



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE de TLEMCEM  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

## Département d'écologie et environnement

Intitulé du Laboratoire de recherche : N°13 Ecologie et gestion des écosystèmes naturels

# MEMOIRE

Présenté par :

**M<sup>me</sup> Zair Asma**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de MASTER**

En Ecologie

## Thème

**Valorisation des sous produits de l'olive à travers le**

**Compostage et la commercialisation de ses déchets**

**Solides : Cas du grignon**

Soutenu le /06/2023, devant le jury composé de :

<b><u>Président</u></b>	<b>M. Aboura Reda</b>	<b>Pr</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
<b><u>Encadrant</u></b>	<b>M.Bendi-Djelloul Bahae-Ddine..Pr</b>		<b>Université de Tlemcen</b>
<b><u>Examinatrice</u></b>	<b>M. Meziane Hassiba</b>	<b>Pr</b>	<b>Université de Tlemcen</b>
<b><u>Représentent de centre ize</u></b>	<b>M.baraka fatiha</b>	<b>pr</b>	<b>Université de Tlemcen</b>

Année universitaire 2022-2023

# Remerciement :

Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, et courage tout au long de ce travail et la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je remercie mon encadreur le professeur M.Bendi-Djelloul Bahae-Ddine pour avoir accepté de me diriger patiemment, je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée. Et pour sa disponibilité, sa patience, et sa gentillesse durant mon travail .

Mes plus vifs remerciements vont aux membres du jury pr. Aboura Réda et pr Meziane Hassiba qui ont accepté de lire et juger mon travail à la lumière de leur compétence notable dans ce domaine.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont travaillé, participé et aidé, de près ou de loin, à ma réussite Cette mémoire

# Dédicace :

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail.

A ma chère mère qui me donne toujours espoir et force dans la vie et qui ne cesse de prier pour moi

À mon cher père pour ses encouragements, son soutien, son amour et ses sacrifices afin de terminer mes études et d'atteindre ce que je suis maintenant

. Je suis très heureux d'avoir pu réaliser leur rêve et les rendre heureux

Un grand merci chaleureux à mes frères Mohamed et Yassine et mon mari Yassine pour m'avoir soutenu et encouragé tout au long de la période réalisée cette mémoire.

A mes chères amies et sœurs du cœur nous voilà arrivées à la fin d'un long et difficile parcours. Vous êtes plus que des amies, vous êtes des sœurs. Vous étiez toujours présentes pour me soutenir, m'écouter et me gâter, je vous en serai toujours reconnaissante. Je vous aime mes sœurs.

A mes chères collègues qui ont fait de mon passage à l'université des souvenirs inoubliables.

## Résumé :

La quantité de déchets dans le monde a augmenté ces dernières années, et Il faut vraiment que tout le monde se tienne la main et s'unisse pour le bien de le recyclage des déchets. et a commencé à analyser de nombreux problèmes dans la nature Pour éviter le désastre, nous concluons que la première raison est l'application du produit Produits chimiques nocifs sur terre. Pour trouver une solution, nous travaillons sur un processus Fabrication d'engrais naturels grâce à l'élaboration et au recyclage des déchets de grignons ;Malheureusement, l'Algérie est l'un des plus importants producteurs d'huile d'olive de la Méditerranée Le secteur agricole continue de produire de grandes quantités de grignons d'olive, un déchet La plupart ont peu ou pas de valeur, le rejeter est intrinsèquement une énorme menace environnement.

Le but de ce travail est de mener une étude détaillée de la faisabilité de la création d'une entreprise industrielle Un engrais à base de grignons d'olive et de zéolithe qui valorise le grignon d'olive en tant que produit naturel et respectueux de l'environnement

**Mots clés :** valorisation ; compostage ; grignon d'olive ; fertilisant ; zéolithe

## Abstract:

The amount of trash in the world has increased in recent years, and we really need everyone to hold hands and come together for the sake of recycling trash. and began to analyze many problems in nature To avoid disaster, we conclude that the first reason is the application of harmful chemicals on earth. To find a solution, we are working on a process Manufacture of natural fertilizers through the elaboration and recycling of pomace waste ;Unfortunately, Algeria is one of the most important producers of olive oil in the Mediterranean The agricultural sector continues to produce large quantities of olive pomace, a waste product Most have little or no value, reject it is inherently a huge environmental threat.

The purpose of this work is to conduct a detailed study of the feasibility of creating an industrial company A fertilizer based on olive pomace and zeolite that values olive pomace as a natural and environmentally friendly product. 'environment

**Key words:** valuation ; composting ; olive pomace ; fertilize ; zeolite

## ملخص

في العالم في السنوات الأخيرة ، ونحتاج حقاً إلى أن يمسك الجميع أيديهم ويتحدوا من أجل إعادة تدوير القمامة. وبدأنا في تحليل العديد من المشاكل في الطبيعة لتجنب الكارثة ، نستنتج أن السبب الأول هو تطبيق المواد الكيميائية الضارة على الأرض. لإيجاد حل ، نعمل على عملية تصنيع الأسمدة الطبيعية من خلال تطوير وإعادة تدوير نفايات الثقل

لسوء الحظ ، الجزائر هي واحدة من أهم منتجي زيت الزيتون في البحر الأبيض المتوسط. يواصل القطاع الزراعي إنتاج كميات كبيرة من ثقل الزيتون ، وهو منتج نفايات معظمه لا قيمة له أو لا قيمة له ، ويرفضه بطبيعته تهديد بيئي كبير

الغرض من هذا العمل هو إجراء دراسة تفصيلية لجدوى إنشاء شركة صناعية سماد يعتمد على ثقل الزيتون والزيوليت الذي يقدر ثقل الزيتون كمنتج طبيعي وصديق للبيئة

**الكلمات المفتاحية :** التقييم؛ سماد ثقل الزيتون تسميد. الزيوليت

## **Introduction**

L'industrie oléicole est l'une des activités humaines les plus importantes et produit de l'huile d'olive, qui est principalement concentrée dans les pays autour de la mer Méditerranée, qui représentent 94% de la production mondiale

L'Algérie fait partie des principaux pays méditerranéens producteurs d'olive et d'huile d'olive. La production nationale des olives a atteint, durant la saison 2019/2020, environ 10.380.000 quintaux, contre 8.687.000 quintaux l'année 2018-2019. Plus de 65% désignée à la production d'huile d'olive (**Aps dz, 2020**)

La production de l'huile d'olive a un impact positif au niveau socioéconomique surtout dans les pays producteurs y compris l'Algérie. (**Munir et al., 2016**)

Industrie de l'olive, produit chaque année pendant une durée limitée des sous-produits de valeur faible ou nulle n'excédant pas 5 mois, sous forme de liquide dénommé marécage ou margine, et sous forme solide comme les grignons d'olive, constitués essentiellement de pulpe d'olive et de noyaux broyés. Environ 40% d'olives broyées. La gestion de ces déchets constitue une question importante pour protéger l'environnement humain et la santé humaine.

Les grignons d'olives sont moins dangereux pour l'environnement que les margines, et sont répandus en grande quantité à travers les pays producteurs et transformateurs des olives notamment du bassin méditerranéen et ce suivant le procédé d'extraction et les équipements utilisés par les huileries (presse, super presse, chaîne continue.....). (**Chaabane et al., 1997**)

La production mondiale de grignons est estimée à 2,9 millions de tonnes. Et en Algérie, le chiffre est de 156 104 quintaux/an.

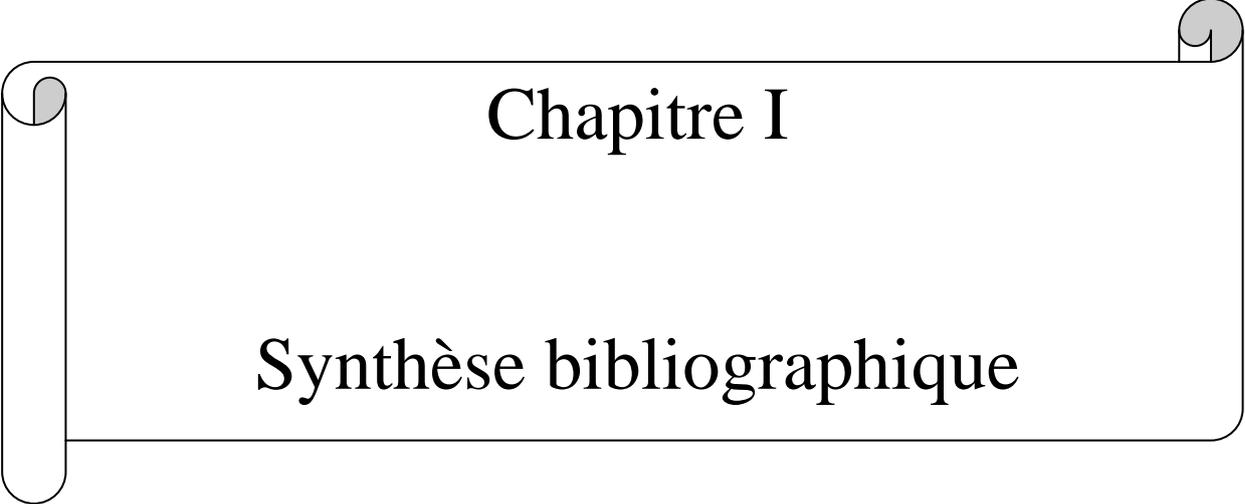
En raison de cette nuisibilité sur l'environnement, il est nécessaire de valoriser ces sous-produits. (**Darvishi, 2012**)

Dans ce contexte, les composés phénoliques totaux (CP) contenus dans les grignons d'olives peuvent être récupérés pour des applications ultérieures particulièrement en pharmacologie, en phytothérapie, en hygiène alimentaire, en agroalimentaire ou en cosmétologie en raison des effets biologiques qu'ils présentent : activité anti-oxydante, antimicrobienne, antivirale, antifongique... etc .(**Senani , 2012**)

Le compostage est un procédé de traitement intensif des déchets organiques qui met en œuvre, en les optimisant, des processus biologiques aérobie de dégradation et de stabilisation des matières organiques complexes (**Gobat et al., 2003**) Les matières premières du compostage sont composées principalement de restes de végétaux et relativement peu de restes d'animaux ou de substance minérales (**Fuchs et al., 2001**)

Le but du compostage est de produire un produit stable qui peut être stocké sans traitement supplémentaire et qui peut être appliqué au sol sans causer de dommages à la culture et, au contraire, en améliorant la fertilité du sol et la santé de la plante.

L'objectif de ce travail est la mise en place d'une approche permettant de concrétiser une entreprise de valorisation des grignons d'olives issus des déchets au niveau des huileries. Ces produits pourraient avoir une deuxième vie pour servir de compostage nécessaire à la fertilisation des sols. Son utilisation et sa commercialisation s'intégrera dans la conception d'une économie circulaire qui a déjà pris sa démarche au niveau des pays développés.



# Chapitre I

## Synthèse bibliographique

# I / Généralités

## 1-Définition

Cet arbre est connu par son fruit appelé l'olive .Ces fameuses olives servent à l'extraction d'une huile noble qui fait partie du régime alimentaire des pays du bassin méditerranéen. (Aludatt, 2017)

La culture de l'olivier est essentiellement estimée pour son fruit qui est l'olive et son huile après trituration de ce dernier. En plus de la production oléicole, l'oléiculture joue un rôle non négligeable dans la lutte contre l'érosion, donc la préservation de l'environnement. Une multitude de variétés de l'olivier existe sur le terrain, il y a celles destinées à la consommation sous forme d'olives vertes, noires, ou violettes (confiserie) après un traitement spécifique de conservation (chimique, mécanique, fermentation...), et celles destinées à la trituration en vue de l'extraction d'huile d'olive (Dugelay, 1954).

## 2-Classification d'olive

Règne : Plantae

Classe : Equisetopsida

Sous-classe : Magnoliidae

Super-ordre : Asteranae

Ordre : Lamiales

Famille : Oleaceae

Genre : Olea

Nom scientifique : *Olea europea* (<https://www.tropicos.org/>)

## 3- Historique

L'origine mythologique de l'olivier fait toujours de cet arbre un don de dieu. D'après (Besnard, Berville, 2005) .l'origine de l'olivier reste toujours incertaine, mais la thèse la plus fréquemment retenue désigne la Syrie et l'Iran comme lieux d'origine. Il est généralement admis que le berceau de l'olivier fut l'Asie mineure et aussi la Grèce, les Cyclades et les Sporades. Au troisième millénaire avant le Christ, il est cultivé en Syrie, en Palestine, puis au gré des conquêtes et de l'expansion commerciale, on le retrouve en Sicile, Italie, Tunisie,

Algérie au Maroc et dans le midi de la France. Selon le Conseil Oléicole Internationale (C.O.I 1998).

#### **4- Description de l'olivier**

L'olivier est cité à plusieurs reprises dans le Coran et est considéré comme un arbre béni. C'est l'arbre sacré du ciel, et ses feuilles gris-vert persistantes en font l'un des plus beaux arbres de l'année. Elle est depuis l'Antiquité un symbole de la sagesse de la civilisation méditerranéenne et des échanges économiques et culturels. Apprécié pour ses fruits et ses huiles sacrées.

Symbole de paix, de longévité et de force (Breton et al., 2006) de par sa présence à travers les cinq continents, la culture de l'olivier est prédominante dans les pays du bassin méditerranéen avec une concentration évaluée à 98% (Sancoucy, 1984 ; Zervakis et al., 1996). En effet la présence de l'olivier est un repère très marquant des paysages méditerranéens et de leur attrait (Breton et Berville, 2012).

#### **5-Exigences pédoclimatiques de L'olivier**

##### **5.1-Exigences Climatiques**

**A. La température:** L'olivier est un arbre des pays climat méditerranéen où les températures varient entre 16 et 22°C (moyenne annuelle des températures). Il aime la lumière et la chaleur, supporte très bien les fortes températures, même en atmosphère sèche, et ne craint pas les insulations. De même il craint le froid, les températures négatives peuvent être dangereuses particulièrement si elles se produisent au moment de la floraison (Hannachi et al., 2007). Aussi Peut bien résister à la chaleur estivale s'il est alimenté en eau adéquate Satisfaisant (nécessite un enracinement profond dans un climat semi-aride .

**B. La Pluviométrie:** Les précipitations hivernales retiennent l'eau du sol réserve d'eau. Les pluies d'automne de septembre à octobre favorisent l'engraissement et Le fruit est mûr. La pluviométrie annuelle ne doit pas être inférieure à 220 mm, Les faibles chiffres indiquent que l'olivier tolère bien la sécheresse et il est convaincu qu'en fait, La pluviométrie est faible, la moindre de toutes les variétés de fruits.

##### **5.2- Exigences Pédologiques**

L'olivier ne présente pas d'exigences particulière sur la qualité des sols, il a la réputation de se contenter au niveau des sols pauvres, qu'ils soient argileux ou au contraire légers ou

pierreux, mais ils doivent être assez profonds pour permettre aux racines de nourrir l'arbre en explorant un volume suffisant de terre.

L'olivier redoute les terrains trop humides. Le sol doit avoir une teneur en azote élevée (Hannachi et al., 2007).

## 6- La production oléicole

### 6.1 - La production oléicole dans le monde

L'oléiculture est présente dans les cinq continents, elle est prédominante dans le bassin méditerranéen avec 98% de la superficie et des arbres en production et 97% de la production totale d'olives (Sansoucy, 2011)



Figure 1 : Répartition géographique de la production d'olives (COI, 2013)

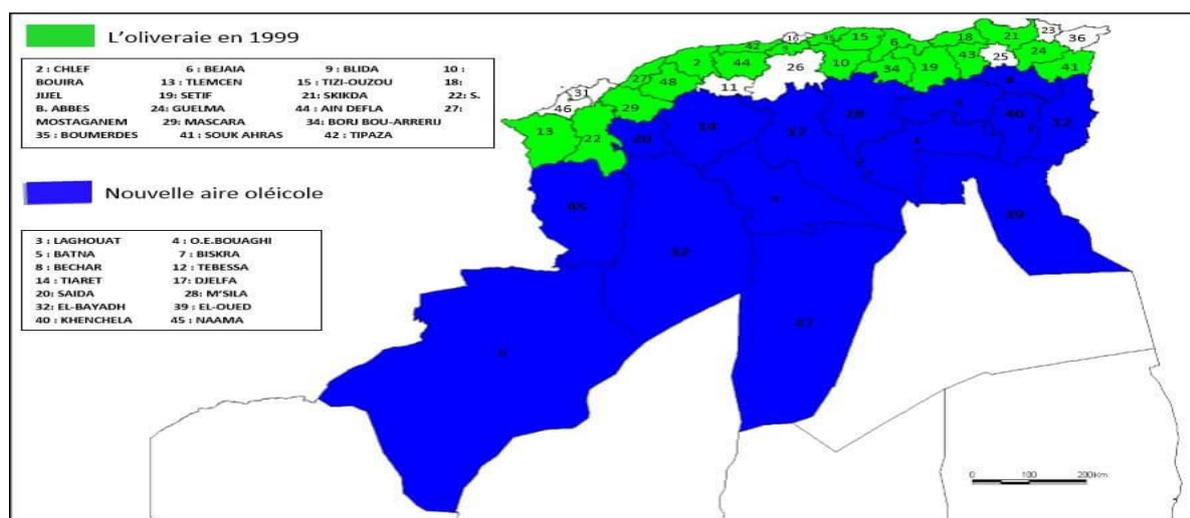
67 % de la production mondiale moyenne de produits oléicoles est concentrée dans les pays de l'UE, principalement l'Espagne, l'Italie et la Grèce (Ibert et Lamani, 2016) ; les producteurs hors UE sont : la Turquie (5 %), la Syrie (5 %), la Tunisie (4%), Maroc (2%), Algérie (1%), Jordanie (1%) et Palestine (1%).

### 6.2 - Production oléicole nationale (Algérie)

L'Algérie est située dans le bassin méditerranéen, et sa situation géographique en fait l'un des pays riverains de la mer Méditerranée. pays producteurs d'huile d'olive

L'huile d'olive est économiquement, socialement et écologiquement importante en Algérie. Le potentiel oléicole national s'étend sur une superficie de plus de 400.000 ha représentant plus de 6.200.000 oliviers (arbres) (Amrouni et Benmbarek ,2017).

L'Algérie est considérée donc comme l'un des producteurs mondiaux d'huile d'olive, elle se positionne après l'Espagne, l'Italie, la Grèce, la Tunisie, le Maroc et la Turquie (Bensemmane, 2009). Durant la campagne 2009/2010, la production oléicole algérienne était de 50 000 tonnes d'huile soit 1,7% de la production mondiale (C.O.I., 2009).



### 6.3-Productions oléicoles de la wilaya de Tlemcen

Les résultats de la campagne oléicole 2016/2017 montrent : 730 000 qx d'olives ont été produites, dont 438 000 qx ont été utilisées pour la confiserie (olives de table), 292 000 qx ont été réservées à l'extraction de l'huile d'olive, avec une production de 52 560 Hl d'huile. Au niveau de la wilaya de Tlemcen, le potentiel oléicole a doublé en six (06) ans passant de 7705 ha en 2010 à 15312 ha en 2016, ce qui justifie l'importance que réservent les agriculteurs de la wilaya à cette culture.

Les zones potentielles sont : Maghnia, Sabra, Remchi, Ouled Mimoun, Beni Snous... (DSA Tlemcen 2017/1018).

### 7-Les principales variétés de l'olivier

Selon le guide des variétés oléicoles cultivées en Algérie élaboré par l'ITAFV (2009/2010), 37 variétés sont répertoriées il y a lieu de citer les plus importantes et dominantes :

- ❖ **La sigoise** ou olive de Tlemcen appelée aussi olive de Tell ou Picholine marocaine. On l'a rencontre de Oued Rhiou jusqu'à Tlemcen. Sa zone d'extension déclinante arrive à la Mitidja. Cette variété est utilisée principalement pour la production d'olives de table en vert ou en noir est également appréciée pour la production d'huile.
- ❖ **La Sévillane ou Gordal** d'origine Hispanique, cette variété présente de très gros fruits et se localise dans le plaines sub littorales oranaises. Cette variété est utilisée uniquement pour la production d'olives de table en vert.
- ❖ **La Chemlal** sans doute la plus réputée en Algérie, la variété « Chemlal » est une olive à huile. son aire de distribution va à l'atlas Blidéen jusqu'au Bibans et le Guergour. Sa grande vigueur lui permet de rentabiliser des sols maigres pour donner des huiles de qualité.

Accompagnée de « Azeradj » et « Bouchouk », dont le fruit est parfois conservé, le vaste peuplement de « Chemlal » est bordé par des variétés locales de très faibles extensions à l'instar de l' « Aguentaou » des variétés du « Guergour » et celles de la Soummam. Ces variétés sont à double fin.

- ❖ **La Rougette** de Mitidja, fréquente dans la plaine de Mitidja et sur le piémont de l'Atlas à faible altitude, c'est une variété à huile.
- ❖ **Limli**, c'est la variété des versants montagneux de la basse vallée de Soummam jusqu'à la mer .c'est une bonne variété à huile.
- ❖ **La Rougette et Blanquette de Guelma** : deux variétés à huile qui coexistent en mélange dans les régions de l'est du pays.

## II-Les sous produits de l'oléiculture en Algérie

### 1- Olive

L'olive est une drupe ovoïde ou sphérique, se compose de :

- Epicarpe (2% à 2.5% du poids de l'olive)
- Mésocarpe ou pulpe qui est la partie comestible du fruit (71,5% à 85,5%)
- Endocarpe ou noyau (17,3% à 23%)
- Amandon (2% à 5,5%) (**Nefzaoui, 1983**).

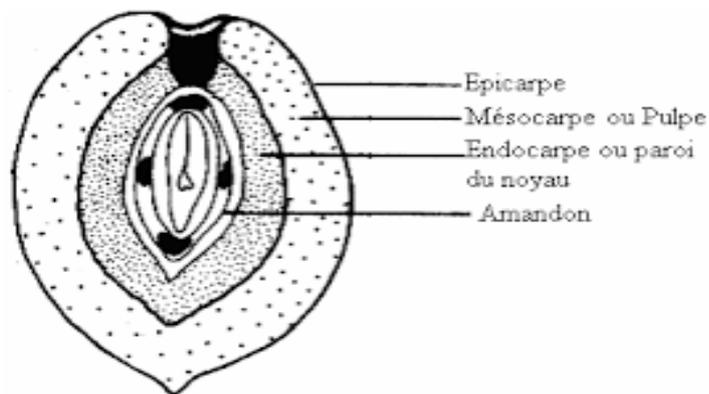


Figure 3 : Composition de l'olive (Nefzaoui, 1983).

Les olives sont violet-noir à maturité, tandis que d'autres variétés conservent le vert à maturité. Même sur un même arbre, la taille du fruit (olive) peut varier en fonction de la charge fruitière de la variété, de la fertilité du sol et de la quantité d'eau disponible. riche en eaux, lipides, glucides, protéines et vitamines (A,C,B1, et E).



Figure 4 : les olives (<https://laterreestunjardin.com/olivier-botanique-legende/>)

### 1-1-morphologie du fruit :

Fruit de l'olivier, l'olive étant une drupe, la forme, le volume et Le poids varie selon la race.  
 \*En moyenne, il mesure 1 à 3 cm de long et 1,2 à 1,5 cm de large. L'eau est le principal composant de la pâte, représentant 70% à 75% Le poids total des olives avant la lipogénèse puis il diminue régulièrement en parallèle Augmenter l'huile dans les olives. \*\* La matière grasse représente 17% à 30% du poids du fruit en fin de maturation Situés dans la pulpe et les amandes, les acides gras des olives ont un effet prononcé L'acide oléique est le composant principal des acides gras monoinsaturés.

La pulpe d'olive remodèle environ 1,5 % de son poids sous forme d'acides aminés ou de protéines. Certaines de ces protéines sont solubles dans l'eau et d'autres non, Les protéines présentent un intérêt majeur au niveau nutritif, puisqu'elles sont constituées de Acides aminés essentiels majeurs, également nécessaires à la nutrition humaine Uniquement pour la croissance des bactéries lactiques.

