

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Blida 1 de Blida**

**Faculté de Science de la Nature et de la Vie  
Département des Biotechnologies**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE  
L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER ACADEMIQUE EN SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE

**Option : Eau et Environnement**

**THÈME:**

**PURIFICATION DE L'EAU PAR LES GRAINES  
DE *MORINGA OLEIFERA***

Présenté par :

TAHRAOUI Lakhdar

Devant le jury composé de :

L.ZELLA	Professeur U.S.D. Blida.	Promoteur
F.AMMAD	Docteur U.S.D. Blida.	Co promotrice
N .YAHIA	M.C.B. U.S.D. Blida.	Président
N. MIMOUNI	M.A. U.S.D. Blida.	Examineur
S. HADJMILOUD	M.A.A. U.S.D. Blida.	Examineur

Blida, juin 2018

## **Introduction**

L'eau constitue un élément important dans la ration alimentaire de l'homme et dans les nombreuses activités dictées par les conditions de vie. La quantité tout comme la qualité est un des indicateurs à considérer dans l'appréciation du niveau, de satisfaction de l'homme en matière d'eau (Toponi, 2013). Dans les pays en voie de développement, l'accès à l'eau potable est généralement faible, surtout dans les bidonvilles et milieu rural (Nyongombe, 2012). L'eau est essentielle pour la vie, cependant elle peut être une source des maladies, aujourd'hui en effet, les besoins en eau dans notre vie quotidienne et dans le développement industriel ou agricole sont de plus importants (Valiron, 1985).

L'exploitation des ressources en eau et le développement de l'irrigation ont joué un rôle important dans l'évolution humaine, cette dernière a engendrée des problèmes énormes de pollution dans les milieux naturels et une demande en eaux en croissance pour tous les besoins urbains et surtout agricoles.

Les volumes d'eaux usées acheminées vers les stations de traitement sont de plus en plus importants eu égard à l'urbanisation intensive de la population algérienne. L'impératif souci d'épuration de ces eaux polluées sollicite beaucoup d'utilisation de produits chimiques dans les processus d'épuration. Le *Moringa oleifera*, une plante inconnue dans notre pays a été déjà testée dans ces processus chimique. Elle favorise, selon la littérature scientifique, la floculation. Dans cette perspective, ce travail consiste à réaliser l'expérience en introduisant la poudre des graines de *Moringa oleifera* dans les eaux durant la chaîne de traitement au niveau des stations d'épurations (STEP). Les différentes analyses physico- chimiques effectuées pour les différents échantillons d'eaux avec les différentes doses de poudre d'amandes de graines proposées devront nous préciser le rôle de cette graine de *Moringa* dans le processus du traitement des eaux usées.

## Chapitre I. Recherche bibliographique

### 1. Problématique

#### 1.1. Généralité sur l'eau

L'eau est un outil précieux du développement de l'humanité, depuis sa naissance, l'homme a intégré son activité dans le cycle naturel de l'eau afin d'y développer sa survie, ses besoins, son agriculture et son développement industriel **(Paquier, 2001)**.

Le droit à l'eau, c'est le droit pour chaque être humain d'en disposer pour son usage personnel et domestique en quantité suffisante et de qualité acceptable, a été reconnu comme droit fondamental par les Nations Unies en 2002 **(Kombassere, 2006)**.

Depuis que l'eau est apparue sur terre, son volume global estimé à 140 millions de km<sup>3</sup> n'a pas changé, sa synthèse est quasi inexistante. Elle est à l'origine de la vie sur terre, tous les êtres vivants contiennent une part d'eau dans leur masse totale, variant de 50 % pour les bactéries à 70 % chez les animaux supérieurs et atteint 98% chez les méduses et les algues **(Rousseau, 2005 ; Zella et Smadhi, 2016)**. L'agriculture est le premier consommateur d'eau douce, responsable d'environ 70% de tous les prélèvements **(WRI, 2013)**.

De tous temps, l'exploitation des ressources en eau et le développement de l'irrigation ont joués un rôle important dans l'évolution. L'eau est un solvant exceptionnel, de ce fait il est très rare de la trouver à l'état pure, elle est toujours associée à d'autres éléments, lors de la dissolution les ions positifs ou négatifs attirent les molécules d'eau **(Zella, 2016)**.

Elle véhicule de nombreux microorganismes, vecteurs de maladies mortelles, dans le monde on dénombre environ 6 millions d'enfants qui meurent chaque année de suites de gastro-entérites, 260 millions d'individus sont atteints de Bilharziose **(UNISEF, 2002., Zella, 2016)**. A l'échelle du globe 37 pays connaissent un stress hydrique extrêmement élevé, les tensions régionales s'aggravent dans le bassin méditerranéen, où la pression sur la ressource en eau se fait plus forte **(WRI, 2013)**. L'eau est un élément qui touche la santé humaine, plus spécifiquement par le biais de la contamination bactériologique. Cette dernière est l'une des principales causes des maladies associées à l'eau **(Payment, 1998)**.

## **1.2. La pollution de l'eau**

La croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (Ghazali et Zaid, 2013). Ce milieu concentre ainsi des populations et activités sur un territoire restreint, lequel doit supporter d'important flux (Host et Telle-Lamberton, 2014). Dans les pays en développement les problèmes majeurs sont liés à la gestion durable des déchets urbains et à l'accès à un système d'assainissement adéquat (Soro, 2010). Cette croissance de la population aggrave l'accès à l'eau (Boubakar, 2010). L'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et de pesticides, ainsi que le manque de sensibilisation de la population pour la protection de l'environnement conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème (Mullis et al., 1997). Avec la persistance de l'exposition aux polluants, une dégradation de la ressource en eau potable est possible (Host et Telle-Lamberton, 2014).

### **1.2.1. Les contaminants physico-chimiques des eaux**

Ils regroupent les paramètres physico-chimiques liés à la structure naturelle de l'eau, les éléments indésirables et ceux toxiques (Vaute, 1999). Ces paramètres sont la température, le pH, la conductivité électrique et les ions majeurs (Burnol et al., 2006). Les éléments indésirables prennent en compte les composés azotés et phosphatés; les composés organiques, les métaux et les éléments toxiques (Burnol et al., 2006). Le risque microbiologique s'exerce à court terme et le risque chimique est à moyen et long terme (Payment et Hartemann, 1998).

#### **1.2.1.1. Les principaux facteurs de la pollution**

Les propriétés physiques du milieu, le contexte climatique et la variation saisonnière sont les facteurs les plus mentionnés. Il est observé qu'une nette augmentation du taux de contamination pendant la saison sèche par rapport à la période pluvieuse (Benajiba et al., 2013), cette augmentation est justifiée par l'évaporation et les températures élevées des saisons sèches (Boubakar, 2010).

##### **1.2.1.1.1. Les différentes origines de la pollution**

L'origine de la pollution des eaux peut être naturelle ou anthropique (Laurent, 2013), ses différentes origines anthropiques sont : L'agriculture, les industries, les activités domestiques et les décharges (Kenfaoui, 2008).

**a) L'origine agricole**

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole, divers produits agricoles d'origines industrielles ou agricoles dont certains présentent ou peuvent présenter des risques pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement des fertilisants (engrais minéraux du commerce ou déjections animales et des produits phytosanitaires (**Grosclaude, 1999**).

**b) L'origine industrielle**

Les eaux polluées d'origine industrielle ont généralement une composition spécifique et directement liée au type d'industrie considérée. Elles présentent des caractéristiques de toxicité propres liées aux produits chimiques transportés (**Rodier, 2005**). Parmi la diversité des contaminants affectant les ressources en eaux, les métaux lourds, caractérisés par leur forte toxicité même à faible concentration, la plupart des métaux traces sont non dégradables, persistants dans l'environnement et toxiques pour les organismes vivants (**Marcovecchio et al., 2007**).

**c) L'origine domestique**

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux contenant des déjections humaines, les eaux de toilette, de nettoyage des sols et des aliments, ces eaux sont généralement constituées de matières organiques dégradables et de matières minérales, ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension (**Rejsek, 2002**).

**1.3. L'assainissement**

**1.3.1. Généralités**

L'assainissement selon l'OMS (1995), c'est l'ensemble des travaux que doivent effectuer, en se conformant aux règles d'hygiène. Selon le rapport de la première réunion tenue en 1950 du comité des experts de l'environnement, l'assainissement implique le contrôle de l'approvisionnement public en eau, de l'évacuation des eaux usées, de l'élimination des déchets et des vecteurs de maladies, (**Franceys et al., 1995**). D'après (**Duncan, 1994**). L'assainissement est un processus par lequel des personnes peuvent vivre dans un environnement plus sain, l'une des grandes menaces pour la santé humaine dans le monde entier est le manque d'accès à des structures d'assainissement adéquats pour une population de

plus en plus importante. Au niveau de l'assainissement, les estimations indiquaient qu'en 1988 plus de 1,7 milliard de personnes dont 331 millions dans les villes et 1,388 milliard dans les campagnes ne bénéficiaient pas d'un assainissement adéquat (OMS, 1988).

### **1.3.1.1. Les effets négatifs d'un mauvais assainissement sur la santé**

Selon l'OMS (2006), les maladies d'origine hydrique représentent le principal problème de santé publique dans les pays en développement. La malaria et les maladies diarrhéiques ont fait respectivement 1,3 million et 1,5 million de morts, bien plus, ces dernières maladies chiffrent 21% de mortalité infantile dans les pays en développement (UN-Water et WWAP, 2006).

### **1.3.1.2. Les effets positifs d'un bon assainissement sur la santé**

On estime qu'avec un approvisionnement suffisant en eau saine et un assainissement convenable, on réduit plus de 50% la mortalité des nourrissons et des jeunes enfants et on évite le quart de tous les cas de maladies diarrhéiques, l'amélioration quantitative et qualitative de la fourniture en eau contribue à reculer les maladies infectieuses (Duncan, 1994).

## **1.4. Les caractéristiques des eaux usées**

Les paramètres rencontrés dans les eaux usées sont les paramètres physicochimiques, organoleptiques et bactériologiques.

### **1.4.1. Les paramètres physiques**

#### **a) La température**

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (Rodier et al., 2005).

#### **b) La taille des particules**

Selon (Rejsek, 2002), la pollution particulaire est due à la présence des particules de grandes tailles supérieure à 10 $\mu$ m en suspension dans l'eau (MES), les matières en suspension ne sont pas des particules solides véritablement en suspension que dans des conditions moyennes d'écoulement des effluents correspondant à une vitesse minimale de 0,5 m/s, également

prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constitue la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10-2  $\mu\text{m}$ ).

### **c) Le potentiel hydrogène pH**

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en  $\text{H}_3\text{O}^+$  ( $\text{H}^+$ ) (Mathieu et Pieltain, 2003).

### **d) La conductivité électrique**

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique, elle dépend de la nature des ions dissous et de leurs concentrations (Rejsek, 2002). La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1  $\text{cm}^2$ , L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m). 1 S/m =  $10^4 \mu\text{S/cm}$  (Rodier, 2005).

## **1.4.2. Les paramètres chimiques**

### **a) L'oxygène dissous**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau, il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la force ionique du milieu (Rejsek, 2002).

### **b) La demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. La mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origine organique ou minérale, la DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation (Rodier, 2005). La DCO est la concentration exprimée en mg/ l d'oxygènes équivalents à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme (Rejsek, 2002).

### **c) La demande biochimique en oxygène (DBO)**

Selon (Rejsek, 2002), la demande biochimique en oxygène (DBO) après 05 jours d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents

dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

**d) L'azote**

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral, l'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides et des acides aminés, souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations, quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate et nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (**Rodier, 2005**).

**e) Le phosphore**

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique, les composés phosphorés qui, sans hydrolyse ou minéralisation, répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des orthophosphates, l'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation, le phosphore organique, chaque fraction (Phosphore en solution ou en suspension) peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique, la teneur en phosphates est exprimée en mg/l de  $PO_4$  ou de  $P_2O_5$ . ( $1\text{mg/l } PO_4 = 0,747\text{ mg/l } P_2O_5 = 0,326\text{ mg/l P}$ ) (**Rodier, 2005**).

**1.4.3. Les paramètres organoleptiques**

**a) La turbidité**

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble (**Rejsek, 2002**), c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes, elle est causée dans les eaux par la présence de matières en suspension (MES) fines, comme les microorganismes et les argiles et une part est due à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

**b) La couleur**

La coloration est dite réelle lorsqu'elle est due aux substances en solution et elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration (**Rodier et al., 2005**).



#### **1.4.4. Les paramètres bactériologiques**

Les principales catégories de microorganismes pathogènes d'origine hydrique sont les bactéries, les virus et les protozoaires (**Festy et al., 2003**), l'évaluation pratique de la qualité microbiologique des eaux se fait sur la base d'organismes dits « indicateurs » (**Servais et al., 2009**), les bactéries indicatrices de contamination fécale les plus appropriées sont les coliformes connus sous le nom d'*Escherichia coli* et *entérocoques* fécaux ou intestinaux (**Rodier et al., 2009**), d'autres auteurs (**Garcia, 2006**) ont mentionnés l'utilisation des *coliformes totaux*, *coliformes thermotolérants*, les anaérobies et les bactéries aérobies revivifiables comme indicateurs de pollution et d'efficacité de traitement, les microorganismes pathogènes présents dans l'eau sont le plus souvent transmis par voie féco-orale (**Hartemann, 2013**), et la contamination de l'homme se réalise alors soit par consommation d'eau de boisson, soit par consommation d'aliments contaminés par l'eau, soit encore lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage plaisant (**Aubry et Gaüzère, 2012**). En fonction des voies de transmission, on distingue les maladies hydriques (liées à l'eau de boisson) telles que la fièvre typhoïde, hépatite, choléra, amibiase et autres). Les maladies liées aux pénuries d'eau en termes de défaut de l'hygiène (cécité des rivières, gale, mycoses, poux et autres), les maladies aquatiques liées aux vers (*Helminthiases*) et les maladies dues aux vecteurs tels que les insectes (**Rosillon, 2003**).

#### **1.5. L'épuration des eaux usées**

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très organisées ceci est illustré comme étant des méthodes classiques de traitement, ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparus celle-ci est démontré sous le vocable de lagunage ou phytoépuration.

##### **1.5.1. Les méthodes classiques de traitements**

Le but principal d'une station d'épuration des eaux usée est de traiter un certain volume d'eau usée avec une performance épuratoire déterminée, cette dernière dépend de la qualité de l'eau brute en entrée de station. Cette effluent est composée d'une matrice de polluants (DCO, azote, Phosphore...) caractérisés par une charge et une concentration (**Grosclaude, 1999**). La ligne de traitement complète des eaux résiduaires peut être schématiquement partagée en deux filières.

**a) La filière eau**

Dans cette filière l'eau est débarrassée de tous les polluants avant son rejet dans le milieu naturel, elle comprend généralement :

- ✓ Un prétraitement pour l'élimination des objets de taille comprise entre 0,1 et 50 mm (dégrillage, tamisage) des graisses et du sable.
- ✓ Un traitement primaire pour l'élimination des matières en suspension facilement décantables.
- ✓ Un traitement secondaire composé d'un réacteur biologique pour l'élimination de la pollution biodégradable organique ou minérale ( $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , P).
- ✓ Certaines stations sont également équipées d'un traitement tertiaire pour l'élimination des microorganismes ou du phosphore résiduel.

**b) La filière boue**

Dans la filière boue les résidus seront traités, déshydratés et conditionnés avant leur évacuation.

**1.5.2. Les prétraitements**

**1.5.2.1. Le dégrillage**

La première étape du traitement consiste à débarrasser les effluents de tout élément susceptible de gêner le fonctionnement des ouvrages (**Grosclaude, 1999**). Nous faisons appel à des procédés mécaniques, comme des grilles ou des tamis, pour éliminer des grosses particules transportées par les eaux (**Rejsek, 2002**), ils sont éliminés par des dégrilleurs d'espaces entre les barreaux de (10 à 50 mm suivi de 0,1 à 3mm) (**Grosclaude, 1999**).

**1.5.2.2. Le dessablage – déshuilage**

Avec des procédés physiques, la décantation pour éliminer les sables, et par flottation pour éliminer les graisses (**Rejsek, 2002**). Le prétraitement se poursuit par l'élimination de particules denses ou abrasives, cette étape est souvent couplée avec l'élimination des flottants, et en particulier des graisses, l'ouvrage est appelé dégraisseur/dessableur (**Grosclaude, 1999**). L'élimination des graisses est importante car elles perturbent les traitements biologiques en limitant la diffusion de l' $\text{O}_2$  dans l'eau et en gênant la décantation, une source d'odeurs de colmatage des canalisations (**Canler, 2001**).

### **1.5.2.3. Le traitement primaire**

Le traitement primaire consiste en une étape de décantation, elle permet d'éliminer une fraction des matières en suspension, jusqu'à 60 %, et de la matière organique, de l'ordre du tiers de la DBO entrante (**Degremont, 1989**). Cette pollution génère alors les boues primaires, fortement organiques et biodégradables qui sont envoyées vers la chaîne de traitement des boues (**Grosclaude, 1999**), le traitement primaire permet de réduire la charge polluante arrivant au traitement secondaire mais produit un volume de boues important (**Alexandre, 1998**).

