminés cultivés par les fèves est de 90% par contre celui des sols cultivés par les pois est de 94%. Tandis que dans les sols contaminés cultivés par les fèves et les pois est de 90% et 78% respectivement.

Nous constatons que le taux de germination du maïs dans les sols cultivés par les fèves est le même dans le sol témoin et le contaminé qui est de 90%. Tandis que dans les sols cultivés par les pois ce taux diminue de 94% dans le sol témoin à 78% dans le sol contaminés.



**Figure N° 30 :** Taux de germination du maïs (%) dans les trois types de sols.

Le test de Mann Whitney de l'évaluation de l'efficacité de la Phytoremédiation après culture de *V. faba* et *P. sativum* (annexe 54) pour le facteur sol a révélé qu'il y a une différence non significative ( $p=0.074$ ). Cela signifie que le facteur sol n'a pas d'effet sur la germination du maïs.

Le test de Newman Keuls concernant le taux de germination du maïs dans le sol traité par *V. faba* et *P. sativum* (annexe 55) a révélé qu'il y a une différence non significative pour le facteur plantes et l'interaction des deux facteurs sol et plante ( $p=0.785$  et  $0.192$  respectivement).

Concernant le taux de germination du maïs dans les sols contaminé et non contaminé déjà traité par *V. faba* et *P. sativum* nous constatons que y a pas une différence significative, nous avons observé un taux de germination très élevé après traitement qui atteint 90%, cela peut être expliqué par la dégradation des hydrocarbures par les microorganismes des plantes ou l'utilisation des HC comme source d'énergie. Schnoor et *al.*, (2003) note que les plantes peuvent aussi absorber les contaminants pour les métaboliser ou encore réduire voir empêcher leur libération dans d'autre compartiment dans l'environnement.

On a constaté que le taux de germination du maïs dans les sols cultivés par les fèves est supérieur à celui du sol traité par les pois. Cela signifie que les fèves ont un grand potentiel phytoremediateur.

Le présent travail a porté sur une expérience de phytoremediation sur un sol pollué au laboratoire par un mélange d'essence et du gasoil 5% (V/P), en utilisant deux espèces de légumineuse à savoir *Vicia faba* et *Pisum sativum* dans le but de comparer la biodégradation des hydrocarbures dans les sols contaminés plantés et les sols non contaminés plantés, ainsi que l'évolution de certaines parties de *V. faba* et *P. sativum* à savoir les paramètres biométrique et le taux de germination. Etudier certaines propriétés physico-chimiques du sol rhizosphérique et les teneurs en composés phénoliques dans la rhizosphère acide et non acide. Comme il nous a permis de voir si la tolérance de ces plantes et en relation avec les teneurs en composés phénoliques.

Les résultats obtenus au cours de notre travail montrent que :

Pour le potentiel d'hydrogène des sols, a révélé que la contamination des sols par les hydrocarbures n'a pas d'effet sur le pH rhizosphérique, par contre les plantes *V. faba* et *P. sativum* jouent un rôle dans la régulation du pH rhizosphérique en le diminuant de 8 à 7. Ainsi une salinité moins importante dans les deux sols contaminés cultivés par *V. faba* et *P. sativum* et non contaminés cultivés par les mêmes espèces.

Concernant les teneurs moyennes en composés phénoliques dans la rhizosphère nous avons constaté que le solvant acide est le plus efficace que le non acide dans l'extraction des composés phénoliques. Tandis que les teneurs moyennes en PPT étaient observées dans la rhizosphère de *V. faba*, alors que les teneurs moyennes en FT sont plus élevées dans la rhizosphère de *P. sativum*.

Nous avons constaté que les teneurs moyennes en composés phénoliques varient d'une espèce à l'autre, ou *P. sativum* dans les sols contaminés et non contaminés présente les concentrations les plus élevées dans les parties aériennes, tandis que les *V. faba* dans le sol non contaminé présente les élevés en PPT dans le système racinaire, FT dans les parties aériennes et racinaires par contre les fèves dans le sol contaminé présentent des concentrations élevées en TH dans les parties aériennes et racinaires. Cette différence est due aux variations génétiques des espèces et leurs différences de répondre au stress.

Pendant la période de croissance les plantules ont montré des symptômes de toxicité qui se traduisent le changement de l'aspect morphologique des plantes : une diminution de la croissance « longueur des racines, nombre de feuilles, biomasse aérienne et racinaires » tandis que l'évolution de la tige n'est pas touchée par la contamination. Les pois dans le sol contaminé et non contaminé présentent une faible croissance des tous les paramètres biométriques à l'opposé des fèves dans le sol non contaminé qui ont une meilleure croissance.

Le test de germination du maïs a révélé que *V. faba* et *P. sativum* présente une résistance vis-à-vis la pollution par les hydrocarbures grâce à leur système racinaire étendu, une grande surface de pénétration dans le sol, ce qui leur permet de s'adapter au stress causé par les carburants.

Au regard de ces résultats, nous pouvons conclure que cet essai de phytoremediation a donné des résultats satisfaisants et que *V. faba* et *P. sativum* peuvent ainsi être utilisés comme un moyen biologique de décontamination des sites pollués par les carburants, les composés phénoliques sont de bons indicateurs du stress.

Au vu des résultats obtenus, plusieurs perspectives s'offrent à nous. Il est souhaitable de stériliser le sol avant culture. Des expériences sur l'analyse bactériologique de la rhizosphère pourraient apporter de nouveaux éléments de compréhension concernant les phénomènes impliqués dans la relation sol-microorganismes-plantes.

Il est souhaitable de mieux approfondir nos connaissances sur la problématique en question, en essayant de travailler sur le dosage de la proline et des sucres totaux.

Pour renforcer l'idée de remplacer les plantes alimentaires par des plantes ornementales, il est souhaitable de réaliser des essais de phytoremediation en utilisant d'autres espèces, comme il est préférable de réaliser sur le terrain.