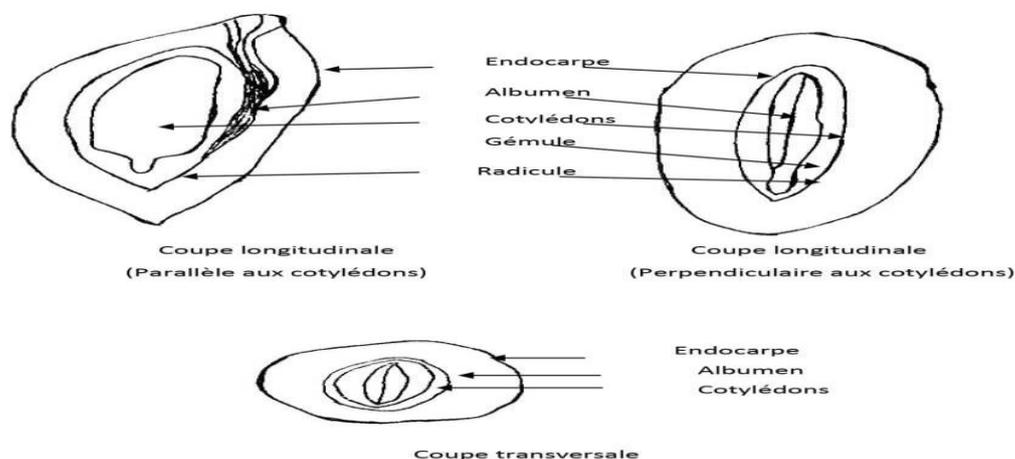


Figure 5 : Coupe longitudinale d'une olive(. <https://agronomie.info/fr/caracteristiques-morphologiques-et-physiologiques-de-lolivier/>)

## 2- L'huile d'olive

l'huile d'olive est l'huile issue de l'extraction du fruit de l'olivier (*Olea europea* L.) à l'exclusion des huiles extraites par solvant organique ou par des procédés de réestérification et de tout mélange avec d'autres huiles d'autre nature. **COI (2015)**,



Figure 6 : huile d'olive(<https://www.aujardin.info/fiches/huile-olive-nourrir-corps-interieur-exterieur.php>)

Selon l'**ITAFV 2010**, la production au titre de l'année 2013 était de 497,199 tonnes de sous-produits oléicoles dont 298,319 tonnes de margines (déchets liquides) et 198,880 tonnes de grignons (déchets solides). La production des sous-produits oléicoles est tributaire du volume d'olive mis en œuvre dans l'opération de trituration qui ne cesse d'évoluer d'année en année.

Les grignons d'olive et les margines sont les produits issus de l'activité des moulins à huile, les effluents liquides sont appelés margines, la fraction moins pâteuse est appelé grignon d'olive (**Boukria.A, 2018**).

### **1- Les Margines :**

Le margine est le résidu liquide qui est éliminé au cours du processus d'extraction de l'huile d'olive par différentes méthodes de fragmentation, soit de manière discontinue, soit de manière continue en deux ou trois phases. Ce liquide violet provient de l'eau d'olive et de l'eau de lavage issue de la transformation



Figure7 : Margines d'une huilerie (<https://taounate.net/archives/1215>)

### **2 - Les grignons d'olive**

Les grignons d'olives sont des résidus solides générés de l'extraction d'huile d'olive par pression ou centrifugation et sont composés de la pulpe de l'olive et du noyau (épicarpe, mésocarpe, et endocarpe) (**Moral et Ruiz Mendez, 2006**).

Il contient encore une certaine quantité de matières grasses et une importante quantité d'eau variable selon la variété des olives et surtout du procédé d'extraction utilisé (**La Rubia-Garcia et al., 2012; Meziane, 2013; Ferhat et al., 2014**).



Figure 8 : grignon d'une huilerie (<https://www.algomtl.com/grignon-d-olive>)

selon le procédé d'extraction utilisé on subdivise les grignons en 3 types :

- **Grignon brute** : résulte de l'extraction de l'huile d'olive entier caractérisé par une teneur élevée en eau et en huile ce qui lui permet une altération rapide à l'air libre (**Nefzaoui, 1984**).
- **Grignon épuisé** : diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite ce sont le résultat de déshuilage des grignons brut par solvant (l'héxane) (**Nefzaoui, 1984**).
- **Grignon partiellement dénoyauté** : résulte de la séparation partielle des débris de noyau de la pulpe par tamisage ou ventilation. Il est dit gras si son l'huile n'est pas extraite par un solvant, et épuisé s'il est extraite par un solvant (**Nefzaoui, 1984**).

En moyenne, la trituration de 100kg d'olive produit 20kg d'huile, selon les cas et en fonction des systèmes d'extraction. Il produit également les quantités suivantes :

- 40kg de grignon (taux d'humidité d'environ 50%) et plus de 40kg d'eau de végétation, si l'on utilise le système traditionnel (**Amirante et al., 1993**).

- 55kg de grignon (taux d'humidité de 50%) et plus de 100kg d'eau de végétation, si l'on utilise le système continu à trois phases (**Tamburino et al., 1999**).
- 70kg de grignon (avec une teneur en humidité de l'ordre de 60%) et jusqu'à 3,5kg de margine, si l'extraction est effectuée par les systèmes en continu à deux phases (**Di- Giovacchino.1996**)

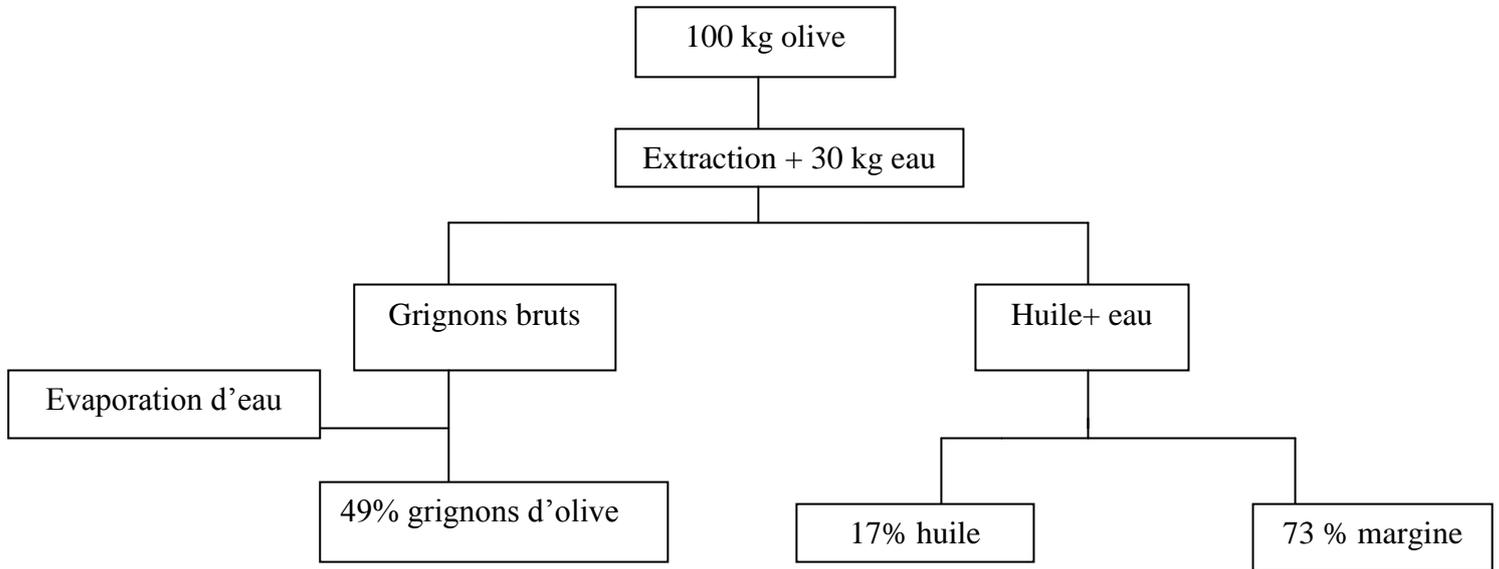
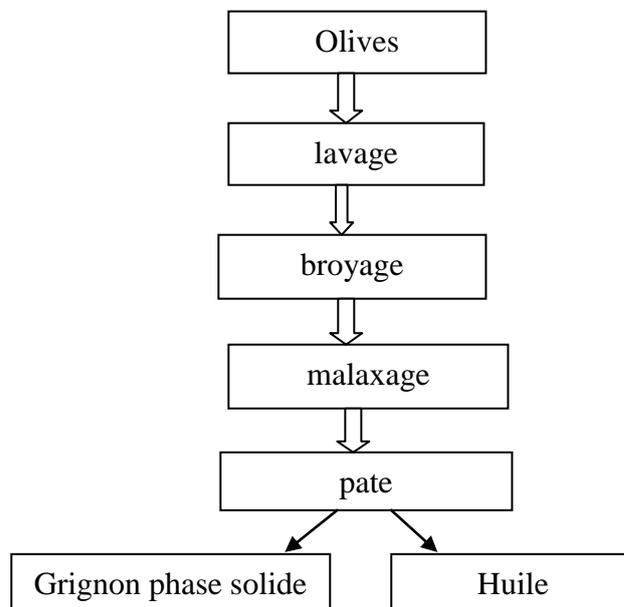


Figure 9: Quantité d'huile d'olive extraite et sous-produits en pourcentage (**Mendil, 2009**)

### 3 Extraction De L'huile D'olive

#### 3.1-Procédé en discontinu (système à presse ou traditionnel)

Il s'agit d'un système classique par pression avec broyeurs. Le broyage des olives, suivi du malaxage, se fait par des meules. Après obtention d'une pâte composée de grignons et d'un moût (l'huile et les margines), la séparation des deux phases solide-liquide se fait par simple pression, alors que l'huile est séparée des margines par décantation naturelle (**Saghi, Hennos, 2014**)



### 3.2- Procédé en continu (système à centrifugation) :

Il existe deux types du procédé d'extraction continu : système par centrifugation à trois phases et système par centrifugation à deux phases.

#### A. Système d'extraction par centrifugation à trois phases

Les olives, une fois réceptionnées, subissent des traitements préliminaires tels que l'effeuillage, l'épierrage (enlèvement des pierres) et le lavage afin d'avoir de l'huile de bonne qualité.

**Broyage** : il est réalisé par des broyeurs mécaniques à disques ou à marteaux. Ces broyeurs peuvent travailler en continu, la pâte étant obtenue presque instantanément.

- **Malaxage** : la pâte est versée dans un bac en inox modérément fluidifiée avec l'eau tiède, dans lequel tourne une spirale ou une vis sans fin, également en inox.

- **Séparation des phases** : elle consiste à séparer la partie solide (grignons) de la partie fluide (margines). La pâte malaxée est injectée par une pompe dans une centrifugeuse dont l'axe est horizontal (décanteur horizontal).

- **Décantation** : on utilise des centrifugeuses verticales à assiettes qui permettent de séparer l'huile d'olive des margines (**Chouchene, 2010**)

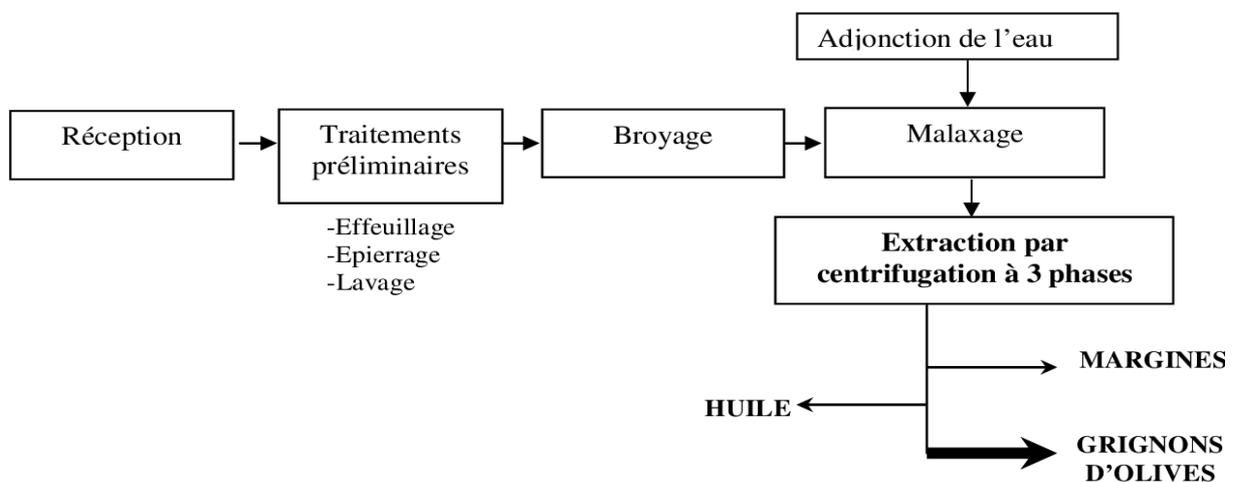


Figure 11: Système d'extraction par centrifugation à trois phases ( Chouchene, 2010)

## B. Système d'extraction par centrifugation à deux phases

Les olives subissent les mêmes étapes d'effeuillage, d'épierrage, de lavage et débroyage, de malaxage et de décantation que celles du système précédent à trois phases.

Cependant, ce présent procédé d'extraction d'huile d'olive fonctionne avec un nouveau décanteur avec centrifugation à deux phases (huile et grignons d'olives humides) qui nécessite pas l'adjonction d'eau pour la séparation des phases huileuses et solides contenant des grignons et les margines.

Ce décanteur à deux phases permet l'obtention de rendements en huile légèrement plus élevés que ceux obtenus par le décanteur conventionnel à trois phases et le système de presse.

En outre, il ne procède pas à l'augmentation du volume des margines. ( **Chouchene, 2010**).

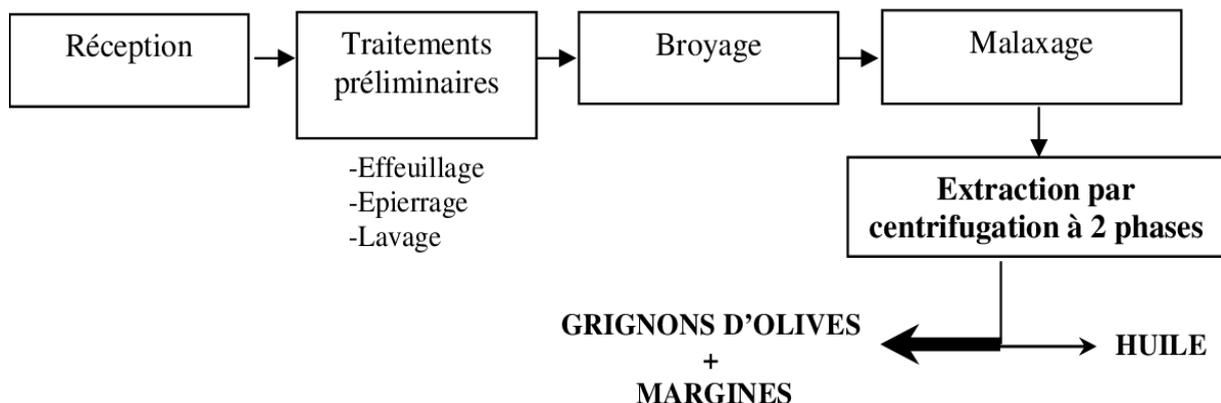


Figure 12 : Système d'extraction par centrifugation à deux phases ( **Chouchene, 2010** )

## 4- Caractéristiques des grignons d'olive

### 4.1- Caractéristiques physiques du grignon d'olives

La composition physique des grignons dépend essentiellement de la variété des olives, de leur degré de maturation et du système employé lors de l'extraction de l'huile. Les grignons bruts renferment la coque du noyau réduite en morceaux, la peau et la pulpe broyée. Ils renferment aussi une certaine humidité et une quantité d'huile résiduelle. Nous donnons comme exemple la variété sur laquelle ont travaillé ( **Saghi, Hennos, 2014** )

Tandis que les grignons épuisés diffèrent essentiellement par une plus faible teneur en huile et une teneur en eau réduite du fait qu'ils ont été déshydratés au cours du processus d'extraction (Saghi, Hennos, 2014)

composants	Olive	Grignon brut	Grignon épuisé
Eau %	49	27	17
Huile %	27	9	2
Coque %	14	43	55
Pulpe %	9	21	26

Tableau 1 : Différents composants du grignon d'olives (Saghi,et Hennos, 2014).

#### 4.2- Caractéristiques chimiques du grignon d'olives

Contrairement aux autres tourteaux oléagineux, les grignons bruts sont pauvres en matières azotées et riches en cellulose brute. Ils restent relativement riches en matières grasses.

L'épuisement par les solvants diminue les teneurs en matières grasses et augmente relativement les autres teneurs. Le dénoyautage partiel par tamisage ou ventilation réduit les teneurs en cellulose brute, Les pulpes, du fait de la séparation totale du noyau avant pression, ont la valeur la plus faible en cellulose brute (Belkebir, 2007).

Types de grignon	Matière sèche (%)	Matières minéral (%)	Matières Azotées Totales(%)	Cellulose brute(%)	Matière grasse(%)
Grignon brut	75-80	3-5	5-10	35-50	8-15
Grignon gras partiellement Dénoyauté	80-95	6-7	9-12	20-30	15-30
Grignon épuisé	85-90	7-10	8-10	35-40	4-6
Grignon épuisé partiellement Dénoyauté	85-90	6-8	9-14	15-35	4-6
Pulpe grasse	35-40	5-8	9-13	16-25	26-33

Tableau 2: Composition chimique des différents types des grignons d'olives (Belkebir , 2007).

## 5-Impacts environnementaux des grignons

Contrairement aux margines très polluants, les résidus solides (grignons) sont moins nocifs pour l'environnement, mais leur conservation pour quelques jours génère des odeurs désagréables et peuvent devenir une source de la pollution de l'air (Azbar et al., 2004).

Selon (Roig et al., 2006) malgré que les grignons d'olive sont moins phytotoxiques que les margines et compte tenu de leur rapport C/N élevé, ils créent des déséquilibres importants en modifiant le cycle de l'azote dans le sol.

## 6-Valorisation des grignons d'olive

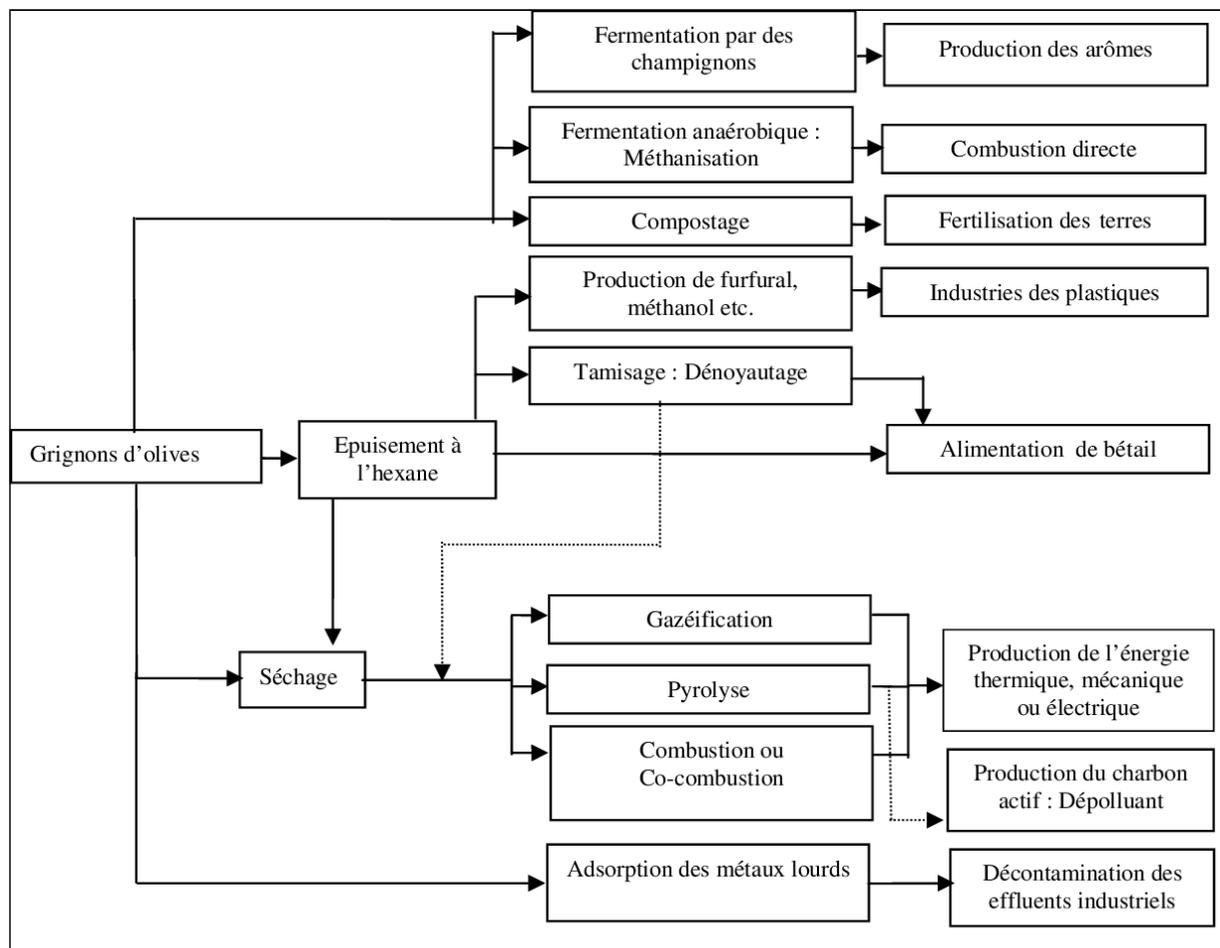


Figure 13 : Différentes filières de valorisation des grignons d'olives (Chouchene,2010)

### 6.1 Utilisation des grignons dans l'alimentation animale

Utilisation des grignons d'olive dans l'alimentation animale après addition d'autres

composantes (son, cactus, mélasse, fourrage, minéraux...) (**Chouchene, 2010**)

## **6.2-Utilisation des grignons comme combustible**

C'est un combustible de valeur calorique non négligeable (2950 Kcal/Kg) ; 60% de la chaleur est apportée par le noyau concassé ou coque ; cette dernière peut être valorisée dans l'industrie du bois (Panneaux de particules) (**Nefzaou, 1991**).

## **6.3- Production de l'huile des grignons d'olive**

L'huile des grignons est le résultat de traitement aux solvants (Hexane) ou d'autres techniques physiques des grignons d'olive (**COI 2008**).vu sa teneur élevée en acide oléique, elle est généralement orientée vers la savonnerie (**Hachimi, 1990**).

## **6.4 Utilisation des grignons d'olive pour la fertilisation des terres agricoles**

- Dans le domaine agricole, les grignons d'olives peuvent être employés comme fertilisant, après avoir subi une prédécomposition ou un compostage pour faciliter sa dégradation et éliminer ses effets phytotoxiques.

Par ailleurs, l'analyse de la composition de cendres issus de la combustion des grignons d'olives permet de les utiliser comme un fertilisant (**Chouchene, 2010**)

- Utilisation du compost des grignons d'olive sur les terres agricoles pour l'amélioration de la fertilité des sols et de la productivité des cultures. L'épandage de ces déchets doit faire l'objet d'une étude préalable afin de préciser les doses et les périodes d'épandage adaptées aux cultures fertilisées. Cette technique permet d'une part de réduire les coûts de fertilisation et d'autre part de limiter la pollution de ces rejets (**Chouchene, 2010**)

## **7-Compostage des grignons d'olive**

Les résidus solides ou pâteux générés de l'extraction de l'huile d'olive sont riches en matières organique et constituent un aliment de choix pour la croissance de microorganismes. Le compostage est la méthode la plus utilisée pour la préparation des amendements organiques et pour la fertilisation des sols. Il permet de détoxiquer ces résidus solides contenant des substances phytotoxiques et antimicrobiennes à cause de la présence de phénols, des acides gras et des acides organiques. Souvent pour le compostage efficace des grignons on y ajoute des déchets végétaux ou des déchets urbains. Il existe deux sortes de compost obtenus avec un mélange de déchets de l'olivier (Feuilles oliviers +biomasse de taille

d'olivier + margines +grignons d'olive) ou d'un mélange de déchets urbains verts+ Pailles de céréales+ pailles de céréales+ déchets de l'olivier). **L'AFIDOL** (Association Française Interprofessionnelle de l'Olive) a déjà expérimenté en France des compostages à grande échelle avec success (**Hammad et al., 1999**).