### **1.5.3. Le traitement secondaire**

Il s'agit d'un traitement biologique dont l'objectif est l'élimination de la pollution carbonée, azotée et phosphorée, il utilise la capacité auto-épuratrice de microorganismes dont l'activité est améliorée en la plaçant dans des conditions optimales, l'épuration par la biomasse peut prendre plusieurs formes, systèmes à culture libre ou fixée, procédé intensif ou extensif (**Degremont, 1989**). Le métabolisme de certains groupes bactériens peut être mis à profit pour éliminer des molécules ou ions indésirables dans l'eau, comme les composés azoté, le fer, le manganèse ou la matière organique, les bactéries responsables de cette réaction biochimique opèrent dans les limites de pH et de température qui leur sont spécifiques, elles décomposent de façon biochimique par oxydation des matières non séparables par décantation qui n'ont pas pu être éliminées par des procédés mécaniques des eaux usées (**Metahri, 2012**). Ils vont permettre ainsi d'éliminer la pollution soluble biodégradable et une partie des matières en suspensions, la pollution organique (pollution carbonée) est dégradée par les bactéries hétérotrophes en milieu aérobie, les substances sont d'abord hydrolysées en molécules simples, celles-ci sont alors utilisées par les bactéries comme source d'énergie dans des réactions biologiques, nécessitant la présence d'un oxydant, le plus souvent c'est l'oxygène. (**Grosclaude, 1999**). Ces réactions assurent l'activité des microorganismes qui se multiplient et le volume de biomasse augmente ce qui impose d'extraire régulièrement un volume équivalent de boues pour conserver l'équilibre dans le réacteur. Le carbone des eaux usées est ainsi transformé soit en CO<sub>2</sub>, soit en biomasse.

#### **1.5.3.1. Le traitement de la pollution azotée**

Le traitement de la pollution azotée se déroule en deux étapes :

- ✓ La nitrification (une phase aérobie), où l'azote organique et l'ammonium  $\text{NH}_4^+$  sont oxydés en nitrates  $\text{NO}_3^-$  par les bactéries autotrophes, tel que les Nitrosomonas et les Nitrobacter qui assurent successivement la conversion de l'ammoniaque en nitrites  $\text{NO}_2^-$  puis celles des nitrites en nitrates, la nitrification est réalisée dans le même réacteur que le traitement de la pollution carbonée, cependant, compte tenu de la cinétique plus lente de la nitrification, celle-ci ne peut avoir lieu que dans des ouvrages en très faible charge.
- ✓ La dénitrification, a lieu en conditions anoxiques, les nitrates sont utilisés comme oxydant en remplacement de l'oxygène par les bactéries hétérotrophes qui les réduisent en diazote ( $\text{N}_2$ ), une maîtrise du traitement de l'azote par (nitrification dénitrification) permet d'atteindre des rendements jusqu'à 95% pour l'élimination de l'azote (**Henze, 1997**).

### **1.5.3.2. Le traitement de la pollution phosphorée**

Contrairement au carbone et à l'azote, le phosphore ne peut pas être évacué vers l'atmosphère, la seule voie d'élimination du phosphore consiste à le concentrer dans les boues, le traitement de la pollution carbonée peut éliminer 20 à 30 % du phosphore (**Deronzier, 2004**). L'élimination du phosphore concerne les traitements de déphosphatation, soit physico-chimique soit biologique, la déphosphatation biologique est basée sur la succession de phases anaérobies et aérobies au cours du traitement biologique mais son rendement est en générale moins bon que celui du physico-chimique. (**Rejsek, 2002**). Elle peut aussi être réalisée par précipitation physico-chimique en présence de sels minéraux comme le sulfate d'ammonium ou le chlorure ferrique et s'effectuer soit simultanément aux réactions biologiques dans le bassin de boues activées, soit en traitement final. (**Grosclaude, 1999**).

### **1.5.4. L'eutrophisation**

Selon (**Ryding, 1993**) une des principales fonctions des stations d'épuration est de lutter contre la pollution azotée et phosphorée pour éviter les phénomènes d'eutrophisation. L'eutrophisation d'un milieu aquatique se caractérise par l'enrichissement en matières nutritives qui entraîne une série de perturbations sur l'écosystème, tels que l'accroissement de la production d'algues et de macrophytes, la baisse de la concentration en oxygène, la dégradation de la qualité de l'eau, l'eutrophisation est conditionnée par deux types de facteurs :

- ✓ Des conditions physiques : température, luminosité et la turbidité.
- ✓ Des facteurs nutritionnels : azote et le phosphore.

Les facteurs physiques déterminent les zones à risques : milieux où l'eau se renouvelle lentement, comme les lacs profonds et les périodes à risques (l'été), quand la chaleur et l'ensoleillement favorisent le développement des végétaux, l'apport de nutriments constitue bien souvent le facteur déclenchant de cette pollution, l'excès de matières nutritives sous l'action de la lumière et de la chaleur, conduit à un développement rapide et excessif d'algues, le premier impact est donc une gêne visuelle, lorsque ces algues meurent, elles se décomposent et augmentent ainsi la charge organique biodégradable, les bactéries aérobies qui s'en nourrissent consomment alors l'oxygène du cours d'eau, or en l'absence d'une circulation suffisante des eaux et lorsque la température est élevée (et donc la solubilité de l'oxygène dans l'eau plus faible). Le milieu peut se retrouver en anoxie, voire en anaérobie, le manque d'oxygène engendre ainsi la mort des animaux aquatiques, permet des fermentations qui produisent des composés sources de mauvaises odeurs, à l'échelle d'un écosystème, les composés toxiques vont surtout modifier la biodiversité, les espèces sensibles vont laisser la place aux espèces résistantes à la pollution (**Gaujous, 1995**).

### **1.5.5. Le traitement tertiaire**

Il s'agit d'un ou plusieurs traitements complémentaires qui améliorent un paramètre spécifique de la qualité de l'eau rejetée en vue de protéger le milieu récepteur dans une zone localement plus vulnérable, parmi les traitements existants, nous pouvons citer : Les traitements de finition : pour certains usages, il est conseillé d'atteindre des concentrations très basses en MES, en DBO, en DCO, en azote ou en phosphore, plusieurs procédés peuvent alors être utilisés comme traitement d'affinage.

#### **a) La filtration sur sable**

La filtration sur sable permet de réduire les MES des traitements secondaires.

#### **b) La désinfection**

Certains micro-organismes présents dans l'eau sont pathogènes et nuisibles à l'homme, la désinfection de l'eau permet d'éliminer ces germes pathogènes, elle consiste à tuer les micro-organismes pour stopper leur diffusion, la désinfection des eaux comporte deux étapes importantes correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné :

- ✓ Effet bactéricide : c'est la capacité de détruire les germes et autres organismes indésirables en une étape donnée du traitement, comme le traitement à l'ozone, à l'ultraviolet et autres. Dans le cas du traitement aux rayonnements ultraviolets (UV), les bactéries présentes dans l'eau sont exposées aux longueurs d'onde germicides du rayonnement UV (entre 200 et 300 nm). Selon la quantité d'UV reçue, les cellules sont inactivées ou détruites (**Pfeiffer, 2013; Soumia, 2013; Tondera et al., 2016**).
- ✓ Effet rémanent : le désinfectant reste actif dans le réseau de distribution, ce qui permet de garantir la qualité biologique de l'eau en empêchant la colonisation par des micro-organismes ex: chlore, dioxyde de chlore, etc. en d'autres termes, l'effet bactéricide c'est tuer les bactéries à un instant donné et l'effet rémanent c'est empêcher un nouveau développement des bactéries.

### **1.5.6. Le traitement des boues**

Les boues, qui sont évacuées à partir des décanteurs primaire et secondaire, ou du lavage des biofiltres, ce sont un "liquide" qui comprenant entre 1 et 4 % de matières sèches, les étapes de conditionnement de la boue ont pour objectifs de :

- ✓ Réduire le volume.
- ✓ Stabiliser la boue (suppression des odeurs), l'étape finale de déshydratation permettra d'extraire le maximum d'eau (**Grosclaude, 1999**).
- ✓ Hygiéniser la boue (réduction des germes pathogènes).
- ✓ Conditionner la boue pour une valorisation matière ou énergétique. Il existe trois voies classiques pour éliminer les boues des stations d'épuration d'eaux usées : l'épandage, la mise en décharge dans un centre d'enfouissement technique des déchets, l'incinération, dans un four dédié aux boues (**OTV, 1997**).

## **1.6. Le traitement par phytoremediation**

La phytoremédiation des eaux usées est une technologie qui s'adapte aux contextes climatiques, géologiques et socio-économiques Algérien. C'est un procédé d'épuration écologique, propre et non polluant qui repose sur des écosystèmes dans lesquels les végétaux ainsi que l'utilisation des énergies renouvelables prennent une place importante (**Allouche, 2006**). L'épuration par lagunage consiste à faire passer les effluents des eaux usées brutes ou prétraitées dans un bassin naturel, ce qui permet de stimuler en amplifiant l'action auto-épuratrice des bassins ou des lacs. La pollution est alors dégradée par l'activité bactérienne, l'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales. Il permet une épuration à charges organique élevées, une bonne élimination de l'azote et du phosphore, ainsi qu'une faible production de boues en excès, mais nécessite des superficies importantes et un contrôle d'exploitation rigoureux. (**Roques, 1983**).

Le traitement des eaux usées par phytoremediation ou phyto-épuration est peu utilisée en Algérie, mais sont souvent réalisées dans d'autres pays pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives ou de lagunage aéré. Cette filière est généralement utilisée en vue d'améliorer le traitement (sur les paramètres DBO5 ou MES) ou de l'affiner (nutriments, métaux,...). Parmi les différents types de marais artificiels traitant des eaux usées domestique, les filtres planté de roseaux à écoulement vertical (FPRV) en deux étages, l'utilisation de FPRV, développer depuis une vingtaine d'année (**Liénard et al., 1987**), a réellement connu un essor dans les années 1990, avec le temps le procédé s'est doté d'une bonne réputation pour le traitement des eaux de petites collectivités.

Dans cette optique et dans le cadre de phytoremediation, nous avons testés les graines de *Moringa oleifera* dans le traitement des eaux usées des deux sites d'études (STEP), dans le but de prouver la capacité de ses graines à purifier ses effluents et de déterminer la meilleure dose de poudre de graines sous ses deux formes, fraîches et sèches pour traiter chaque type d'échantillon d'eau usée.



## 2. Présentation de l'arbre de *Moringa oleifera*

### Introduction

Le *M. oleifera*, c'est un arbre (fig. 1), à plusieurs bienfaits nutritifs et médicinaux qui lui donne le statut d'arbre miraculeux et l'arbre de la vie dans certains pays car tous les parties de l'arbre sont utilisés (les feuilles fraîches ou secs, les fleurs, les gousses, les graines et les racines). Les graines de *M. oleifera* sont utilisées pour purifiées les eaux (**Panda, 2008**).

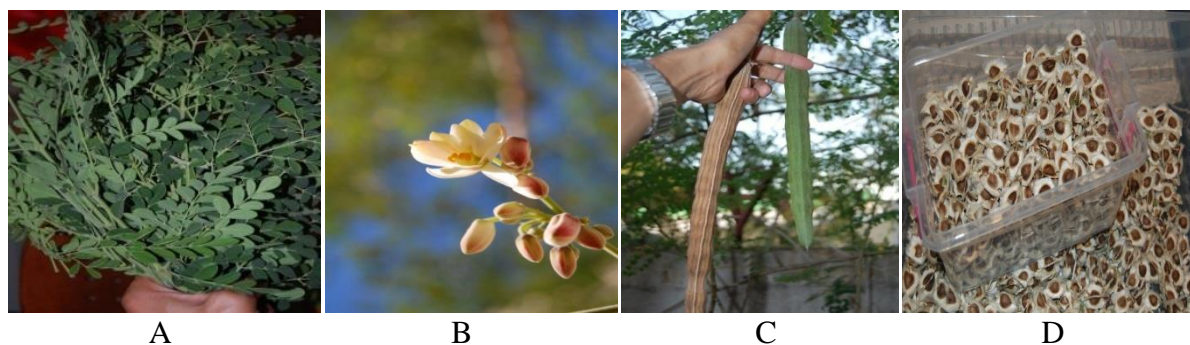


**Figure 1:** Arbres de *Moringa oleifera* (**Tahraoui, 2017**).

### 2.1. Description botanique

Le *M. oleifera*, un arbre originaire du nord-ouest de l'Inde et du Pakistan au bord de l'Himalaya, une plante (arbre) dicotylédone appartenant à de la famille de *moringaceae*, atteignant 10 mètres de haut ; avec un tronc de 45 cm de diamètre (**Akoégninou et al., 2006**). Les feuilles sont alternes, tripennées à la base et bipennées au Sommet (**Foidl et al, 2001**). Les folioles sont ovales et de 1 à 2 cm (**Morton, 1991**). Les fleurs de 2,5 cm de couleur blanche, après 8 à 12 mois, l'arbre commence à fleurir (**Price, 1985**). La floraison est généralement permanente suivant les endroits et la période de taille (**Arbonnier, 2002**). Les fruits sont en forme de gousses allongées à trois valves, mesurant 20 à 60 cm de long, situées au sommet des branches (fig. 2). Leur production commence 6 à 8 mois après la transplantation des plantules (**Besse, 1996**). Chacune contient environ 12 à 35 Graines (**Foidl.et al., 2017**). La production annuelle par arbre est de 15 000 à 25 000 graines (**Makkar et Becker, 1997**).





**Figure 2:** Différents produits de *Moringa oleifera* (A : feuilles ; B : fleurs et boutons floraux ; C : gousses mures et vertes ; D : graines mures) (Tahraoui, 2017).

### **2.1.1. Les bienfaits de *Moringa oleifera***

Les feuilles sont une source de plusieurs vitamines, de minéraux, des protéines, des acides gras et des acides aminés essentiels (Makkar et al., 1996). La poudre des feuilles de *M. oleifera* est un puissant antioxydant (Achat, 2013). L'extrait de ses dernières contient une hormone de croissance de type *cytokinine* (Makkar et Becker, 1996) qui favorise la croissance rapide et les bons rendements des plantes et est utilisé comme alternative de lutte contre les bios agresseurs des cultures (Dehak, 2013). Les feuilles, les graines, les racines, l'écorce et les fleurs possèdent chacun des vertus médicinales particulières (Pousset, 1999). Selon (De Saint Sauveur et Broin, 2010), les feuilles de *M. oleifera* sont maintenant utilisées dans certains programmes de lutte contre la malnutrition en particulier au Sénégal, en Inde, au Bénin et au Zimbabwe. (Mansaly, 2001). Les graines décortiquées de *M. oleifera* ont montré une teneur en l'huile de plus de plus de 40% (Anwar et Bangher 2003), cette huile est très stable dans les conditions des températures ambiantes pour plusieurs années (Warner et Knowlton, 1997). Dans certains pays de l'Afrique les graines de *M. oleifera* une fois transformées en poudre sont utilisées pour clarifier les eaux polluées (Panda et al., 2008).

### **2.1.2. Les exigences de la culture**

#### **2.1.2.1. Les exigences pédoclimatiques**

Le *M. oleifera* est une plante qui s'adapte à des milieux différents, cependant, certaines conditions du milieu favorisent son épanouissement. Les principales exigences écologiques de *M. oleifera* sont citées dans le tableau 1.

**Tableau 1:** Exigences écologiques de *M. oleifera* (De Saint Sauveur et Broin, 2010).

Paramètre	Valeur/Fourchette
Climat	Tropical ou subtropical
Altitude	0-2000 m
Température	25-35°C
Pluviométrie	250 mm-2000 mm
Type de sol	Limoneux, sableux ou sablo-limoneux
pH du sol	Légèrement acide à légèrement alcalin (pH: 5 à 9)

### 2.1.2.2. Les exigences de fertilisation et d'irrigation

Les besoins en nutriments peuvent être satisfaits par un apport de fumure organique ou minérale (De Saint Sauveur, 2010). La fertirrigation au Niger permet de favoriser 18 récoltes par an (Gamatie, 2005). Les bons rendements sont donnés par l'irrigation localisée selon (Méda, 2011).

### 2.1.2.3. Les ravageurs et les maladies

Le *M. oleifera* comme toute plante sujette à plusieurs menaces biotiques parmi elles, les pucerons (fig. 3), les criquets, les chenilles et les termites que constituent les principaux ravageurs et quelques maladies toxiques tels que l'alternariose serait également courante (De Saint Sauveur et Broin, 2010).



**Figure 3 :** Colonies des pucerons sur feuilles de *M. oleifera* (Tahraoui, 2017).

### 2.1.2.4. La récolte et le rendement

Les fruits doivent être récoltés lorsqu'ils deviennent bruns et secs, le rendement est influencé par la densité de semis, l'irrigation, la fertilisation, le traitement phytosanitaire et l'entretien de la culture (Foidl et al., 2001). L'irrigation goutte à goutte permet de doubler les

rendements des variétés annuelles, un apport de 4 litres par jour augmente ce dernier de 57% par rapport aux plantations pluviales (Raja krishnamoorthy et al., 1994).

#### **2.1.2.5. La sélection d'espèces et les variétés de *M. oleifera***

Deux variétés ont été créées sur une durée totale de 10 ans, la PKM1 et PKM2. En Inde 65% de plants hors type sont éliminés en première génération pour produire la variété PKM1 améliorée (De Saint Sauveur, 1992). Des tests comparatifs entre le *M. oleifera* du Malawi et la variété indienne sélectionnée PKM1 montrent qu'il n'y a pas de différence protéinique (Folkard, 1997).

#### **2.1.2.6. La multiplication de *M. oleifera***

Le *M. oleifera* se multiplie soit par semis des graines à 2 cm de profondeur soit par bouturage (Kokou et al., 2001). Les graines en pépinières peuvent être plantées dans des sachets en plastique, la levée se fait entre 3 et 7 jours après le semis (Séverin, 2002). La saison des pluies et la saison sèche fraîche sont les périodes favorables au semis des graines selon (Jahn, 2003). La densité de plants à l'hectare dépend des objectifs de production, pour la production de feuilles, elle peut aller jusqu'à 1 000 000 plants/ha selon (Foidl et al., 2001).