## Liste de référence

- Ademe., 2010. Agence de l'environnement et maitrise de l'erg. pp : 14-15.
- Ali Ahmed S., 2010. Essai réhabilitation d'un sol contaminate par les Hydrocarbures à l'aide des tensioactifs obtenus par voie biologique. Mémoire de magistère d'état en science agronomique. U.M.M.T.O.98p.
- Ammar O., Nafil K., 2004. Effet les carburants (essence normale, essence super gasoil) sur la croissance de la fève (*vicia faba l*) et sur production des polyphenols. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. U.M.M.T.O.30p.
- Barriuso E., Calvet R., Schiron M., Soulas G., 1996. Les pesticides et les polluants organiques des sols. Étude de gestion des sols. Vol.3.N°4.pp : 279-296.
- Belkacem S., Rouas., 2012. Toxicité des hydrocarbures vis-à-vis des plantes *Vicia faba L.* et *Trifolium alexandrium L.* 'essai de la Phytoremédiation'. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. U.M.M.T.O.58p.
- Betencour E., 2012. Interaction entre céréale et légumineuse en association et acquisition de phosphore du sol .Thèse de doctorat , université science agronomique de Montpellier .p244.
- Bourkache R., Boussenu N., 2015. Essai de phytoremédation in-situ et ex-situ d'un sol pollué par les hydrocarbures cas des stations-services. Mémoire d'ingénieur d'état en biologie. U.M.M.T.O.38p
- Bruneton J., 1999. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. Techniques et Documentation. 3ème Ed. Lavoisier. Paris, 199-388.
- .- Bzozwska J., Hanower P., 1976. Sures composés phénoliques des végétaux et leur rapport avec un déficit hydrique chez des cotonniers. Annales de l'université de Abidjan, série C (science), tome XII. pp: 65-87.
- Calvet R., 2003. Propriété et fonction contribution et structure, phénomènes aux interfaces. Edt France agricole. Tome1. pp: 365-371.
- Çam M., Hisil Y., 2010. Pressurised water extraction of polyphenols from pomegranate peels. Food Chemistry. Vol. 126. 9p.
- Chaineau C.H., Moreal J., Oudot J., 1996. Land treatment of oil based drill cutting in an agricultural soil.J.Environmental. Qual. V25.pp:858-867.
- Chaineau C.H., Moreal J., Oudot J., 1997. Phytotoxicity and plant uptake of fuel oil hydrocarbon.J. Environ.qual.V 26. Pp: 1478-1438

- Chibane G., 2013. Caractérisation des hydrocarbures de sols dépolluent par la technique de phytoremédiation. Mémoire de magister. U.M.M.T.O.73p.
- Clement J-M., 2009. Analyse chimique des sols. Edition TEC et DOC,p39-13-387
- Colin F., 2000. Pollution localisé des sols et sous-sols par les hydrocarbures et les solvants chlorés. Edt Tec et Doc. Paris.417p.
- Colombano S., Saada Guerin V., Bataillard P., Bellenfant G., Beranger S., HubeD., Blanc C., Zoring C., Girardeau I., 2010 . Quelle technique pour quels traitements. Analyse couts-bénéfices. Rapport final du BRGM.PR-58609-FR.399p.
- Cronquist A., 1981. An integrated system of classification of following plants, Colombia University. Press New York.
- Daglia M., 2012. Polyphenols as antimicrobial agents. Current Opinion in biotechnology.vol.23. 174-181 p.
- Dali M., Idir O., 2018. L'activité enzymatique de sol. Mémoire d'état en biologie.U.M.M.T.O.41p.
- Dallili., Rouz H., Aichi H., Ben Hassine., 2017. Phenolic contentand potentiel of leaves and rhizosphere soil aqueous extracts of white horehound (*Maribum vulgare L.*). 2017. Vol 39(3). 2286 p.
- Dauchufour P, 2001. Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement.6ème édition de l'Abrégé de pédologie. 6eme édition. Ecoles d'ingénieurs. CAPES : Ed DUNOD,p 331 .11-69 p.
- Delimont N.M., Rosenkranz S.K., Haub M.D., Lindshield B.L., 2017. Salivary proline-rich protein may reduce tannin-iron chelation: a systematic narrative review
- Derbel S., Ghedira K. 2005. Les phyto-nutriments et leur impact sur la santé. Phytothérapie et nutrition. 1 : 28-34 p.
- Diab E.A., 2008. Phytoremediation of oil contaminated desert soil using the rhizosphere effects. Global journal of environmental rescerch.vol.2.N2.66-73 p.
- Di Baccio D., Galla G., Bracci T., 2011. Transcriptome analyses of populus euramericon clone I-214 leaves exposed to excess zinc-Tree physiology.vol .31.1293-1308 p.
- Diagne P.N., Talhi R., 1999. Pollution des sols agricoles par les hydrocarbures ; essai d'amélioration de la nutrition azotée de culture sensibles. Mémoire d'ingénieur d'état .INA.ELHARRACH. Alger.85p.
- Frenne J., Leprince P., Trembouze P., Favannec J.P., Edern Y., 1998. Le raffinage de pétrole. Pétrole brut –produit pétrolier-schéma de fabrication tom5 .technique . Fuel. Applied and Environmental Microbiology ; 66(10). 4205 – 4021.