Figure 14 : le compostage de grignon (<https://elwatan-dz.com>)

## **8- Le compostage comme solution pour une gestion saine et durable des déchets**

Le compostage est la transformation d'une matière organique très instable et fortement Biodégradable en une matière organique stable (**Leclerc, 2001**). Le compostage est un processus contrôlé de dégradation de constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobie,

entraînant une montée de température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost. le compostage est un mode de traitement biologique aérobie des déchets. (**Charnay, 2005**)

terminé (Misra *et al.*, 2005).

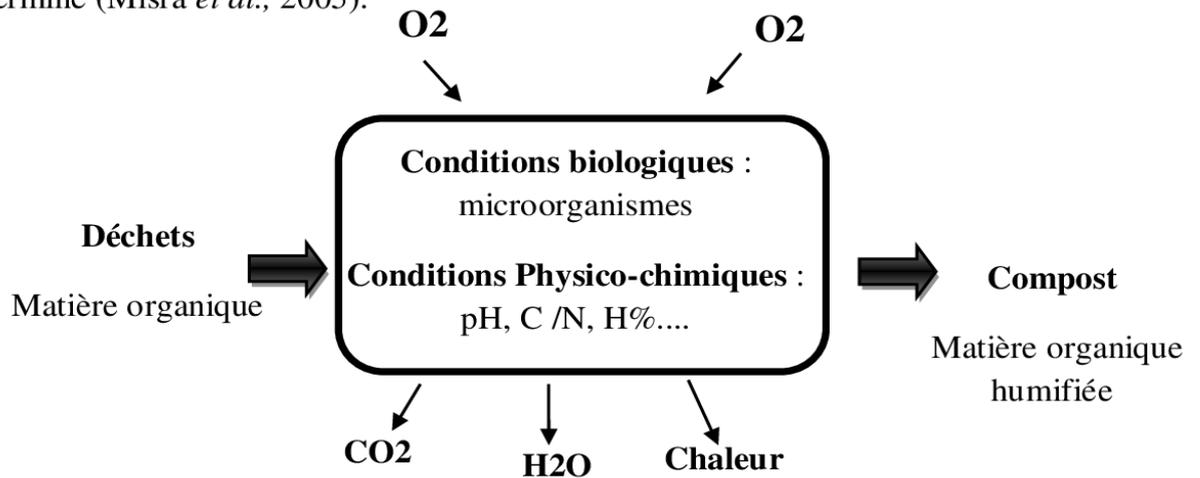


Figure15: Représentation schématique du principe de compostage (Misra *et al.*, 2005)

Le compost est donc un produit organique en état de décomposition plus ou moins avancée destiné à un retour au sol. (Francou, 2003).

## 9-Pourquoi composté ?

Le compostage permet de transformer un matériau de fin de vie, le déchet, en un produit utilisable, le compost. L'intérêt premier d'un compost est d'être un amendement organique permettant d'améliorer la fertilité des sols. Par rapport à des déchets non compostés, le compostage présente un certain nombre d'autres avantages (Francou, 2003).

- Le compostage permet de réduire les masses et les volumes d'environ 50% par rapport aux déchets initiaux. Ces réductions sont dues à la minéralisation des composés organiques, à la perte d'eau et à la modification de la porosité du milieu.
- La perte en matière organique entraîne une concentration des éléments minéraux au sein du compost.
- L'augmentation de la température permet de la destruction des agents pathogènes. D'autres facteurs qui restent à étudier pourraient intervenir.
- L'action combinée de l'élévation de température et de la libération d'agent inhibiteurs permet de la destruction des graines d'adventices.

## 10-Les avantages du compost

L'utilisation du compost comporte plusieurs avantages parmi lesquels on peut citer :

### 10.1-Amélioration de la croissance des végétaux et racines

Il a été démontré que les végétaux se développant dans un milieu de croissance contenant du compost sont plus forts et ont un meilleur rendement. (ADEME, 2008.)

### **10.2. Amélioration du rythme de diffusion des nutriments**

Le compost rend au sol ses nutriments prolongeant ainsi leur présence dans le sol pour nourrir les végétaux pendant une plus longue période. (ADEME, 2008.)

### **10.3. Amélioration de la porosité du sol**

L'activité microbienne est essentielle à la porosité du sol. Les micro-organismes décomposent les matières organiques pour rendre les nutriments accessibles aux végétaux. L'amélioration de la porosité entraîne également une meilleure aération du sol et ainsi le développement de l'activité biologique. (ADEME, 2008.)

### **10.4. Amélioration de la capacité de rétention d'eau**

La matière organique contenue dans le compost peut absorber l'eau et améliorer ainsi la capacité de rétention d'eau du sol. (ADEME, 2008.)

### **10.5. Elimination des maladies chez les végétaux**

Il a été démontré que certains composts améliorent la résistance des végétaux vis-à-vis de certaines maladies. L'effet phytosanitaire décrit la faculté fongicide du compost. D'une manière générale le compost contient des substances donnant plus de vigueur aux végétaux et augmentant ainsi leur résistance vis-à-vis de certains organismes pathogènes. (Larbi, 2006.)

### **10.6. Effet sur la structure du sol**

- Amélioration de la structure du sol par augmentation des agrégats (pénétration des racines facilitée et exploitation du sol favorisée).
- Le compost de couleur foncée, augmente l'absorption des rayons solaires (réchauffement). (Zurbrugg et Ahmed, 1999.)
- Meilleure perméabilité à l'air et à l'eau.
- Réduction importante de l'effet du gel, de l'érosion (hydrique et éolienne) et diminution de la dessiccation par ventilation. (Guittonny-Larchevêque, 2004.)

### **10.7. Effet sur la dynamique du sol et amélioration des échanges gazeux**

La présence de micro-organismes divers dans le compost augmente l'activité biologique du sol et permet un bon échange gazeux sol-air-eau-plante. L'apport de compost permettra au sol d'être plus poreux favorisant ainsi, les échanges gazeux et le développement de nouvelles racines. (Zurbrugg et Ahmed, 1999.)

## 11- Les phases du compostage

Le processus de compostage se déroule en quatre phases en fonction de l'évolution de la température( Francou, 2003.)

- **La phase mésophile** : c'est la phase initiale du compostage. Durant les premiers jours la présence de matières organiques facilement biodégradables (les sucres, les glucides, les lipides) entraîne une forte activité microbienne générant une rapide montée en température à l'intérieur du compost.
- **La phase thermophile** : on observe une montée de la température allant de 60°C à 75°C. Seules les bactéries peuvent survivre à ces températures. La grande partie de la matière organique est perdue sous forme de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O.
- **La phase de refroidissement** : elle est caractérisée par une diminution de la quantité de matières organiques facilement dégradables provoquant un ralentissement de l'activité microbienne. Ceci favorise un refroidissement du compost.
- **La phase de maturation** : les processus d'humification prédominent ainsi que la dégradation lente des composés résistants. Cette phase de maturation dure jusqu'à l'utilisation du compost.

## 12-Les paramètres du compostage

Un procédé de compostage optimal correspond à une fermentation réalisée dans les conditions les plus propices au développement de la flore bactérienne. Pour vérifier ces conditions, les principaux paramètres à suivre pendant le procédé sont les suivant

### ❖ PH

Le pH des suspensions de solides (déchets, compost) varie entre 5 et 9. Une phase acidogène se produit au début du processus de dégradation : production d'acides organiques et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par les bactéries acidogènes, décomposeurs du matériel carbone complexe, provoquant ainsi une diminution du pH initial. La seconde phase correspond à une

alcalinisation : hydrolyse bactérienne de l'azote avec production d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) associée à la dégradation de protéines et à la décomposition d'acides organiques. (**Haug, 1993.**)

### ❖ **Température**

Le suivi de la température est une mesure indirecte de l'intensité des dégradations qui ont la particularité d'être exothermiques. Elle renseigne également sur la qualité du processus de dégradation : un épuisement en oxygène peut ainsi être décelé puis corrigé par des apports complémentaires (retournement). De plus, ce suivi caractérise au début du processus la qualité du mélange. Les variations des montées en température sont fonction de l'aération et de la composition du substrat, notamment de la teneur en eau nécessaire au développement des différents microorganismes impliqués.

Pour obtenir l'hygiénisation du compost, l'U.S.E.P.A recommande une température de 55°C au moins pendant 15 jours en compostage à l'air libre. Dans des réacteurs, la température doit dépasser 60°C pendant une semaine.

Les conditions optimales pour une hygiénisation dépendent de la nature du procédé et de la durée de maintien de la température. (**Francou, 2003.**)

### ❖ **Teneur en eau**

La teneur en eau ou humidité (H %) du substrat conditionne l'activité des microorganismes. La teneur optimale dépend de la densité du milieu, qui est en fonction de l'état physique de la nature du substrat. Elle est sensible à deux phénomènes ayant des effets complémentaires. D'une part, la dégradation de la matière organique provoquant une libération d'eau d'autre part, une évaporation de l'eau sous l'effet de l'énergie calorifique libérée par la fermentation. La décomposition de la matière organique est inhibée si la teneur en eau baisse en dessous de 20 %. Au contraire, si elle dépasse 70 %, l'eau commence à remplir les espaces lacunaires des déchets et empêche les échanges d'oxygène, provoquant des conditions favorables à l'anaérobiose. Selon **Mustin**, l'optimum de teneur en eau se situe entre 40% et 60 %. En fin de procédé, un produit sec ou presque facilite la finition mécanique du compost en évitant un colmatage des équipements. (**Mustin, 1987.**)

Le pH, la température et l'humidité sont des paramètres interdépendants et difficilement dissociables. Les auteurs s'accordent pour donner des valeurs optimales de ces paramètres.

### ❖ **Apport d'oxygène**

L'oxygène est utilisé par les microorganismes comme un récepteur terminal d'électrons lors de la respiration aérobie et de l'oxydation des substances organiques. (Waas et al., 1996)

La présence d'oxygène est indispensable au bon déroulement du compostage pour maintenir les conditions aérobies nécessaires à une décomposition rapide et inodore. La teneur en oxygène disposé représente le pourcentage d'oxygène dans l'air des vides entre les particules de compost. Ce taux est fonction de la granulométrie et de l'humidité des particules comme du renouvellement de l'air des lacunes. Au fur et à mesure de la dégradation du substrat, le besoin en oxygène diminue. (Mustin, 1987.)

Le taux minimal d'oxygène dans les espaces lacunaires d'un andain en fermentation doit être de 5 %. Si la teneur en oxygène est trop faible ou la masse à composter trop compacte, les conditions favorables à l'anaérobiose se mettent en place. Ce type de fermentation aboutit à un produit stabilisé mais par le biais d'un processus plus lent avec dégagement d'odeurs nauséabondes. (Puyuelo et al., 2010.)

#### ❖ Teneurs en matière organique et en carbone organique

La matière organique est la matière spécifique des êtres vivants végétaux et animaux. En raison de sa richesse en carbone, la matière organique est appelée matière carbonée. Elle constitue l'humus. Elle est composée d'éléments principaux (C, H, O, N) et d'éléments secondaires, (S, P, K, Ca, Mg).

On fait référence sous le terme de matière organique à la matière capable de se décomposer (ou de l'être) ou à la matière résultant de la décomposition. (Mustin, 1987.)

### 13 Les différents procédés de compostage

Il existe une variété d'usines de compostage, des plus Simple, composé d'une seule surface à l'air libre pour le stockage et Plusieurs machines (broyeurs, pelles), composition de plateforme la plus complexe Un dispositif qui protège l'espace et surveille en permanence la température et la teneur en oxygène, Système d'aération, etc...

#### 13.1. Compostage en andains

- Andains retournés

Le compostage en andains consiste à placer un mélange de matières premières dans de Longs tas étroits appelés andains remués ou tournés de façon régulière. Ces andains sont aérés essentiellement par un mouvement passif ou naturel de l'air (convection et diffusion gazeuse).

Le taux d'échange avec l'air dépend de la porosité de l'andain. Ainsi, la taille de l'andain qui peut être effectivement aéré de cette manière est déterminée par sa porosité. Un andain composé de feuilles peut être bien plus grand qu'un andain humide contenant du fumier. Quand l'andain est trop grand, des zones anaérobies peuvent alors apparaître à proximité du centre et des odeurs sont libérées quand l'andain est retourné. Par contre, les petits andains perdent rapidement de la chaleur et risquent de ne pas réussir à atteindre une température suffisamment élevée pour permettre l'évaporation de l'eau et l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices.

Pour les compostages à petites et moyennes échelles, le retournement peut être effectué à l'aide d'un chargeur frontal ou d'une pelle portée par un tracteur ou un tracto- pelle. Le chargeur soulève les matériaux de l'andain et les déverse à nouveau, mélangeant ainsi les matières et dépose le mélange sous forme d'un andain plus aéré. Le chargeur peut mélanger les matières se trouvant à la base de l'andain avec celles du haut, formant ainsi un nouvel andain à proximité de l'ancien. Il est très important de suivre un programme de retournement. **(Nadia, 2015.)**

La fréquence de retournement est fonction du taux de décomposition, du taux d'humidité et de la porosité des matériaux, ainsi que de la durée désirée de compostage. Comme le taux de décomposition est plus important au début du processus, la fréquence de retournement diminue au fur et à mesure que les andains mûrissent. **(Nadia, 2015.)**

- **Andains aérés passivement**

Avec la méthode des andains aérés passivement, de l'air sont fournis aux composts par des tuyaux perforés, enfoncés dans l'andain, qui élimine la nécessité du retournement. Les extrémités des tuyaux sont ouvertes et l'air circule ainsi dans les tuyaux et à travers l'andain en raison de l'effet de tirage créé par les gaz chauds qui s'élèvent hors de l'andain. **(Francou , 2003.)**

### **13.2. Compostage en récipients clos**

Le compostage en récipient fait référence à un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un container ou un récipient. Ces méthodes sont basées sur l'aération forcée et des techniques de retournement mécanique qui visent à accélérer le processus de compostage. De nombreuses méthodes combinent les techniques des andains et des tas aérés dans le but de surmonter les faiblesses et exploiter les avantages de chaque méthode. **(Nadia, 2015.)**

- **Compostage en casier**

Le compostage en casier est peut-être la méthode de compostage en récipient la plus simple. Les matières sont contenues par des murs avec le plus souvent un toit. Les bâtiments ou les silos permettent de stocker des quantités plus importantes de matériaux et d'utiliser l'espace au sol de manière plus efficace que ne le font les tas indépendants. Les casiers permettent aussi d'éliminer les problèmes climatiques, de maîtriser les odeurs et d'offrir un meilleur contrôle de la température. Les méthodes de compostage en casier fonctionnent de la même façon que la méthode du tas statique aéré. Elles comprennent des procédés d'aération forcée à la base du casier et un petit nombre, voire aucun retournement des matériaux. Un mélange occasionnel des matières dans les casiers peut faire redémarrer le processus. Les matières à composter peuvent être déplacées d'un casier à l'autre. La plupart des principes et des conseils suggérés pour le tas aéré s'applique également au compostage en casier. **(Nadia, 2015.)**

- **Lits rectangulaires remués**

Le système de lit remué est une combinaison des méthodes d'aération contrôlée et de retournement périodique. Le compostage a lieu entre des murs qui forment de longs et étroits couloirs appelés lits. Un rail ou une saignée au haut de chaque mur supporte et guide la machine retournant le compost. Un chargeur place les matières premières à l'extrémité frontale du lit. Au fur et à mesure que la machine avance sur les rails, le compost est retourné et reposé à l'arrière. **(Nadia, 2015.)**

- **Silos**

Une autre technique de compostage fait intervenir un récipient clos ressemblant à un silo à déchargement par le bas. Le système d'aération à la base du silo souffle de l'air à travers les matières à composter. L'air évacué peut être recueilli au sommet du silo de façon à en traiter les odeurs. Cependant, l'empilement présente des problèmes au niveau de la compaction, du contrôle de la température et de la circulation de l'air. Les matières n'étant que très peu mélangées dans le silo, celles-ci doivent l'être préalablement à leur chargement dans le silo.

- **Tambours rotatifs**

Ce système utilise un tambour horizontal rotatif pour mélanger, aérer et déplacer les matières à travers le système. De l'air est fourni à partir de l'extrémité de déchargement et est intégré aux matières alors que celles-ci sont remuées. **(Nadia, 2015.)**

### **13.3. Vermicompostage**

Le terme vermicompostage (ou lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers de terre pour composter les résidus organiques. Les vers de terre peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour, par exemple 1 kg de vers de terre peut consommer un kg de résidus chaque jour. Les excréments (turricules) des vers de terre sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage du sol à travers les vers de terre favorise croissance des bactéries et des actinomycètes. Les actinomycètes se développent en présence de vers de terre et leur teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (Nadia, 2015.)

## **14. la fertilisation**

### **14.1 définition**

La fertilisation consiste en une gestion des apports d'engrais et d'amendements ; globalement, elle s'entend comme l'action de fertiliser le sol, c'est à dire l'exploitation d'un ensemble des techniques de fumure visant à maintenir ou à augmenter la fertilité d'un sol pour placer les plantes cultivées dans les meilleures conditions d'alimentation. Les principaux fertilisants sont l'azote N, le phosphore P et le potassium K, ils sont parmi les principaux éléments nécessaires pour la plante, ceux dont la disponibilité dans les sols cultivés pose généralement problème. On abrège leur composition par le symbole NPK (Abdelmadjid H., 2013.)

Les engrais assurent aussi une utilisation plus efficace de la terre et notamment de l'eau. Ce sont des facteurs importants dans les régions à faibles précipitations ou dans des situations où l'irrigation est nécessaire ; tel est le cas où le rendement par unité d'eau utilisée pourrait être plus que double (FAO, 2003)

### **14.2 Eléments minéraux indispensables à la croissance**

Pour assurer leur croissance et leur développement, les plantes sélectionnent et absorbent les éléments dont elles ont besoin dans leur environnement : le carbone issu du gaz carbonique de l'atmosphère, l'oxygène de l'air et du sol et l'eau. Les autres éléments nutritifs qu'il contient proviennent principalement du sol, et de la lumière. Il y a 16 nutriments dont la plupart des plantes ont besoin. Les éléments suivants proviennent de :

- **De l'air** : Le carbone (C) sous forme de CO<sub>2</sub> (Anhydride carbonique) ;
- **De l'eau** : L'hydrogène (H) et l'oxygène (O) à l'état d'eau (H<sub>2</sub>O) ;

## • Du sol et des engrais minéraux et organiques :

❖ **Des éléments de Base (macro éléments) :** L'azote ( $\text{NO}_3^-$ ) ou ( $\text{NH}_4^+$ ), le phosphore ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ), le soufre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

❖ **Des micro éléments :** Le fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ou ( $\text{Fe}^{3+}$ ) selon les espèces, le manganèse ( $\text{Mn}^{2+}$ ), le zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), le cuivre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), le bore ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ), le molybdène ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ), et le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) (Morot-Gaudry et al., 2009).

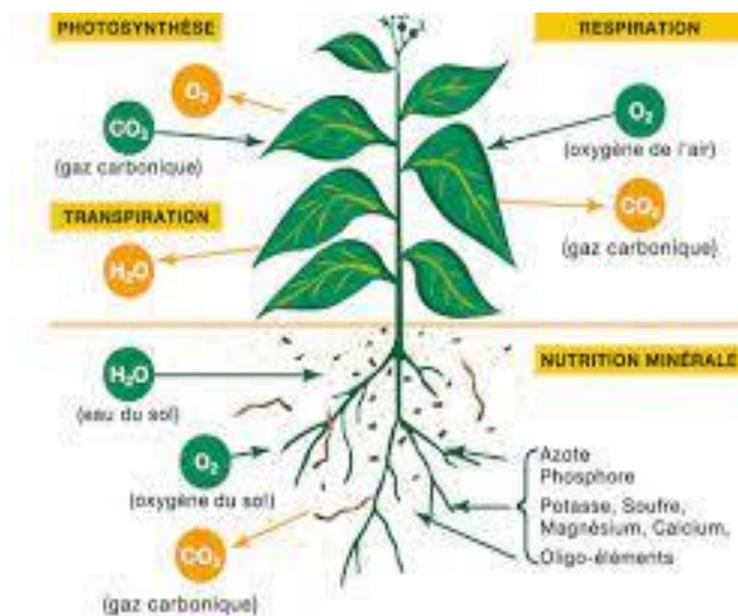


Figure 16 : Nutrition de la plante (Anonyme, 2017)

### A. Les macro-éléments

Les macro-éléments (autre que C, H et O), sont ceux qui sont requis en grande quantité par la plante afin d'assurer sa croissance et son développement. Les macro-éléments sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, magnésium, le soufre. Chacun d'entre eux représente au moins 0,1% de la matière sèche de la plante (Morot-Gaudry et al., 2009)

### B. Les micro-éléments

Pour les micro éléments, comprennent le bore, le cuivre, le fer, le manganèse, le molybdène et le zinc. Les quantités d'oligo-éléments assimilées par les plantes sont infimes par rapport à celles des éléments fertilisants majeurs que sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium, mais leur rôle dans la nutrition globale de la plante est quand même crucial (Morot-Gaudry et al., 2009).

En règle générale, les concentrations d'oligo-éléments dans le sol sont beaucoup moins élevées que celles des éléments nutritifs majeurs. Le pH du sol, sa matière organique, sa teneur en argile et sa minéralogie font varier les teneurs en oligo-éléments. L'estimation de la biodisponibilité des oligo-éléments est de ce fait plus aléatoire que celle des éléments majeurs (Anonyme, 2005)

### **14.3. Les différentes catégories de la fertilisation**

#### **14.3.1. Azote (N)**

D'après Pousset (2000), l'azote est le macro-élément indispensable à la croissance et au bon développement des végétaux. En effet, il entre dans la composition des protéines et participe au métabolisme spécifique des végétaux, il est à la base de la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques dans le sol (Boulal et al., 2007)

#### **A. La forme absorbée par la plante**

Les plantes absorbent l'azote à partir de la solution du sol et des films d'eau à la surface des feuilles (cas d'une pulvérisation foliaire). L'utilisation de l'azote par les végétaux supérieurs se fait généralement par l'absorption du nitrate au niveau des racines. L'apport combiné de nitrate et d'ammonium donne naissance à une croissance et à un développement optimum pour la plupart des plantes cultivées. De nombreux essais scientifiques démontrent qu'il y a généralement des différences très peu significatives entre ses différentes sources d'azote. L'élément le plus souvent déterminant dans le choix d'une forme ou l'autre (apport de nitrate ou d'ammonium) reste souvent le coût, la manipulation et la vitesse de réponse recherchée. L'azote sous forme de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) produit un effet rapide sur la plante (la forme la plus absorbée), mais cette forme est facilement lessivée puisqu'il est faiblement retenu par le sol, tandis que l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) est mieux retenu par le sol mais la réponse de la culture à son apport reste relativement tentée (Anonyme, 2017)

#### **B. Rôle physiologique de l'azote**

L'azote a de nombreuses fonctions physiologiques pour la plante dans les plus importantes sont :

➤ La synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale ;

- La multiplication des chloroplastes, puisque la chlorophylle est une substance azotée d'où la couleur vert foncé des plantes après un apport d'azote.
- La synthèse des glucides grâce à l'augmentation du nombre de chloroplastes.
- La constitution des réserves azotées dans les graines.
- C'est un facteur de rendement, et parfois de qualité, puisqu'il augmente la teneur en protéines des céréales.
- La multiplication cellulaire donc la croissance des tissus (**Soltner, 2003**)

### **14.3.2. Phosphore (P)**

Le phosphore est une composante importante de la membrane cellulaire des végétaux et intervient aussi dans le processus de transfert de l'énergie cellulaire (ATP). Une bonne fertilisation phosphatée stimule également l'enracinement et accélère la maturité (**Abdelmadjid, 2013**)

#### **A. Source de phosphore**

Le phosphore se trouve dans le sol, dans compost, et dans les engrais chimiques ainsi qu'à l'état de phosphate naturel. Dans le sol, le phosphore est disponible surtout sous la forme d'un acide : l'acide phosphorique ( $H_3PO_4$ ). Un polyacide contient plus d'un proton labile, chacun possédant une constante de dissociation différente. Le pH du sol joue par conséquent un rôle majeur dans la disponibilité du phosphore (**Hopkins, 2003**).