#### **2.1.2.7. Les caractéristiques physiques des gousses et des graines**

Des caractéristiques physiques des graines de *M. oleifera* sont présentées dans le tableau 2 ci dessous

**Tableau 2:** Propriétés physiques des gousses et des graines de *M. oleifera* (Ferro, 1970)

Poids et teneurs	valeurs
Poids moyen des gousses (g)	7,6
Poids moyen des graines par gousse (g)	3,59
Nombre moyen de graines par gousse	12
Poids moyen de 100 graines (g)	29,90
Poids moyen de 100 amandes (g)	21,20
Poids de l'amande par rapport au poids de la graine (%)	72,50
Poids de la coque par rapport au poids de la graine (%)	27,50
Teneur en eau de l'amande (%)	4,50
Teneur en eau de la coque (%)	9,20
Teneur en eau de la graine (%)	5,80

## **2.2. Les différentes utilisations des graines de *M. oleifera***

### **2.2.1. L'utilisation de l'huile des graines de *M. oleifera***

La teneur en huile des amandes des graines de *M. oleifera*, est d'environ 42%, d'huile jaune brillant (Ferrao et Mendez, 1970 ; Ramachandran et al., 1980). Cette l'huile contient environ 13% d'acides gras saturés et 82% d'acides gras insaturés et celle en acides gras libres varie de 0,5 à 3%, elle est riche en acide oléique (Foidl et al., 2001). Une l'huile équivalente sous tous ses aspects à une huile de qualité supérieure telle que l'huile d'olive et présente les mêmes avantages que celle-ci pour la santé (Creighton, 2001). Grâce à ces propriétés l'huile de *M. oleifera* est utilisée comme lubrifiant dans l'horlogerie pour sa faible tendance à se détériorer et devenir rance et collante (Ramachandran et al., 1980), elle est aussi utilisée comme huile de qualité dans l'industrie cosmétique et de parfums (Foidl et al., 2001).

### **2.2.2. L'utilisation des graines de *M. oleifera* dans la purification des eaux**

Le traitement de l'eau est peut-être le potentiel le plus spectaculaire de la plante, ces graines contiennent un poly électrolyte cationique qui a prouvé son efficacité dans le traitement des eaux, en tant que imitation du sulfate d'alumine, la poudre des graines constitue un floculant naturel qui peut clarifier les eaux troubles dissipant la majorité des matières colloïdales (Foidl et al., 2001)

#### **2.2.2.1. Les caractéristiques générales du *M. oleifera* pour le traitement des eaux**

##### **2.2.2.2. La floculation et la décantation**

Les graines de *M. oleifera* contiennent une protéine dont les propriétés floculantes permettent de clarifier l'eau de ses impuretés, cette protéine est libérée lorsque la poudre, issue est solubilisée dans l'eau trouble, les matières en suspension dans l'eau s'agglomèrent et précipitent par gravité. L'eau surnageante devient claire, mais pas totalement stérile, cette méthode est traditionnellement utilisée à l'échelle de la famille par certaines populations d'Afrique de l'est et notamment au Soudan pour obtenir une eau de boisson (Jahn, 1989b). Le *M. oleifera* contient un coagulant primaire, c'est-à-dire qu'il provoque la formation de ponts entre les colloïdes (Foidl, 2002). Agit comme un coagulant, le floculant contenu dans les graines ou les tourteaux est un polypeptide basique (Jahn, 1988a), il possède un ensemble de Poly électrolytes cationiques actifs de poids moléculaires compris entre 6 et 17 K Dalton, ces derniers sont de charges positives, neutralisent les colloïdes des eaux troubles car la

majorité de ces colloïdes ont une charge négative, le poly électrolyte cationique du *M. oleifera* réagit préférentiellement avec la matière organique, les doses requises varient en fonction du taux de matière organique présent dans l'eau (Folkard, 1997). Ce flocculant n'affecte pas le pH et diminue les taux de fer et de manganèse, le traitement peut être optimisé par l'ajout d'argile (montmorillonites) mais ceci nécessite encore des études (Folard, 1997). Les protéines de ces graines peuvent donc être utilisées comme polypeptide naturel non toxique pour provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques, elle agit donc comme un coagulant primaire en créant en permanence des ponts naturels entre les particules colloïdales, contrairement aux coagulants industriels qui sont parfois toxiques, utilisés aussi dans la filtration de l'huile végétale ou de sédimentation des fibres dans la production de jus de fruits (Foidl et al., 2001). Une étude en 2003 avait déjà permis, démontrer une diminution de *Staphylocoque* au cours du traitement de l'eau par des extraits des graines (Suarez et al., 2005). D'autres auteurs ont aussi prouvé cette capacité des protéines des graines à provoquer la toxicité de l'eau (Ferreira et al., 2011; Jerri et al., 2011). Par ailleurs un travail de recherche entrepris-en suède en 2005 avait permis d'extraire, à partir des feuilles une protéine cationique thermorésistante et active qui induit une sédimentation des particules colloïdales et une baisse de la turbidité (Mutheeswaran et al., 2011), d'autres auteurs ont montrés aussi que les extraits de graines de *M. oleifera* réduisaient la turbidité de l'eau et le nombre d'œufs d'*helminthes* contenus dans celle-ci (Sengupta et al., 2012).

### **2.2.2.3. Les différentes formes du flocculant**

#### **a) La poudre brute des graines de *M. oleifera***

Les graines sont réduites en poudre sans autre transformation, elles contiennent, en plus du principe actif, de l'huile et des matières organiques, la matière organique apportée par les graines favorise la croissance bactérienne dans l'eau, ce qui est un handicap, il est possible que l'huile freine l'activité flocculante, mais nous n'avons pas de données précises sur ce point (Jahn, 1988a).

#### **b) Le tourteau des graines *M. oleifera***

Le tourteau des graines de *M. oleifera* obtenu après extraction de l'huile serait plus efficace pour des traitements à grande échelle (ce qui ne semble pas poser de problème pour l'échelle domestique). Cependant, l'efficacité flocculante, peut varier en fonction des techniques d'extraction de l'huile (Folkard, 1997).

**c) Les protéines purifiées des graines de *M. oleifera***

En 1995, Gassenschmidt et ses collaborateurs ont isolé une molécule issue des graines *M. oleifera* dénommées *MO2.1* qui présentaient des propriétés floculantes (**Foild, 2002**). Cette molécule, est une protéine qui a été purifiée et dont la séquence en acides aminés a pu être déterminée, afin d'obtenir un floculant naturel efficace, la *protéine MO2.1* peut être extraite à partir des graines de *Moringa* ou produite par un organisme génétiquement modifié tel que la levure ou la bactérie *Escherichia coli* (**Broin, 2002**). Dans les deux cas, les coûts et la technicité requise sont élevés, l'extrait brut protéique non fractionné est moins actif que les fractions obtenues après échange cationique, des interactions protéiques sont sans doute la cause de cette baisse d'activité floculante (**Folkard, 1997**).

**2.2.2.4. La désinfection de l'eau**

**2.2.2.4.1. Le *M. oleifera* purifie-t-il l'eau ?**

La coagulation-floculation est une méthode permettant d'éliminer la turbidité constituée, d'une part, de matières en suspension (minérales et organiques) ainsi que de matières organiques dissoutes et, d'autre part, de microorganismes pathogènes (bactéries, parasites et virus) (**Degremont, 2005; Desjardins, 1997**). Les graines de *M. oleifera* sont souvent qualifiées de « purifiantes », ce qui laisse entendre qu'elles tuent les germes présents dans l'eau, le principe de la floculation diminue fortement le taux de germes, car une grande majorité est éliminée avec les matières en suspension, lorsque celles ci précipitent, la baisse de turbidité constitue donc une purification partielle. Cependant, en absence de traitement ultérieur (chloration, traitement à l'ozone ou aux UV par exemple), les germes restants dans l'eau se multiplient rapidement, on ne peut qualifier l'eau traitée par floculation de stérile, l'intérêt des graines de *M. oleifera* est donc de constituer un floculant alternatif aux produits chimiques actuellement utilisés (généralement le sulfate d'aluminium), mais pas de remplacer l'ensemble de la filière de traitement comme coagulant (**Chantrel et Armelle de Saint Sauveur, 2001**). Plusieurs études (**Faby et Eleli, 1993; Jahn, 1988a; Kabore, 2011**) ont montré l'efficacité des graines de *M. oleifera* dans la clarification des eaux et l'élimination des microorganismes pathogènes. Les graines de *M. oleifera* (comme d'autres parties de l'arbre) contiennent des composants bactéricides et fongicides.



Le bactéricide Fongicide 4( $\alpha$ -L-rhamnosyloxy benzyl isothiocyanate) est relâché par hydrolyse lors du broyage des graines, cependant, la désinfection demande des dosages très élevés de 200g/l (1 :10 pour avoir un effet germicide avec le *M. oleifera* (**Jahn, 1988a**). La dose utile à la floculation est 500 à 2000 fois trop faible pour observer un effet antibiotique (**Jahn, 1989a**), et selon ce même auteur toujours les doses requises pour observer un effet stérilisant ne sont pas réalistes dans le cadre du traitement de l'eau, car elles impliquent un apport beaucoup trop important de matières organiques (la poudre de graines) qui souillent l'eau, il faudrait donc isoler et purifier la molécule bactéricide et l'utiliser seule, ce qui ne serait pas rentable par rapport aux autres traitements existants, les graines de *M. oleifera* sont beaucoup plus intéressantes comme floculant que comme désinfectant, et les deux fonctions ne peuvent être obtenus en même temps, le *M. oleifera* comme coagulant est efficace sur des eaux de turbidité inférieure à 35NTU avec des taux de filtration allant jusqu'à 10m/h. les eaux très colorées ou présentant de forts taux de matière organique sont les mieux traitées (**Folkard, 1997**). Un dispositif de traitement en tant que prototype, à l'échelle pilote a été mis au point et construit dans la ville de Thyolo au sud du Malawi, l'eau de rivière est pompée sur 24m<sup>3</sup>/jour vers un réservoir supérieur/mélangeur où les graines décortiquées de *M. oleifera* sont dosées, dans des colonnes remplies de gravier (floculateurs à lit de gravier), 18 minutes sont allouées pour la floculation et la sédimentation (**Folkard et Sutherland, 1992**). Le système a été un succès durant la 2369période des pluies où la rivière pouvait avoir une turbidité atteignant 400 NTU (**Folkard et al., 2002**). Les graines de *M. oleifera* ont été dosées à 200 mg/l, la turbidité d'une eau impure (turbidité de 1000 NTU) a pu être réduite à moins de 10 NTU par coagulation/ sédimentation puis à moins de 1 NTU après le filtre de sable, les coliformes ont été réduits à 96 %, et l'abattement des matières en suspensions étaient constamment au-dessus de 90 %, la dose de graines de *M. oleifera* se situe entre 75 et 200 mg/l, selon la turbidité initiale (**Folkard et Sutherland, 1992**). Au regard de l'état de pauvreté des populations rurales dans certains pays, les méthodes viables pour le traitement des eaux, exagère leur performance, doivent être simples, accessibles et de moindre coût. D'après (**Folkard et Sutherland, 2002**), les technologies associées au traitement de l'eau doivent être aussi simples que possible, robustes et abordables à installer et à entretenir dans les pays en développement.

#### **2.2.2.5. L'utilisation industrielle des graines de *M. oleifera* pour le traitement de l'eau**

L'entreprise suisse (Optima S.A), a mis au point un flocculant industriel à partir des graines de *M. oleifera*, ce produit breveté est prévu pour être utilisé dans de grandes stations de traitement, l'application commerciale est en cours de développement et les informations restent confidentielles, le phytofloc est un dérivé extrait du *M. oleifera*, c'est un produit naturel qui se substitue aux produits chimiques, ce produit n'a subi aucune modification génétique. Le phytofloc se compose en grande partie de protéines à faibles densités moléculaires qui permettent d'éliminer des particules en suspensions comme le feraient des poly-électrolytes cationiques synthétiques (Optima S.A.), un flocculant obtenu par cette entreprise destiné à être utilisé à l'échelle industrielle dans les stations de traitement de l'eau classiques. (Chantrel et Armelle de Saint Sauveur, 1992).

#### **2.2.2.6. L'utilisation à grande échelle des graines de *M. oleifera***

Dans une usine de potabilisation des eaux au Burkina-Faso (600 m<sup>3</sup>/jour) (Faby et Eleli, 1993) des essais ont été effectués dans une station dont les modes de fonctionnement n'ont pas été changés, la poudre de *M. oleifera* non déshuilée remplace le sulfate d'alumine, l'eau brute présente une turbidité de 35,6 NTU, des tests sur une eau brute de 16,5 NTU de turbidité montrent que le *M. oleifera* additionné, de sulfate d'alumine (le rapport 1/4 est ici le plus efficace, soit 15 mg/l de sulfate d'alumine et 60 mg/l de poudre de graines de *M. oleifera* injectés ensemble, est un coagulant très prometteur, après décantation les eaux présentent une turbidité fortement diminuée de 3,8 NTU, après une heure contre 13,4 NTU si le *M. oleifera* est introduit seul à raison de 60mg/l et 5,2 NTU si le sulfate d'alumine est introduit seul à raison de 20 mg/l, au Malawi avec un écoulement de 60 m<sup>3</sup>/h (Folkard et Sutherland, 1992), la permission pour des tests en vraie grandeur a été reçue des autorités du Malawi, les travaux comportent des flocculateurs - clarificateurs, des filtres à gravitation rapide suivis de chloration. l'alun (sulfate double) et la cendre de soude importée sont normalement utilisés sur les travaux, quand ils ont été remplacés par une solution de graines de *M. oleifera* des performances comparables de traitement ont été accomplies, c'est la première fois qu'un produit naturellement dérivé d'un végétal a été employé avec succès comme un coagulant primaire sur une telle échelle, les turbidités entrantes pendant les tests s'étendaient entre 270 et 380 NTU, la turbidité finale de l'eau était en dessous de 4 NTU.



### **2.2.2.7. La toxicité des graines de *M. oleifera***

Les possibles effets néfastes ont été testés sur des colonies de salmonella qui ne présentent aucune réaction mutagène avec 1000 mg/l de *M. oleifera* et sur les rats sur lesquels des doses de 50 à 500 mg/kg ne montrent aucune toxicité (**Jahn, 1988a**).

### **2.2.2.8. L'implication sur la production des graines de *M. oleifera***

Sur une base 100 m<sup>3</sup> d'eau par jour à traiter avec une dose maximum de 200 mg/l (1 graine = 190 mg en moyenne) pour une eau fortement chargée, il faut 20 kg graines/jour, soit dans le plus mauvais scénario avec une utilisation continue sur toute l'année, 7.3 tonnes /an. (**Faby, 1993**).

### **2.2.2.9. Les avantages et les inconvénients de la poudre des graines *M. oleifera***

Selon (**Folkard et Sutherland, 1995**), la poudre de graine de *M. oleifera* a des avantages et des inconvénients dans la purification des eaux.

#### **a) Les avantages**

- ✓ Des graines bien conservées gardent leurs propriétés (jusqu'à 5 ans) (**Jahn, 1988a**)
- ✓ Les boues issues de flocculats de *Moringa* peuvent être utilisées comme fertilisant contrairement au sulfate d'alumine, il est complètement biodégradable
- ✓ Son efficacité ne dépend pas du pH et le surdosage ne cause pas de toxicité a double valorisation des graines (flocculant et l'huile)
- ✓ les boues résultant du traitement des eaux avec la protéine purifiée de *Moringa* sont plus compactes que celles obtenues avec des flocculants chimiques

#### **b) Les inconvénients**

- ✓ Difficile à stocker (en termes de volume et de conservation)
- ✓ Cause des problèmes techniques dans les usines

## **Conclusion**

Le *M. oleifera* un arbre à usages multiples, il a passé du statut de plante inconnue à celui de nouvelle ressource alimentaire et économique pour les pays du sud, pendant des années, des chercheurs des entreprises et des organisations non gouvernementales (ONG) contribuèrent à faire avancer les connaissances sur l'agronomie du *M. oleifera* pour l'utilisation de ses feuilles en alimentation et de ses graines comme source d'huile et de flocculant, en 2001 et 2006, les rencontres internationales organisées en Tanzanie et au Ghana ont contribué à développer les connaissances et les utilisations du *M. oleifera*, plusieurs travaux ont mis en évidence les qualités nutritionnelles exceptionnelles des graines et des feuilles de *M. oleifera*, qui sont utilisées dans l'alimentation en raison de leur richesse en protéines, vitamines et sels minéraux. Le *M. oleifera* est utilisé pour la purification de l'eau. Il est essentiel d'apporter des résultats scientifiques rigoureuses afin de soutenir l'utilisation de cette espèce, cette démarche ne peut se faire qu'en s'appuyant sur une documentation approfondie ou sur des expérimentations au laboratoire ce qui donnera de la valeur ajoutée à cette plante à multiples usages.

### 3. Présentation de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Baraki

#### 3.1. Généralités

La station d'épuration des eaux usées de Baraki a une capacité épuratoire de 900 000 Eq. Hab. Pour un débit moyen théorique de 147 000 m<sup>3</sup>/j. Initialement mise en service en 1989, cette station a reçu en moyenne 63 400 m<sup>3</sup>/j en 2013 et produit 12 200 tonnes de boues, les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet supérieur à 99% et un rendement d'élimination de la pollution supérieure à 95% (SEAAL, 2018).

#### 3.1.1. Les différents traitements

La station dispose de prétraitement, traitement biologique et de traitement tertiaire (SEAAL, 2018).

##### 3.1.1.1. Le prétraitement

Le prétraitement a pour objectifs d'éliminer les corps étrangers et une partie des matières en suspension (MES) dans l'eau brute, l'unité de traitement se divise en 6 sections et assure les fonctions citées dans le tableau 3.