- Gabet S. 2004. Remobilisation des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans les sols contaminés à l'aide d'un tensioactif d'origine biologique. Thèse de doctorat, Ecole Science, Technologie, Santé. Université de Limoges.175p.
- Guitoun L., Abbia S. 2013. Les methodes de traitement des sols pollués par les hydrocarbures pétroliers. memoire de Licence, Kasdi merbah -Ouargla . 40p.
- Hall J., Soole K., Bentham R. 2011. Hydrocarbon Phytoremediation in the Family *Fabacea* -A Review,. International Journal of Phytoremediation. Vol. 13.317–332.
- Heller W., Forkmann G.,1993.The flavonoides.Advances in research since 1986.In harborne JB.Secondary plant products. Encyclopedia of plant physiology.Edt.Chapman et Hall, London.UK. 399-425 p.
- Henner P. 2000. Phytoremediation appliquée au traitement de sols contaminés par des hydrocarbures aromatiques polycycliques. thèse de doctorat , Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaire Phytoremediation. Institut National Polytechnique, Lorraine. 192p.
- Huang W., Peng P., Yu Z., 2003. Effect of organic matter heterogeneity on sorption and desorption of organic contaminants by sols and sediment, Applied geochemistry.vol18.955-972.
- Inhwan K, Jihyun., 2017. Comparison of different extraction solvent and sonication times for characterization of antioxidant activity and polyphénol composition in mulberry (*Morus alba L.*).The koream society for applied biological chemistry.9p.Vol 5.509-5017.
- Kitamura R.S.A., Maranhão L.T., 2016. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons-contaminated soil using *Desmodium incanum* DC, Fabaceae. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*. Vol. 7 No. 1 p. 1-15.
- Koller E., 2004. Traitement des pollutions industrielles. Eau. Air. Déchets. Sols. Boues. Ed. Dunod Paris. Série environnement et sécurité. L'usine nouvelle.42p.
- Lannucci A., Fragasso M., Platani C., Papa R. 2013. Plant growth and phenolic compounds in the rhizosphere soil of wild oat (*AvenafatuaL.*). Université South Korea. Plant science. p7.
- Lecomte P, 1998.Les sites pollués, traitement des sols st des eaux souterraines. Edt lavoisier.TEC et DOC.75p.
- Lefebvre G., 1978. Chimie des hydrocarbures. Paris.13-14.
- Lemiere B., Seguin J., Le Guern., Guyonnet D., Baranger P., Darmendrail D., Conil P., 2001.Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes. Application dans un contexte d'évaluation détaillée des risques pour les ressources en eau. Rapport du BRGM/RP-50662-FR.103p.

- Li S., Zhu R., Zhong M., Zhon Y., hung K., Zhi X., Fu S., 2016. Effects of ultra sonic assistant extraction parameters on total flavones yield of selaginella and its antioxidant activity .Journal of medicinal plants research.Vol.4.N°17.PP:1743.1750.
- Lima G.P.P., Vianello F., Corr ea C.R., Da Silva Campos R.A., Borguini M.G., 2010.Polyphenols in fruits and vegetables and its effect on human health. Food and nutrition science. vol.5.pp:1065-1082.
- LIU Y., She XR., Huang JB., Liu MC., Zahn ME., 2017. Ultrasonic-extraction of phenolic compounds from *Phyllanthus urinaria*: optimization model and antioxidant activity. School of food and pharmaceutical engineering, zhaoqing.Universite Zhaoqing, Guangdong, P.R. China. 8p.
- Makoi J.H.J.R. , Ndakidemi P.A., 2007. Biological and agronomic significance of plant phenolic compounds in rhizosphere of the symbiotic legumes. African journal of Biotechnology.6 (12).1358-1368.
- Marchalava M., Moula S., 2011. Toxicité des hydrocarbures vis- -vis deux plantes (*Zeamays* et *Sorghum bicolor L.*) et du sol «essai de phytoremédation ». Mémoire d'ingénieur d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 88p.
- Mathieu C., Pieltain F., 2003. Analyse chimique des sols méthodes choisies. Editions Tec et Doc/Lavoisier, Paris, 408 p.
- Mojzer E.B., Hrcic M.K., Skerget M., Knez., Bren U., 2010. Polyphenols : Extraction Methods, Antioxydative Action, Bioavailabilit  and Anticarcinogenic Effects.Molecules.vol.21.N 901.1-38.
- Murr y R.D.H., Dendez., Brown S.A.,1982. The Natural Coumarins Occurrence Chemistry and Biochemistry .Ed.Chichester John Wiley and sons,UK.New York.England.p702.
- Morris K., Mackernes M.S.H., Page T., 2000. Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence .The plant journal .Vol.23. 677-685.
- Musilova Lu., Ridi J., Polivkova., Macek T., Uhlik O., 2016. Effects of secondary Plant metabolites on microbial populations: Changes in community structure and metabolic activity in contaminated environments.Journal of molecular sciences. 31p.
- Njoku K.L., Akinola M.O., Oboh B.O.,2009. Phytoremédiation of crude oil contaminated soil: the effect of growth of glycine max on the physico-chemistry and crude oil contents of soil. Department of Cell Biology and Genetics, University of Lagos, Akoka Lagos, Nigeria.
- Noori M., Askari M., Beigi F., 2012. *Robinia peseudoacacia L.* Flavonoids in defence of plant against soil crude oil pollution. Department of Biology, Arak University, Arak, 38156-8-8349, Iran. International Journal of Ecosystem 2012; 2(1): 1-5.
- Norini M. 2007., Ecodynamiques des hydrocarbures aromatique polycyclique et des communautés microbiennes dans des sols   pollution mixte (HAP, métaux) avant et après

traitement par biopile et par désorption thermique : Influence de la rhizosphère et de la mycorization. Thèse du doctorat. Université Henri, Poincaré, Nancy I. 243p.

- Pavel L.V., Gavrilesco M., 2008. Overview of ex-situ decontamination technique for soil Cleanp. Environmental engineering and management journal. Vol.7.N°6. 815-834.

- Pilon-Smith E., 2005. Phytoremédiation. Annual Review of Plant Biology. Vol.56.pp:15-39.

- Pimse P., 2014. Etude compartiment des hydrocarbures aliphatiques polycyclique (HAPs) lors de déversement accidentel des hydrocarbures en eaux continentales. Thèse du doctorat. Université de Toulouse. 175p.

- Ramade F., 1992. Précis d'écotoxicologie. Ed. Masson. Paris. 1-9

- Requerol T., Amir H., Amir A., 1987. Effet de l'épandage de résidus pétroliers des raffineries sur l'évolution de matière organique. L'activité de la densité microbienne d'un sol agricole. Revue d'écologie et biologie de sol. Vol 24.N°2. 137-156.

- Riberau G., 1968. Les composés phénoliques des végétaux, édition DUNOD, Paris, 254p.

- Richter G., 1993. Métabolismes des végétaux. Physiologie et Biochimie. Edt presse polytechnique et universitaire. 526p.

- Riviere J-L., 1998. Les sites pollués : Traitement des sols et des eaux souterraines. Edt Lavoisier Tec et Doc, Paris. 204p.