#### **4.3.2.2. La fertilisation phosphatée**

La fertilisation phosphatée a pour objectif de satisfaire les besoins en phosphore de la plante selon les objectifs de rendement et de qualité, et donc de compléter l'offre du sol en maintenant son potentiel de production. La stratégie actuelle se fonde en premier lieu sur les besoins des plantes cultivées et ensuite sur la biodisponibilité en phosphore de la parcelle. Les critères principaux à prendre en compte sont : l'exigence en  $P_2O_5$  de la culture, l'analyse de terre, le passé récent de fertilisation et les exportations de la culture (**Anonyme, 2005**).

#### **B. La forme absorbée par la plante**

Dans la plante, le phosphore se trouve surtout sous la forme de phosphoesters, comprenant les

glucides phosphorylés qui jouent un rôle dextrement important dans la photosynthèse et le métabolisme intermédiaire (**Hopkins, 2003**).

Les racines des plantes absorbent le phosphore sous forme d'ions phosphoriques  $H_2PO_4^-$  ou  $HPO_4^{2-}$  dans la solution du sol. Ces ions minéraux proviennent de la solubilisation des phosphates et des ions minéraux adsorbés sur les différentes phases solides du sol. Le phosphore « organique » contenu dans des molécules des effluents organiques doit être minéralisé en ions phosphoriques pour devenir assimilable par les plantes (**.Aouali S., douici., khalfi A., 2009**) .

### **C. Rôle physiologique du phosphore**

Le phosphore est impliqué dans de nombreux processus physico-chimiques, biologiques et enzymatiques et joue ainsi un rôle important dans les fonctions biologiques des plantes. C'est l'un des principaux composants de l'acide nucléique, qui est formé en liant des nucléotides. C'est également l'un des composants des phospholipides membranaires végétaux.

Le phosphore active la croissance des pousses et des racines et agit également comme un activateur du stockage des glucides. Le phosphore est stocké dans les grains/graines sous forme de phytate

#### **14.3.3. Le potassium (K)**

Le potassium est indispensable à la vie : il participe directement à la formation et à la croissance des cellules (**Anonyme, 2005**)

##### **A. Sources du potassium**

Le potassium ne se trouve que dans le sol en tant que minéral. En fait, le potassium contenu dans les résidus végétaux est presque exclusivement du  $K^+$ , qui est libéré dans le sol lors de la mort cellulaire. minéralisation de la matière organique.

Il se trouve dans le sol sous quatre formes :

- En solution dans l'eau du sol
- Adsorbé à la surface des particules d'argile et d'humus (complexe adsorbant) : il sert à compenser les prélèvements effectués par les racines dans la solution du sol. C'est donc

l'ensemble du potassium de la solution du sol et du complexe adsorbant qui est utilisable par la plante.

- Inclus pour la plus grande partie entre les feuillets des argiles : cette forme non échangeable est très lentement libérée lorsque le sol s'appauvrit en potasse échangeable. Il est de l'intérêt de l'agriculture intensive de ne pas compter sur elle, ce qui nécessite le maintien du potassium échangeable à un bon niveau.
- Entrant dans la constitution des minéraux primaires (roche mère) : cette forme est très lentement libérée au cours des processus d'altération. (**Anonyme, 2005**).

## **B. Rôle physiologique du potassium**

Le potassium joue un rôle multiple dans la plante :

- Il intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules et régularise les échanges intracellulaires.
- Il active la photosynthèse et favorise la formation des glucides (sucres, amidon) dans la feuille et leur accumulation dans les organes de réserve (racines des betteraves, tubercules des pommes de terre). C'est pourquoi les plantes racines et les tubercules répondent particulièrement bien aux engrais potassiques.
- Il participe à la formation des protéines, intervient dans les processus d'évolution des composés azotés dans la plante et favorise leur migration vers les organes de réserve. Les besoins en potassium sont d'autant plus grands que la fertilisation azotée est plus importante : l'effet de l'azote est renforcé par le potassium et réciproquement ; c'est le phénomène d'interaction positive.
- En réduisant la transpiration, le potassium diminue les besoins des plantes en eau, augmente leur résistance à la sécheresse et assure une meilleure efficacité de l'irrigation (**Anonyme, 2005**)

### **14.3.4. Rapport C/N**

Tous les résidus organiques n'ont pas le même rapport carbone / azote

C/N. De ce fait, leur décomposition dans le sol prendra plus au moins du temps, selon l'azote contenu dans ces résidus (tableau n°05). Un rapport C/N supérieur à 20 signifie que la faible proportion d'azote limite l'activité microbienne; de plus les microorganismes s'accapareront même de l'azote minérale du sol pour hâter la décomposition des résidus. Un rapport C/N

inférieur à 20 peut signifier que l'azote sera libéré rapidement des résidus et accumulera ou sera disponible aux plantes rapidement. Par contre, un rapport C/N élevé (supérieur à 60) favorise l'agrégation des fines particules de sol. (Craaq ,2005).

C/N	Niveau de minéralisation	Disponibilité de l'azote
<10	Forte minéralisation	Elevée a très élevée
10-20	Bonne minéralisation	Bonne a élevée
20-60	Faible minéralisation	Faible a négative
60-100	Faible minéralisation	Très faible a nul
Inf100	Forte minéralisation	Nul

**Tableau 3** : Relation entre le rapport C/N des résidus organiques, la minéralisation et la disponibilité de l'azote pour les plantes (CRAAQ 2005).

#### 14.4 Excès et effets nocifs des engrais (NPK)

L'utilisation non raisonnée des engrais nuit à l'environnement et en particulier aux sources d'eau ainsi qu'à la santé de l'être humain à travers la nourriture.

##### 14.4.1. Sur l'environnement

En agriculture, les engrais chimiques sont administrés en vue d'augmenter le rendement des cultures. Ils sont responsables d'une pollution massive des sols, mais sont surtout la cause majeure de pollution des eaux souterraines, principaux réservoirs d'eau potable (.Aouali S., Douici, 2020) .

Les engrais minéraux, bien plus que les engrais organiques, peuvent être très néfaste pour l'environnement et ses différents écosystèmes. Si leur utilisation n'est pas effectuée dans un cadre mesuré, leur surconsommation apporte des transformations radicales des sols, mais aussi une surabondance néfaste dans les eaux. Par exemple les engrais azotés polluent en particulier les eaux souterraines et les nappes phréatiques, arrivant ainsi jusque dans les boissons des hommes. Un danger en particulier pour les nourrissons (.Anonyme, 2012)

##### 14.4.2. Sur la plante

Un excès d'azote stimule une croissance exubérante de la partie aérienne, favorisant ainsi une augmentation du rapport tiges feuillées/racines et retardant la mise à fleur de nombreuses

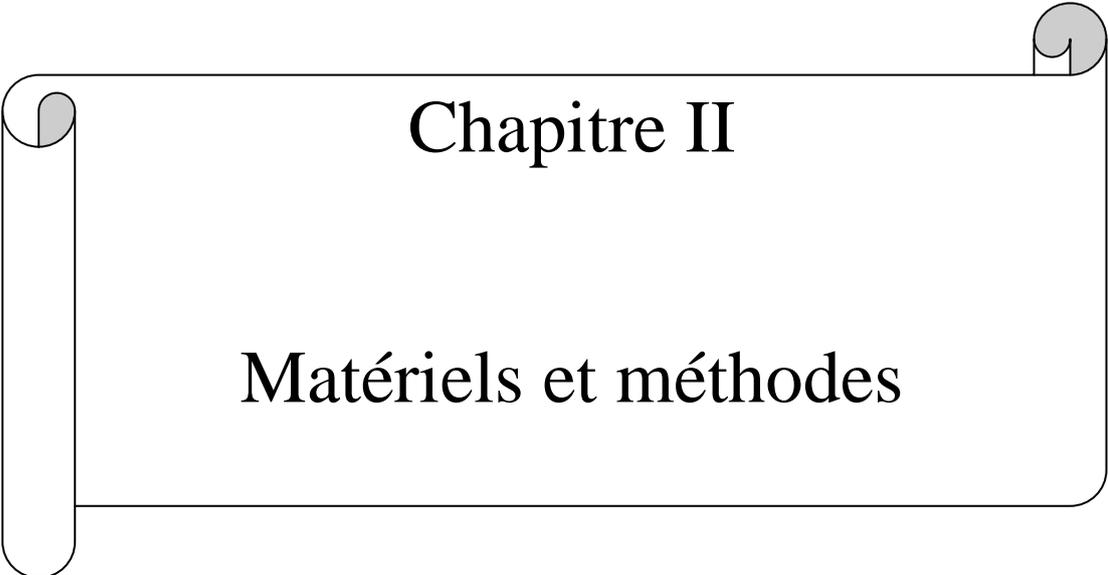
espèces cultivées. Pour le phosphore, il a des effets inverses de ceux de l'azote, en ce sens qu'il stimule préférentiellement la croissance des racines comparés à celle des tiges feuillées, diminuant ainsi le rapport tiges feuillées/racines. Des engrais à forte teneur en phosphore, comme la farine d'os, sont souvent appliqués lors de la transplantation d'espèces pérennes afin de favoriser la mise en place d'un système racinaire vigoureux (**Hopkins, 2003**). Un excès de potassium sature d'eau des feuilles et les récoltes. Il provoque également une carence en magnésium et en bore (**Van Schöll, 2005**).

#### **14.4.3. Sur la santé humaine**

De nombreux agriculteurs utilisent des engrais (minéraux ou organiques, solides ou liquides ...) de façon fréquente, intensive et prolongée. L'utilisation massive des engrais, produits fertilisants des récoltes, par épandage ou pulvérisation, présente des risques pour

l'environnement (sol, eau, air) mais aussi chimiques et/ou biologiques pour la santé des agriculteurs exposés. Par ailleurs, l'utilisation d'engins et machines agricoles de traction et d'épandage est dangereuse : chutes et renversements des tracteurs, coincements, écrasements, happements par les accessoires des machines en rotation ... Outre leur toxicité environnementale et sanitaire, certains engrais solides à base de nitrate d'ammonium sont explosifs dans des conditions particulières.

En cas d'incendie de leur lieu de stockage, certains engrais sont susceptibles de se décomposer et de libérer des gaz toxiques. Comme pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des agents chimiques et/ou biologiques, l'employeur doit procéder à une évaluation des risques encourus pour la sécurité et la santé des travailleurs, limiter l'usage des engrais au strict nécessaire, adopter de bonnes pratiques et d'hygiène au travail, former ses salariés et mettre à leur disposition les équipements de protection individuelle adéquats (combinaison, gants, bottes, masque) pour éviter tout contact et inhalation de poussières ou émanations gazeuses d'engrais (**Aouali S., Douici, 2020**).



## Chapitre II

### Matériels et méthodes

## 1-Le compostage des grignons

Le recyclage des déchets organiques à des fins agricoles est Indispensable pour maintenir la productivité des sols dans la région Méditerranéen à très faible teneur en matière organique du sol. Par conséquent, le compostage peut être une option d'élimination appropriée pour les déchets biodégradables. Cependant, un compost de haute qualité est nécessaire pour créer un marché des engrais, ce qui pourrait faciliter des stratégies efficaces de recyclage des grignons d'olive.

le grignon d'olive composté contient de grandes quantités de matière organique peut donc être utilisée comme amendement des sols agricoles, ce qui réduira le besoin d'engrais azotés, phosphorés et potassiques, améliorera une gamme de propriétés du sol et augmentera les rendements agricoles. En plus de ce qu'il fait favorise le stockage du carbone dans le sol, ce qui contribue également à prévenir les problèmes liés à l'érosion. Par conséquent, l'application du compostage de grignons d'olive peut être considérée comme une stratégie intéressante pour favoriser la séquestration du carbone.

Le compostage est la méthode la plus utilisée pour la préparation des amendements organiques et pour la fertilisation des sols. Il permet de détoxifier ces résidus solides contenant des substances phytotoxiques et antimicrobiennes à cause de la présence de phénols, des acides gras et des acides organiques. Souvent pour le compostage efficace des grignons on y ajoute des déchets végétaux ou des déchets urbains. Il existe deux sortes de compost obtenus avec un mélange de déchets de l'olivier (Feuilles oliviers +biomasse de taille d'olivier + margines + grignons d'olive) ou d'un mélange de déchets urbains vert s+ Pailles de céréales+ pailles de céréales+ déchets de l'olivier). **L'AFIDOL** (Association Française Interprofessionnelle de l'Olive) a déjà expérimenté en France des compostages à grande échelle avec success (**Hammad et al., 1999**). Il s'agit ici d'une dégradation de matière organique dans des conditions contrôlées en présence d'oxygène, avec une température et une humidité optimale.

La dégradation est caractérisée par une forte montée de température qui s'effectue en trois paliers.

Tout d'abord, la consommation des sucres et autres composés facilement biodégradables va permettre une augmentation jusqu'à 40 ou 45°C, cette étape est assurée par des microorganismes mésophiles ; puis la respiration de la biomasse au sein du compost va amener la température jusqu'à 60 ou 70°C, les bactéries mésophiles seront alors graduellement éliminées au profit des thermophiles ou thermo-tolérantes ; et enfin

l'épuisement progressif de l'oxygène dans le milieu va conduire à une phase anaérobie pendant laquelle, la température va diminuer lentement jusqu'à atteindre un palier stable. La seconde phase appelée la maturation va prendre effet au moment où les nutriments facilement biodégradables par les bactéries vont se faire rares, la libération de composés humiques va s'accélérer, cette biosynthèse est due à des champignons. Les espèces vont se succéder au cours de la diminution en température jusqu'à une stabilisation à température ambiante. Afin que le compost soit de bonne qualité, différentes conditions doivent être réunies

## 2- Le lombricompost

Le lombricompostage est le traitement des déchets organiques sous l'action de micro-organismes et de vers (vers de terre). Trois vers sont généralement utilisés ensemble, ce sont *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei* et *Eisenia hortensis*. Certains se nourrissent de matière décomposée, d'autres de matière fraîche



Figure 17 : lombricompostage (<https://www.pinterest.fr/mbriche/lombricompostage/>)

Ces lombrics sont de couleur brun-rouge et mesurent de 10 à 12 cm, ils sont à l'aise dans la couche supérieure du compost, là où il y a beaucoup de matière en décomposition. (Kmieciak et al.,1991 ) Leur milieu de vie doit être humide (système d'arrosage) afin de leur permettre de respirer et de se reproduire dans de bonnes conditions. L'apport en nutriment supplémentaire se fera par un apport en grande quantité de fumier (Kmieciak et al.,1991 )



Figure 18 : les vers de lombricompost (<https://www.monpetitcoinvert.com/blog/quest-ce-que-le-lombricompostage/>)

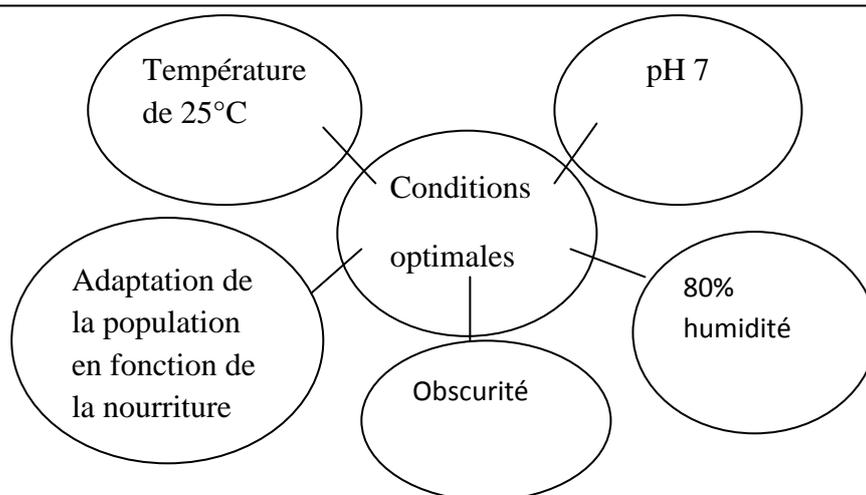


Figure 19 : Conditions optimales d'obtention d'un lombricompost de qualité

les produits de désilage seront utilisés pour le lombricompostage (c'est-à-dire placés à l'air libre pH) et engrais, dans une serre opaque Optimum (9,60mx 50m) avec 3 Cuve de 45m de long x 2m de large et 2,5m de profondeur (dont 1m50 d'enfouissement). La surface autour de la cuve est entièrement bétonnée et il y a une membrane dans la cuve qui Le lombricompost a été prélevé du sol pour éviter tout échange avec le milieu extérieur .

Deux kilos de vers sont utilisés en général pour ensemercer 1 m<sup>2</sup> de déchets. Cette quantité est en concordance avec les résultats d'autres études (**Edwards et Fletcher, 1988** ). D'autres

auteurs ont testé différentes densités de vers et ont déterminé que la densité optimale d'ensemencement était de 1,60 kg de vers/m<sup>2</sup>.

**CAD** environnement( choisir un avenir durable pour notre environnement ) s'est calqué à cette étude, et a acheté environ 1T de vers (25000 vers) pour ensemençé le lombricompost au départ. La population doublant tous les 1 mois et demi, l'entreprise ramassera à ses mêmes périodes l'équivalent de 1T de vers, les 1T restantes seront réutilisé pour ensemençé le lombricompost. 8T de vers seront donc ramassés chaque année.

Ce ramassage se fait par la méthode des pelotes : la couche supérieure des andains de lombricompost est prélevée puis étaler sur un support solide, sec et exposé à la lumière. Cette exposition à la luminosité va permettre aux vers de se regrouper en pelotes afin de recréer un milieu de vie sombre. Ces pelotes sont ensuite récupérées et les vers sont envoyés vers les différentes filières de valorisation.

Environ 6000 T de déchets seront lombricompostés : 4500T de l'ensilage et 1500T de fumier.



**Figure 20** : Serre de lombricompostage (<https://biodechets.fr/notre-site-de-lombricompostage> )

Le lombricompostage réduisant de 90% le volume des déchets (**Kmieciak et al.,1991** ), la production annuelle de lombricompost au sein de CAD environnement devrait être alors de 600T.

Le lombricompost a différentes propriétés intéressantes ce qui en fait un produit à haute valeur ajoutée.

Il agit comme « engrais » pour toutes sortes de plantes (favorise la germination et le feuillage), il est absorbé directement par les plantes, il favorise une bonne composition physico-chimique du sol, régénérant ainsi les sols pauvres, et il réduit l'utilisation d'autres (produits chimiques ) des produits.

### 3- La valorisation des lombriciens :

Une fois récolté, les vers seront utilisés comme appâts de pêche (35 euros / 250 vers) ou encore en alimentation animale (source de protéines et donc d'azote)

Un troisième usage en est fait au sein de l'entreprise, les lombrics sont utilisés afin d'en extraire le collagène et de le revendre à des industries pharmaceutiques ou cosmétiques telles que Roche ®, Sanofi-Aventis ®, Novartis ®.

### 4- la composition chimique

Nous avons choisi trois types d'engrais différents pour comparer leur composition chimique

#### Produit 01 :



Figure 21 : engrais 1 et leurs composition ( photo original )

**Produit 02 :**

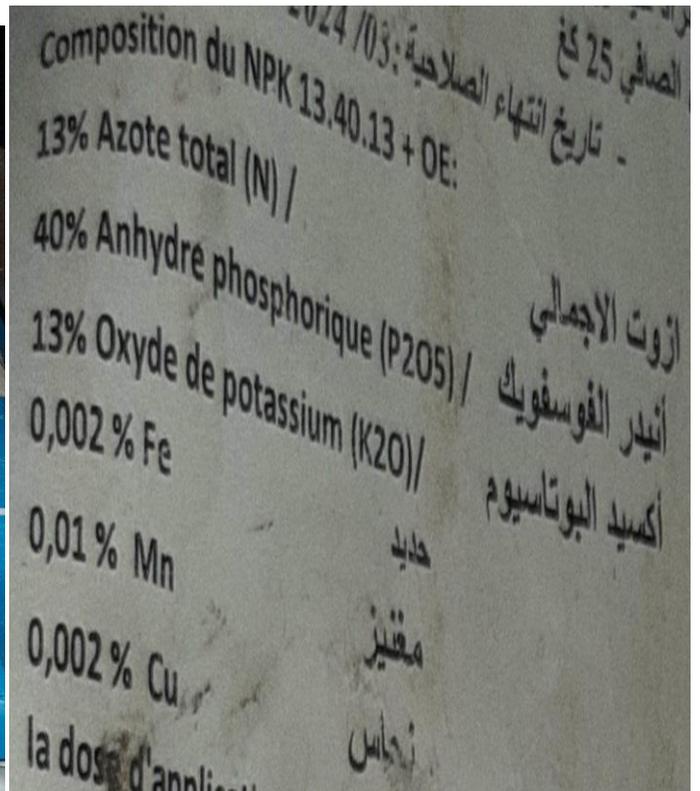


Figure 22 : engrais 2 et leurs composition ( photo original )

**Produit 03 :**

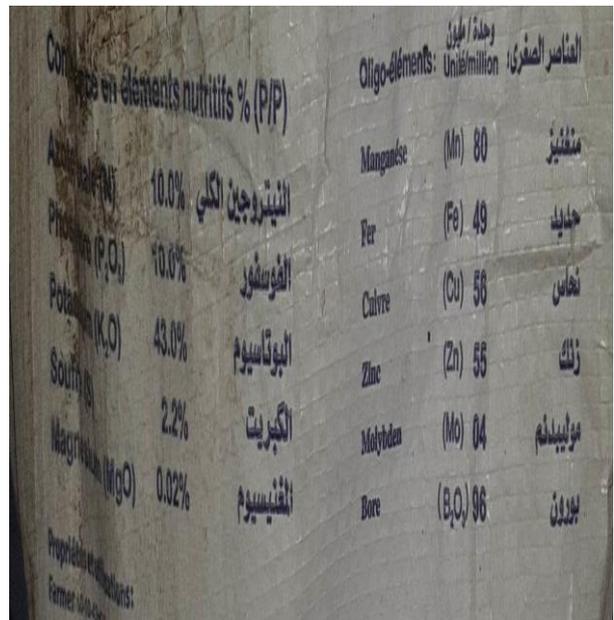


Figure 23 : engrais 3 et leurs composition ( photo original )

	Produit 1	Produit 2	Produit 3
Azote (N)	15 %	13%	10%
Phosphore (P)	15%	40%	10%
Potassium (K)	15%	13 %	43%
Soufre (S)	13%		2.2%
Fer (FE)		0.002%	
Magnésium ( Mn)		0.01%	0.02%
Cuivre (Cu)		0.002%	

Tableau 4 : Tableau comparatif des éléments minéraux dans les 3 produits

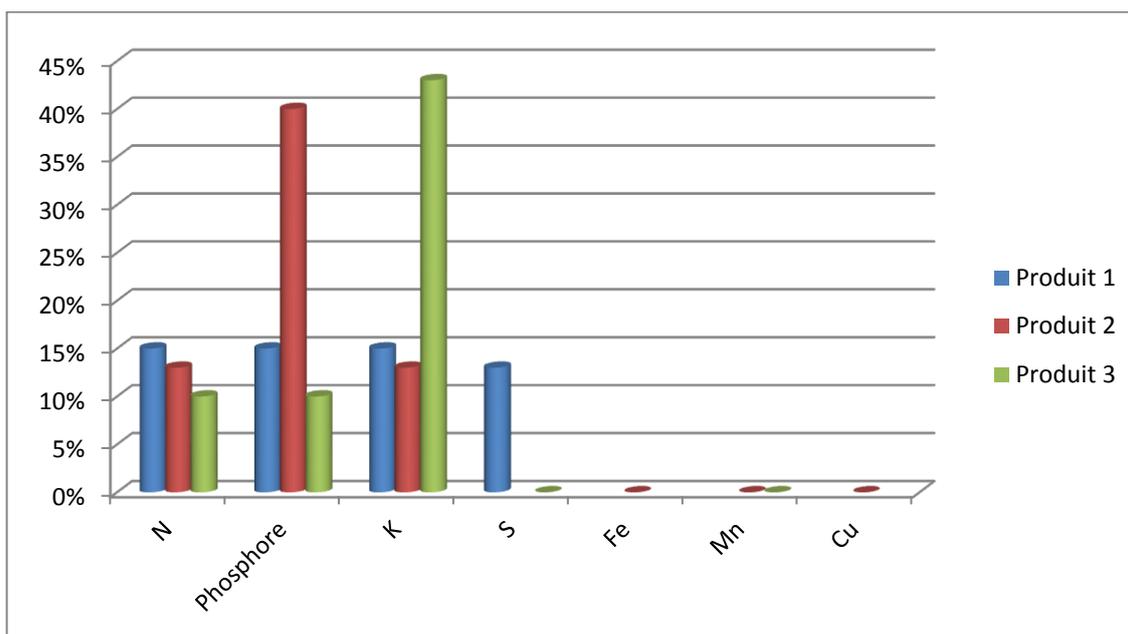
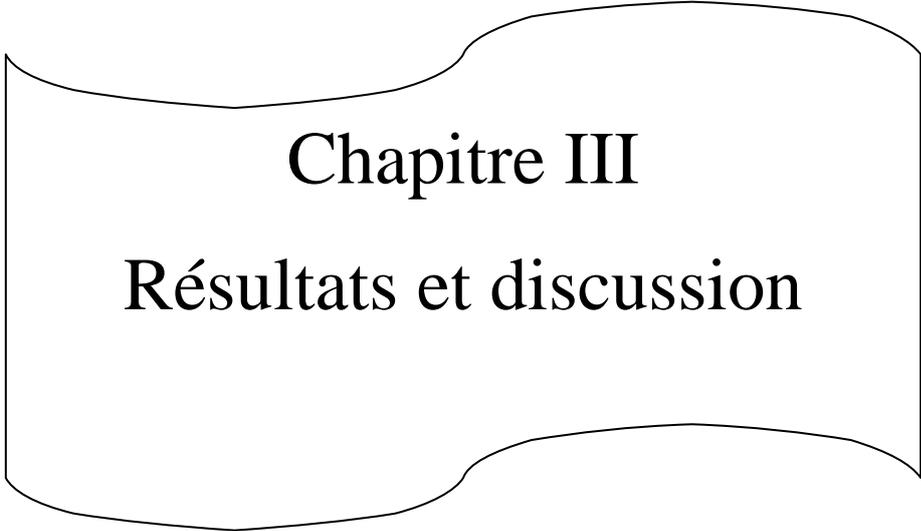