**Tableau 3 :** Différentes sections et fonctions de l'unité de prétraitement (SEAAL, 2018)

Sections	Section 1	Section 2	Section 3	Section 4	Section 5	Section 6
Postes	Postes de relèvement SGR2 ; PR1 ; PR2.	Dégrilleurs grossier et fin	Déssableur Dégraisseur	Décanteur primaire	Traitement des sables	Traitement des graisses
Fonctions	Ces postes vont pomper les eaux usées pour les relever afin D'avoir un écoulement gravitaire.	Grossier : corps étrangers > 60 mm Fin : corps étrangers > 20 mm.	Le dessablage permet d'extraire de l'eau, les graviers, sables. Le dégraissage, permet d'extraire les flottants	Permet d'éliminé une grande partie des matières en suspension	évacuation des sables extraits.	Stockage et transfert des graisses vers la filière boue.

### **3.1.1.2. Le relèvement des eaux usées**

La station fonctionne avec deux types de relèvements, un par pompes et l'autre par vis, généralement c'est le deuxième type qui est utilisé.

### **3.1.1.3. Les débits d'eau usée brute en entrée de l'usine**

Les différents débits pour différents temps sont cités dans le tableau 4.

**Tableau 4 :** Différents débits pour différents temps (SEAL, 2018)

Débits à traiter	Tranche 1	Tranche 2	Global
Pointe en temps sec (m <sup>3</sup> /h)	9 600	9 600	19 200
Pointe en temps de pluie (m <sup>3</sup> /h)	19 200	19 200	38 400
Nominal journalier (m <sup>3</sup> /j)	149 000	149 000	298 000

### **3.1.1.4. Les caractéristiques de l'eau usée brute en entrée de l'usine.**

Les eaux usées à l'entrée de la station ont les caractéristiques cités dans le tableau 5.

**Tableau 5 :** Caractéristiques de l'eau brute en entrée de la STEP

Caractéristiques de l'eau brute	Concentration moyenne mg/l	Charge totale à traiter Kg/j
DCO	723	216 000
DBO5	301	90 000
MES	422	1260

### **3.1.1.5. Le dégrillage**

Les effluents relevés alimentent le poste de dégrillage via un canal ouvert comprenant une mesure de niveau existante (LIRSAH04-001), (SEAL, 2018). La qualité de l'eau brute est contrôlée par des analyseurs existants :

- ✓ La conductivité (QIR AHL04-002)
- ✓ Le pH (QIR AHL04-001)
- ✓ La mesure d'hydrocarbures (QISAH04-001).

Le canal de sortie des dégrilleurs fins comprend un échantillonneur automatique existant (Q04-003). Les dégrilleurs consistent à séparer les eaux usées des solides par une barrière (fig.4), ces installations sont :

- ✓ les pré-grilles manuelles
- ✓ les dégrilleurs grossiers pour les corps étrangers > 60 mm
- ✓ les dégrilleurs fins pour les corps étrangers > 20 mm



**Figure 4:** Vue d'ensemble de dégrilleur grossier et dégrilleur fin (SEAAL, 2018)

### 3.1.1.6. Le dessablage-Dégraissage

Cet ouvrage est composé d'un dessableur et d'un déshuileur (fig.5), dont le but est de :

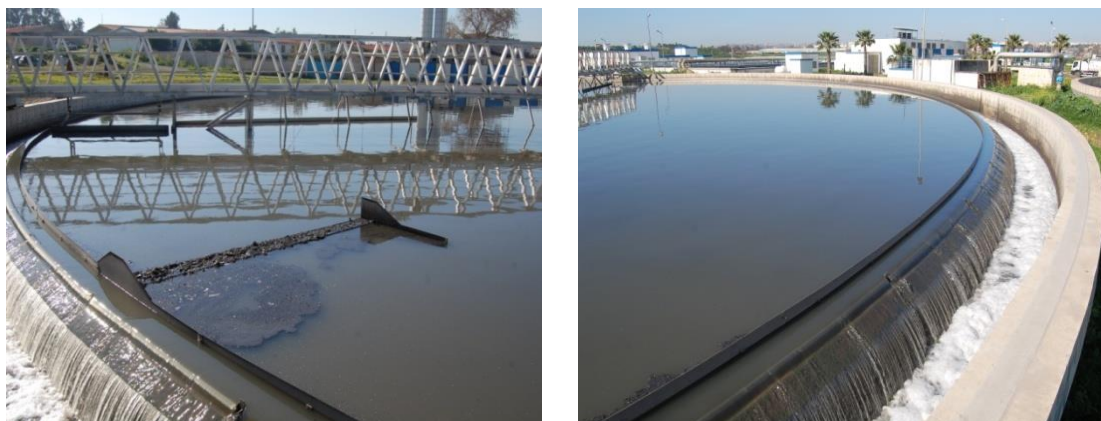
- ✓ extraire des eaux dégrillées
- ✓ évacuer les sables vers deux fosses à sables
- ✓ évacuer les matières flottantes vers deux fosses à graisses



**Figure 5 :** L'ouvrage dessableur-déshuileur (STEP de Baraki (SEAAL, 2018))

### 3.1.1.7. La décantation primaire

Il permet d'éliminer les matières en suspension (MES) facilement décantables sans ajout de réactifs (traitement sans produits chimiques), produire les boues primaires et les flottants d'eau décantée, dégraissée et dessablée, la décantation d'une façon générale s'effectue en fonction de la vitesse de décantation des particules et la vitesse du flux d'eau (fig. 6).



**Figure 6** : Ouvrage de décantation primaire (STEP de Baraki, 2018)

### **3.2. Le traitement biologique**

Il permet d'éliminer la pollution carbonée par boues activées et l'oxygène, il s'effectue dans les bassins d'aérations un abattement du carbone organique par digestion par les bactéries présentes dans les boues activées en présence de l'oxygène injecté, la liqueur mixte produit est clarifiée afin d'obtenir l'eau épurée et les boues secondaires (SEAL, 2018), il est composé de:

- ✓ Bassins d'aérations
- ✓ Dégazeurs
- ✓ Clarificateurs
- ✓ Puits de recirculation et d'extraction des boues activées

#### **3.2.1. Les charges en entrée du traitement biologique**

Les charges à traiter en entrée du traitement biologique sont indiquées dans le tableau 6 si dessous.

**Tableau 6** : Charges à traiter en entrée du traitement biologique (SEAL, 2018).

Paramètres	Concentration moyenne (mg/l)	Charge totale à traiter (kg/j)
DBO5	224	66 852
DCO	530	158 461
MES	176	52 629



### **3.2.1.1. Le traitement de carbone**

Le carbone organique existant dans les eaux usées est utilisé par les microorganismes (source d'alimentation) pour assimiler de l'énergie et se développer. La demande en oxygène croît en fonction de la pollution, pour cette raison que la demande biochimique en oxygène (DBO) est le paramètre pour estimer la quantité de la pollution carbonée biodégradable, les bactéries assimilent la pollution carbonée et en présence d'oxygène la dégrade et transforme une partie en dioxyde de carbone( $\text{CO}_2$ ).

### **3.2.1.2. Les bassins d'aération et boues activées**

Le traitement en bassins d'aérations permet d'éliminer la pollution carbonée (mesuré par DBO et DCO) grâce aux microorganismes et l'oxygène injecté, l'oxygène utilisé par les bactéries se trouve sous forme dissoute simple ( $\text{O}_2$ ) ou combinée à d'autres éléments ( $\text{NO}^{3-}$ ), lors de leur croissance, les bactéries libèrent des substances qui favorisent l'agglomération des bactéries avec la pollution solide, elles forment alors des floccs de boues (floculation naturelle, c'est la biomasse) (fig.7).



**Figure 7:** Bassins d'aération et boues activées (SEAAL, 2018).

### 3.2.1.3. Les débits en entrée du traitement biologique

Les débits en entrée du traitement biologique sont représentés dans le tableau 7 ci dessous.

**Tableau 7** : Les débits en entrée du traitement biologique (SEAL, 2018).

Débits	Débit m <sup>3</sup> /h
Débit de pointe moyen	6 200
Débit de pointe moyen + retour	8 000
Débit de pointe temps de pluie	19 200
Débit de pointe temps de pluie + retour	21 000
Débit de pointe temps sec	9 600
Débit de pointe temps sec + retour	11 500

### 3.2.1.4. Les besoins en oxygène

Les besoins en oxygène varient selon le degré de températures, ils sont cités dans le tableau 8

**Tableau 8** : Les besoins en oxygène en fonction des températures (SEAL, 2018)

Besoins en O <sub>2</sub> en fonction des températures	12°C	29°C
Besoin journalier (kg O <sub>2</sub> /j)	21 800	28 000

### 3.2.1.5. L'évolution des paramètres en fonction de la charge entrante de la STEP de Baraki

L'évolution des paramètres en fonction de la charge est montrée dans le tableau 9.

**Tableau 9** : L'évolution des paramètres en fonction de la charge entrante de la STEP de Baraki (SEAL, 2018).

Type	Cm kg DBO5/kg MV/j	Cv kg DBO5/ m <sup>3</sup> de réacteur/ j	Temps de séjour moyen dans le réacteur en h	Besoins en O <sub>2</sub> kg O <sub>2</sub> /kg DBO5 éliminée	Rendement épuratoire en % DBO5	Production de boues en kg MS/kg DBO5 éliminée
Très forte charge	> 1,5	> 3	1	0,6 à 0,7	75%	1,5
Forte charge	0,5 à 1,5	1,5 à 3	2,4	0,7 à 0,8	80%	1
Moyenne charge	0,25 à 0,5	0,7 à 1,5	4	0,8 à 1,1	85%	0,9
Faible charge	0,1 à 0,25	0,3 à 0,7	8	1,3 à 1,5	90%	1,05
Très faible charge	< 0,1	< 0,3	20	1,6 à 1,9	90 à 95%	0,9



### **3.2.1.6. Le dégazage**

Le dégazage offre une meilleure séparation liquide/solide dans le clarificateur en évitant la remontée de gaz, il permet d'éliminer les microbulles logées dans les floccs, d'éliminer les gaz qui sont en sursaturation par rapport à l'atmosphère (fig. 8)



**Figure 8:** Ouvrage de dégazage (SEAAL, 2018).

### **3.2.1.7. La décantation secondaire**

Le but de cette étape est de laisser décanter les liqueurs issues du bassin de dégazage, appelées boues biologiques leurs masses volumiques étant plus grande que celle de l'eau, elles coulent au fond du clarificateur, en surface on récupère l'eau épurée ou eau clarifiée, dans cette étape on élimine la pollution dissoute contenues dans les eaux usées (fig.9).



**Figure 9 :** Ouvrage de bassin de décantation secondaire (SEAAL, 2018).

### 3.3. Le traitement tertiaire

Le débit envoyé vers le traitement tertiaire est limité à 9350 m<sup>3</sup>/h d'eau clarifiée et le trop plein va directement vers l'ouvrage de rejet, ce traitement dans cette station est composé de 2 procédés, la filtration à sable (filtre du type aquazur v) et la désinfection UV (SEAAL, 2018).

#### 3.3.1. La filtration à sable

La filtration par sable est une étape de traitement destinée à produire de l'eau qui, une fois désinfectée par UV, constituera une réserve d'eau traitée qui sera utilisée pour l'irrigation. La filtration consiste à faire circuler de l'eau à travers un lit filtrant constitué par du sable qui retient les particules à éliminer. Ce traitement est réalisé dans des filtres fonctionnant en parallèle, constituant ensemble une batterie de filtres. Dans chaque filtre, le courant d'eau (du haut vers le bas) est maîtrisé par une vanne de régulation sur l'eau filtrée en sortie de filtre. Pour chaque filtre, la filtration est interrompue périodiquement pour procéder à leur lavage en évacuant les boues retenues par injection successive d'un courant d'air et d'eau combiné (air + eau) à contre courant, puis d'eau seule à contre courant. Cette filtration permet de retenir 50% les MES encore présentes dans l'eau clarifiée (SEAAL, 2018) (fig. 10).



**Figure 10:** Ouvrage de filtration à sable, (aquazur v) (SEAAL, 2018).

##### 3.3.1.1. La désinfection UV

La désinfection est un procédé qui permet d'éliminer ou d'inactiver des microorganismes pathogènes, dans le sens où elle empêche leur développement ou leur reproduction (Rodier, Legube et Merlet, 2009), de telle sorte que ces microorganismes soient incapables de causer des maladies. Sur la station de Baraki, la désinfection UV permet d'assurer la qualité bactériologique de l'eau par un traitement bactéricide (SEAAL, 2018) (fig.11).



**Figure 11:** Les modules de désinfection UV (SEAAL, 2018).

## Chapitre II. Matériel et méthodes

### 1. Les objectifs de l'étude

La présente étude porte sur deux objectifs :

- L'objectif général vise à prouver l'effet flocculant des graines de *Moringa oleifera*.
- L'objectif spécifique pointe à trouver la dose agissante parmi les doses proposées dans l'étude pour le traitement des différents échantillons d'eaux usées au niveau des stations d'épuration et son effet sur les paramètres physico-chimiques.

#### 1.1. Présentation des sites d'études

Dans cette étude nous avons achevés nos essais sur deux sites (STEP) différents appartenant à SEAAL

- Station d'épuration des eaux usées de Baraki
- Station d'épuration des eaux usées d'Ain benian

##### 1.1.1. La station d'épuration des eaux usées (STEP) de Baraki

La station d'épuration de Baraki est la station principale de traitement des eaux usées d'Alger et la deuxième plus grande installation de son genre en Algérie, actuellement cette STEP à une capacité épuratoire de 900 000 d'équivalents habitants, pour un débit moyen théorique de 147 000 m<sup>3</sup>/j. les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet supérieur à 99% et un rendement d'élimination de la pollution supérieur à 95% (**Source : SEAAL**).



**Figure12** : Station d'épuration des eaux usées de Baraki (SEAAL, 2018)



### **1.1.2. Station d'épuration des eaux usées (STEP) d'Ain benian**

La station d'Ain benian (250 000 éq.hab), opérationnelle depuis 2007, ses capacités d'épuration ont doublé à 500 000 éq.hab après l'entrée en service de la deuxième tranche en août 2015 (SEAAL, 2018).



**Figure 13:** Station d'épuration des eaux usées d'Ain benian (SEAAL, 2018).

#### **1.1.2.1. Description et conditions opératoires.**

L'étude a été réalisée dans les laboratoires des stations de Baraki et celle d'Ain benian avec des échantillons d'eaux usées issus des échantillonneurs des stations mêmes, ces derniers sont traités dans les mêmes conditions expérimentales, le même volume d'eau usée est prélevée de chaque échantillon et chaque volume est traité par une dose de poudre de *M. oleifera*, en laissant un témoin ( $T_0$ ) sans ajout de poudre pour tous les échantillons. Les témoins sont caractérisés par une pollution d'entrée, ces derniers sont analysés de la même manière comme les volumes d'eaux traitées avec la poudre d'amandes de *M. oleifera*.

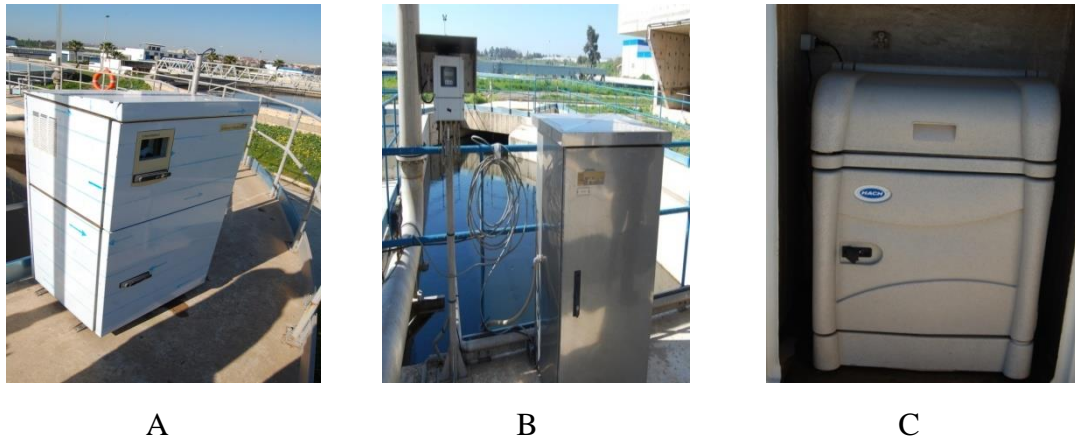
## **1.2. Matériels**

### **1.2.1. Matériel technique de laboratoire**

Le matériel technique utilisé pour l'analyse des paramètres physico-chimiques dans les deux stations est le suivant : pH mètre, conductimètre, thermostat LT200 avec spectrophotomètre (DR2800), D.C.O mètre, D.B.O mètre Oxi top, appareil BODTrak, étuves, balance sensible, pompe à vide et un vibreur.

### 1.2.1.1. Les eaux usées.

Les eaux usées utilisées proviennent des différents échantillonneurs des sites d'études sont les suivants : L'échantillonneur des eaux brutes (A), l'échantillonneur des eaux décantées (B) et l'échantillonneur des eaux filtrées(C) (figure14). Ces échantillonneurs reconstituent un échantillon moyen de 24h, ils sont appliqués sur les usines de traitement des eaux usées à SEAAL.



**Photos 14** : Les différents échantillonneurs de la STEP de Baraki (SEAAL, 2018)

### 1.2.1.2. Les graines de *M. oleifera*

Le matériel végétal utilisé dans notre étude provient des arbres d'une plantation personnelle âgés de 5 à 6 ans (récolte 2017). Ses arbres sont issus de graines introduites du Sénégal, les jeunes plants sont suivis en pots avec soins et sans traitement chimique, âgés de 06 à 12 mois, ils sont transplantés au sol à oued el Alleug (Blida) (fig. 15).