- Saib Z., Tadjer M., 2017. Effet de la pollution par les hydrocarbures sur quelques paramètres Biométriques et polyphénoliques de *Pisum sativum* et évaluation de son efficacité sur la décontamination de sol. Mémoire de master. U.M.M.T.O. 36p.

- Salmi S., Salmi F., 2017. Contribution à l'étude de l'efficacité de deux variétés de *Chlorophytum comosum* et *Vicia faba* dans la décontamination de sol artificiellement pollué et l'influence de la pollution aux hydrocarbures sur leurs phénoliques. Mémoire d'état en Biologie. U.M.M.T.O. 43p.

- Salt D., Blaylock M., Kumar N., Dushnikov V., Ensley B., Chet I., Raskin I. 1998. Phytoremédiation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. University Rutgers. 469-474.

- Schnoor J-L., Mccutcheon S-C., 2003. Phytoremédiation-transformation and control of contaminants. Dans wiley-interscience, Inc, NJ. USA. 987p.

- Sikandar A., quiraat A., Komal M., 2013. Phytoremédiation: An Analytical Technique for the Assessment of Biodégradation of Organic Xenobiotic Pollutant: A review. International Journal of Science and Research (IJSR). Vol.4. Issu.2. pp:2250-2253.

- Singleton V.L., Roussi J.R., 1965. Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic phosphothungstic acid. American journal of ecology and viticulture. Vol N°16. 144-158.

- Soltani M., 2004. Distribution lipidique et voie métabolique chez quatre Bactéries Gram-négatives hydrocarbonoclastes.Variation en fonction du sucre de carbone. Thèse de doctorat. Université de Paris 6.284p.
- Tsao R., 2010. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. Nutrients. Vol.2.pp:1231-1246
- Weyens N., Lelie D.V., Taghavi S., Newman., Vangronsveld J., 2009. Exploitation plant-microbe partnerships to improve biomass production and remediation. Vol. 27. 91-598.
- Wilson S.R., Jones K.C. 1993. Bioremediation of Soil Contaminated with Polynuclear aromatic hydrocarbure: A review –Environmental Pollution.Vol.81.pp: 229-249.
- Zhang CG., Leung KK., Wong YS ., Tam N. 2007. Germination, growth and physiological responses of man-grove plant (*Bruguiera gymnorrhiza*) to lubricating oil pollution, Journal of Environmental and Experimental Botany, 60: 127-136.













## **Annexe 1 : Dosage des PPT**

### **1-Préparation de la solution de carbonate de sodium $\text{Na}_2\text{CO}_3$ à 7.5% :**

-dissoudre 7.5 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dans un volume de 100 ml d'eau distillée

-Préparation de la solution de l'éthanol 70% :

70 ml de l'éthanol ajusté jusqu'à 100 ml avec l'eau distillée.

-Préparation de la solution de FC (1/10) :

2.5 ml de FC dans 25 ml d'eau distillée.

### **2- Préparation de la solution mère d'acide gallique d'une concentration 0.5 mg/ml :**

Une quantité de 10 mg de l'acide gallique a été dissous dans 20 ml d'eau distillée.

Les concentrations filles : 140, 100, 80, 40, 20.

#### **Dilution à partir de la solution mère**

Pour avoir des solutions dilués à partir de la solution mère, appliquer l'équation  $C_1V_1=C_2V_2$

$C_1$  : concentration de la solution mère

$C_2$  : concentration de la solution diluée que l'on veut préparer.

$V_1$  : Volume inconnu de la solution mère qu'il faut prélever et ajuster avec l'eau distillée pour avoir un volume final de 140  $\mu\text{l}$ .

$V_2$  : Volume connu de la solution diluée.

## **Annexe 2 : Dosage des TH :**

### **1-Préparation des solutions :**

-Préparation de solution  $\text{KIO}_3$  à 2.5 %

Dissoudre 2.5 g de  $\text{KIO}_3$  dans 100 ml d'eau distillée

### **2-Préparation de solution mère de l'acide tannique d'une concentration 4mg/ml**

Une quantité de 60 mg de l'acide tannique est dissoute dans 20 ml d'eau distillée

Les concentrations filles 0,0.4.0, 6.0, 8.0.1.1.1, 5.2.4.

Dilution à partir la solution mère :

Pour avoir des solutions dilués à partir de la solution mère, appliquer l'équation  $C_1V_1=C_2V_2$

$C_1$  : concentration de la solution mère

$C_2$  : concentration de la solution diluée que l'on veut préparer.

$V_1$  : Volume inconnu de la solution mère qu'il faut prélever et ajuster avec l'eau distillée pour avoir un volume final de 100  $\mu\text{l}$ .

V2 : Volume connu de la solution diluée.

### **Annexe 3: Dosage de FT**

#### **1-Préparation des solutions :**

-Préparation de solution de NaNO<sub>2</sub> (1/10) :

Dissoudre 1g de NaNO<sub>2</sub> dans 20 ml d'eau distillée.

-Préparation de solution de chlorure d'aluminium ALCL<sub>3</sub> (1/10) :

Dissoudre 1g d'ALCL<sub>3</sub> dans 10 ml d'eau distillée.

-Préparation de solution NaOH 1 M :

Dissoudre 4g de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

#### **2-Préparation de solution mère de la rutine d'une concentration 1 mg/ml.**

Une quantité de 10 mg de la rutine est dissoute dans 10 ml d'eau distillée.

Les concentrations filles : 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.

C1 : concentration de la solution mère

C2 : concentration de la solution diluée que l'on veut préparer.

V1 : Volume inconnu de la solution mère qu'il faut prélever et ajuster avec l'eau distillée pour avoir un volume final de 100 µl.

V2 : Volume connu de la solution dilution.

### **Annexe 4 : Test de Mann Whitney du pH du sol après Phytoremédiation pour le facteur sol.**

```
> wilcox.test(ph~sol)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  ph by sol
W = 77.5, p-value = 0.2525
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

### **Annexe 5 : Test de Kruskal Wallis de ph du sol après Phytoremédiation pour les facteurs plantes et l'interaction des deux.**

```
> kruskal.test(ph~esp)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  ph by esp
Kruskal-Wallis chi-squared = 7.4386, df = 2, p-value = 0.02425
```

```

> kruskal.test(ph~inter)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  ph by inter
Kruskal-Wallis chi-squared = 16.7101, df = 5, p-value = 0.005084

```

**Annexe 6** : Test de Newman Keuls de ph du sol après traitement pour le facteur plante.