Figure 24 : graphique montre la comparaison entre le taux des éléments minéraux dans chaque produit





# Chapitre III

## Résultats et discussion

De nos jours, il y a une urbanisation accélérée, des anomalies climatiques, une rareté et qualité de l'eau. Un système de production agricole plus efficace est en train de dégénérer en raison de la demande croissante de nourriture pour nourrir une population croissante. À cet égard, l'agriculture omniprésente et respectueuse de l'environnement utilisant des zéolites, des aluminosilicates hydratés naturels présents dans les roches sédimentaires, a attiré l'attention ces dernières années en raison des avantages multidisciplinaires que les zéolites ont accumulés dans les activités agricoles. L'utilisation de ces minéraux comme conditionneurs de sol contribue à améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol et à réduire la toxicité

des métaux lourds. De plus, les zéolithes naturelles et modifiées en surface sont sélectives pour les principaux nutriments essentiels, notamment l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), le phosphate ( $\text{PO}_4^{2-}$ ), le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), le potassium ( $\text{K}^+$ ) et le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Réduit la perte de nutriments grâce à sa structure poreuse unique. Les propriétés de libération lente de la zéolite permettent également une utilisation optimale des nutriments tout au long du processus de croissance de la culture. Parmi les nombreux avantages des zéolithes, il y a le fait qu'elles augmentent l'efficacité de l'utilisation des engrais et de l'eau, et par la suite réduisent la pollution en réduisant le lessivage des nitrates, l'oxyde nitreux et les émissions d'ammoniac. Les propriétés ci-dessus améliorent considérablement la croissance, la productivité et la qualité des cultures polyvalentes tout en maximisant l'efficacité de l'utilisation des ressources. Cette revue de la littérature met en lumière les découvertes précédentes et la promesse des zéolithes de soutenir les moyens de subsistance dans l'agriculture sans sacrifier les rendements. Notre méthode est basée sur la production d'engrais organiques à base d'un mélange de zéolithe et grignon d'olive.

## **1-Introduction**

La pression croissante de la population entraîne une demande alimentaire plus élevée, et au moins 50% de production alimentaire supplémentaire est nécessaire pour répondre à la demande des personnes d'ici 2050.

Plus des deux tiers des ressources en eau renouvelables sont exclusivement utilisées par les activités agricoles, entraînant un partage inégal de l'eau avec les autres secteurs (**Bhatt et al., 2021- Wu, Q et al., 2019**)

De plus, les conséquences des pratiques intensives sont la dégradation des sols et des eaux qualités, telles que l'épuisement du carbone organique du sol et l'état nutritif inhérent du sol, La contamination par les métaux et le mélange résiduel d'engrais et/ou de pesticides avec les eaux souterraines vis-à-vis des ressources en eau de surface, qui diminuent la productivité des cultures et, en fin de compte, la consommation par habitant disponibilité des céréales vivrières (**Garai et al., 2020**). Les activités agricoles intensives à long terme rendent l'agriculture terres improductives, entraînant une faible capacité de rétention du sol. L'élément le plus important, l'azote, est largement utilisé dans les systèmes agricoles, bien que son efficacité d'utilisation dans l'azote les engrais dépassent rarement 50% car ils sont principalement perdus par dénitrification, lessivage et volatilisation (**Ming et al., 1989**). De plus, l'application irrationnelle d'engrais azotés facilite la  $\text{NO}_3^-$  + rejet du sol vers les eaux souterraines, entraînant des impacts anthropiques négatifs sur la la qualité des eaux souterraines et les risques pour la santé publique tels que la méthémoglobinémie, le cancer de organes digestifs,

l'eutrophisation des masses d'eau et la production de gaz à effet de serre tels sous forme d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) par le processus de dénitrification (**Peña-Haro et al., 2010 - Mondal et al., 2020** ). Le phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) est un autre nutriment majeur dans les engrais, également responsable de l'eutrophisation des masses d'eau (**Delkash et al., 2014**)

Par conséquent, la rétention des éléments nutritifs du sol est une préoccupation majeure dans l'agriculture moderne pour tenir compte de l'efficacité maximale d'utilisation des éléments nutritifs, améliorer l'état des éléments nutritifs du sol et empêcher les eaux souterraines contamination (**Bakhshayesh et al., 2014 -Leggo, P.J, 2015**) . L'efficacité de l'utilisation des nutriments et une meilleure croissance des plantes sont étroitement liées aux propriétés physiques et chimiques du sol. Dans ce contexte, l'application d'amendements de sol, plus particulièrement d'amendements naturels ou organiques, revêt une grande importance pour la récupération à long terme des propriétés physicochimiques du sol (**Mahabadi et al., 2007 – Sarkar et Naidu, 2015**). Les zéolithes sont naturellement les aluminosilicates hydratés alcalins présents sous plus de 50 formes différentes (**Jha et Singh, 2015 -Virta, R.L , 2002**) et une large gamme d'applications telles que les agents liants du sol et les suppléments nutritifs pour la vie animale et aquatique. De plus, ils peuvent être utilisés comme matériaux de stockage de chaleur et solaires réfrigérateurs, à la fois absorbants et adsorbants ; éléments échangeurs d'ions; tamisage moléculaire agents; et des agents catalyseurs dans diverses réactions chimiques (**Elliot et Zhang, 2005 - Ober, J.A, 2017**) Dans l'agriculture, la l'importance des zéolithes a été réalisée dans une plus grande mesure avec leur applicabilité variable

(Figure 25) (**Elliot et Zhang, 2005**). Les zéolithes naturelles sont considérées comme de bonnes substances améliorant le sol, avoir une bonne capacité de rétention d'eau et de nutriments (WHC); il améliore le taux d'infiltration, conductivité hydraulique saturée, capacité d'échange cationique et évite les pertes d'eau par percolation profonde (**Inglezakis et al., 2017- Enamorado-Horrutiner et al., 2016**) De plus, les zéolithes pourraient être utilisées comme engrais et chélateurs mandataire (**Perez-Caballero et al., 2008**) Les zéolithes minimisent le taux de libération des nutriments à la fois organiques et inorganiques fertilisants et permettent une meilleure disponibilité des nutriments tout au long des stades de croissance des cultures(**Perez-Caballero et al., 2008**) .

L'amélioration de la large gamme de cultures agronomiques et horticoles en ce qui concerne les traits de croissance, de rendement et de qualité avec l'application de zéolithes ont été bien signalés par divers chercheurs (**Shahsavari et al., 2014 – Hazrati et al., 2017**) De plus, la zéolite peut absorber efficacement les métaux lourds comme le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le nickel (Ni), les anions comme le chromate (CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) et l'arséniate (AsO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) et des polluants

organiques tels que les composés organiques volatils (COV), y compris le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène (BTEX) provenant du sol ou de la masse d'eau (**Kazemian et Mallah, 2006 – Youssefi et Waring, 2015**) . Reconnaisant tous les avantages susmentionnés, les applications des zéolithes dans le domaine de la recherche agricole ont largement gagné en importance depuis les deux dernières décennies (Figure 26), en témoigne la tendance chronologique ascendante du taux de publication accessible à partir de la base de données en ligne « Scopus » avec les mots-clés « zeolit », « assainissement du sol », « rétention d'eau », « rétention de nutriments », « production agricole » et « toxicité des métaux lourds » . Plusieurs découvertes antérieures ont rapporté l'applicabilité des zéolithes sur les propriétés du sol ainsi que sur l'eau et les nutriments capacité de rétention, rendement des cultures et toxicité des métaux lourds. Il est donc grand temps de donner importance pour l'application des zéolithes dans les activités agricoles et cet article de synthèse donne une évaluation complète des sources de zéolithes, de leur structure et de leurs propriétés, et large application dans l'agriculture avec une attention particulière aux propriétés du sol, aux ressources conservation, lutte antiparasitaire, contrôle de la pollution et productivité des cultures

## **2-Structure de la Zéolite :**

Structurellement, la zéolite est composée de tétraèdres d'aluminosilicate ( $AlO_4$  et  $SiO_4$ ), joints dans des cadres tridimensionnels et ressemble à une structure en nid d'abeille (Figure 28) (**Nakhli et al., 2017**). Les cages de la structure poreuse de la zéolithe ont un diamètre d'environ 12 Å, reliées entre elles à travers les canaux de 8 Å de diamètre, comprend 12 anneaux de tétraèdres (**Sangeetha et Baskar, 2016**). En fonction, dépendamment sur les minéraux, les pores sont liés pour former de longs canaux larges qui facilitent mouvement moléculaire facile dans et hors de la structure de la zéolite. Les ions aluminium chargés négativement dans la structure de la zéolithe sont équilibrés par des cations chargés

positivement. La formule empirique générale qui fait référence à une structure de zéolithe est  $MnO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$ . M désigne tout cation alcalin ou alcalino-terreux; la valence du cation est indiquée par n, x est compris entre 2 et 10, et y est compris entre 2 et 7, avec des cations structuraux comprenant  $Si^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ , et des cations échangeables  $K^+$ ,  $Na^+$  et  $Ca^{2+}$  (**Hemingway et Robie, 1984**). La structure poreuse spacieuse avec de grands canaux dans la structure de la zéolithe la rend unique dans sa nature par rapport aux autres minéraux silicatés (**Chmielewska et Lesný, 2012**). Les zéolithes naturelles sont chargées des cations susmentionnés avec diverses propriétés considérables telles qu'une capacité d'échange de cations (CEC) supérieure à celle d'un sol normal, comprise entre 100 et 200 centimol (+) kg<sup>-1</sup> (**Stylianou et al., 2015**) stockage d'eau libre

dans leurs canaux structuraux, et ont également une grande capacité d'adsorption d'ions dans de grands superficie. Les zéolithes peuvent adsorber ou échanger divers cations, à savoir. le strontium (Sr) et césium (Cs); les métaux lourds comme le zinc (Zn), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le chrome (Cr), le fer (Fe) et le cuivre (Cu) (**Kazemian et Mallah, 2006**), polluants organiques mentionnés plus haut (**Youssefi et Waring, 2015**), Autre les propriétés physiques et chimiques utiles des zéolithes comprennent un volume de vide élevé (~ 50%), un faible densité (2,1–2,2 g/cm<sup>3</sup>), excellentes propriétés de tamisage moléculaire et haute sélectivité cationique exclusivement pour les ions ammonium, potassium et césium (**Bhattacharyya et al., 2015**). Caractéristiques physiques de certaines zéolithes naturelles sont résumées dans le tableau 1. En ce qui concerne le diamètre des pores Les zéolithes ont été classées par Flanigen (**Flanigen, E.M, 2001**) à savoir. (i) Petits pores (diamètre de 0,3 à 0,45 nm avec 8 anneaux), (ii) à pores moyens (diamètre de 0,45 à 0,6 nm avec 10 anneaux), (iii) à gros pores (diamètre de 0,6 à 0,8 nm avec 12 anneaux), et (iv) zéolithes à pores extra larges (diamètre de 0,8 à 1,0 nm avec 14 anneaux).

### **3. Impacts de l'application de zéolite dans l'agriculture**

#### **3.1. Amélioration des propriétés physiques du sol**

Les propriétés physiques du sol comprennent la densité apparente, la densité des particules, l'aération, la porosité du sol, la capacité de rétention d'eau dans laquelle la densité apparente est la propriété de base du sol qui influence la porosité totale et la stabilité de la couche arable (**Bittelli et al., 2015**) L'application de zéolithes dans un sol à texture légère réduit la densité apparente qui modifie la capacité de rétention d'eau et la porosité à l'air du sol (**Ramesh et al., 2011**)

Cependant, la porosité totale n'est pas influencée de manière significative (**Ramesh et al., 2011**). Dans une étude précédent (**Xiubin et Zhanbin, 2001**) ont émis l'opinion de la zéolite naturelle principalement de la mordénite avec une taille inférieure à 0,25 mm au loess

calcaire à grain fin qui avait un faible WHC. Le résultat a révélé qu'après 25 h d'ajout d'eau aux sols traités et normaux, les zéolithes appliquées au sol ont entraîné une augmentation de la teneur d'eau. Figure 29. Ils ont également signalé que la capacité de rétention d'eau dans le sol a augmenté de 0,4 à 1,8 % en condition de sécheresse, tandis que de 5 à 15 % en situation normale par rapport à un sol non traité.

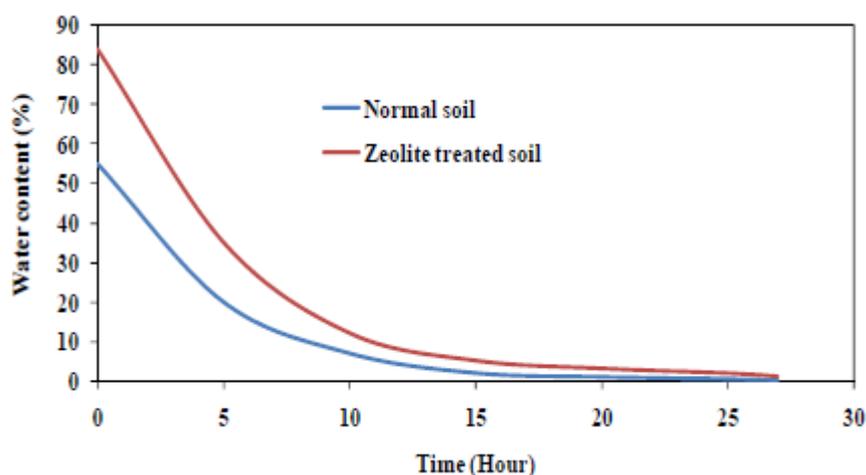


Figure 29 : Teneur en eau du sol influencée par le sol zéolitique. Modifié de Xiubin et Zhanbin

Dans une autre étude, l'effet de la zéolite modifiée de type  $\text{Ca}^{+2}$  sur le sol des dunes de sable a été déterminé là où l'irrigation a été donnée avec de l'eau salée. Des échantillons de sol de dunes de sable ont été traités avec les trois taux différents de zéolite, c'est-à-dire  $5 \text{ kg m}^{-2}$ ,  $1 \text{ kg m}^{-2}$  et pas de zéolite. (témoin) et irrigué avec de l'eau de mer diluée à des niveaux de conductivité électrique (CE) de 3 et 16 déciSiemens par mètre ( $\text{dS m}^{-1}$ ). Les résultats ont montré que le sol avec  $5 \text{ kg m}^{-2}$  de zéolithes/  $\text{m}^{-2}$  augmente l'eau du sol ainsi que de la teneur en sel, représentant 20 et 1,4% de plus qu'aucune application de zéolithe (Al-Busaidi et al., 2008) La concentration des cations à savoir  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  augmente avec l'augmentation de la salinité du sol. Les conclusions ont été attribuées au fait que la zéolithe augmente la capacité d'échange de cations, et les cations subséquents se tenant à la surface du sol, et les libèrent au détriment des sels dans l'eau salée (Inglezakis et al., 2012) Ainsi, la faible accumulation de sel dans le sous-sol facilite un faible stress salin sur les plantes et crée un meilleur environnement pour la croissance des plantes. La réduction de la taille des particules avec l'application de zéolithes dans un sol sableux pourrait être une autre raison de la capacité de rétention d'eau plus élevée. Volumes de pores plus élevés dans les zéolithes facilitent une plus grande rétention d'eau dans leurs structures (Ramesh et al., 2011) De telles structures ne sont pas endommagées par des particules d'eau lors de l'évaporation et/ou de la réabsorption

en surface. Zéolithes peut être considéré comme le réservoir d'eau permanent. Rétention de l'humidité du sol plus longtemps la durée, en particulier pendant les périodes sèches, aide à atténuer les stress abiotiques induits par la sécheresse et permettre aux plantes de résister à la sécheresse ; les zéolithes facilitent également le remouillage rapide et l'eau latérale se répandant dans toute la zone racinaire pendant la période d'irrigation, ce qui réduit le moment de l'application de l'eau (**Nakhli et al., 2017**)

L'amélioration du sol avec des zéolithes augmente la disponibilité de l'eau pour les plantes de 50 % (**Sangeetha et Baskar, 2016**). L'application de zéolite @ 10 g kg<sup>-1</sup> sol pourrait maintenir le pourcentage d'eau maximum (8,4 %) à la capacité au champ et retarder l'application permanente du point de flétrissement dans les sols limoneux sableux (**Valadabadi et al., 2010**). (**Al-Busaidi et al., 2008**) rapportent que l'existence de les particules fines et les micropores des zéolithes ont ralenti la percolation profonde de l'eau du sol. Le taux d'infiltration est inversement proportionnel à l'application de zéolithes.

(**Xiubin et Zhanbin, 2001**) ont observé que le mélange de zéolithes avec des calcaires à grains fins.

le sol de loess a augmenté le taux d'infiltration de 7–30% et 50% respectivement dans une pente douce et raide. De plus, le ruissellement et l'érosion subséquente du sol ont été réduits avec l'application de zéolithes et la sédimentation a également été réduite de 85 % et 50 % respectivement dans une pente douce et raide. Fait intéressant, une combinaison de zéolithes et de sélénium application vérifier les dommages oxydatifs du déficit hydrique chez les plantes (**Valadabadi et al., 2010**)

(**Colombani et al., 2014**) ont quantifié les modifications des paramètres d'écoulement et de transport induites par l'ajout de zéolithes dans un sol limono-argileux et ont rapporté que les zéolithes enrichies en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> amélioreraient la capacité de rétention d'eau dans l'argile limoneuse sol, diminuant ainsi les pertes d'eau et de soluté. Productivité maximale de l'eau d'irrigation (0,81 kg m<sup>-3</sup>) sous irrigation limitée a été enregistré auprès du

l'application de zéolithes (21 % ww<sup>-1</sup>) avec de l'urée, tandis que la productivité minimale de l'eau (0,48 kg m<sup>-3</sup>) a été observée sous irrigation complète et application exclusive d'urée

(**Gholamhoseini et al., 2013**). (**Bernardi et al., 2013**) ont également observé que les zéolithes concentrées comme amendement sable-sol augmenter d'au moins 10 % la rétention d'eau du sol et 15 % de l'eau disponible pour les plantes. Zéolite augmente les périodes entre le début de la pluie et l'apparition du ruissellement. Intensité des précipitations avec 10 mm par heure. entraîne le début du ruissellement en 15 min dans un sol normal.

Les zéolithes aident à améliorer les agrégats stables à l'eau dans le sol. Comme par exemple, la nano zéolite avec une concentration de 30 % a augmenté le diamètre moyen en poids des

agrégats stables à l'eau de 0,735 mm (**Aminiyan et al., 2015**) Avec l'utilisation de cette propriété, (**Moritani et al.,2010**). ont rapporté que l'incorporation de 10 % de zéolithes artificielles dans des sols sodiques a entraîné une amélioration de la stabilité des agrégats humides comprise entre 22,4 % et 59,4 % en fonction des classes de texture du sol. (**Cari et al.,2017**) . a catégorisé le sol avec une évaluation moyenne classée « bonne » et « excellente » en termes d'agrégats stables à l'eau et de degré d'agrégation du sol dans les vertisols et ils ont montré l'application de zéolite avec des engrais chimiques ou du fumier organique (zéolite 7,5 t h<sup>-1</sup> + tourteau de canne à sucre 22,5 t h<sup>-1</sup>) a amélioré les propriétés du sol de bonnes à excellent. (**Sepaskhah et Yousefi, 2007**) ont mené une expérience pour justifier l'effet de divers taux de zéolithe calcium-potassium sur la vitesse interstitielle de l'eau dans le sol qu'ils ont observé vitesse de l'eau interstitielle plus élevée (35 et 74%) avec l'application de 4 et 8 g de zéolite kg<sup>-1</sup> sol respectivement. Modifications des propriétés physiques du sol avec l'application de zéolithe en couche mince (lourde) on a observé un sol à texture moyennement mince et à texture moyennement grossière (légère) par (**Gholizadeh-Sarabi et Sepaskhah, 2013**). ont rapporté que dans les sols à texture fine et moyenne, application de zéolithes à raison de 4 et 8 g kg<sup>-1</sup> de sol à faible salinité (0,5 et 1,5 dS m<sup>-1</sup>) et 16 g de zéolithes kg<sup>-1</sup> sol au niveau de salinité élevé (3,0 et 5,0 dS m<sup>-1</sup>) augmentation significative de la conductivité hydraulique saturée alors que dans un sol à texture grossière similaire , le taux d'application des zéolithes réduit considérablement la conductivité hydraulique saturée. Ils ont également supposé que l'application de zéolithes dans les sols lourds (loam argileux) et à texture moyenne.

le loam du sol a modifié la forme et la taille des pores du sol et a entraîné une amélioration de la structure du sol et du mouvement de l'eau dans ces sols. L'application de zéolithes soulage le limon du sol a modifié la structure du sol et le mouvement de l'eau dans ces sols. L'application de zéolithes soulage l'effet néfaste de la salinité sur la conductivité hydraulique et empêcherait ainsi l'engorgement dans les textures de sol lourdes et moyennes. En cas de sols sableux, ajout de zéolithes serait opportun de diminuer la conductivité hydraulique et la transférabilité des l'eau qui entraîne une faible percolation en profondeur et une perte d'eau du sol. Cependant, (**Razmi et Sepaskhah,2012**) a rapporté que l'application de zéolithe (8 g kg<sup>-1</sup>) dans les sols limoneux argileux amélioré la conductivité hydraulique. Ils ont également établi que le sol traité avec de la zéolite a entraîné une réduction de 50 % de la profondeur des fissures dans les sols flaques secs avec une pré-application de zéolithes par rapport à l'absence d'application de zéolithes. Une observation similaire a également été enregistrée.

De plus, la sorptivité des sols argilo-limoneux a été réduite avec un taux plus élevé de zéolithes application telle que rapportée par (**Gholizadeh-Sarabi et Sepaskhah,**

2013)Cependant, un contraste résultat a été observé dans le cas des sols limono-sableux et limoneux. L'utilisation appropriée de l'eau est le besoin immédiat dans l'agriculture d'assurer la sécurité alimentaire avec les ressources en eau disponibles ; par conséquent, les technologies qui améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau se généralisent. l'ajout de zéolithes influence positivement la porosité inter-particules ainsi que la porosité totale, la densité apparente, la conductivité hydraulique, le taux d'infiltration et le cation capacité d'échange du sol qui accélère finalement la teneur en eau du sol. En outre, les canaux du réseau de pores ouverts dans la structure des zéolithes jouent principalement les rôles importants »

dans la rétention d'eau. La synthèse des impacts zéolithiques sur le large éventail de sols dans Le tableau 8 indique que l'utilisation de zéolithes comme améliorant du sol serait une stratégie bienvenue dans l'agriculture.