**Figure 15**: Gousses et graines de *M. oleifera* (Tahraoui, 2018).

### 1.2.1.3. La faculté germinative des graines de *M. oleifera*

Avant d'entamer notre expérience nous avons essayé un teste des germinations des graines (fig. 16) pour confirmé leurs qualité protéiniques, l'opération a subi les étapes suivantes :

- Trempage des graines dans l'eau pendent 24 à 36 heures.
- Maintien des graines gonflées dans un milieu humide (un récipient avec du papier serviette imbibé d'eau jusqu'à saturation), ou à l'étuve dans des boîtes de Pétri avec une température de 26 à 28 °C, les graines germent en 03 jours après le trempage, le pouvoir germinatif est de 90%. Et après 10 jours ce taux augmente jusqu'à 99 %. Les graines se montrent inaptes à la germination à des températures basses.



**Figure 16:** La germination des graines de *M. oleifera* (Tahraoui, 2018).

## 1.3. Méthodes

### 1.3.1. Le décortilage des graines

Après le pesage des graines, nous avons décortiqués manuellement ces dernières, les amandes des graines de *M. oleifera* sont mises dans une coupelle en porcelaine et placées à l'étuve programmée à 30°C, le séchage modéré sauvegarde la qualité protéiniques, facilite le broyage, évite l'effet pâteux et collant due à l'huile (fig. 17).



**Figure 17:** Le décortilage et le séchage des graines à l'étuve (SEAAL, 2018)



### **1.3.1.1. Le broyage des amandes des graines de *M. oleifera***

A la sorti de l'étuve et après refroidissement des amandes pendant 30 minutes nous pesons les amandes sèches. L'opération de broyage est réalisée manuellement avec un mortier de 100 ml et un pilon en porcelaine stérile, on obtient ainsi une poudre moyennement fine et amorphe (pâteux) à cause de la teneur des graines en l'huile (fig.18), les amandes sont conservées après chaque utilisation dans un sachet alimentaire à 4°C à l'abri de lumière et d'humidité pour éviter toutes dégradations.



**Figure 18:** Le broyage des amandes des graines de *M. oleifera* (SEAAL, 2018)

### **1.3.1.2. Préparation des échantillons d'eaux usées**

Pour chaque type d'eau usée nous préparons 3 béchers de 500 ml ou de 1000 ml, un bécher pour le témoin et les autres pour le type d'eau avec la dose de poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* à testée, les prélèvements issus des différents échantillonneurs sont traités de la même manière et dans les même conditions expérimentales, le même volume est prit en gardant un bécher comme témoin pour chaque traitement. Avec une éprouvette on pratique l'agitation des eaux usées (échantillons) dans les bombonnes reçus des échantillonneurs, puis on prend les volumes nécessaires à traiter pour chaque type d'eau, les échantillons d'eaux usées utilisées sont reçus des trois échantillonneurs (eau brute, eau décantée et eau épurée)

### **1.3.1.3. La pesé de la poudre d'amandes des graines de *M. oleifera***

Les pesés sont effectuées avec une balance sensible, les doses proposées pour l'étude sont les suivantes :  $T_0 = 0$  g,  $X_0 = 0,5$  g,  $X_1 = 1$  g,  $X_2 = 1,5$  g (fig. 19).





**Figure 19:** Pesage des différentes doses de poudre d'amandes de *M. oleifera* (SEAAL, 2018)

### **1.3.2. Description des essais**

#### **1.3.2.1. Les essais au niveau de laboratoire de la STEP de Braki**

Dans l'expérience effectuée dans le laboratoire de la STEP de Baraki nous avons utilisés les deux types des graines (graines fraîches et sèches), avec les différentes doses de poudre d'amandes des graines de *M. oleifera*.

##### **1.3.2.1.1. Le traitement des eaux usées avec les amandes fraîches des graines de *M. oleifera***

Dans le premier essai nous avons essayé d'étudier l'effet de la poudre des amandes fraîches de *M. oleifera* à différentes doses sur l'eau brute, de la station de Baraki, dans cet essai 04 béchers sont utilisés avec les mêmes volumes d'effluent (1000 ml). La poudre des amandes est additionnée juste après le broyage pour ne pas altéré sa qualité, elle est ajoutée en même temps dans les 3 béchers. Les doses de poudre utilisée sont : ( $X_1=0,5$  g,  $X_2=1$ g,  $X_3=1,5$ g). Un 4<sup>ième</sup> bécher de même volume est gardé comme témoin ( $T_0$  sans ajout de poudre). Au début de l'expérience nous avons exercé une agitation manuelle de 03 minutes avec une éprouvette pour tous les béchers, par la suite et pendant deux heures ses derniers sont laisser sans mouvement pour observé l'effet de la poudre des graines sur cet eau usée, une décantation rapide due à la floculation et une baisse de turbidité sont remarqués après la 5<sup>ième</sup> minute, après deux heures de traitement, les surnageants des 4 béchers sont séparés doucement des restes des volumes d'eaux pour ne pas provoqué le mélange avec les matières décantées. Finalement 4 béchers de surnageants différents sont récupérés pour l'étude des différents paramètres physico-chimiques.

### **1.3.2.1.2. Le traitement des eaux usées avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera***

Dans cet essai l'expérimentation est effectuée dans les laboratoires de SEAAL et de l'ONA à Braki, après les résultats du premier essai et vue les résultats non encourageants obtenus par la dose 1,5g/l par rapport au autres doses, nous avons éliminé cette dose des restes des essais. Dans cette expérience la poudre utilisée est celles des graines sèches, juste après le broyage elle est ajoutée en même temps pour tous les échantillons d'eaux, dans chaque type d'eau, 03 béchers sont utilisés en ajoutant les doses de poudre d'amandes sèches ( $X_1= 0,5$  g,  $X_2= 1$ g), un bécher avec le même volume est gardé comme témoin ( $T_0$ ). Après deux heures, les surnageants sont séparés des restes des contenus des échantillons pour les analyser, 09 solutions différentes sont récupérées pour l'étude des paramètres physico- chimiques, 06 surnageants traités avec leurs 3 témoins.

### **1.3.2.1.3. L'essai au niveau de laboratoire de la STEP d'Ain benian**

Cet essai a été réalisé dans la STEP d'Ain benian dans le but de confirmé certains résultats de l'effet de la poudre des amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les paramètres physico-chimiques étudiés déjà dans la STEP de Baraki.

Lors de notre expérience dans la station d'Ain benian nous avons essayé d'étudier l'effet de la poudre des amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les deux types eaux usées (eaux brute et eau filtrée), afin de confirmer l'efficacité de la dose  $X_1=0,5$ g/l de cette dernière dans la purification des eaux usées.

### **1.3.2.1.4. Le traitement des eaux usées avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera***

#### **1.3.2.1.4.1. L'échantillonnage**

Les échantillons sont collectés à partir des échantillonneurs de la STEP d'Ain benian, ils sont prélevés de façon à représenter de milieu d'où il provient, les échantillons d'eaux usées utilisées sont issus des échantillonneurs des eaux brutes et celui des eaux filtrées. Dans des bonnes conditions expérimentales avec une température de laboratoire de 20°C, pour chaque échantillon nous avons préparé 02 béchers avec un volume de 1 litre d'eau usée, la dose de poudre d'amandes sèches ( $X_1=0,5$ g) est ajoutées dans les béchers des deux échantillons en gardant leurs témoins ( $T_0$ ) (fig. 20). Après deux heures de décantation, les surnageants sont récupérés et versés dans d'autres béchers, 04 solutions différentes (02 surnageants traités et leurs 02 témoins) pour l'étude des paramètres physico- chimiques.



**Figure 20:** Traitement d'eaux usées avec la dose ( $X_1 = 0,5$  g/l) STEP d'Ain benian.

## **1.4. Les paramètres physico-chimiques et les méthodes d'analyses utilisées**

### **1.4.1. Les paramètres physiques**

#### **1.4.1.1. La température**

La mesure de la température est faite automatiquement à chaque mesure de pH et de la conductivité électrique à l'aide d'un thermomètre intégré dans l'appareil de mesure, la température est donnée en degrés Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### **1.4.1.2. Le potentiel hydrogène pH**

A l'aide d'un pH-mètre nous plongeons la sonde dans les échantillons, nous agitions pour s'assurer de la fiabilité du résultat, le pH- mètre utilisé est de type sension (Hach) avec un agitateur magnétique.

#### **1.4.1.3. La conductivité électrique (CE)**

Après réglage du conductimètre, la sonde est plongée dans les béciers des surnageant d'échantillons des eaux usées, la détermination est directe, la lecture des résultats est réalisée en micro-siemence ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

#### **1.4.1.4. Les matières en suspensions (MES)**

Les matières en suspensions sont déterminées selon la norme AFNOR NFT90-105, la méthode pratiquée pour la mesure et le calcul des MES est la suivante :

- ✓ Filtrer une prise d'essai sur des filtres micropores préalablement séchés et pesés

- ✓ Placer ces filtres avec leurs contenus dans des coupelles à l'étuve à 105 °C pendant deux heures
- ✓ Refroidir les coupelles et leurs contenus dans un dessiccateur, par la suite nous pesons de nouveau, la différence entre poids humide et poids sec permet d'évaluer les MES.

La mesure du taux de matières sèches a été réalisée de la manière suivante : Pour l'eau brute nous prenons 50 ml, nous pesons une coupelle en aluminium avec un filtre de la fibre de verre et nous passerons les 50 ml d'eau brute avec la pompe sous vide pour séparer le liquide du solide, par la suite nous miterons la coupelle avec le filtre à l'étuve pendant 2 heures à 105 °C, après séchage on retire les coupelles de l'étuve et les laisser refroidir pendant 30 minutes et on pèse de nouveau, et pour l'eau épurée on prend 500 ml (la même opération comme l'eau brute). Ce mode opératoire a pour objet le dosage des matières en suspension dans les eaux brutes et les eaux usées par filtration sur filtre en fibres de verre selon la norme ISO 11923.

La teneur de (MES) est calculée d'après l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} : P = (M_1 - M_0) 1000 / V$$

P : teneur en matière en suspension en mg/l

V : volume en ml de la prise d'eau

M<sub>0</sub> : Masse en mg de la coupelle et le filtre

M<sub>1</sub> : Masse en mg de la coupelle et de son contenu après séchage à 105 °C.

### **1.4.2. Les paramètres chimiques**

#### **1.4.2.1. La demande chimique en oxygène (DCO)**

Dans la STEP de Braki nous avons utilisés la spectrophotométrie pour déduire la DCO des eaux usées, cette technique mesure en laboratoire la quantité d'oxygène consommée par l'oxydation chimique (à l'aide d'un oxydant à chaud, pendant 2 heures) des matières organiques ou minérales présentes dans l'effluent, le résultat est donné en mg/l (SEAAL, 2018) (fig. 21)



**Figure 21:** Réactifs et thermostat avec spectrophotomètre utilisés pour analyse de DCO (SEAAL, 2018)

Les cuves sont chauffées d'abord dans le thermostat LT200, c'est est une étape essentielle, afin de permettre aux substances oxydables de réagir avec le bichromate de potassium sulfurique en présence du catalyseur le sulfate d'argent. Après deux heures les cuves sont retirées du thermostat et elles sont insérées dans l'emplacement approprié après le refroidissement, le mode a code barre es sélectionné sur le menu principal sur l'écran digital du DR2800/DR3800. La valeur de la DCO s'affichera en mg /l qui est la concentration en masse d'oxygène consommée par la matière organique présente dans l'échantillon.

Pour l'essai exercé dans la STEP d'Ain benian, la détermination de la DCO (fig. 22) est déroulée par un mode opératoire qui décrit une méthode de détermination de la DCO dans un effluent selon la norme ISO 6060. La méthode est applicable aux effluents dont la DCO est comprise entre 30 mg/l et 700 mg/l. Dans cette opération nous versons 10 ml de l'échantillon dans le tube de l'appareil à reflux et nous ajoutons 5 ml de la solution de dichromate de potassium de concentration 0,04 mole/l, puis on ajoute lentement et avec précaution 15 ml d'acide sulfurique-sulfate d'argent, une agitation soigneuse le contenu est essentiel. Après agitation les tubes sont mis dans l'appareil à reflux pendant 2 heures, à une température du mélange réactionnel de 148°C. Après refroidissement, 45 ml d'eau distillé sont ajouté pour complète le contenu à 75 ml et 2 goutte de l'indicateur coloré (ferroïne), nous agitons on titrant avec la solution de sulfate d'ammonium de fer II et d'ammonium hexahydraté dans l'eau distillée. L'opération s'arrête juste avec le virage de couleur, et nous enregistrons la mesure, le calcul de la demande chimique en oxygène (DCO) se fait de la manière suivante :

$$DCO = 8000 (C) (V_2 - V_1) / V_0 \text{ (mg /l).}$$

C : concentration de sulfate de fer II et d'ammonium en mole /l (environ 0,12 moles /l)

V<sub>0</sub> : volume en (ml) de la prise d'essai avant dilution.

$V_2$  : volume en (ml) de la solution de sulfate de fer II et d'ammonium

$V_1$  : volume en (ml) de la solution de fer d'ammonium

8000 :  $\frac{1}{2}$  masse molaire de l'oxygène par litre.



**Figure 22:** Réactifs et incubateur DCO utilisé dans la STEP d'Ain benian (SEAAL, 2018).

#### **1.4.2.2. La demande biochimique en oxygène (DBO)**

Dans l'expérimentation de la STEP de Baraki, la détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5) est effectuée par la méthode OxiTop au niveau du laboratoire de l'office national d'assainissement (ONA). Le mode opératoire est le suivant : les flacons à DBO sont remplis avec les échantillons d'eaux usées, un barreau magnétique dans chacun des flacons pour homogénéisation, un absorbant (généralement le KOH) est ajouté dans les bouchons hermétiques pour absorber l'humidité, l'appareil est réglé à zéro et met dans l'incubateur en marche pendant 5 jours à 20°C. Le résultat est obtenu directement sur l'afficheur et exprimées en mg O<sub>2</sub>/l, le volume de la prise d'essai est choisi selon les intervalles de mesure de la DBO5 dans le tableau 10 si dessous.

**Tableau 10:** Intervalle de mesure de la DBO5

Volume de la prise d'essai	Intervalle de mesure (mg/l)	Facteur
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.8	0-2000	50
22.7	0-4000	100



## *Purification de l'eau par les graines de Moringa oleifera*

Pour démarrer la mesure il faut appuyer sur les boutons S et M simultanément pendant deux secondes jusqu'à apparition de {--} puis (00) (fig. 23) qui indique que toute valeur auparavant enregistrée a été effacée et puis les flacons sont mis dans l'incubateur réglé à une température de 20 °C pendant 05 jours. La valeur de la DBO5 (en mg/l) est la valeur lue directement sur l'écran digital de l'OxiTop multipliée par le facteur donné dans le tableau ci-dessus. La DBO5 est calculée d'après l'expression suivante :

$$DBO5 = \text{Valeur lue} \times \text{Facteur}$$



**Figure 23:** Systèmes de mesure OxiTop avec enceinte réfrigérée.

Pour l'essai de la STEP d' Ain benian, la détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO5) est effectuée par la méthode BODTrak II, les volumes d'eaux usées utilisées pour chaque échantillon sont : pour l'eau brute un volume de 160 ml et pour l'eau épurée un volume de 420 ml, pour deux échantillons le protocole expérimental est le même, uniquement le volume d'effluent qui change. deux pastilles de Naoh ( sodium hydroxide ) sont ajoutés pour adsorbé le CO<sub>2</sub>. Les bouteilles sont mises dans l'incubateur DBO pendant 5 jours et après les résultats s'affichèrent directement sur écran. Pour les volumes d'échantillons il faut choisir la taille de l'échantillon correcte pour la plage d'échantillon mentionné dans le tableau 11.

**Tableau 11:** Volumes d'échantillons à apprendre pour la mesure de DBO5.

Plage de la DBO (mg/l)	Volume de l'échantillon (ml)
0 à 35	420
0 à 70	355
0 à 350	160
0 à 700	95



Dans ce mode opératoire un agitateur BODTrak est mis dans la bouteille puis on place la cupule contenant environ 0,4g d'Hydroxyde de Lithium dans chaque flacon et les flacons sont placés sur l'appareil BODTrak par la suite le tuyau approprié est raccordé à chaque flacon. Chaque tuyau est étiqueté avec le numéro de voie du flacon (1 à 6). La lecture des résultats de la DBO se font directement à l'affichage de l'appareil BODTrak en pressant le numéro de voie correspondant à chaque échantillon (fig.24).



**Figure 24:** BDO-mètre BODTrak utilisé dans la STEP d' Ain benian (SEAAL, 2018).

### **1.4.2.3. L'azote total**

L'azote total (NT) est déterminé selon la norme AFNOR NF T90 110 (sur un échantillon brut). Il est dosé après minéralisation de l'azote organique en azote ammoniacal en milieu acide et en présence de catalyseur à base de sélénium, ce mode opératoire décrit une méthode d'analyse pour la détermination de la concentration de l'azote total pour les deux gammes : 20-100 mg/l (haute gamme) et 5-40 mg /l (basse gamme), pour le dosage de l'azote total on les réactifs utilisés sont LCK 338 et LCK 238. Dans le mode opératoire on pipete un volume d'échantillon dans le tube à essai sec puis on ajoute la solution A et une pastille B, par la suite les tubes à essais sont chauffés 60 minutes à 100 °C. A l'aide du thermostat HACH LT200. Après refroidissement pendant 15 minutes jusqu'à atteindre 20°C. Les tubes sont Insérés dans la cuve dans l'emplacement approprié du DR2800 ou DR3800 et nous sélectionnons le menu programme à code barre dans le menu principal la valeur de la concentration de l'azote total est donnée directement par le spectrophotomètre en mg/l. Pour LCK 338 (haute gamme) on pipete 0,2ml d'échantillon dans le tube à essai puis on ajoute 2,3ml de la solution A et une pastille B et pour LCK 238 (basse gamme) on pipete 0.5ml d'échantillon dans le tube à essai puis on ajoute 2ml de la solution A et une pastille B (fig. 25).