```

$groups
      ph groups
rien 8.05      a
p     7.51      b
f     7.44      b

attr(,"class")
[1] "group"

```

**Annexe 7** : Test de Kruskal Wallis de ph du sol après traitement pour l'interaction des facteurs.

```

$groups
      ph groups
rnc 8.10      a
rc  8.00      a
fc  7.54      b
pnc 7.54      b
pc  7.48      b
fnc 7.34      c

attr(,"class")
[1] "group"

```

**Annexe 8** : Analyse de la variance de la conductivité électrique du sol après traitement.

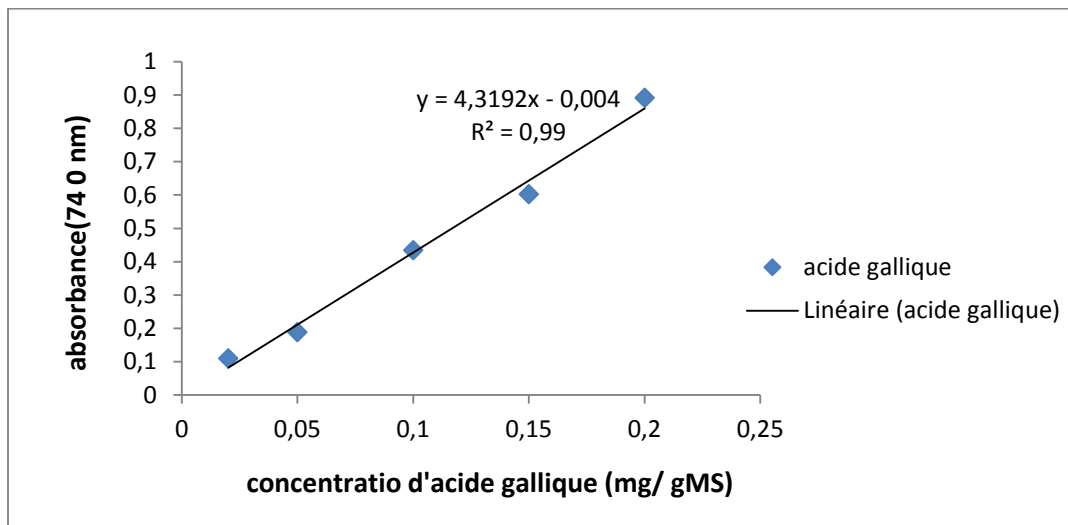
```

> mod.int=lm(cond~sol*esp*iter)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: cond
      Df    Sum Sq   Mean Sq F value Pr(>F)
sol     1 4.000e-07 4.0000e-07  0.0063 0.9405
esp     2 1.015e-05 5.0750e-06  0.0801 0.9245
iter    2 2.350e-06 1.1750e-06  0.0185 0.9817
Residuals 4 2.535e-04 6.3375e-05

```

### Annexe 9: Courbe étalonnage d'acide gallique.



### Annexe 10 : Analyse de variance de la teneur moyenne en PPT dans l'extrait non acide de la rhizosphère

```
> mod.int=lm(PPTna~sol.2*esp.2*int.2)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: PPTna
      Df    Sum Sq   Mean Sq F value Pr(>F)
sol.2   1 0.00000013 1.2500e-07  0.0011 0.9756
esp.2   1 0.00025312 2.5312e-04  2.1474 0.2167
int.2   1 0.00007812 7.8125e-05  0.6628 0.4613
Residuals 4 0.00047150 1.1788e-04
```

### Annexe 11 : Test de Mann Whitney de la teneur moyenne en PPT dans la rhizosphère acide.

```
> wilcox.test(PPTac~esp.3)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  PPTac by esp.3
W = 10.5, p-value = 0.5614
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(PPTac~esp.3)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  PPTac by esp.3
W = 10.5, p-value = 0.5614
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 12 :** Test de Kruskal Wallis de la teneur moyenne en PPT dans la rhizosphère acide de l'interaction des deux facteurs.

```
> kruskal.test(PPTac~int.3)

      Kruskal-Wallis rank sum test

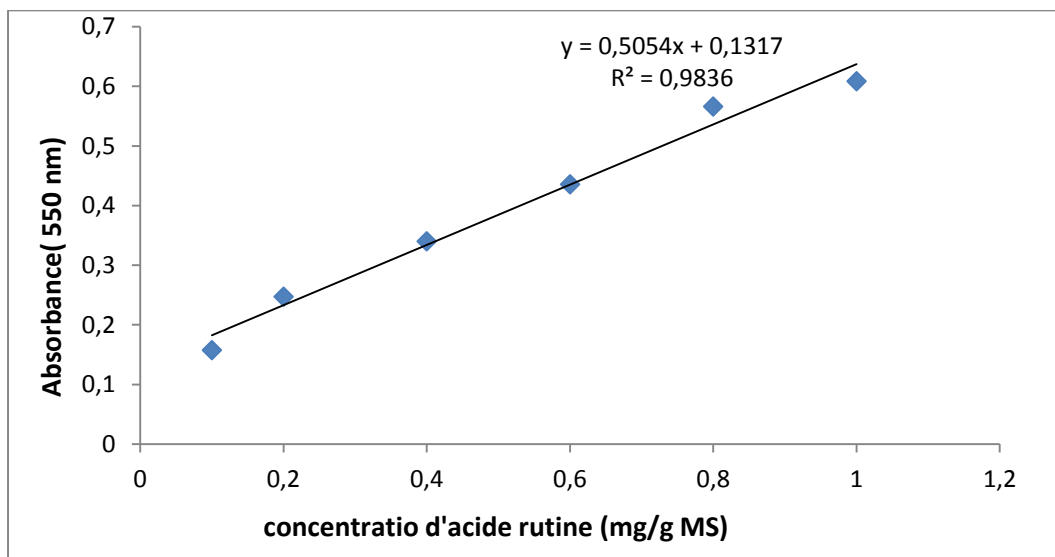
data:  PPTac by int.3
Kruskal-Wallis chi-squared = 5.6084, df = 3, p-value = 0.1323
```