Types of Zeolite	Application Rate (ww <sup>-1</sup> )	Soil Textural Classes	Changes in Soil Physical Properties			References
			Water Content	Infiltration Rate	Hydraulic Conductivity	
Clinoptilolite	1-15%	Clay, loamy sand, sand	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20% increase at 10% zeolite application rate in sandy soil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltration rate reduction with a higher rate of application</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreased in sandy and loamy soils; Increased in clay soil</li> </ul>	Mahabadi et al. [15]
Mordenite	-	Calcareous loess	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0.4-1.8% and 5-15% increase in drought conditions and normal conditions</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7-30% increase with gentle slopes &gt;50% increase with steep slope</li> </ul>	-	Xiubin and Zhanbin[3]

Tableau 8 : Propriétés physiques des sols influencées par l'application de zéolithes .

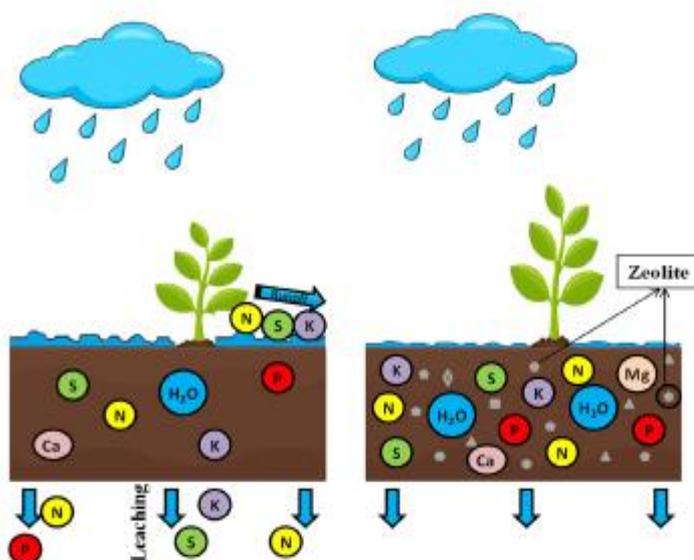


Figure 29 : Efficacité de la zéolite sur la rétention d'eau et de nutriments dans le sol. Modifié de( Nakhli et al., 2014)

### 3.2. Rétention des nutriments

Les zéolithes influencent positivement les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol directement ou indirectement, ce qui améliore à son tour la dynamique des nutriments ainsi que la capacité de rétention des nutriments. Les minéraux zéolithiques ont une CEC élevée qui attribue à une teneur élevée en  $\text{NH}_4^+$  sélectivité de sorption en raison de l'attraction électrostatique entre charges positives  $\text{NH}_4^+$  et sites chargés négativement dans la structure de la zéolithe (Aiyuk et al., 2004 –Englert et Rubio, 2005)La diffusion efficace du coefficient était d'environ  $4\text{--}5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  pour les ions ammonium et sodium respectivement dans la clinoptilolite (Sprynskyy et al., 2005 - Zabochnicka-Swiatek, M, 2007).La capacité d'adsorption des zéolithes pour ces ions est déterminée par les isothermes et la cinétique et cette propriété d'adsorption est utilisée à diverses fins comme le traitement des eaux usées, l'élimination des métaux lourds. La clinoptilolite présente généralement une haute sélectivité pour l'ion  $\text{NH}_4^+$ , ayant une CEC théorique de  $2,16 \text{ cmol (+) kg}^{-1}$  (Jha et Hayashi, 2009). L'efficacité d'adsorption des zéolithes dépend principalement de facteurs tels que la masse, la taille des particules, la concentration initiale des cations de la solution modèle, le temps de contact, la température et pH (Mazloomi et Jalali, 2016 - Gorre et al., 2016 )De plus, la modification de la surface des zéolithes avec des acides forts accélère la capacité de sorption des cations (Shaikh et Chendaku,2016). La modification des zéolithes naturelles comprend un prétraitement par le broyage et le tamisage, le mélange avec du sel de sodium et enfin, les calcinations changent dans la taille des pores et la surface des zéolithes, et ainsi l'absorption d'ions ammonium a augmenté (Liang et Ni, 2008). L'application au sol de zéolithes en combinaison avec des engrais chimiques réduit le lessivage de l'azote (Aghaalikhani et al., 2012 – Omar et al., 2015 )et la volatilisation (Haruna et al., 2008 – Rech et al., 2017 ) ralentissent le processus de minéralisation et la réduction subséquente des émissions de gaz à effet de serre (GES) (Zaman et al., 2012), des nutriments sont libérés dans la solution du sol (Li et al., 2013- Behzadfar et al., 2017 ). Dans les études d'incubation, les chercheurs avaient clairement vu la différence dans la perte d'ammoniac avec les engrais chimiques et les engrais chimiques avec de la zéolite et ont signalé de faibles pertes d'ammoniac lors de l'application d'engrais avec de la zéolite (Ahmed et al., 2006 – Palanivell et al., 2016 ). (Omar et al., 2010) ont prouvé l'amélioration significative de l'ammonium échangeable dans le sol rétention de 40 à 50 % dans un sol traité à la zéolithe. La réduction par lessivage de  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  à partir de différents engrais azotés avec l'application de zéolithe est illustrée dans le tableau 9

Soil Type	Zeolite Application Rate	Source of N	N Dose (kg h <sup>-1</sup> )	Leaching Reduction		References
				NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Sand-based putting green	10%	Ammonium Sulphate	293	99%	86%	Huang and Petrovic [87]
Sandy soil	0.8%	Ammonium Sulphate	32	>90%	–	Zwingmann et al. [88]
Loamy sand	5%	Ammonium Sulphate	200 †	83%	–	Mackown and Tucker [89]
Sandy loam	9*	Urea	270	–	36%	Golamhoseini et al. [90]
Silty loam	4%	Wastewater	14.2 ‡	–	54.9%	Taheri-Sodejani et al. [91]

Tableau 9 : Réduction du lessivage Pourcentage de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et NO<sub>3</sub><sup>-</sup> de différents engrais azotés avec l'application de Zéolithe.

Le minéral de zéolite a également protégé la conversion de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par le processus de nitrification. Ce dernier est plus enclin à s'infiltrer dans le sol et faciliter la contamination des eaux souterraines (**Sepaskhah et Yousefi, 2007**). Les petits pores dans la structure du réseau cristallin de zéolithe (4–5 Å) dans laquelle les cations comme l'ammonium peuvent facilement s'adsorber, ne pas donner accès aux micro-organismes nitrifiants dans les pores (**Baerlocher et al., 2007**) ; ainsi, la nitrification

ne se déroule pas facilement dans les sols traités aux zéolithes. L'une des plus grandes utilités de la zéolite est utilisée dans le compost permettant de convertir les déchets agricoles agricoles en matières organiques précieuses amendements. Cependant, une quantité importante de pertes de N a lieu pendant le temps de compostage (**Waldrip et al., 2014**). Dans une expérience, (**Ramesh et Islam, 2012**) ont confirmé que l'application de 14 à 21 % de zéolite dans le fumier frais a entraîné une faible perte d'ammonium. La zéolithe pourrait également absorber les substances volatiles telles que l'acide acétique, l'acide butanoïque, le scatole et l'acide isovalérique

et pourrait également contrôler efficacement l'odeur dégagée lors du compostage (**Cai et al., 2007 – Sharadqah et Al-Dwairi, 2010**).

L'ampleur de la réduction des pertes totales d'azote et même de phosphore avec l'application de zéolite dans le fumier organique a été rapportée avec succès (**Murnane et al., 2015**).

La raison derrière les faibles pertes de N du fumier est la sélectivité spécifique élevée des zéolithes à l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) qui aide à retenir cet ion pendant la volatilisation. De plus, l'existence de petits canaux internes protège le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de la nitrification rapide par les microbes (**Latifah et al., 2016**).

Fait intéressant, les zéolithes aident non seulement à protéger la perte de N, mais réduisent également la lixiviation du P ; cependant, cela aide à réduire la lixiviation de NO<sub>3</sub> supérieure à

la lixiviation de P (**Gholamhoseini et al., 2013 – Moharami et Jalali, 2014 – Shokouhi et al., 2015** ). Étant de nature alcaline et la présence de charges négatives, le sol amélioré par la zéolite améliore la disponibilité du P du sol en abaissant l'acidité du sol, l'Al échangeable du sol et le Fe (**Shokouhi et al., 2015 – Mihajloviae et al., 2014** ).

Ceux-ci aident à réduire la fixation de P par les oxyhydroxydes métalliques. De plus, la supplémentation en zéolithes déclenche plus d'absorption de P en améliorant les mécanismes de dissolution induits par les échanges suit (**Allen et al., 1993**)



-Dans cette réaction, le Ca libéré est adsorbé sur la surface de la zéolite en raison de la CEC élevée et comme en conséquence, plus de phosphate naturel sera dissous avec une baisse de l'activité du  $\text{Ca}_2+$  dans la solution. Ce système libère les ions  $\text{NH}_4 +$  et  $\text{PO}_4^{3-}$ . L'ajout de zéolithes clinoptilolite avec un taux d'engrais recommandé de 75 % a montré un P total et disponible comparable avec la dose recommandée existante sans aucune application de zéolithe (**Aainaa et al., 2018**). Dans cette expérience, l'ajout de zéolithes clinoptilolite a également contribué à réduire l'Al ainsi que l'acidité du sol qui a entraîné une faible fixation du phosphore au colloïde du sol. Une tendance d'observation similaire a été enregistrée (**Zheng et al., 2019**), ont représenté 14,1 % de P disponible plus élevé avec l'application de zéolithe par rapport au traitement sans zéolithe. (**Antoniadis et al., 2012**) ont également signalé une augmentation dans l'efficacité de récupération de P de 4,02 % en raison de l'application de zéolithe dans un sol acide par rapport à pas d'application de zéolithe. La nature à libération lente de la zéolithe dans la libération de P a été observée par (**Bansiwal et al., 2006**) a entraîné la libération continue de phosphate même après 1080 h de percolation continue à partir de la surface de phosphate modifiée chargée de zéolithe, tandis que dans seulement 264 h de phosphate de dihydrogénophosphate de potassium ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) ont été épuisés.

Plutôt que les zéolithes N et P ont une forte sélectivité sur  $\text{K}+$  que sur  $\text{Na}+$ ,  $\text{Ca}_2+$  et  $\text{Mg}_2+$  qui rend difficile l'élimination du  $\text{K}+$  des sites d'échange, facilitant une plus grande absorption de  $\text{K} +$  par les poils absorbants des plantes via l'échange d'ions dans la racine et la zéolithe (**Rivero et Rodríguez-Fuentes, 1988**). Les pertes de  $\text{K}+$  par le ruissellement de surface et le lessivage des eaux souterraines peuvent être réduits en zéolithes comme engrais à libération lente (**Ming et Allen, 2001**). Par exemple, l'application de zéolithes dans les compost pour étudier le modèle de libération de  $\text{K} +$  a entraîné six fois moins de perte de lixiviation le compost zéolithique par rapport au compost normal (**Moraetis et al., 2016**). De plus, (**Williams et Nelson, 1997**) a observé qu'en milieu hors sol la clinoptilolite saturée en  $\text{K}+$  enregistrerait 23% moins de lessivage du substrat témoin sur-contrôlé en  $\text{K}+$ . (**Moraetis et al., 2016**) ont

rapporté que il y avait une augmentation de 18 fois du K biodisponible lorsque des zéolithes étaient ajoutées par cinétique expérience au mélange sol-compost, suggérant une forte affinité pour le potassium dans le sol-compost-mélange de zéolithe. La zéolite est considérée comme une application verte nano-améliorée car elle

Adsorbe les molécules à relativement basse pression (**Kamrudin et al., 2003 – Lavicoli et al., 2014** ). Les engrais enrobés de zéolite ont un plus grand potentiel d'absorption et de rétention d'eau, et ces matériaux de revêtement retardent le nutriment taux de libération des engrais appliqués au sol, en particulier dans les sols sableux et limoneux sableux (**Sulakhudin et Sunarminto, 2011**).

Une capacité similaire de rétention des nutriments des zéolithes dans les nutriments secondaires tels que le S a été enregistrée par (**Li et Zhang, 2010** )qui ont révélé qu'après lessivage avec 50 volumes de pores, 85 % de le  $\text{SO}_4^{2-}$  préchargé est resté sur l'engrais S modifié à la zéolite. La concentration de  $\text{SO}_4^{2-}$  dans le lixiviat de la zéolite modifiée en surface chargée en S s'est avérée être abaissée, en comparaison avec les sources de soufre non zéolithiques. Yuvaraj et Subramaniannano (**Najafi-Ghiri et Rahimi, 2016**) ont rapporté que la nano-zéolite adsorbait plus de Zn et que la Le taux d'adsorption obtenu avec la nano-zéolithe s'est avéré être des adsorbants efficaces pour le Zn. Ils ont également observé que le  $\text{ZnSO}_4$  libérait le Zn jusqu'à 200 heures alors que les micronutriments de la nano-zéolithe se libéraient même après 800 h . La meilleure disponibilité de micronutriments dans le sol avec l'application de zéolithe facilite finalement la production de plus grands micronutriments contenu dans les plantes. (**Hazrati et al., 2017**) ont entraîné des taux de Zn, Mn et Cu significativement plus élevés contenu dans les feuilles de haricot avec la maximisation de l'application de zéolithe jusqu'à 90 kg ha<sup>-1</sup> D'après les discussions susmentionnées, on peut conclure que la zéolithe l'application accélère la disponibilité des éléments primaires, secondaires et micronutriments dans les sols et l'absorption ultérieure par les plantes , et son application est la plus importante dans les zones arides et régions semi-arides qui souffrent d'une pénurie constante d'eau et de nutriments.

Les zéolithes naturelles et minéraux de bentonite pour adsorber et libérer le zinc et le fer sous forme naturelle les zéolithes ont une plus grande affinité pour ces micronutriments. (**Sheta et al., 2003**) trouvé 74,7% et 84,63 % sont facilement extractibles par l'agent d'extraction DTPA (acide diéthylène-triamine pentaacétique)

(0,005 M DTPA + 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  + 0,1 M triéthanolamine, ajusté à pH 7,30) après

trois extractions successives de Zn et Mn respectivement et le reste ont été retenus par la zéolithe. Yuvaraj et Subramaniannano (**Najafi-Ghiri et Rahimi, 2016**) ont rapporté que la nano-zéolithe adsorbait plus de Zn et le taux d'adsorption obtenu avec la nano-zéolithe s'est avéré

être des adsorbants efficaces pour Zn. Ils ont également observé que le ZnSO<sub>4</sub> libérait le Zn jusqu'à 200 heures

D'après les discussions susmentionnées, on peut conclure que l'application de la zéolithe accélère la disponibilité des éléments primaires, secondaires et micronutriments dans les sols et l'absorption ultérieure par les plantes, et son application est la plus importante dans les zones arides. et les régions semi-arides qui souffrent d'une forte pénurie d'eau et de nutriments.

### **3.3. Libération lente des herbicides**

Étant de nature poreuse avec une structure bien ordonnée, les zéolithes sont considérées en tant que substances potentielles pour le stockage et la libération de molécules organiques invitées. Le plus la forme solide hydrophobe de la zéolithe 'ZSM 5' adsorbe le groupe triazine des herbicides dans espace vide intra-cristallin compartimenté et les libèrent lentement (**Corma et Garcia, 2004**). En outre, ZSM-5 s'est avéré limité à la mobilité des herbicides de post-levée tels que paraquat (**Walcarious et Mouchotte, 2004 – Zhang et al., 2006**). Les zéolithes d'acide humique agissent comme un sorbant des herbicides appartenant à la groupe phénylurée (**Capasso et al., 2007**). Le gazon clinoptilolitique a le potentiel d'éliminer l'atrazine du sol et de l'eau (**Salvestrini et al., 2010 – Jamil et al., 2011**). L'application d'herbicide 2, 4-D avec des zéolithes entraîne une modèle de libération temporelle et maintient l'ingrédient actif de l'herbicide dans les 0 à 5 cm supérieurs du sol couche (**Bakhtiary et al., 2013 – Shirvani et al., 2014**). Cette nature à libération lente de l'herbicide lorsqu'il est utilisé avec des zéolithes améliore l'efficacité de l'herbicide pour contrôler les flores adventices et l'effet prolongé de l'herbicide le champ de culture exempt de mauvaises herbes pendant toute la période de concurrence des mauvaises herbes. Riche en zéolithe

la nanocapsule est utilisée comme support d'herbicide, adsorbant et agent de rétention (**Shirvani et al., 2014**). Une durée plus la période de rétention de l'herbicide ajouté à la zéolithe sur les feuilles de mauvaises herbes aide à maximiser l'efficacité du mode d'action herbicide. Fait intéressant, l'effet synergique entre la zéolithe les catalyseurs à l'isoproturon accélèrent l'absorption de la lumière visible et en plus améliorent adsorption de molécules récalcitrantes par la structure poreuse des zéolithes (**Reddy et al., 2012**).

### **3.4. Assainissement des sols contaminés**

La pollution des sols induite par les métaux lourds est l'une des principales préoccupations de l'agriculture moderne. Les activités anthropiques de l'homme, l'industrialisation rapide et l'utilisation peu judicieuse des engrais sans précaution appropriée rendent le sol toxique avec une contamination par les métaux lourds.

La solubilité des métaux lourds dans le sol dépend d'une dégradation chimique complexe et nombreux facteurs. Parmi eux, le faible pH du sol est l'un des principaux facteurs déterminants. Dans un environnement acide, les oxydes de fer, d'aluminium et de manganèse sont lentement solubilisés, et les minéraux primaires et secondaires libèrent le métal lourd dans le sol (**Karczewska et Kabala, 2010**). Absorption du sol La capacité est un autre facteur déterminant pour la rétention des ions de métaux lourds. Le cours préoccupation par rapport à la pureté du sol et la nécessité de restaurer ses propriétés d'origine nous a obligés à chercher des moyens nouveaux et alternatifs de nettoyage des sols. Les ajouts de zéolithe augmentent le pH du sol de manière significative qui facilite l'adsorption des métaux lourds à sa surface ; Ainsi, le la solubilité et la biodisponibilité des métaux lourds sont finalement réduites (**Shia et al., 2009**). (**Chen et al., 2000**) ont observé que l'accumulation de cadmium et de plomb dans le blé est significativement réduite avec application au sol de zéolithe dans le sol. De plus, il a été bien rapporté que la clinoptilolite la zéolithe contrôlait efficacement la solubilité des métaux lourds, y compris le cadmium et le plomb jusqu'à 72 % et 81 % respectivement (**Ghuman et al., 1999 – Chlopecka et Adriano, 1997**). Cependant, ce domaine de recherche nécessite des études approfondies pour connaître la dose appropriée spécifique aux métaux lourds et les méthodes d'application de la zéolithe (**Ramesh et al., 2010**).

### **3.5. Traitement des eaux usées**

Le développement industriel avec une urbanisation rapide produit de grandes quantités d'eaux usées qui contient des métaux lourds, des huiles et des matières organiques qui affectent gravement l'environnement aqueux (**Wang et Peng, 2010**). Diverses techniques efficaces telles que l'extraction par solvant, l'échange d'ions et l'adsorption sont souvent utilisées pour éliminer ces contaminants. Parmi eux, l'utilisation des zéolithes comme adsorbants est la plus populaire en raison de leur faible coût, respectueux de l'environnement et pose une bonne électivité pour les cations toxiques (**Abatal et al., 2019**). Il empêche également la génération de nouveaux déchets

(**Zendelska et al., 2015**). De plus, les zéolithes plus spécifiquement la clinoptilolite pourraient adsorber les colorants, humiques acides, phénols et dérivés phénoliques de la masse d'eau (**Armagan et al., 2004 – Yousef et al., 2011**). La clinoptilolite est principalement efficace contre les cations métalliques tels que  $Al^{3+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  et  $Zn^{2+}$  des eaux usées des mines de cuivre (**Li et al., 2008**). La sélectivité de la clinoptilolite pour les métaux lourds suivant l'ordre :  $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Co^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$  (**Babel et Kurniawan, 2003**). Le plus d'avantage de l'utilisation de la clinoptilolite dans le traitement des eaux usées est qu'elle peut adsorber les métaux lourds à une large gamme de température (25–60 °C), pH (1–4) et différentes vitesses d'agitation (0, 100, 200, 400 tr/min) (**Stylianou et al., 2007**). La plus grande

surface avec une capacité d'échange cationique élevée fait de la zéolithe un bon adsorbant des cations (Yousef et al., 2011). La capacité d'assimilation des métaux lourds par La zéolite clinoptilolite a été étudiée par Baker et al. 2009 et s'est prononcé sur la haute sélectivité de zéolithe pour l'évacuation de  $Pb_{2+}$  (98%), suivi de  $Cr_{3+}$ ,  $Cu_{2+}$  et  $Cd_{2+}$  avec 96% sélectivité dans les 90 min. (Markou et al., 2014) ont rapporté que les éléments nutritifs des eaux usées peut être recyclé et utilisé pour la production de biomasse microalgale et cyanobactérienne en utilisant zéolithe comme médium.

### 3.6.Pratiques de gestion des cultures

Les zéolithes ont été utilisées dans une large gamme de cultures de plein champ telles que le riz (*Oryza sativa* L.), le maïs (*Zea mays* L.), le blé (*Triticum aestivum* L.), la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), soja (*Glycine max* L.), et autres cultures de plateau dans tous types de sols pour améliorer leur la productivité, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des éléments nutritifs (NUE), en maintenant également l'écologie du sol et environnement (Omar et al., 2010 – Andronikashvilf et al., 2007 – Ahmed et al., 2010 ). Dans une expérience, (Chen et al 2010 )ont estimé l'effet de différents taux de zéolithe en combinaison avec différents niveaux de N sur le riz repiqué et a conclu que le rendement le plus élevé était obtenu de manière constante lorsque le plant de riz était traité avec une dose maximale de N (157,50 kg ha<sup>-1</sup>) associée à une supplémentation en zéolithe (15 t ha<sup>-1</sup>), représentant 14,90 % de plus que l'application exclusive de N. Ils ont également révélé que le rendement attribuant des caractères à savoir talles efficaces par plante, nombre de grains par panicule, grain le pourcentage de remplissage et le poids de 1000 grains ont été positivement influencés par la dose plus élevée de N; cependant, la zéolithe a constamment augmenté le nombre de talles efficaces.

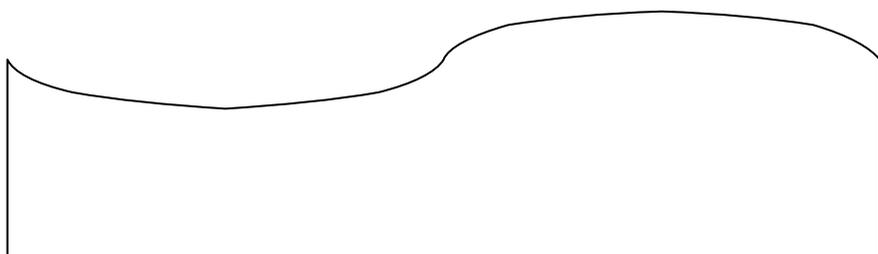
Selon. (Wu et al., 2019), l'amendement aux zéolithes a significativement amélioré la racine caractéristiques en termes de longueur de racine, poids sec, diamètre et volume de racine, racine totale surface, intensité du saignement des racines dans le plant de riz par rapport à l'absence d'application de zéolithe. Développé les traits des racines peuvent améliorer le transport des nutriments de la racine vers les parties aériennes et entraîner une augmentation de la biomasse et du rendement en grain (Peng et al., 2013). Dans des études précédentes, les chercheurs ont confirmé que l'apport supplémentaire de zéolithes a maximisé l'indice de surface foliaire (LAI) ainsi que le SPAD foliaire valeurs et l'efficacité photosynthétique du plant de riz, qui pourraient être attribuées à sa meilleure capacité de rétention d'ammonium et nature à libération lente qui augmentent la meilleure disponibilité de N aux plantes (Gholamhoseini et al.,2013 – Aghaalikhani et al., 2012). Dans un système de riziculture de bas-

fond, (Sepaskhah et Barzegar, 2010) ont établi la corrélation positive entre l'application de zéolithes et la rétention de N dans le profil supérieur du sol. Cette plus grande disponibilité favorise une meilleure absorption de N et par conséquent une plus grande efficacité d'utilisation de l'azote. La culture du riz induite par les zéolithes a entraîné une plus grande récupération apparente de N (65 %) tandis qu'une récupération de 40 % a été observée dans la fertilisation azotée exclusive (Kavoosi, 2007 – Ozbahce et al., 2014).