**Figure 25:** Réactif et thermostat HACH LT200 avec spectrophotomètre (DR2800) utilisés pour l'analyse de l'azote total dans la STEP de Baraki (SEAAL, 2018).

#### **1.4.2.4. Le Phosphore total**

Le phosphore total (PT) est déterminé selon la norme AFNOR NF T90 023 (sur un échantillon brut). Le dosage du phosphore total se fait par méthode Kit Hach LCK 350. Ce mode opératoire décrit une méthode d'analyse pour déterminer la concentration des ortho phosphates allant de 2-20 mg/l P-Po4 ou de 2-20 mg/l P-Po4. Les échantillons sont prélevés dans des flacons en polyéthylène. On enlève délicatement la feuille de protection du dosi cap Zip et on dévisse le dosi cap Zip, puis on pipete 0,4 ml de l'échantillon à analyser et on verse dans le flacon, on agite énergiquement puis on chauffe les tubes dans le thermostat à 100°C pendant 60 min, une fois refroidie, on pipete dans la cuve 0,5 ml de réactif B et on mélange le contenu de la cuve, on visse un dosi cap Zip (LCK 350) gris sur la cuve et on mélange le contenu de la cuve en le retournant plusieurs fois de suite finalement on laisse reposer la cuve pendant 10 min puis on mélange de nouveau et on nettoie bien l'extérieure de la cuve puis on passe au mesure en appuyant sur le menu code a barre, le spectrophotomètre indique des résultats en mg/l.

### Chapitre III. Résultats et discussion

#### 1. Résultats et calculs de certaines caractéristiques physiques des graines des arbres de *M. oleifera* d'Oued el Alleug

Les gousses de *M. oleifera* contiennent environ 12 à 35 graines (Foidl et al., 2001). La production annuelle par arbre est de 15 000 à 25 000 graines (Makkar et Becker, 1997). Pour les gousses issues de la plantation d'Oued el Alleug.

- ✓ Le nombre moyen des graines pour 100 gousses est de 15 graines.
- ✓ Le nombre de pied à l'hectare proposé est de 1500 arbres pour un espacement de (2,2 × 3 m).
- ✓ la production moyenne des graines par hectare sont estimée à 30 millions de graines (20000× 1500).
- ✓ Le poids moyen des 100 graines est de 32,55g donc le poids moyen des graines par arbre est estimé à 6,51 kg (0,00651T).
- ✓ par déduction pour un hectare la production moyenne par an est de 9,77 tonnes de graines (0,00651T×1500= 9,77 T).
- ✓ Le décorticage des graines réduit 28,48 % de leurs poids brutes, donc le poids réel des amandes est estimé de 6,98 T d'amandes fraîches par hectare (9,77 T - 28% (9,77) = 6,98 T).
- ✓ Le séchage permet aussi de réduire le poids mais d'une façon insignifiante, sur le poids moyen de 100 amandes fraîches après séchage à l'étuve (30 °C) une baisse de 0,45g sur 23,28g d'amande fraîches est enregistrée (23,28g - 22,83g = 0,45g). ce qui représente 1,93% de perte d'eau sur l'ensemble du poids des amandes fraîches.
- ✓ Le poids des amandes sèches est estimé à (6,98 T - 1,93%(6,98) = 6,84 T).

Pour traité 1 m<sup>3</sup> d'eau usée brute avec les amandes sèches avec la dose X<sub>1</sub> (0,5 g/l) nous avons réalisé le calcul suivant :

- ✓ Pour un litre d'eau usée brute la dose de traitement est de 0,5g, l'équivalent de 500g (0,5kg) pour traiter 1 m<sup>3</sup> et à l'échelle de la STEP de Barki, les besoins journalier de poudre pour traiter le volume d'eau usée brute en temps sec par jour est estimé de : 0,5 kg × 149 000 m<sup>3</sup>= 74500 kg (74,5 T), pour une année il faut prévenir 27192,5 T (74,5 T × 365j) de poudre d'amandes sèches. Si on traite avec le tourteau des graines, les graines de *M. oleifera* (amandes) contient 42% d'huile (Ferrao et Mendez, 1970 ; Ramachandran et al., 1980). Le tourteau des graines élimine 42 % du poids des amandes donc:

## *Purification de l'eau par les graines de Moringa oleifera*

---

- ✓ Le traitement avec le tourteau est estimée à 43,21 T /j ( $74,5T - 42\%(74,5T) = 43,21 T /j$ ) et pour les besoins d'une année il faut prévenir une quantité de 15771.65 T de tourteau d'amandes sèches ( $43,21T \times 365j = 15771,65T$ ). Un hectare produit en moyenne 9,77 T de graines, après décorticage le poids est réduit en 6,98 T d'amandes fraîches ou 6,84 T d'amandes sèches ou 3,96 T de tourteau issu d'amandes sèches.
- ✓ Sur 1500 arbres, un hectare produit 3,96 T de tourteau d'amandes sèches. Pour 15771,65 T, une plantation de 3982,74 hectares est nécessaire, avec 1500 arbres par hectare le nombre d'arbres sera de 5 974 110 arbres.

Pour confirmé le résultat avec une simple déduction (nb d'arbres  $\times$  nb de graines  $\times$  le poids de tourteau d'une amande sèche (poids de l'amande sèche 0,2283g – 42 %( $0,2283g$ ) =  $0,13g = 13 \times 10^{-6} T$ )). Cette quantité doit être fournie pour couvrir les besoins de traitement avec la poudre d'amandes sèches pour la STEP de Baraki.

- ✓ Dans le cas de la STEP de Baraki il faut une plantation de 5 974 110 d'arbres de *M. oleifera* pour traité un volume de 54,385 millions m<sup>3</sup> ( $149\ 000\ m^3 \times 365 j$ ) d'eaux usées brutes en temps sec pour une année avec la dose de 0,5g de poudre d'amandes sèches.

Malgré le séchage des amandes, une baisse insignifiante du poids est enregistrée car la teneur en eau des amandes fraîches représente que 4,5% par rapport au poids des graines (Ferrao, 1970). Et même avec l'extraction d'huile (-42% du poids d'amandes), la quantité du tourteau à utilisé reste énorme.

En temps pluviale le débit d'eau usée doublera de volume dans la STEP, ce qui rend l'opération de traitement pratiquement impossible avec la poudre des amandes sèches et même avec le tourteau.

- ✓ Pour la teneur en eau des amandes après séchage, à la sorti de l'étuve on laisse refroidir les amandes pendent 30 minutes puis on fait le pesage de nouveau, avec un simple calcul, nous déduisons la perte en eau, de la manière suivante :
- ✓ Le poids de 100 amandes fraîches  $P_0 = 23,28\ g$
- ✓ Le poids de 100 amandes sèches  $P_1 = 22,83\ g$
- ✓ La perte en eau  $P_2 = P_0 - P_1 = 23,28g - 22,83g = 0,45\ g$
- ✓ La matière sèche dans 23,28 g d'amandes fraîches est de  $23,28\ g - 4,5\% = 22\ g$

✓ La teneur en eau est de  $23,28 \text{ g} - 22 \text{ g} = 1,28 \text{ g}$ .

Après séchage on obtient un poids de 22,83 g ce qui indique une perte de 0,45 g d'eau sur 100 amandes fraîches et sur 1,28 g du poids total d'eau existant dans ces dernières. Cette perte (0,45) g représente 35,16 % de la teneur en eau. Pour 23,28 g la perte en eau est de 0,45 g et pour une tonne d'amandes fraîches nous pouvons éliminer uniquement 19,33 kg, ce qui représente un chiffre insignifiant. Les résultats des caractères physiques des gaines de *M. oleifera* d'Oued el Alleug sont représentés dans le tableau 12 ci dessous.

**Tableau 12:** Caractéristiques physique des graines de *M. oleifera* d'Oued el Alleug.

Poids moyen des gousses par 100 gousses (g)	13.52
Poids moyen des graines par 100 gousses (g)	4.51
Poids de la coque par rapport au poids des graines (%)	66.64%
Nombre moyen de graines par gousse	15
Poids de 100 graines (g)	32.55
Poids de 100 amandes fraîches (g)	23.28
Poids de 100 amandes sèches (30 °C)	22.83
Perte du poids de 100 amandes après séchage en (g)	0.45
Perte d'eau de 100 amandes (%) à 30°C (l'eau représente 4.5% de la graine)	35.16 %
Poids des écosses par rapport aux poids de leurs graines (100 graines)	28.48%

### **1.1. Résultats des analyses physico-chimiques**

Dans cette optique et dans le cadre de la phytoremediation, afin de déterminer la dose optimale de coagulant végétal utilisé, nous avons testé des graines issues d'un arbre noble connu pour ses multiples usages, des essais de clarification avec 03 doses différentes ( $X_1= 0,5\text{g}$  ;  $X_2=1\text{g}$  ;  $X_3= 1,5\text{g}$  ) de poudre d'amandes des graines de *M. oleifera*, des essais avec chaque dose pour chaque échantillon d'eau usée sont réalisées dans le but de déterminer la dose idéale et efficace pour un meilleur traitement, l'étude des différents paramètres physico-chimiques nous donnera une idée sur la dose optimale pour chaque échantillon d'eau usée utilisée. Les résultats obtenus pour chaque paramètre et pour tous les échantillons d'eaux usées confirmèrent la dose performante.

#### **1.1.1. Les résultats du premier essai avec les amandes fraîches des graines de *M. oleifera* (STEP de Baraki).**

##### **1.1.1.1. L'eau brute**

Les résultats du premier essai sont issus des analyses des paramètres physico-chimiques réalisés d'un échantillon d'eau usée brute, ils sont englobés dans le tableau 13 suivant:

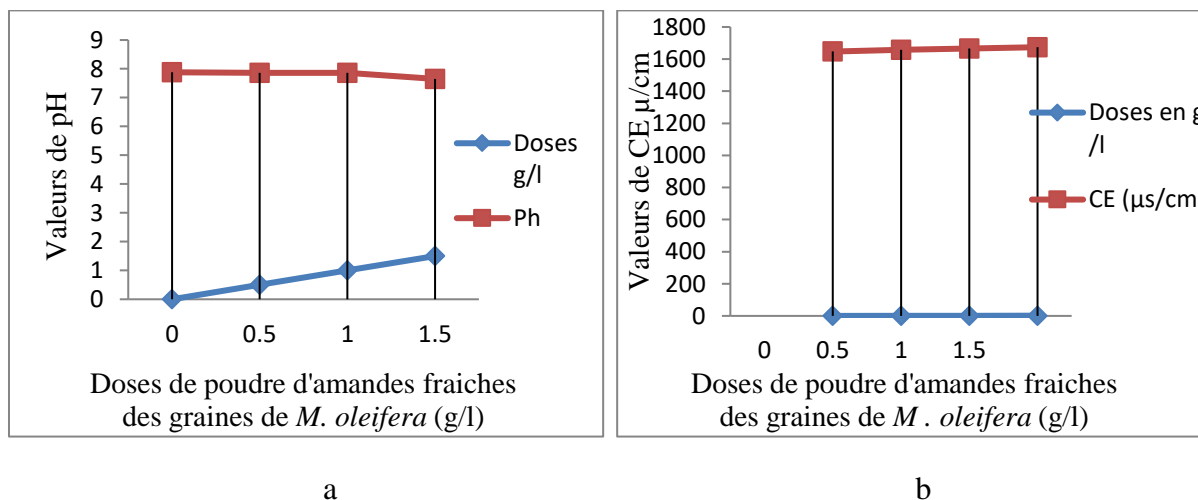
**Tableau 13:** Tableau récapitulatif des résultats des paramètres physico- chimiques de l'essai avec les amandes fraîches des graines de *M. oleifera*

Paramètres	Doses de poudre d'amandes fraîches des graines de <i>M. oleifera</i> en g/l			
T= 17 °C	T <sub>0</sub> =0g	X <sub>1</sub> =0,5g	X <sub>2</sub> =1g	X <sub>3</sub> =1,5g
PH	7,88	7,86	7,86	7,65
CE (µs/cm)	1647	1658	1666	1674
DCO (mg/l)	454	195	263	383
DCO (%)	-	<b>57,05%</b>	42,07%	15,64%
DBO5 ( mg/l)	-	-	-	-
MES (mg/l)	338	67	477	613
MES (%)	-	<b>80,18%</b>	141,12%	181,36%

### 1.1.1.2. Les paramètres physiques

#### 1.1.1.2.1. Le pH et la conductivité électrique (CE)

Pour les deux paramètres physiques étudiés, nous avons constaté que l'effet des différentes doses pratiquées sur l'eau usée brute n'affectent pas le pH ni la conductivité électrique qui est pratiquement constante (fig. 26).

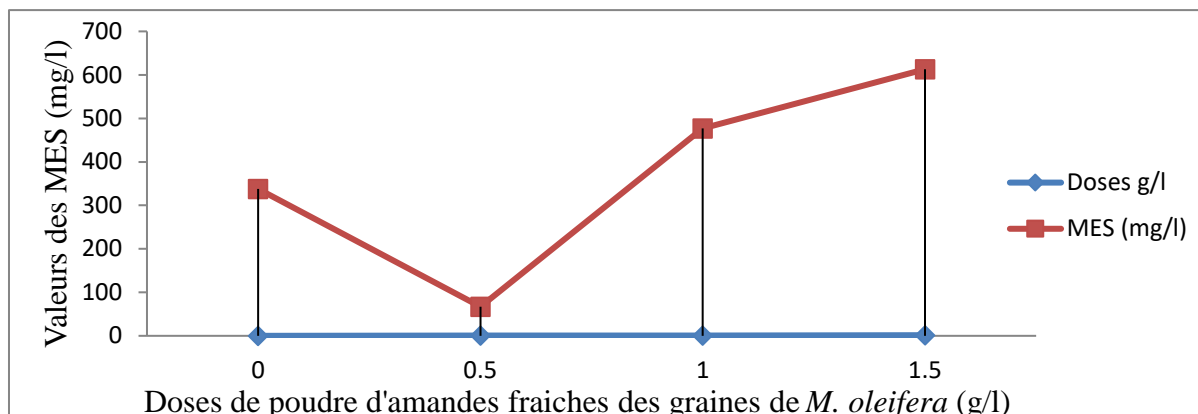


**Figure 26:** Effet des doses de poudre d'amandes fraîches des graines de *M. oleifera* sur le pH(a) et la conductivité électrique(b) pour l'eau brute.

#### 1.1.1.2.2. Les matières en suspensions (MES)

Une nette baisse de la concentration des matières en suspensions est remarqué pour la dose de 0,5 g/l qui a atteint un taux de 80.18% tandis que pour les autres doses (1g et 1,5 g), la poudre d'amandes de *M. oleifera* favorise d'une manière significative une hausse de la concentration

des MES (41,12% pour la dose de 1 g et de 81,36% pour la dose de 1,5g) par rapport au témoin ( $T_0$ ) (fig. 27).

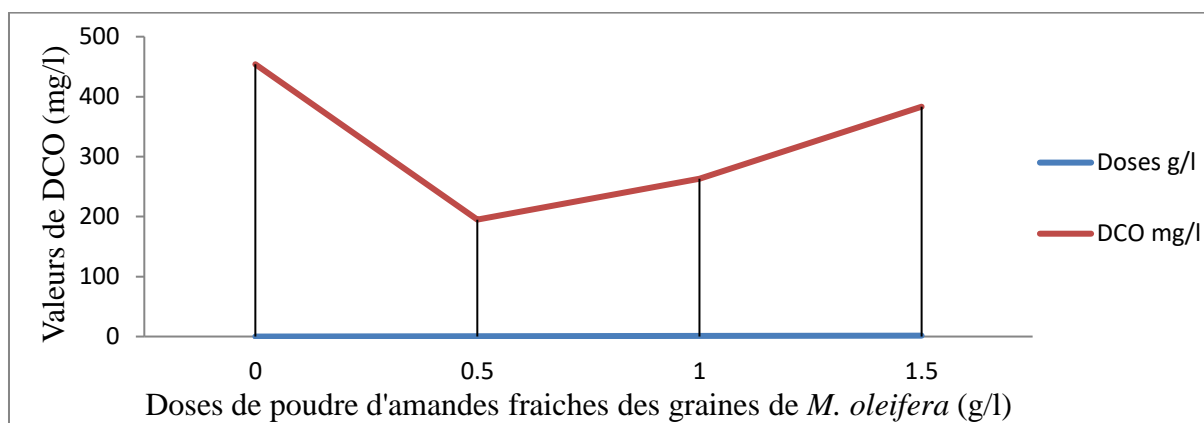


**Figure 27:** Effet des doses de poudre d'amandes fraîches des graines de *M. oleifera* sur les concentrations des matières en suspensions (MES) pour l'eau brute.

### 1.1.1.3. Les paramètres chimiques

#### 1.1.1.3.1. La demande chimique en oxygène (DCO)

De même avec la dose de 0,5 g /l. Une baisse visible de la valeur de DCO, mais aussi pour les autres doses, la poudre a exercée un effet purifiant avec des taux plus au moins bons, pour la dose de 1,5 g/l la purification est de 15,64%, tandis que la petite dose (0,5g) réduit à 57,07% le taux de la DCO par rapport au témoin ( $T_0$ ). Après les résultats du premier essai on décidé d'écarté la dose de 1,5g/l de l'étude vue sa faible performance par rapport au autres doses (fig. 28).