**Annexe 13 :** Test de Newman Keuls de la teneur moyenne en PPT dans la rhizosphère

```
$groups
      PPTac groups
c 0.04650      a
nc 0.02725     b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 14:** Courbe d'étalonnage de la rutine.



**Annexe 15 :** Test de Mann Whitney de la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère non acide

```
> wilcox.test(FTnc~sol.2)

      Wilcoxon rank sum test

data:  FTnc by sol.2
W = 12, p-value = 0.3429
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(FTnc~esp.2)

      Wilcoxon rank sum test

data:  FTnc by esp.2
W = 15, p-value = 0.05714
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 16** : Test de Kruskal Wallis de la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère non acide

```
> kruskal.test(FTnc~int.2)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  FTnc by int.2
Kruskal-Wallis chi-squared = 5.5, df = 3, p-value = 0.1386
```

**Annexe 17** : Test de Mann Whitney de la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère acide.

```
> wilcox.test(Ftac~sol.3)

      Wilcoxon rank sum test

data:  Ftac by sol.3
W = 16, p-value = 0.02857
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(Ftac~sol.3)

      Wilcoxon rank sum test

data:  Ftac by sol.3
W = 16, p-value = 0.02857
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 18** : Test de Kruskal Wallis concernant la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère acide

```
> kruskal.test(Ftac~int.3)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  Ftac by int.3
Kruskal-Wallis chi-squared = 6, df = 3, p-value = 0.1116
```

**Annexe 19** : Test de Newman Keuls de la teneur moyenne en FT dans la rhizosphère acide pour le facteur sol.

```
$groups
      Ftac groups
c  1.2415      a
nc 0.5915      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 20**: table de contribution

Variable	Contributions des var., basées sur les corrélations (Feuille w.sta)						
	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7
ftaer	0,242984	0,048127	0,004207	0,001427	0,073711	0,000124	0,629420
frac	0,200422	0,111866	0,004105	0,024544	0,083098	0,499449	0,076515
thaer	0,106021	0,108823	0,387649	0,176895	0,148517	0,069198	0,002898
thrac	0,012292	0,329604	0,380254	0,043839	0,014546	0,212651	0,006815
pptaer	0,158001	0,096391	0,205548	0,000319	0,521593	0,015874	0,002274
pptrac	0,153816	0,052210	0,017543	0,709338	0,000177	0,044527	0,022390
fac	0,126464	0,252980	0,000696	0,043638	0,158358	0,158177	0,259687

**Annexe 21**: Test de Mann Whitney de la teneur moyenne en PPT dans les parties aériennes de deux espèces

```
> wilcox.test(PPTae~sol)

      Wilcoxon rank sum test

data:  PPTae by sol
W = 12, p-value = 0.3429
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(PPTae~esp)

      Wilcoxon rank sum test

data:  PPTae by esp
W = 2, p-value = 0.1143
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 22** : Test de Kruskal Wallis de la teneur moyenne en PPT dans les parties aériennes de deux espèces.

```
> kruskal.test(PPTae~int)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  PPTae by int
Kruskal-Wallis chi-squared = 4.6667, df = 3, p-value = 0.1979
```

**Annexe 23** : Analyse de la variance pour la teneur moyenne en PPT dans les parties racinaires de deux espèces.

```
> mod.int=lm(PPTrac~sol.1*esp.1)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: PPTrac
      Df    Sum Sq   Mean Sq F value    Pr(>F)
sol.1    1  0.0014045  0.0014045    7.6435  0.050605 .
esp.1    1  0.0089780  0.0089780   48.8599  0.002204 **
sol.1:esp.1  1  0.0003125  0.0003125    1.7007  0.262180
Residuals  4  0.0007350  0.0001837
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 24** : Test de Newman Keuls de la teneur moyenne en PPT dans les parties racinaires de deux espèces.

```
$groups
  PPTrac groups
f 0.141      a
p 0.074      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 25** : Analyse de la variance de la teneur moyenne en FT dans les parties aériennes de deux espèces.

```
> mod.int=lm(Ftaer~sol*esp*int)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: Ftaer
      Df    Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol     1  4.1285  4.1285  26.861  0.0065937 **
esp     1 12.9617 12.9617  84.332  0.0007809 ***
int     1  1.1168  1.1168   7.266  0.0543446 .
Residuals  4  0.6148  0.1537
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 26** : Test de Newman Keuls de la teneur moyenne en FT dans les parties aérienne de deux espèces pour le facteur sol.

```
$groups
  Ftaer groups
nc 2.86650    a
c  1.42975    b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 27** : Test de Newman Keuls de la teneur moyenne en FT dans les parties aériennes de deux espèces pour le facteur plante