L'utilisation de Clinoptilolite - tuf riche en tant que conditionneur de sol s'est avéré efficace pour améliorer la productivité du blé, des aubergines, des carottes et des pommes de 13–15 %, 19–55 %, 13–38 % et 63 % respectivement (Ryakhovskaya et Gainatulina, 2009). Non seulement dans les grandes cultures ou les légumes, la zéolite a induit le sol de manière significative amélioré la production ainsi que les caractéristiques qualitatives du champignon mycélium (Klaus et al., 2005). Le traitement avec 30% de zéolithe + 70% d'urée a eu un effet positif sur la microbiologie dans l'orge de printemps, le soja et le maïs (Susana, 2015)

#### **4. Limitation des zéolithes**

Plutôt que l'énorme applicabilité des zéolithes dans l'agriculture, il convient de considérer que les zéolithes ne sont pas sans inconvénients. Les zéolithes synthétiques à grains fins sont de nature très dispersive, ce qui crée des problèmes inquiétants lors de leur utilisation. Après l'extraction de la forme utilisable des zéolithes naturelles est obtenue via des procédures d'isolement telles que le broyage et la génération de granulés alors que l'application de la forme synthétique des zéolithes est limitée en formes granulaires dures et résistantes à l'usure. L'utilisation pratique des zéolithes granulaires n'est pas encore découverte (Król, 2020). La distribution des sources de zéolithes est très limitée comme les zéolitiques le sol est confiné à seulement 1% de la zone géographique totale de l'Inde et plus de 50% de des zéolithes naturelles sont produites en Chine parmi le monde entier (Bhattacharyya et al 2015) qui peuvent augmenter la prix et l'écart entre l'offre et la demande. Par conséquent, la disponibilité ininterrompue des zéolithes à des fins agricoles dans le monde est une autre contrainte majeure.



Le monde génère 2 milliards de tonnes de déchets chaque année, et ce nombre ne cesse d'augmenter, il est donc urgent d'agir. Le recyclage est l'une des solutions, son principe est d'utiliser des objets mis au rebut pour participer à la fabrication de nouveaux produits. La finalité du recyclage préserve ainsi en partie les ressources de la terre et permet également de réduire la pollution des déchets à éliminer, sans compter les tonnes de déchets jetés dans la nature.

Les méthodes d'élimination des déchets varient d'un pays à l'autre et dépendent d'un certain nombre de facteurs. Les installations des centres de traitement nécessitent la mise en place de systèmes limitant les risques environnementaux. La filière traditionnelle d'élimination des déchets solides en Algérie est essentiellement la mise en décharge, la méthode la plus ancienne et la plus utilisée en raison de son moindre coût que les autres filières d'élimination. L'élimination des déchets est un enjeu qui est aujourd'hui plus que jamais au cœur de notre société. Il y a une quantité toujours croissante de déchets générés qui doivent être éliminés

rapidement et efficacement sans nuire à l'environnement. Aujourd'hui, de nombreux pays ont tendance à adopter le processus de compostage pour l'élimination. Le processus de compostage est basé sur la dégradation de la matière organique, Le compostage, même s'il peut sembler à première vue un phénomène simple, nécessite en réalité une grande expertise car le processus est régi par de multiples paramètres impliquant de nombreux phénomènes couplés.

L'industrie oléicole en Algérie produit chaque année de grandes quantités d'huile d'olive, ainsi que de grandes quantités de grignons d'olive, qui sont soit donnés aux ruminants, soit jetés dans des décharges. Le grignon d'olive est souvent jeté et considéré comme un polluant en raison de sa résistance à la biodégradation.

L'extraction d'huile d'olive représente également une production annuelle moyenne de plus de 2,9 millions de tonnes de grignons d'olive. La grande quantité de résidus contient des problèmes environnementaux et agricoles qui surviennent chaque année. A cet égard, plusieurs utilisations alternatives de ces résidus solides ont été suggérées dans la littérature.

# Les références bibliographiques

**Aps.dz, 2020** [https://www.aps.dz/economie/114023-Vers le renforcement des exportations de l'huile d'olive algérienne vers l'étranger \(aps.dz\)](https://www.aps.dz/economie/114023-Vers%20le%20renforcement%20des%20exportations%20de%20l'huile%20d'olive%20alg%C3%A9rienne%20vers%20l'%C3%A9tranger%20(aps.dz))

**Chaabane, K., R. Bergaoui, and M. Ben Hammouda.** "Utilisation de différents types de grignons d'olive dans l'alimentation des lapereaux." *World Rabbit Science* 5.1 (1997).

**Munir J, Rusan M, Ammar R, Albalasmeh A, Malkawi. 2016.** Treated Olive mill wastewater effects on Soil properties and plant growth . *water air soil pollut* 227/135).

**DARVISHI RARSHAD 2012.** Microbial biotechnology in olive oil industry. Ed *Agricultural and biological sciences* , pp 310-330.

**Senani N. & Moulti-Mati F. (2012).** Etude du pouvoir antifongique des extraits phénoliques issus des Margines de la variété chamlal (*olea europea*) sur deux souches, *Aspergillus flavus* et

*Aspegillusparasiticus*. Tunisian Journal Medicinal Plants and Natural Products, Vol.8, N°1, pp.44-48.

**Gobat, J.M., M. Aragno, and W. Matthey. 2003.** Le Sol vivant Bases de pédologie Biologie des sols. Deuxième édition, Presse polytechniques et universitaires romandes. pp 568

**Fuchs, J., U. Galli, K. Schleiss, and A. Wellinger. 2001.** Directive de l'ASIC : Caractéristiques de qualité des composts et des digestats provenant du traitement des déchets organiques. Document élaboré par Association Suisse des installations de compostage (ASIC) en collaboration avec le Forum Biogaz Suisse. CH-3322, Schönbühl, pp 11.

**Alu Datt, M. H., Rababah, T., Alhamad, M. N., Gammoh, S., Ereifej, K., Al- 396 Mahasneh, M. A., & Kubow, S. 2017.** Soft Chemistry And Food 397 Fermentation. In: A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.) , p. 265–298. 398 Elsevier.

**Dugelay A., 1954.** Le problème de l'olivier. Revue Forestière Française, (7) : 444-462

**Besnard G., Berville A., (2005).** Les Origines de l'Olivier (*Olea europaea* L.) et des oléastres. Ed. AITAE, AEP.

**C.O.I (1998).** L'Olivier, l'huile, l'olive - Madrid / Espagne

**Breton C., 2006.** Reconstitution de l'histoire de l'olivier (*Olea europaea* subsp. *Europaea*) et de son processus de domestication en région méditerranéenne, étudiés sur des bases moléculaires. Thèse de Doctorat Biologie des Populations et Ecologie. Université Paul Cézanne, France.

**Breton C., Berville A., 2012.** L'histoire de l'olivier reconstituée à partir de données génétiques : in L'histoire de l'olivier. Editions Quæ, pp. 47 -72.

**Sansoucy R., 1984.** Utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale dans le bassin Méditerranéen. Etude FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Production et Santé Animales, 43, Rome. 148p.

**Zervakis G., Yiatras P., Balis C., 1996.** Edible mushroom from olives oil mill wastes. Int. Biodeterior. Biodegrad, pp 237-243.

**Hannachi H., M'sallem M., Benalhadj S., El-Gazzah M. (2007).** Influence du site géographique sur les potentialités agronomiques et technologiques de l'olivier (*Olea europaea*) en Tunisie. C.R. Biologies

**C.O.I. : Conseil oléicole international. (2009).** Production mondiale d'huile d'olive. 1.Novembre 2009.

**Amrouni sais haoua, benbarek abd el madjid 2017 :** Institut National de la Recherche

Agronomique d'Algérie 2 : Ecole National Supérieure Agronomique [Amrouni\\_h@yahoo.fr](mailto:Amrouni_h@yahoo.fr)

**ITAFV** : Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne

**COI** : Commission de l'Océan Indien

**CNTPP** : Centre National des Technologies de Production Plus Propre

**Nefzaoui A., Hellings P. et Vanbelle M. (1983).** Ensiling olive pulp with ammonia:

Effects on voluntary intake and digestibility measured by sheep. 34th. Annual Meeting of the study commission EAAP Madrid.

**Boukria, Asma, and Ghania Ouahrani.** Valorisation des déchets ménagers et des

grignons d'olive par dégradation anaérobie et production de compost et de biogaz.

Diss.2018, Universitéfrères Mentouri Constantine1

**Nefzaoui A.,1984,** Importance de la production oléicole et des sous-produits de l'olivier. In : Etude de l'utilisation des sous-produits de l'olivier en alimentation animale en Tunisie. Étude FAO production et santé animales 43, Rome.

**Mendil M., 2009.** «L'oléiculture: Expériences algériennes», Filaha Innove, N.4. 6 pages.

**Saghi.Y, Hennos.S, 2014,** master, Etude et réalisation d'un four à grignons d'olives, Université

Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

**Ajmia Chouchene, 2010,** Doctorat, Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique, Université de Haute Alsace – Mulhouse

**. Belkebir Zohra, 2007,** master, Valorisation de déchets agro-alimentaires cas des grignons d'olives, Université M'hamed Bougara –Boumerdes Faculté des sciences de l'ingénieur.

**Azbar N., Bayram A., Filibeli A., Muezzinoglu A., Sengul F., Ozer A., 2004.** A Review of Waste Management Options in Olive Oil Production. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, Taylor & Francis Publisher, 34 (3): 209 – 247.

**Nefzaoui A., 1991** Valorisation des sous-produits de l'olivier. In: Tisserand J.-L. (ed.),

Alibés X. (ed.). Fourrages et sous-produits méditerranéens. Zaragoza : CIHEAM, 1991. p. 101- 108 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 16).

**Hachimi, L. (1990).** Le secteur de la transformation de l'huile d'olive au

Maroc. Département de Technologie Alimentaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II-Rabat–Maroc.

**Hammad, M., Badarneh, D. et Tahboub, K. (1999).** Evaluating variable organic waste to produce methane. *Ene.Conv. Manage.* 40 : 1463-1475.

**Leclerc B., 2001.** Guide des matières organiques.eds guide technique de l'ITAB.

**Charnay F., 2005.** Compostage des déchets urbains dans les PED : Elaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de Doctorat N° 56. Université de Limoges.

**MISRA. RV, ROY. RN, HIRAOKA. H., 2005.** Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Documents de travail sur les terres et les eaux. Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture, Rome.

**Franco C., 2003.** Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage – Recherche d'indicateurs pertinents (Doctoral dissertation, INAPG (AgroParisTech)).

**ADEME, 2008.** Guide pratique sur le compostage. ADEME édition, Paris, 20 pages.

**Larbi M., 2006.** Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Thèse, Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL, CH-Frick ; l'Université de Neuchâtel.

**Zurbrugg C. et Ahmed R., 1999.** "Enhancing Community Motivation and Participation in Solid Waste Management" SANDEC News 4.

**Guittouny-Larchevêque M., 2004.** Valorisation d'un compost de boues urbaines en garrigue pour le reboisement : Comportement des jeunes arbres d'une plantation et modifications de la dynamique de la végétation naturelle après amendement, Thèse de Doctorat, Université Paul cézanne, 227p.

**Haug R.T., 1993.** The practical handbook of compost engineering, Boca Raton, Florida. 717.

**Mustin M., 1987.** Le Compost, Gestion de la Matière Organique, F. Dubusc eds, pp. 957, Paris.

**Waas, E., Adjademé, N., Bideaux, A., Deriaz, G., Diop, O., Guené, O., Laurent, F., Meyer, W., Pfammatter, R., Schertenleib, R., Touré, C., 1996.** "Valorisation des déchets ménagers organiques dans les quartiers populaires des villes africaines." Genève, Suisse, SKAT.142.

**Puyuelo, B., Gea, T., Sanchez, A., 2010.** A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. Article in press *Chemical Engineering journal* (2010), doi:10.1016/j.cej.2010.09.011.

**Nadia, R., 2015.** Transformation de la matière organique au cours du co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Approche expérimentale pour une production durable de compost.

**Abdelmadjid H., 2013.** Grandes cultures éléments de pyrotechnie générale 1ère ED. T1. Le blé, 256p.

**FAO., 2003.** Les engrais et leurs applications, quatrième édition, 77p

**Morot-Gaudry J.F. Roger Prat F.M. Maurel C. et Sentenac H., 2009.** Biologie Végétale : Nutrition et métabolisme. Ed. Dunod. Paris, 216p

**Anonyme, 2017.** Manuel d'utilisation des engrais. Grandes cultures, arboriculture, cultures maraichères et industrielle. Ed. Ferital 2017. pp 10-14

**Anonyme, 2005.** La fertilisation. Union des Industries de la Fertilisation. 7ème édition. Unifa. 37p

**Boulal H., Zaghouane O., Mourid M., Rezgui, S., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le maghreb (Algérie. Maroc. Tunisie), 176p.

**Soltner., 2003.** Les bases des productions végétales. Ed. 23ème T1. Le sol et son amélioration. 464p.

**Hopkins 2003.** Physiologie végétale. 1ère édition. deboeck. 514p

**Aouali S., douici., khalfi A., 2009.** Recueil des principes maladies fongiques des céréales en Algérie. ITGC. El harrache. Alger. pp 4-20.

**Van Schöll L., 2005.** Gérer la fertilité du sol. 5ème édition. Fondation agromisa. Wageningen. 83p

**CRAAQ ,2005 –** Guide de référence en fertilisation, première édition première mise à jour ( Avril 2005)

**Aouali S., Douici, 2020.** Symptômes, développement de lutte. itgc-BP16 ;El-harrach ;16200. Alger. Pp 8-9

**Anonyme, 2012.** Industrie de la semoulerie de blé dur. Journal officiel du 10 mai 2012), N° 5912, version disponible sur : [www.ladocumentationfrancaise.fr/](http://www.ladocumentationfrancaise.fr/), 5p

**-Kmieciak S., Meziane S., Kadi H. et Moussaoui R. 1991.** Oil extraction from olive foot cake with acidic hexane. Grasas y Aceites, Vol. 42.

**-Edwards C. et Fletcher K.E. 1988.** Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. Agriculture, Ecosystems&Environment, 24(1–3)

**Bhatt, R.; Singh, P.; Hossain, A.; Timsina, J.** Rice–wheat system in the northwest Indo-Gangetic plains of South Asia: Issues and technological interventions for increasing productivity and sustainability. Paddy Water Environ. **2021**, 1–21.

**Wu, Q.; Chi, D.; Xia, G.; Chen, T.; Sun, Y.; Song, Y.** Effects of Zeolite on Drought Resistance and Water–Nitrogen Use Efficiency in Paddy Rice. J. Irrig. Drain. Eng. **2019**, 145, 04019024.

**Garai, S.; Mondal, M.; Mukherjee, S.** Smart Practices and Adaptive Technologies for Climate Resilient Agriculture. In Advanced Agriculture, 1st ed.; Maitra, S., Pramanick, B., Eds.; New Delhi Publishers: Kolkata, India, **2020**; pp. 327–358.

- . **Ming, D.W.; Mumpton, F.A.** Zeolites in soils. *Miner. Soil Environ.* **1989**, 1, 873–911.
- Mondal, M.; Garai, S.; Banerjee, H.; Sarkar, S.; Kundu, R.** Mulching and nitrogen management in peanut cultivation: An evaluation of productivity, energy trade-off, carbon footprint and profitability. *Energy Ecol. Environ.* **2020**.
- Peña-Haro, S.; Llopis-Albert, C.; Pulido-Velazquez, M.; Pulido-Velazquez, D.** Fertilizer standards for controlling groundwater nitrate pollution from agriculture: El Salobral-Los Llanos case study, Spain. *J. Hydrol.* **2010**, 392, 174–187.
- Delkash, M.; Al-Faraj, F.A.; Scholz, M.** Comparing the export coefficient approach with the soil and water assessment tool to predict phosphorous pollution: The Kan watershed case study. *Water Air Soil Pollut.* **2014**, 225, 1–17.
- Bakhshayesh, B.E.; Delkash, M.; Scholz, M.** Response of vegetables to cadmium-enriched soil. *Water* **2014**, 6, 1246–1256.
- Leggo, P.J.** The efficacy of the organo-zeolitic bio-fertilizer. *Agrotechnology* **2015**, 4, 1000130.
- Mahabadi, A.A.; Hajabbasi, M.; Khademi, H.; Kazemian, H.** Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. *Geoderma* **2007**, 137, 388–393.
- Sarkar, B.; Naidu, R.** Nutrient and water use efficiency in soil: The influence of geological mineral amendments. In *Nutrient Use Efficiency: From Basics to Advances*; Rakshit, A., Singh, H.B., Sen, A., Eds.; Springer: New Delhi, India, **2015**; pp. 29–44.
- Jha, B.; Singh, D.N.** *Fly Ash Zeolites: Innovations, Applications, and Directions*; Springer: Singapore, **2016**; pp. 33–51.
- . **Virta, R.L.** Zeolites. In *US Geological Survey Minerals Yearbook*; US Geological Survey: Reston, VA, USA, **2002**; pp. 84.1–84.4.
- Elliot, A.D.; Zhang, D.** Controlled release zeolite fertilisers: A value-added product produced from fly ash. *Bioprocess. Technol* **2005**, 4, 39–47.
- Ober, J.A.** Mineral commodity summaries. *US Geol. Surv.* **2017**, 202.
- Inglezakis, V.; Elaiopoulos, K.; Aggelatou, V.; Zorpas, A.A.** Treatment of underground water in open flow and closed—loop fixed bed systems by utilizing the natural minerals clinoptilolite and vermiculite. *Desalination Water Treat.* **2012**, 39, 215–227.
- Enamorado-Horrutiner, Y.; Villanueva-Tagle, M.; Behar, M.; Rodríguez-Fuentes, G.; Dias, J.F.; Pomares-Alfonso, M.** Cuban zeolite for lead sorption: Application for water decontamination and metal quantification in water using nondestructive techniques. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **2016**, 13, 1245–1256.
- Perez-Caballero, R.; Gil, J.; Benitez, C.; Gonzalez, J.L.** The effect of adding zeolite to soils in order to improve the N-K nutrition of olive trees, preliminary results. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* **2008**, 2, 321–324.

**Shahsavari, N.; Jais, H.M.; Shirani Rad, A.H.** Responses of canola oil quality characteristics and fatty acid composition to zeolite and zinc fertilization under drought stress. *Int. J. Agric. Sci.* **2014**, *4*, 49–59.

**Hazrati, S.; Tahmasebi-Sarvestani, Z.; Mokhtassi-Bidgoli, A.; Modarres-Sanavy, S.A.M.; Mohammadi, H.; Nicola, S.** Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of Aloe vera L. *Agric. Water Manag.* **2017**, *181*, 66–72.

**Kazemian, H.; Mallah, M.H.** Elimination of Cd<sup>2</sup> and Mn<sup>2</sup> from wastewaters using natural clinoptilolite and synthetic zeolite P. Iran. *J. Chem. Chem. Eng.* **2006**, *25*, 91–94.

**Youssefi, S.; Waring, M.S.** Indoor transient SOA formation from ozone  $\alpha$ -pinene reactions: Impacts of air exchange and initial product concentrations, and comparison to limonene ozonolysis. *Atmos. Environ.* **2015**, *112*, 106–115.

**Scopus Preview. Available online:** <https://www.scopus.com/home.uri> (accessed on 7 November **2020**).

**International Zeolite Association. Available online:** <http://www.iza-online.org> (accessed on 7 November **2020**).

**Nakhli, S.A.A.; Delkash, M.; Bakhshayesh, B.E.; Kazemian, H.** Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: A Review on Water and Nutrient Retention. *Water Air. Soil Pollut.* **2017**, *228*, 464.

**Sangeetha, C.; Baskar, P.** Zeolite and its potential uses in agriculture: A critical review. *Agric. Rev.* **2016**, *37*, 101–108.

**Hemingway, B.S.; Robie, R.A.** Thermodynamic properties of zeolites: Low-temperature heat capacities and thermodynamic functions for phillipsite and clinoptilolite. Estimates of the thermo-chemical properties of zeolitic water at low temperature. *Am. Miner.* **1984**, *69*, 692–700.

**Chmielewska, E.; Lesný, J.** Selective ion exchange onto Slovakian natural zeolites in aqueous solutions. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **2012**, *293*, 535–543.

**Stylianou, M.; Inglezakis, V.; Loizidou, M.** Comparison of Mn, Zn, and Cr removal in fluidized-and fixed-bed reactors by using clinoptilolite. *Desalination Water Treat.* **2015**, *53*, 3355–3362.

**Kazemian, H.; Mallah, M.H.** Elimination of Cd<sup>2</sup> and Mn<sup>2</sup> from wastewaters using natural clinoptilolite and synthetic zeolite P. Iran. *J. Chem. Chem. Eng.* **2006**, *25*, 91–94.

**Youssefi, S.; Waring, M.S.** Indoor transient SOA formation from ozone  $\alpha$ -pinene reactions: Impacts of air exchange and initial product concentrations, and comparison to limonene ozonolysis. *Atmos. Environ.* **2015**, *112*, 106–115.

**Bhattacharyya, T.; Chandran, P.; Ray, S.K.; Pal, D.K.; Mandal, C.; Mandal, D.K.** Distribution of zeolitic soils in India. *Curr. Sci.* **2015**, *109*, 1305–1313.

**Flanigen, E.M.** Introduction to Zeolite Science and Practice; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2001; pp. 11–35.

**Bittelli, M.; Campbell, G.S.; Tomei, F.** Soil Physics with Python: Transport in the Soil-Plant. Atmosphere System; OUP: Oxford, UK, 2015.

**Ramesh, K.; Reddy, D.D.; Biswas, A.K.; Subbarao, A.** Potential uses of zeolite in agriculture. *Adv. Agron.* 2011, 113, 215–236.

**Xiubin, H. and Zhanbin, H.** Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resour. Conserv. Recycl.* 2001, 34, 45–52.

**Al-Busaidi, A.; Yamamoto, T.; Inoue, M.; Eneji, A.E.; Mori, Y.; Irshad, M.** Effects of zeolite on soil nutrients and growth of barley following irrigation with saline water. *J. Plant. Nutr.* 2008, 31, 1159–1173.

**Inglezakis, V.; Elaiopoulos, K.; Aggelatou, V.; Zorpas, A.A.** Treatment of underground water in open flow and closed—loop fixed bed systems by utilizing the natural minerals clinoptilolite and vermiculite. *Desalination Water Treat.* 2012, 39, 215–227.

**Nakhli, S.A.A.; Delkash, M.; Bakhshayesh, B.E.; Kazemian, H.** Application of Zeolites for Sustainable Agriculture: A Review on Water and Nutrient Retention. *Water Air. Soil Pollut.* 2017, 228, 464.

**Sangeetha, C.; Baskar, P.** Zeolite and its potential uses in agriculture: A critical review. *Agric. Rev.* 2016, 37, 101–108.

**Valadabadi, S.A.; Shiranirad, A.H.; Farahani, H.A.** Ecophysiological influences of zeolite and selenium on water deficit stress tolerance in different rapeseed cultivars. *J. Ecol. Nat. Environ.* 2010, 2, 154–159.

**Colombani, N.; Mastrocicco, M.; Di Giuseppe, D.; Faccini, B.; Coltorti, M.** Variation of the hydraulic properties and solute transport mechanisms in a silty-clay soil amended with natural zeolites. *Catena* 2014, 123, 195–204.

**Gholamhoseini, M.; Ghalavand, A.; Khodaei-Joghan, A.; Dolatabadian, A.; Zakikhani, H.; Farmanbar, E.** Zeolite amended cattlemanure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Tillage Res.* 2013, 126, 193–202.

**Bernardi, A.C.C.; Oliveria, P.P.A.; Barros, F.** Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. *Microporous Mesoporous Mater.* 2013, 17, 16–21.

**Aminiyan, M.M.; Sinegani, A.A.S.; Sheklabadi, M.** Aggregation stability and organic carbon fraction in a soil amended with some plant residues, nanozeolite, and natural zeolite. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* 2015, 4, 11–22.