**Figure 28 :** Effet des doses de poudre d'amandes fraîches des graines de *M. oleifera* sur la DCO pour l'eau brute.



### 1.1.2. Les résultats de deuxième essai avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera*

Tous les résultats de deuxième essai sur des paramètres physico-chimiques au niveau de la STEP de Braki sont directement lus (calculés d'une manière automatique) par le matériel dont dispose le laboratoire sauf les matières en suspension qui sont calculé par la méthode cité avant.

#### 1.1.2.1. L'eau brute

Les résultats de l'essai avec les amandes des graines sèches de *M. oleifera* sur les paramètres physico-chimiques d'eau brute effectués dans la STEP de Baraki sont regroupés dans le tableau 14 suivant :

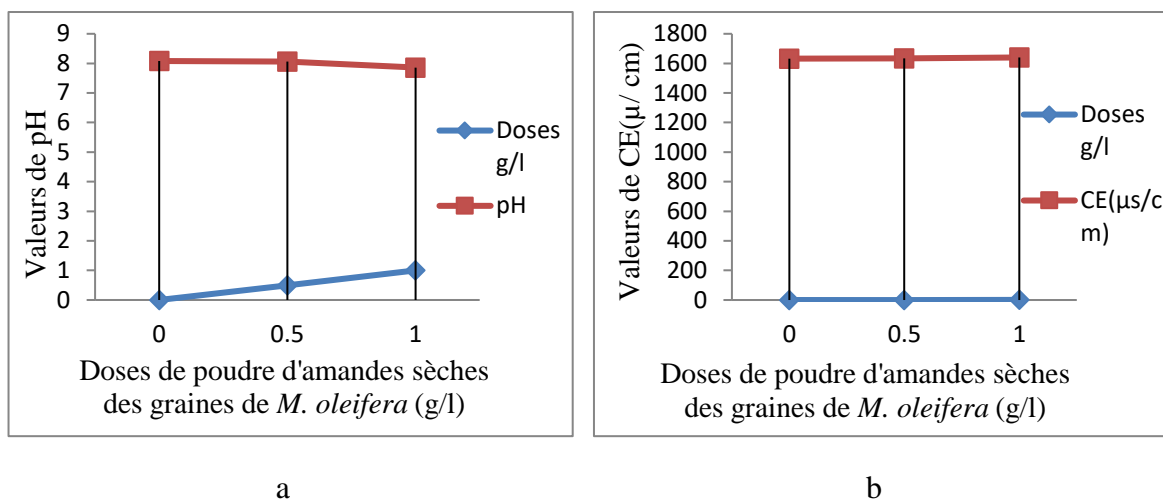
**Tableau 14:** Tableau récapitulatif des paramètres physico-chimiques étudiés pour l'eau brute.

Paramètres	Doses de poudre d'amandes sèches des graines de <i>M. oleifera</i> en g/l		
	T <sub>0</sub> = 0g	X <sub>1</sub> = 0,5g	X <sub>2</sub> = 1g
T = 18.9 °C			
PH	8,08	8,06	7,86
CE (µs/cm)	1632	1634	1640
DCO (mg/l)	377	225	422
DCO (%)	-	<b>41%</b>	112%
DBO5 (mg/l)	230	25	70
DBO5 (%)		<b>89,13%</b>	69,56%
MES (mg/l)	210	53,33	103,33
MES (%)	-	<b>74,60%</b>	50,8%
NT (mg/l)	40,1	34,7	39,8
NT (%)		<b>13,46%</b>	0,0074%
PT (mg/l)	4,06	3,35	6,45
PT (%)		<b>17,49%</b>	158,87%

#### 1.1.2.1.1. Les paramètres physiques

##### 1.1.2.1.2. Le pH et la conductivité électrique (CE)

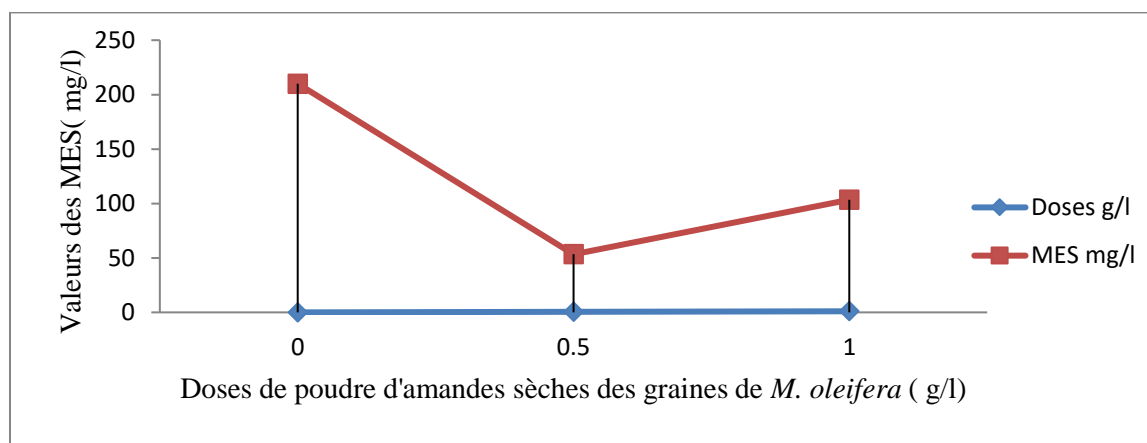
Pratiquement ce sont les mêmes effets remarqués sur ses deux paramètres physiques comme dans l'essai avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera* (fig. 29).



**Figure 29:** Effet des doses de poudres d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur le pH(a) et la conductivité électrique (b) d'eau brute.

### 1.1.2.1.3. Les matières en suspensions

La baisse de la concentration des matières en suspensions est meilleur avec la dose de 0,5 g/l qui a atteint un taux de 74,60 % et pour la dose de 1g elle est de 50,8%, la poudre d'amandes de *M. oleifera* ne favorise pas la hausse de la concentration des MES par rapport au témoin ( $T_0$ ). Au contraire elle élimine plus de 50% de la pollution avec les deux doses (fig. 30).

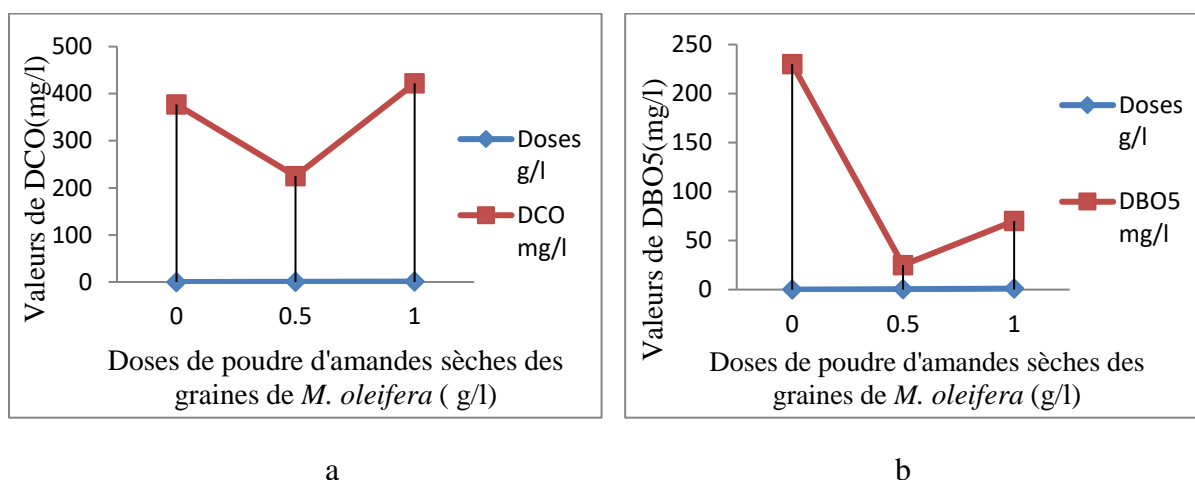


**Figure 30:** Effet des doses de poudres d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les matières en suspensions (MES) d'eau brute.

#### 1.1.2.1.4. Les paramètres chimiques

##### 1.1.2.1.4.1. La demande chimique et biochimique en oxygène

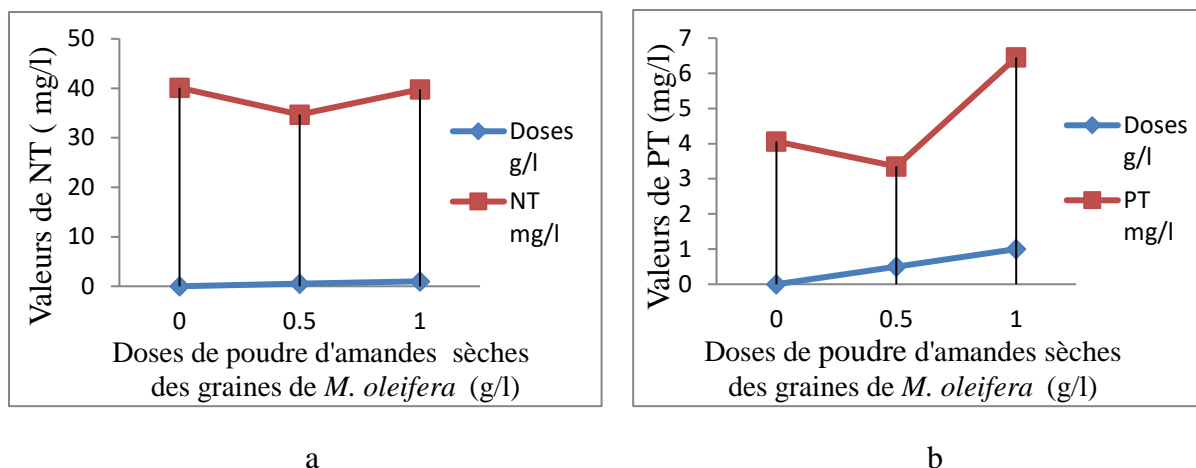
Pour ces deux paramètres chimiques on a constaté que la dose de 0,5g/l favorise la baisse du taux de DCO (41%) et avec la dose de 1 g/l le taux augmente légèrement (12%) par rapport au résultat du témoin T<sub>0</sub>. Tandis que pour la DBO5 nous avons remarqué une nette baisse pour les deux doses (la dose X<sub>1</sub> diminue le taux de DBO5 à 89,13% et pour la dose X<sub>2</sub> on a enregistré une baisse de 69,56%) (fig. 31).



**Figure 31** : Effet des doses de poudres d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur la DCO (a) et la DBO5 (b) de l'eau brute.

##### 1.1.2.1.4.2. L'azote total (NT) et le phosphore total (PT)

Pour l'azote total nous avons observé une légère baisse par le traitement avec la dose X<sub>1</sub> (0,5g/l) uniquement 13,46% de réduction est enregistré, cette dose à favorisée aussi une baisse du taux de phosphore total de 17,49%. Pour la dose X<sub>2</sub> (1g /l), pratiquement d'effet purifiant est nul pour l'azote total et augmente le taux du phosphore total d'une manière remarquable (plus de 58% par rapport au taux du témoin T<sub>0</sub>), la dose de 1 g/l à favorisée la pollution phosphaté (fig. 32).



**Figure 32** : Effet des doses de poudres d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur L'azote total (a) et le phosphore total (b) de l'eau brute.

### 1.1.2.2. L'eau décantée

Les résultats de l'essai avec les amandes fraîches des graines de *M. oleifera* sur les paramètres physico-chimiques d'eau décantée effectué dans la STEP de Baraki sont rassemblés dans le tableau 15 suivant :

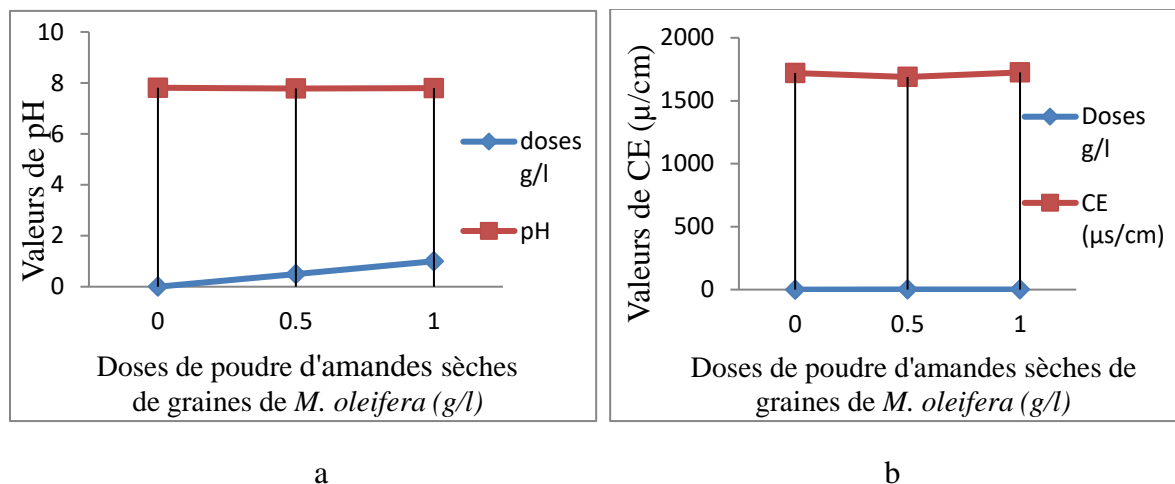
**Tableaux 15**: Tableau récapitulatif des résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques de l'essai avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera* pour l'eau décantée.

Paramètres	Doses de poudre d'amandes sèches des graines de <i>M. oleifera</i> en g/l		
	T <sub>0</sub> =0 g	X <sub>1</sub> =0,5 g	X <sub>2</sub> =1 g
T =18,6 °C			
PH	7,81	7,78	7,8
CE (µs/cm)	1720	1689	1725
DCO (mg/l)	381	237	360
DCO (%)	-	<b>37,8%</b>	5,51%
DBO5 (mg/l)	100	100	120
DBO5 (%)	-	<b>0%</b>	120%
MES (mg/l)	153,33	152,13	180
MES (%)	-	<b>0,78%</b>	117,39%
NT (mg/l)	34,8	58,6	49,3
NT (%)	-	<b>168,39%</b>	141,66%
PT (mg/l)	3,81	3,49	3,47
PT (%)	-	<b>8,40%</b>	8,92%

### 1.1.2.2.1. Les paramètres physiques

#### 1.1.2.2.2. Le pH et la conductivité électrique (CE)

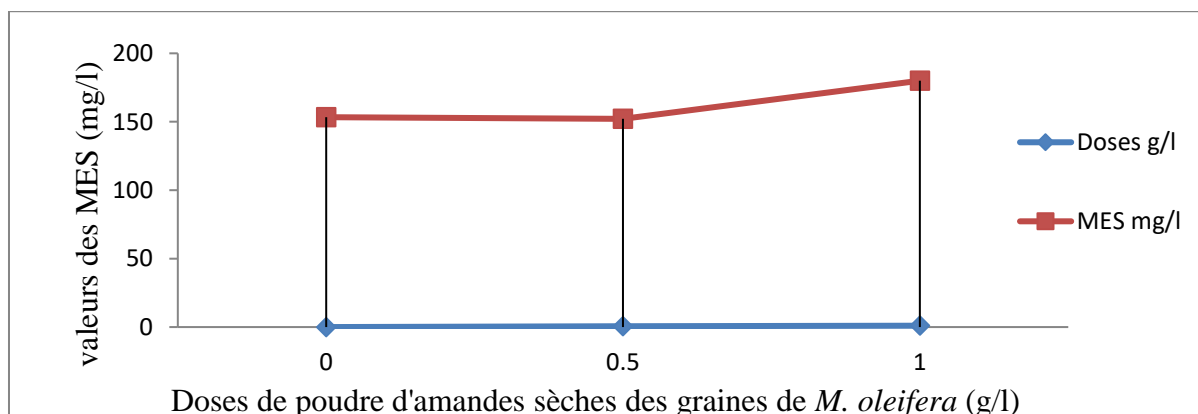
En général les doses de poudres d'amandes de *M. oleifera* n'affectent pas les deux paramètres physiques, les mêmes résultats enregistrés pour tous les échantillons (fig. 33).



**Figure 33:** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur le pH(a) et la conductivité électrique (b) de l'eau décantée.

#### 1.1.2.2.3. Les matières en suspensions (MES)

Le traitement de cet échantillon d'eau usée avec les amandes de graines de *M. oleifera* est inefficace même avec la petite dose X<sub>1</sub>. Elle a un effet très minime, d'une réduction de (0,78%) sur la rétention des MES et pour la dose X<sub>2</sub>, nous avons observé une augmentation des matières en suspension de 17,39% par rapport au taux enregistré chez le témoin de cet échantillon (fig. 34).