```
$groups
  Ftaer groups
f 3.42100      a
p 0.87525      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 28**: Analyse de la variance de la teneur moyenne en FT dans les parties racinaires de deux espèces.

```
> mod.int=lm(Ftrac~sol.1*esp.1*int.1)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

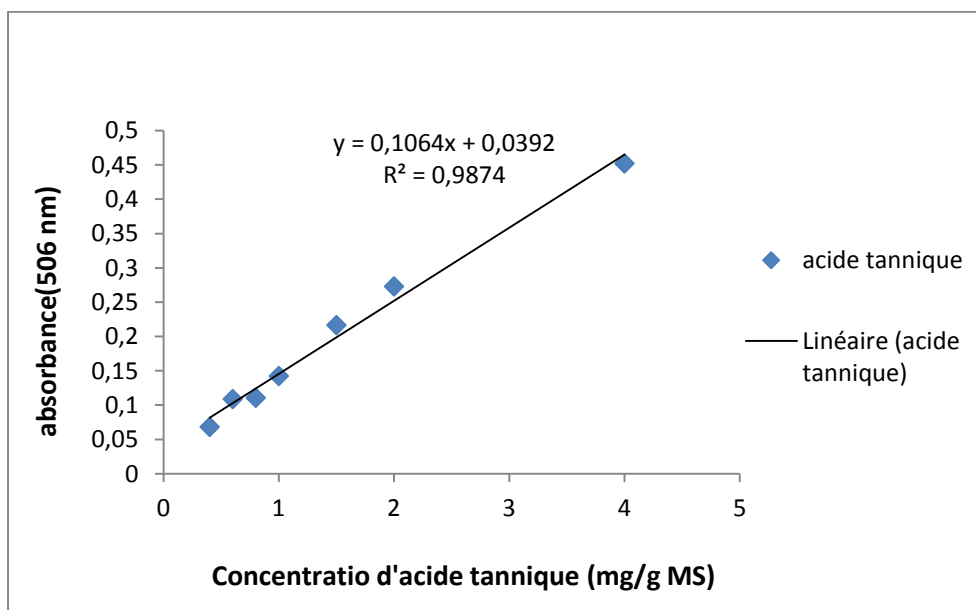
Response: Ftrac
      Df  Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol.1   1  0.001624  0.001624   0.1728 0.699001
esp.1   1  0.291848  0.291848  31.0369 0.005087 **
int.1   1  0.056784  0.056784   6.0388 0.069887 .
Residuals 4  0.037613  0.009403
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 29** : Test de Newman Keuls la teneur moyenne en FT dans les parties racinaires des de deux espèces pour le facteur plante.

```
$groups
  Ftrac groups
f 0.977      a
p 0.595      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 30** : Courbe d'étalonnage de l'acide tannique.



**Annexe 31** : Analyse de la variance de la teneur moyenne en TH moyenne dans les parties aérienne de deux espèces.

```
> mod.int=lm(Thaer~sol*esp*int)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: Thaer
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
sol    1  0.0006   0.0006  0.0008 0.97852
esp    1  6.1618   6.1618  9.0143 0.03985 *
int    1  3.6006   3.6006  5.2674 0.08339 .
Residuals 4  2.7342   0.6836
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 32** : Test de Newman Keuls de la teneur moyenne en TH dans les parties aérienne de deux espèces.

```
$groups
      Ftac groups
c  1.2415      a
nc 0.5915      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 33** : Test de Mann Whitney de la teneur moyenne en TH dans les parties racinaires de deux espèces.

```
> wilcox.test(Thrac~sol.1)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  Thrac by sol.1
W = 7, p-value = 0.8845
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(Thrac~esp.1)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  Thrac by esp.1
W = 13, p-value = 0.1913
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 34 :** Test de Kruskal Wallis de la teneur moyenne en TH dans les parties racinaires de deux espèces.

```
> kruskal.test(Thrac~int.1)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  Thrac by int.1
Kruskal-Wallis chi-squared = 5.2289, df = 3, p-value = 0.1558
```

**Annexe 35:** Analyse de la variance de la germination de deux espèces.

```
> mod.int=lm(germesp~sol*esp*inter)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: germesp
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol     1  26.45   26.450  11.8876 0.003309 **
esp     1   2.45    2.450   1.1011 0.309612
inter   1   0.05    0.050   0.0225 0.882712
Residuals 16  35.60    2.225
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 36 :** Test de Newman Keuls pour la germination des espèces pour le facteur sol.

```
$groups
  germesp groups
nc     4.0     a
c     1.7     b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 37:** Test de Mann Whitney de l'élongation de la tige de deux espèces.

```
> wilcox.test(tige~esp)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  tige by esp
W = 216, p-value = 0.5461
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(tige~sol)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  tige by sol
W = 181, p-value = 0.1521
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 38:** Test de Kruskal Wallis de l'élongation de la tige de deux espèces.

```
> kruskal.test(tige~inter)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  tige by inter
Kruskal-Wallis chi-squared = 2.6451, df = 3, p-value = 0.4496
```

**Annexe 39:** Analyse de la variance pour l'élongation racinaire de deux espèces.

```
> mod.int=lm(elngravac~sol.3*esp.3)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: elngravac
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol.3      1  540.8   540.80   4.7603 0.04438 *
esp.3      1  768.8   768.80   6.7672 0.01929 *
sol.3:esp.3 1   16.2    16.20   0.1426 0.71067
Residuals 16 1817.7   113.61
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 40 :** Test de Newman Keuls de l'élongation racinaire de deux espèces pour facteur sol

```
$groups
  elngravac groups
nc    31.7      a
c     21.3      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 41:** Test de Newman Keuls de la croissance racinaire deux espèces pour facteur plante.

```
$groups
  elngravac groups
f     32.7      a
p     20.3      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 42:** Analyse de la variance denombre des feuilles de deux espèces

```
> mod.int=lm(nbrf~sol*esp*inter)
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: nbrf
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol     1 12650.4 12650.4 27.4205 8.149e-05 ***
esp     1  4712.5  4712.5 10.2145 0.005625 **
inter   1   110.5   110.5  0.2394 0.631275
Residuals 16  7381.6   461.3
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 43:** Test de Newman Keuls pour le nombre des feuilles de deux espèces pour le facteur sol

```
$groups
  nbrf groups
nc 73.7     a
c  23.4     b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 44:** Test de Newman Keuls pour le nombre des feuilles deux espèces pour le facteur plante

```
$groups
  nbrf groups
f 63.9     a
p 33.2     b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 45:** Analyse de la variance de la biomasse aérienne de deux espèces.

```
> anova(mod.int)
Analysis of Variance Table

Response: bioaer
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
sol     1  6.3506   6.3506 31.5270 3.874e-05 ***
esp     1  4.4651   4.4651 22.1666 0.0002369 ***
inter   1  0.1901   0.1901  0.9439 0.3457480
Residuals 16  3.2230   0.2014
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

**Annexe 46** : Test de Newman Keuls de la biomasse aérienne de deux espèces pour le facteur sol

```
$groups
  bioaer groups
nc 1.540      a
c  0.413      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 47**: Test de Newman Keuls de la biomasse aérienne de deux espèces pour le facteur plante

```
$groups
  bioaer groups
f  1.449      a
p  0.504      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe48** : Test de Mann Whitney de la biomasse racinaire des deux espèces.