**Moritani, S.; Yamamoto, T.; Andry, H.; Inoue, M.; Yuya, A.; Kaneuchi, T.** Effectiveness of artificial zeolite amendment in improving the physicochemical properties of saline-sodic soils characterised by different clay mineralogies. *Aust. J. Soil Res.* 2010, 48, 470–479.

**Cairo, P.C.; De Armas, J.M.; Artiles, P.T.; Martin, B.D.; Carrazana, R.J.; Lopez, O.R.** Effects of zeolite and organic fertilizers on soil quality and yield of sugarcane. *Aust. J. Crop. Sci.* **2017**, *11*, 733–738.

**Sepaskhah, A.R.; Yousefi, F.** Effects of zeolite application on nitrate and ammonium retention of a loamy soil under saturated conditions. *Aust. J. Soil Res.* **2007**, *45*, 368–373.

**Gholizadeh-Sarabi, S.; Sepaskhah, A.R.** Effect of zeolite and saline water application on saturated hydraulic conductivity and infiltration in different soil textures. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2013**, *59*, 753–764.

**Razmi, Z.; Sepaskhah, A.R.** Effect of zeolite on saturated hydraulic conductivity and crack behavior of silty clay paddled soil. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2012**, *58*, 805–816.

**Aiyuk, S.; Xu, H.; Van Haandel, A.** Removal of ammonium nitrogen from pretreated domestic sewage using a natural ion exchanger. *Environ. Technol.* **2004**, *25*, 1321–1330.

**Englert, A.; Rubio, J.** Characterization and environmental application of a Chilean natural zeolite. *Int. J. Min. Process.* **2005**, *75*, 21–29.

**Sprynskyy, M.; Lebedynets, M.; Terzyk, A.P.; Kowalczyk, P.; Namieśnik, J.; Buszewski, B.** Ammonium sorption from aqueous solutions by the natural zeolite Transcarpathian clinoptilolite studied under dynamic conditions. *J. Colloid Interface Sci.* **2005**, *284*, 408–415.

**Zabochnicka-Swiatek, M.** Factors Affecting Adsorption Capacity and Ion Exchange Selectivity of Clinoptilolite towards heavy metal cations. *Inz. I Ochr.* **2007**, *10*, 27.

**Jha, V.K.; Hayashi, S.** Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retention capacity. *J. Hazard. Mater.* **2009**, *169*, 29–35.

**Mazloomi, F.; Jalali, M.** Ammonium removal from aqueous solutions by natural Iranian zeolite in the presence of organic acids, cations and anions. *J. Environ. Chem. Eng.* **2016**, *4*, 240–249.

**Gorre, K.; Yenumula, S.; Himabindu, V.A.** Study on the Ammonium Adsorption by using Natural Heulandite and Salt Activated Heulandite. *Int. J. Innov. Appl. Stud.* **2016**, *14*, 483–488.

**Shaikh, I.I.; Chendaku, Y.J.** Removal of ammonium nitrate from aquaculture by sorption using zeolite. *Int. J. Recent Sci. Res.* **2016**, *7*, 11869–11874.

**Liang, Z.; Ni, J.** Improving the ammonium ion uptake onto natural zeolite by using an integrated modification process. *J. Hazard. Mater.* **2008**, *166*, 52–60.

**Aghaalikhani, M.; Gholamhoseini, M.; Dolatabadian, A.; Khodaei-Joghan, A.; Sadat, A.K.** Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2012**, *58*, 1149–1169.

**Omar, L.; Ahmed, O.H.; Majid, N.M.A.** Improving Ammonium and Nitrate release from Urea using Clinoptilolite zeolite and compost produced from agricultural wastes. *Sci. World J.* **2015**, 574201, 1–12.

**Haruna, A.O.; Husin, A.; Husni, M.H.A.** Ammonia volatilization and ammonium accumulation from urea mixed with zeolite and triple superphosphate. *Acta Agric. Scand B Soil Plant. Sci.* **2008**, 58, 182–186.

**Rech, I.; Polidoro, J.C.; Pavinato, P.S.** Additives incorporated into urea to reduce nitrogen losses after application to the soil. *Pesq. Agropec. Bras.* **2017**, 52, 194–204.

**Zaman, M.; Nguyen, M.L.; Šimek, M.; Nawaz, S.; Khan, M.J.; Babar, M.N.; Zaman, S.** Emissions of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) and di-nitrogen (N<sub>2</sub>) from the agricultural landscapes, sources, sinks, and factors affecting N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> ratios. In *Greenhouse Gases-Emission, Measurement and Management*; Liu, G., Ed.; InTech Europe: Rijeka, Croatia, 2012; published online 14, March, 2012, published in print edition March, **2012**; pp. 1–32.

**Li, J.; Wee, C.; Sohn, B.** Effect of Ammonium- and Potassium-Loaded Zeolite on Kale, Growth and Soil Property. *Amer. J. Plant. Sci.* **2013**, 4, 1976–1982.

**Behzadfar, M.; Sadeghi, S.H.; Khanjani, M.J.; Hazbavi, Z.** Effects of rates and time of zeolite application on controlling runoff generation and soil loss from a soil subjected to a freeze-thaw cycle. *Int. Soil Water Conserv. Res.* **2017**, 5, 95–101.

**Ahmed, O.; Aminuddin, H.; Husni, M.** Reducing ammonia loss from urea and improving soil exchangeable ammonium retention through mixing triple super-phosphate, humic acid and zeolite. *Soil Use Manag.* **2006**, 22, 315–319.

**Palanivell, P.; Ahmed, O.H.; Ab Majid, N.M.** Minimizing ammonia volatilization from urea, improving lowland rice (cv. MR219) seed germination, plant growth variables, nutrient uptake, and nutrient recovery using clinoptilolite zeolite. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2016**, 62, 708–724.

**Omar, O.L.; Ahmed, O.H.; Muhamad, A.N.** Minimizing ammonia volatilization in waterlogged soils through mixing of urea with zeolite and sago waste water. *Int. J. Phys. Sci.* **2010**, 5, 2193–2197.

**Sepaskhah, A.R.; Yousefi, F.** Effects of zeolite application on nitrate and ammonium retention of a loamy soil under saturated conditions. *Aust. J. Soil Res.* **2007**, 45, 368–373.

**Baerlocher, C.; McCusker, L.B.; Olson, D.H.** *Atlas of Zeolite Framework Types*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, **2007**.

**Waldrip, H.M.; Todd, R.W.; Cole, N.A.** Can surface applied zeolite reduced ammonia losses from feedyard manure? In *Proceedings of the ASA, CSA and SSSA International Annual Meetings, Long Beach, CA, USA, 2–5 November 2014*.

**Ramesh, K.; Islam, R.** Zeolites regulate nitrogen release from manure amended soil. In *Proceedings of the ASA, CSA and SSSA International Annual Meetings, Cincinnati, OH, USA, 21–24 October 2012*.

**Cai, L.; Koziel, J.A.; Liang, Y.; Nguyen, A.T.; Xin, H.** Evaluation of zeolite for control of odorants emission from simulated poultry manure storage. *J. Environ. Qual.* **2007**, *36*, 184–193.

**Sharadqah, S.I.; Al-Dwairi, R.A.** Control of odorants emissions from poultry manure using Jordanian natural zeolites. *Jordan J. Civ. Eng.* **2010**, *4*, 378–388.

**Murnane, J.G.; Brennan, R.B.; Healy, M.G.; Fenton, O.** Use of Zeolite with Alum and Polyaluminum Chloride amendments to mitigate runoff losses of phosphorus, nitrogen, and suspended solids from agricultural wastes applied to grassed soils. *J. Environ. Qual.* **2015**, *44*, 1674–1683.

**Latifah, O.; Ahmed, O.H.; Majid, N.M.A.** Short Term Enhancement of Nutrients Availability in *Zea mays* L. Cultivation on an Acid Soil Using Compost and Clinoptilolite Zeolite. *Compos. Sci. Util.* **2016**, *25*, 22–35.

**Moharami, S.; Jalali, M.** Phosphorus leaching from a sandy soil in the presence of modified and un—modified adsorbents. *Environ. Monit. Assess.* **2014**, *186*, 6565–6576.

**Shokouhi, A.; Parsinejad, M.; Noory, H.** Impact of zeolite and soil moisture on P uptake. In *Proceedings of the 2nd Berlin-European Sustainable Phosphorus Conference (ESPC 2)*, Berlin, Germany, 5–6 March **2015**.

**Gholamhoseini, M.; Ghalavand, A.; Khodaei-Joghan, A.; Dolatabadian, A.; Zakikhani, H.; Farmanbar, E.** Zeolite amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Tillage Res.* **2013**, *126*, 193–202.

**Mihajloviae, M.; Perisiae, N.; Pezo, L.; Stojanoviar, M.; Milojkovieae, J.; Petroviae, M.; Petroviae, J.** Optimization of process parameters to obtain NH<sub>4</sub> -Clinoptilolite as a supplement to ecological fertilizer. *Clay Min.* **2014**, *49*, 735–745.

**Allen, E.R.; Hossner, L.R.; Ming, D.W.; Henninger, D.L.** Solubility and cation exchange in phosphate rock and saturated clinoptilolite mixtures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **1993**, *57*, 1368–1374.

**Aainaa, H.N.; Ahmed, O.H.; Majid, N.M.A.** Effects of clinoptilolite zeolite on phosphorus dynamics and yield of *Zea Mays* L. cultivated on an acid soil. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0204401.

**Zheng, J.; Chen, T.; Chi, D.; Xia, G.; Wu, Q.; Liu, G.; Chen, W.; Meng, W.; Chen, Y.; Siddique, K.H.M.** Influence of Zeolite and Phosphorus Applications on Water Use, P Uptake and Yield in Rice under Different Irrigation Managements. *Agronomy* **2019**, *9*, 537.

**Antoniadis, V.; Damalidis, K.; Koutrobas, S.D.** Nitrogen and phosphorus availability to ryegrass in acidic and limed zeolite- amended soil. *Agrochim. Pisa* **2012**, *56*, 309–318.

**Bansiwal, A.K.; Rayalu, S.S.; Labhasetwar, N.K.; Juwarkar, A.A.; Devotta, S.** Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *J. Agric. Food Chem.* **2006**, *54*, 4773–4779.

- Rivero, L.; Rodríguez-Fuentes, G.** Cuban experience with the use of natural zeolite substrates in soilless culture. *Proc. Int. Congr. Soil. Cult. Wagening. Neth.* **1988**, 405–416.
- Ming, D.W.; Allen, E.R.** Natural Zeolites Occurrence Properties, Applications. In *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*; Bish, D.L., Ming, D.W., Eds.; Mineralogical Society of America: Washington, DC, USA, **2001**; Volume 45, pp. 619–654.
- Moraetis, D.; Papagiannidou, S.; Pratikakis, A.; Pentari, D.; Komnitsas, K.** Effect of zeolite application on potassium release in sandy soils amended with municipal compost. *Desalin. Water Treat.* **2016**, 57, 13273–13284.
- Williams, K.A.; Nelson, P.V.** Using precharged zeolite as a source of potassium and phosphate in a soilless container medium during potted chrysanthemum production. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **1997**, 122, 703–708.
- Kamrudin, K.S.; Hamdan, H.; Mat, H.** Methane adsorption characteristic dependency on zeolitic structures and properties. In *Proceedings of the 17th symposium of Malaysian chemical Engineers*, Copthorne Orchid Hotel, Penang, Malaysia, 29–30 December **2003**.
- Lavicoli, I.; Leso, V.; Ricciardi, W.; Hodson, L.L.; Hoover, M.D.** Opportunities and challenges of nanotechnology in the green economy. *Environ. Health* **2014**, 13, 78.
- Sulakhudin, A.S.; Sunarminto, B.H.** Zeolite and hucalcia as coating material for improving quality of NPK fertilizer in costal sandy soil. *J. Trop. Soil* **2011**, 16, 99–106.
- Li, Z.; Zhang, Y.** Use of surfactant—modified zeolite to carry and slowly release sulfate. *Desalin. Water Treat.* **2010**, 21, 73–78.
- Najafi-Ghiri, M.; Rahimi, T.** Zinc Uptake by Spinach (*Spinacia oleracea* L.) as Affected by Zn Application Rate, Zeolite, and vermicompost. *Compos. Sci. Util.* **2016**, 24, 203–207.
- Hazrati, S.; Tahmasebi-Sarvestani, Z.; Mokhtassi-Bidgoli, A.; Modarres-Sanavy, S.A.M.; Mohammadi, H.; Nicola, S.** Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agric. Water Manag.* **2017**, 181, 66–72.
- Sheta, A.; Falatah, A.; Al-Sewailem, M.; Khaled, E.; Sallam, A.** Sorption characteristics of zinc and iron by natural zeolite and bentonite. *Microporous Mesoporous Mater.* **2003**, 61, 127–136.
- Corma, A.; Garcia, H.** Zeolite based photo catalysts. *Chem. Comm.* **2004**, 13, 1443–1459.
- Walcarius, A.; Mouchotte, R.** Efficient in vitro paraquat removal via irreversible immobilization into zeolite particles. *Arch. Environ. Con. Tox.* **2004**, 46, 135–140.
- Zhang, H.; Kim, Y.; Dutt, P.K.** Controlled release of paraquat from surface-modified zeolite Y. *Microporous Mesoporous Mater.* **2006**, 88, 312–318.
- Capasso, S.; Coppola, E.; Lovino, P.; Salvestrini, S.; Colella, C.** Uptake of phenylurea herbicides by humic acid-zeolite tuff aggregate. *Stud. Surf. Sci. Catal.* **2007**, 170, 2122–2127.

- Salvestrini, S.; Sagliano, P.; Lovino, P.; Capasso, S.; Colella, C.** Atrazine adsorption by acid activated zeolite-rich tuffs. *Appl. Clay Sci.* **2010**, *49*, 330–335.
- Jamil, T.S.; Gad-Allah, T.A.; Ibrahim, H.S.; Saleh, T.S.** Adsorption and isothermal models of atrazine by zeolite prepared from Egyptian kaolin. *Solid State Sci.* **2011**, *13*, 198–203.
- Bakhtiary, S.; Shirvani, M.; Shariatmadari, H.** Adsorption desorption behavior of 2,4-D on NCP-modified bentonite and zeolite: Implications for slow release herbicide formulations. *Chemosphere* **2013**, *90*, 699–705.
- Shirvani, M.; Farajollahi, E.; Bakhtiari, S.; Ogunseitan, O.A.** Mobility and efficacy of 2,4-D herbicide from slow—release delivery systems based on organo-zeolite and organo bentonite complexes. *J. Environ. Sci. Health B* **2014**, *49*, 255–262.
- Reddy, P.A.K.; Srinivas, B.; Durgakumari, V.; Subrahmanyam, M.** Solar photocatalytic degradation of the herbicide isoproturon on a Bi TiO<sub>2</sub>/zeolite photocatalyst. *Toxicol. Environ. Chem.* **2012**, *94*, 512–524.
- Karczewska, A.; Kabala, C.** The soils polluted with heavy metals and arsenic in Lower Silesia—the need and methods of reclamation. *Zesz. We Wrocławiu Rol.* **2010**, *96*, 59–79.
- Shia, W.; Shao, H.; Li, H.; Shao, M.; Sheng, D.** Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. *J. Hazard. Mater.* **2009**, *170*, 1–6.
- Chen, Z.S.; Lee, G.J.; Liu, J.C.** The effects of chemical remediation treatments on the extractability and speciation of cadmium and lead in contaminated soils. *Chemosphere* **2000**, *41*, 235–242.
- Ghuman, G.S.; Sajwan, K.S.; Alva, A.K.** Remediation of an acid soil using hydroxyapatite and zeolites. In *Proceedings of the Extended Abstracts from the 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Vienna, Austria, 11–15 July 1999*; pp. 1018–1019.
- Chlopecka, A.; Adriano, D.C.** Inactivation of metals in polluted soils using natural zeolite and apatite. In *Proceedings of the 4th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, Berkeley, CA, USA, 23–26 June 1997*.
- Wang, S.; Peng, Y.** Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chem. Eng. J.* **2010**, *156*, 11–24.
- Ramesh, K.; Biswas, A.K.; Somasundaram, J.; Subbarao, A.** Nanoporous zeolites in farming: Current status and issues ahead. *Curr. Sci.* **2010**, *99*, 760–765.
- Abatal, M.; Quiroz, A.T.V.; Olguín, M.T.; Vázquez-Olmos, A.R.; Vargas, J.; Anguebes-Franceschi, F.; Giacomán-Vallejos, G.** Sorption of Pb(II) from Aqueous Solutions by Acid-Modified Clinoptilolite-Rich Tuffs with Different Si/Al Ratios. *Appl. Sci.* **2019**, *9*, 2415.
- Zendelska, A.; Golomeova, M.; Blazej, K.; Krstev, B.; Golomeov, B.; Krstev, A.** Adsorption of copper ions from aqueous solutions on natural zeolite. *Environ. Prot. Eng.* **2015**, *41*, 17–36.

**Armagan, B.; Ozdemir, O.; Turan, M.; Celik, M.S.** Equilibrium studies on the adsorption of reactive azo dyes into zeolite. *Desalination* **2004**, 170, 33–39.

**Yousef, R.I.; El-Eswed, B.; Al-Muhtaseb, A.H.** Adsorption characteristics of natural zeolites as solid adsorbents for phenol removal from aqueous solutions: Kinetics, mechanism, and thermodynamics studies. *Chem. Eng. J.* **2011**, 171, 1143–1149.

**Li, L.Y.; Tazaki, K.; Lai, R.; Shiraki, K.; Asada, R.; Watanabe, H.; Loretta, M.C.; Chen, M.** Treatment of acid rock drainage by clinoptilolite-Adsorptivity and structural stability for different pH environments. *Appl. Clay Sci.* **2008**, 39, 1–9.

**Babel, S.; Kurniawan, T.A.** Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. *J. Hazard. Mater.* **2003**, B97, 219–243.

**Stylianou, M.A.; Inglezakis, V.J.; Moustakas, K.G.; Malamis, S.P.; Loizidou, M.D.** Removal of Cu(II) in fixed bed and batch reactors using natural zeolite and exfoliated vermiculite as adsorbents. *Desalination* **2007**, 215, 133–142.

**Markou, G.; Vandamme, D.; Muylaert, K.** Using natural zeolite for ammonia sorption from wastewater and as nitrogen releaser for the cultivation of *Arthrospira platensis*. *Bioresour. Technol.* **2014**, 155, 373–378.

**Andronikashvili, T.G.; Urushadze, T.F.; Eprikashvili, L.G.; Gamisonia, M.K.** Use of natural zeolites in plant growing-transition to biological agriculture. *Bull. Georgian Natl. Acad. Sci.* **2007**, 175, 112–117.

**Ahmed, O.H.; Yap, C.H.B.; Muhamad, A.M.N.** Minimizing ammonia loss from urea through mixing with zeolite and acid sulphate soil. *Int. J. Phys. Sci.* **2010**, 5, 2198–2202.

**Chen, T.; Guimin, X.; Qi, W.; Zheng, J.; Jin, Y.; Sun, D.; Wang, S.; Chi, D.** The Influence of Zeolite Amendment on Yield Performance, Quality Characteristics, and Nitrogen Use Efficiency of Paddy Rice. *Crop. Sci.* **2017**, 57, 1–11.

**Wu, Q.; Chen, T.; Chi, D.; Xia, G.; Sun, Y.; Song, Y.** Increasing nitrogen use efficiency with lower nitrogen application frequencies using zeolite in rice paddy fields. *Int. Agrophys.* **2019**, 33, 263–269.

**Peng, Y.; Ma, J.; Jiang, M.; Yan, F.; Sun, Y.; Yang, Z.** Effects of slow/controlled release fertilizers on root morphological and physiological characteristics of rice. *J. Plant. Nut. Fert.* **2013**, 19, 1048–1057.

**Gholamhoseini, M.; Ghalavand, A.; Khodaei-Joghan, A.; Dolatabadian, A.; Zakikhani, H.; Farmanbar, E.** Zeolite amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil Tillage Res.* **2013**, 126, 193–202.

**Aghaalikhani, M.; Gholamhoseini, M.; Dolatabadian, A.; Khodaei-Joghan, A.; Sadat, A.K.** Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2012**, 58, 1149–1169.

- Sepaskhah, A.R.; Barzegar, M.** Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. *Agric. Water Manag.* **2010**, *98*, 38–44.
- Kavoosi, M.** Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery and nitrogen use efficiency. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* **2007**, *38*, 69–76.
- Ozbahce, A.; Tari, A.F.; Gonulal, E.; Simsekli, N.; Padem, H.** The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress. *Arch. Agron. Soil Sci.* **2014**, *61*, 615–626.
- Ryakhovskaya, N.I.; Gainatulina, V.V.** Potato and oat yield in short-cycle crop rotation with zeolite application. *Plant. Ind. Agric. Sci.* **2009**, *35*, 153.
- Klaus, A.; Grubisic, M.; Niksic, M.** Influence of some zeolites on the growth of mycelia of industrial fungi *Agaricusbisporus*, *Ganoderma lucidum*, *Pleurotusostreatus* and *Lentinus edodes*. In Proceedings of the First South East European Congress of Chemical Engineering, Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Serbia, 25–28 September **2005**.
- Susana, S.** Researches Influence of Zeolite on Productivity Elements and Microbiological Activity on Spring Barley, Soybeans and Maize at Ardsturda. Ph.D. Thesis, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Cluj-Napoca, Romania, **2015**.
- Król, M.** Natural vs. Synthetic Zeolites. *Crystals* **2020**, *10*, 622.
- Bhattacharyya, T.; Chandran, P.; Ray, S.K.; Pal, D.K.; Mandal, C.; Mandal, D.K.** Distribution of zeolitic soils in India. *Curr. Sci.* **2015**, *109*, 1305–1313.
- Sansoucy, A. (2011).** La protection des créances des sous-traitants dans le domaine de la construction.
- Bensemmane, A. (2009).** Développons le secteur de l’Huile d’Olive en Algérie. *Filaha innove*, *4(7)*.
- Moral, P. S., & Méndez, M. V. R. (2006).** Production of pomace olive oil. *Grasas y aceites*, *57(1)*, 47-55.
- Tamburrino, A., & Gulliver, J. S. (1999).** Large flow structures in a turbulent open channel flow. *Journal of Hydraulic Research*, *37(3)*, 363-380.
- Di Giovacchino, L., Angerosa, F., & Di Giacinto, L. (1996).** Effect of mixing leaves with olives on organoleptic quality of oil obtained by centrifugation. *Journal of the American Oil Chemists’ Society*, *73*, 371-374.
- Roig, A., Cayuela, M. L., & Sánchez-Monedero, M. A. (2006).** An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste management*, *26(9)*, 960-969.
- La Rubia-García, M. D., Yebra-Rodríguez, Á., Eliche-Quesada, D., Corpas-Iglesias, F. A., & López-Galindo, A. (2012).** Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production. *Construction and Building Materials*, *36*, 495-500.

**Peghin, M., Rodriguez-Pardo, D., Sanchez-Montalva, A., Pellisé, F., Rivas, A., Tortola, T., ... & Pigrau, C. (2017).** The changing epidemiology of spinal tuberculosis: the influence of international immigration in Catalonia, 1993–2014. *Epidemiology & Infection*, *145*(10), 2152-2160.

## Site web

<http://www.iza-online.org> .

<https://www.scopus.com/home.uri>

[\(https://www.monpetitcoinvert.com/blog/quest-ce-que-le-lombricompostage/](https://www.monpetitcoinvert.com/blog/quest-ce-que-le-lombricompostage/)

[\(https://www.pinterest.fr/mbriche/lombricompostage/\)](https://www.pinterest.fr/mbriche/lombricompostage/)

[https://www.aujardin.info/fiches/huile-olive-nourrir-corps-interieur-exterieur.php\)](https://www.aujardin.info/fiches/huile-olive-nourrir-corps-interieur-exterieur.php)

[https://taounate.net/archives/1215\)](https://taounate.net/archives/1215)

[https://www.algomtl.com/grignon-d-olive\)](https://www.algomtl.com/grignon-d-olive)

[\(https://www.tropicos.org/\)](https://www.tropicos.org/)

[\(https://laterreestunjardin.com/olivier-botanique-legende/\)](https://laterreestunjardin.com/olivier-botanique-legende/)

(. <https://agronomie.info/fr/caracteristiques-morphologiques-et-physiologiques-de-lolivier/>)

(<https://elwatan-dz.com>)