```
> wilcox.test(biorac~sol)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  biorac by sol
W = 19, p-value = 0.02017
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
> wilcox.test(biorac~esp)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  biorac by esp
W = 89, p-value = 0.003363
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 49** : Test de Kruskal Wallis de la biomasse racinaire dedeux espèces.

```
> kruskal.test(biorac~inter)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  biorac by inter
Kruskal-Wallis chi-squared = 14.4052, df = 3, p-value = 0.002402
```

**Annexe 50 :** Test de Newman Keuls de la biomasse racinairede deux espèces pour facteur sol

```
$groups
  biorac groups
nc  1.356      a
c   0.512      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 51:**Test de Newman Keuls de la biomasse racinairesde deux espèces Pour facteur plante.

```
$groups
  biorac groups
f  1.617      a
p  0.251      b

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 52:** Test de Newman Keuls de la biomasse racinairede deux espèces pour l'interaction des deux facteurs.

```
$groups
  biorac groups
fnc  2.250      a
fc   0.984      b
pnc  0.462      bc
pc   0.040      c

attr(,"class")
[1] "group"
```

**Annexe 53:** Table de contribution

Variable	Contributions des var., basées sur les con			
	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4
bioa	0,268739	0,064116	0,169698	0,497447
biorac	0,218857	0,766200	0,008160	0,006783
nbrf	0,265536	0,140237	0,103143	0,491084
elr	0,246868	0,029447	0,718999	0,004686

**Annexe 54 :** Test de Mann Whitney pour le taux de germination du maïs dans le sol contaminée et témoin après traitement.

```
> wilcox.test(germ~sol)

      Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  germ by sol
W = 34, p-value = 0.07425
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Annexe 55** : Le test de Newman Keuls pour le taux de germination du maïs dans le sol contaminée et témoin déjà cultivée par *V.faba* et *P.sativum*.

```
> kruskal.test(germ~esp)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  germ by esp
Kruskal-Wallis chi-squared = 0.4822, df = 2, p-value = 0.7858
```

```
> kruskal.test(germ~int)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  germ by int
Kruskal-Wallis chi-squared = 7.407, df = 5, p-value = 0.1921
```

## Résumé

Le présent travail a pour objectifs, d'une part d'évaluer l'influence d'une pollution artificiel du sol par les hydrocarbures (mélange d'essence et de gasoil à 5%) sur les paramètres biométrique (croissance des tiges, nombre de feuilles, longueur des racines, biomasse aérienne et racinaires) et polyphénolique (les teneurs moyennes en polyphénols totaux (PPT), les flavonoïdes (FT) ainsi les tanins hydrolysables (TH)) dans les systèmes aérienne et racinaires ainsi la rhizosphère de *Vicia faba* et *Pisum sativum*, d'autre part évaluer l'efficacité de ces deux espèces dans la décontamination du sol. Afin d'optimiser l'extraction des polyphénols dans le sol rhizosphérique des deux espèces, nous avons comparé l'efficacité du solvant acidifié au solvant non acidifié.

Les résultats obtenus ont montrés que le solvant acide est plus efficace dans l'extraction des composés phénoliques dans la rhizosphère des deux espèces, où les teneurs moyennes en PPT sont plus importantes dans la rhizosphère de *V. faba*, alors que dans la rhizosphère de *P. sativum* les teneurs moyennes en FT sont les plus élevé. Dans les systèmes aériens et racinaires nous avons constaté des variations d'une espèce à l'autre où *V. faba* dans le sol non contaminé a les teneurs moyennes les plus élevé en PPT dans le système aérienne, les FT dans les systèmes aériens et racinaires ainsi TH dans les parties aérienne alors que dans le sol contaminé, ont des teneurs plus élevé en TH dans les parties racinaires. Concernant les pois dans le sol contaminé et non contaminé ont les teneurs les plus élevé en PPT dans le système aérienne. Les analyses des paramètres biométriques ont montré une faible croissance des deux espèces en présence des hydrocarbures, excepté la croissance des tiges qui montre une croissance hebdomadaire. Le teste de germination du maïs a révélé que *V. faba* et *P. sativum* ont un bon potentiel phytoremediateur.

**Les mots clé :** *Vicia faba*, *Pisum sativum*, essence super, gasoil, polyphenols totaux, flavonoïdes totaux, tanins hydrolysables, rhizosphère, solvant acide, solvant non acide.

## Abstract

The objectives of this paper are, firstly, to evaluate the influence of artificial soil pollution by hydrocarbons (gasoline and 5% gas oil mixture) on biometric parameters (growth of stems, number of leaves, root length, above-ground and root biomass) and polyphenolic (average total polyphenol (PPT), flavonoid (FT) and hydrolysable tannin (TH) contents in root and aerial systems and the rhizosphere of *Vicia faba* and *Pisum sativum*, on the other hand evaluate the effectiveness of these two species in soil decontamination. In order to optimize the extraction of polyphenols from the rhizosphere soil of both species, we compared the efficiency of the acidified solvent with the non-acidified solvent.

The results obtained showed that the acidic solvent is more efficient in the extraction of phenolic compounds in the rhizosphere of the two species, where the average contents of PPT are greater in the rhizosphere of *V. faba*, whereas in the rhizosphere of *P. sativum* the average FT levels are the highest. In the aerial and root systems we observed species-to-species variation where *V. faba* in the uncontaminated soil has the highest average levels of TPP in the air system, FT in the aerial and root systems thus TH in the aerial parts whereas in the contaminated soil, have higher levels of TH in the root parts. Regarding peas in contaminated and uncontaminated soil have the highest levels of PPT in the air system. Analyzes of the biometrics parameters showed a weak growth of the two species in the presence of the hydrocarbons, except the growth of the stems which shows a weekly growth. The corn germination test revealed that *V. faba* and *P. sativum* has good phytoremedial potential.

**Key words:** *Vicia faba*, *Pisum sativum*, super gasoline, gas oil, total polyphenols, total flavonoids, hydrolysable tannins, rhizosphere, acidic solvent, non-acidic solvent.