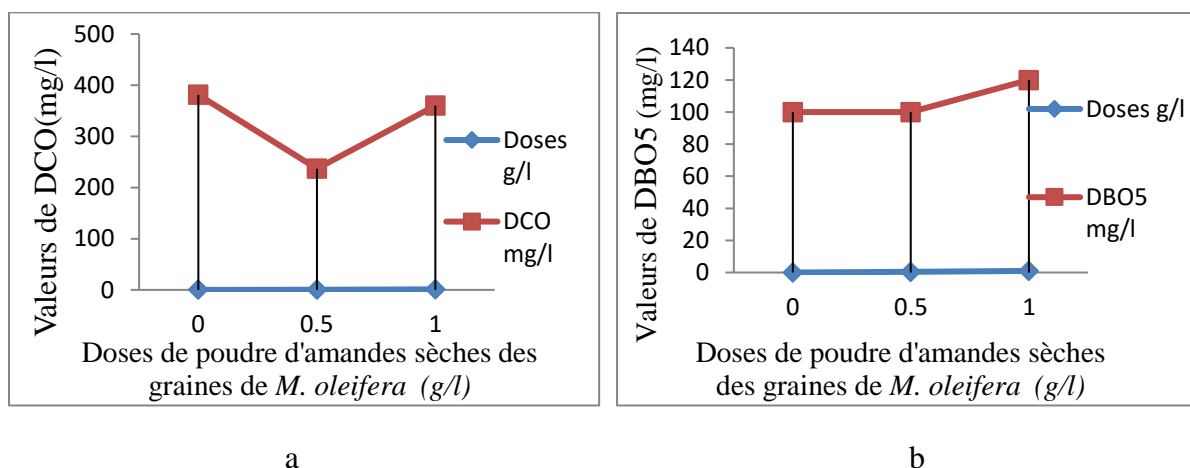


**Figure 34 :** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les matières en suspensions (MES) de l'eau décantée.

#### 1.1.2.2.4. Les paramètres chimiques

##### 1.1.2.2.4.1. La demande chimique et biochimique en oxygène

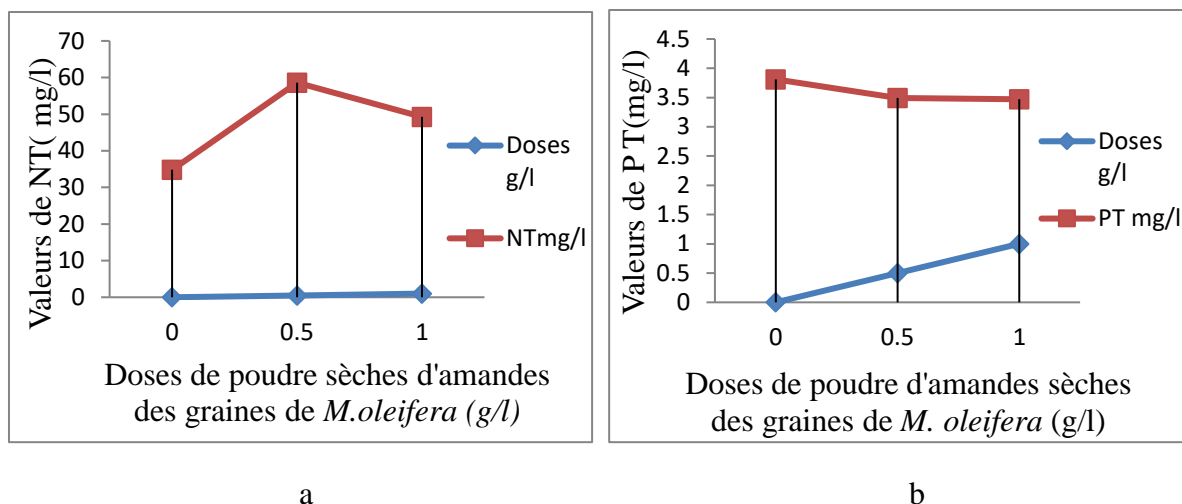
Pour ces deux paramètres chimiques nous avons remarqué que la dose X<sub>1</sub> a un effet sur la DCO. Une réduction de 37,8% sur le taux enregistré chez le témoin T<sub>0</sub> et un effet nul sur la DBO5 (0%). Tandis que la dose X<sub>2</sub> baisse le taux de la DCO de 5,51% et augmente celui de la DBO5 de 20 % par rapport à son témoin T<sub>0</sub> (fig. 35).



**Figure 35:** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur la DCO (a) et la DBO5 (b) de l'eau décantée.

##### 1.1.2.2.4.2. L'azote total (NT) et le phosphore total (PT)

Dans cet échantillon d'eau on a remarqué une nette augmentation de la pollution azotée avec les deux doses, avec X<sub>1</sub> une augmentation de 68,39 % par rapport a son témoin et de 41,66% avec X<sub>2</sub>, probablement puisque le *M. oleifera* est riche en protéines donc c'est naturel que le taux d'azote sera plus élevé après le traitement, contrairement à l'azote le *M. oleifera* améliore légèrement la qualité d'eau décanté en pollution phosphatée pour les deux doses nous avons relevé une baisse de plus de 8,40% et de 8,92% (fig. 36).



**Figure 36:** Effet des doses de poudres d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur la L'azote total (a) et le phosphore total (b) de l'eau décantée.

### 1.1.2.3. L'eau filtrée

Les résultats de l'essai avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les paramètres physico-chimiques de l'eau filtrée effectués dans la STEP de Baraki sont regroupés dans le tableau 16 si dessous.

**Tableau 16:** Tableau récapitulatif des résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques de l'essai avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera* pour l'eau filtrée.

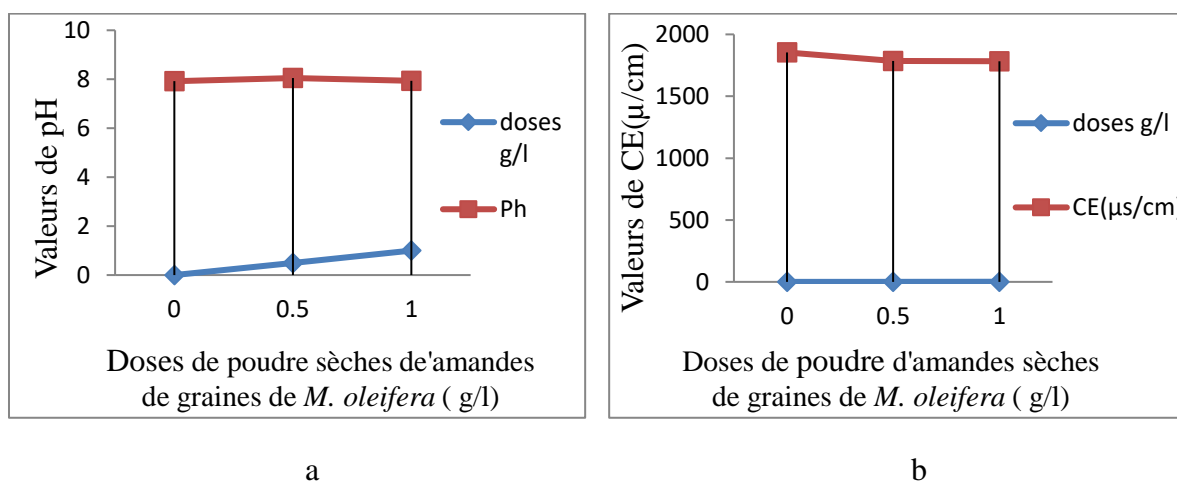
paramètres	Doses de poudre d'amandes sèches des graines de <i>M. oleifera</i> en g/l		
	0	0,5	1
T = 18.9 °C			
PH	7,92	8,05	7,93
CE (µs/cm)	1854	1784	1783
DCO	57	250	355
DCO (%)	-	<b>438,59%</b>	622,80%
DBO5	40	75	110
DBO (%)	-	<b>187,5%</b>	275%
MES	3,33	10,63	7,66
MES (%)	-	<b>319,2%</b>	2302,10%
NT mg/l	21,6	42,8	64
NT (%)	-	<b>198,15%</b>	296,3
PT mg/l	1,83	4,01	6,41
PT (%)	-	<b>219,12%</b>	350,27%



### 1.1.2.3.1. Les paramètres physiques

#### 1.1.2.3.1.1. Le pH et la conductivité électrique (CE)

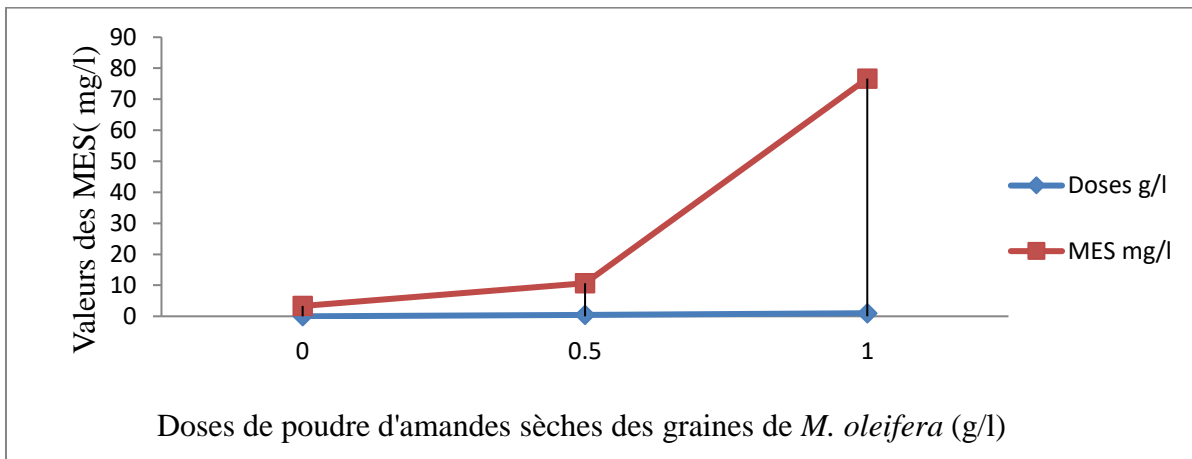
Les résultats enregistrés sont les mêmes d'une manière générale en comparaison avec les autres échantillons d'eaux usées de la SSTEP de Baraki. Les différentes doses de poudres d'amandes des graines de *M. oleifera* n'affectent pas les deux paramètres physiques, pratiquement les valeurs de pH et la conductivité électrique (CE) sont légèrement stables avec le traitement (fig. 37).



**Figure 37:** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur le pH (a) et la conductivité électrique (b) de l'eau filtrée.

### 1.1.2.3.1.2. Les matières en suspensions MES

Pour l'eau filtrée la concentration en MES déjà est minime sans traitement avec la poudre d'amande de *M. oleifera*, avec l'ajout des doses  $X_1$  et  $X_2$ , nous avons constaté que la concentration augmente d'une manière considérable surtout pour la dose  $X_2$  (1 g/l) qui donne un résultat qui signifié une forte concentration des MES (fig. 38).

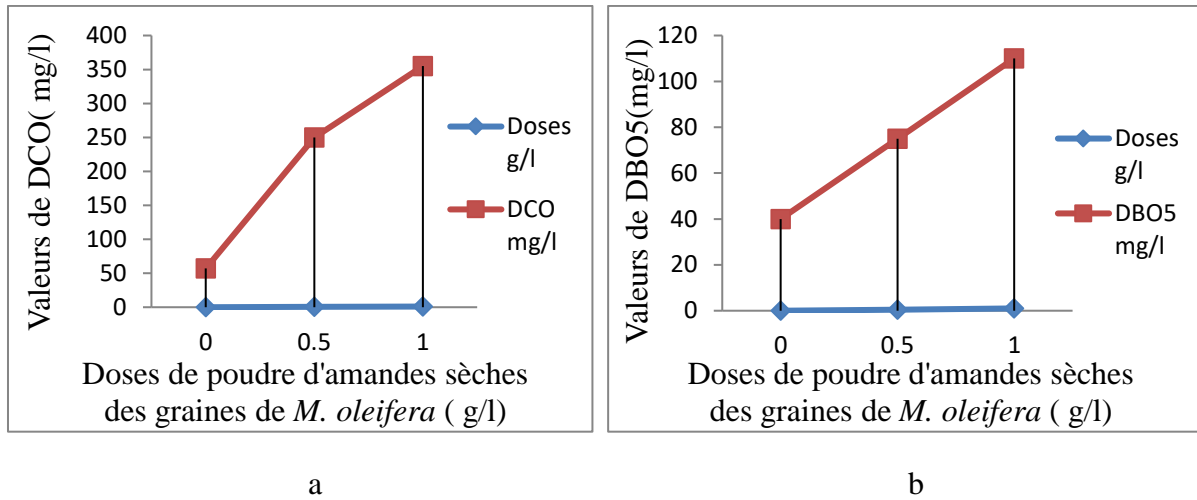


**Figure 38:** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les matières en suspensions(MES) de l'eau filtrée

### 1.1.2.3.1.3. Les paramètres chimiques

#### 1.1.2.3.1.4. La demande chimique et biochimique en oxygène

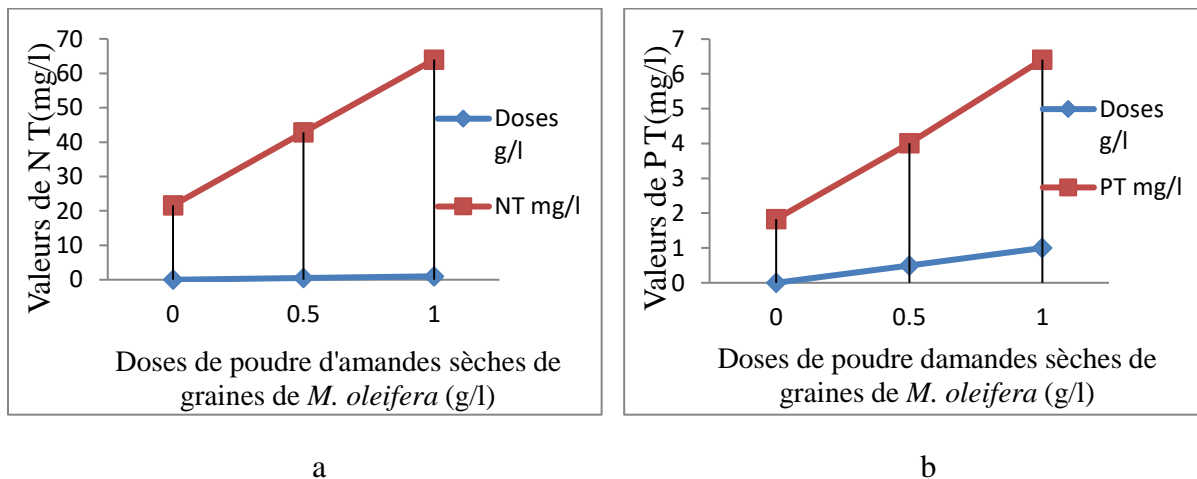
Pour ses deux paramètres chimiques la poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* agit d'une manière négative claire sur l'eau filtrée, la demande en oxygène augmente d'une manière élevée surtout pour la dose  $X_2$  (fig. 39).



**Figure 39:** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur la demande chimique (a) et la demande biochimique en oxygène (b) de l'eau filtrée.

#### 1.1.2.3.1.5. Azote total (NT) et le phosphore total (PT)

Pour les deux doses  $X_1$  et  $X_2$  on a remarqué une augmentation de la pollution azotée et phosphatée d'une manière linéaire très élevée, ce qui nous donnera une idée que, si la poudre des amandes des graines de *M. oleifera* utilisée pour traité les eaux usées filtrées favorisera le phénomène d'eutrophisation si cette eau usée est rejetée directement dans la nature (fig. 40).



**Figure 40:** Effet des doses de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur l'azote total (a) et le phosphore total (b) de l'eau filtrée.

### 1.1.3. Les résultats de l'essai avec les amandes sèches des graines de *M. oleifera* au niveau de la STEP d'Ain benian

#### 1.1.3.1. L'eau brute

Les résultats de troisième essai sur les paramètres physico-chimiques d'eau brute de la STEP d'Ain benian sont regroupés dans le tableau 17 ci dessous.

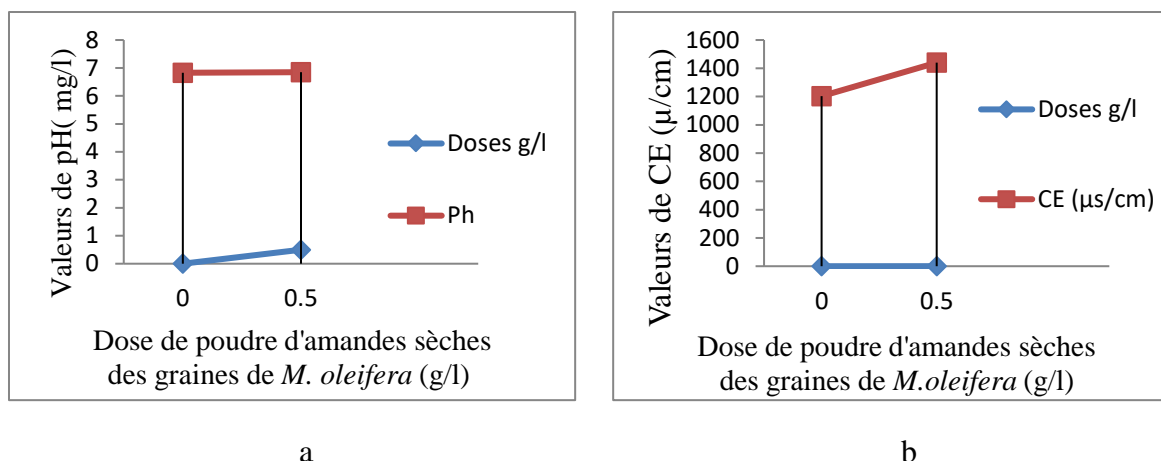
**Tableau 17:** Tableau récapitulatif des résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau brute de la STEP d'Ain benian.

Paramètres	Doses de poudres d'amandes sèches des graines de <i>M. oleifera</i> g/l	
	T <sub>0</sub>	0,5 g
T°(C°)	13,5	13,5
PH	6,83	6,85
CE (µs/cm)	1203	1440
DCO (mg/l)	845	134
DCO éliminée en %	-	<b>84,14%</b>
DBO5 (mg/l)	401	120
DBO5 (%)	-	<b>70,07%</b>
MES (mg/l)	774	218
MES (%)	-	<b>71,83%</b>

#### 1.1.3.1.1. Les paramètres physiques

#### 1.1.3.1.2. Le pH et la conductivité électrique (CE)

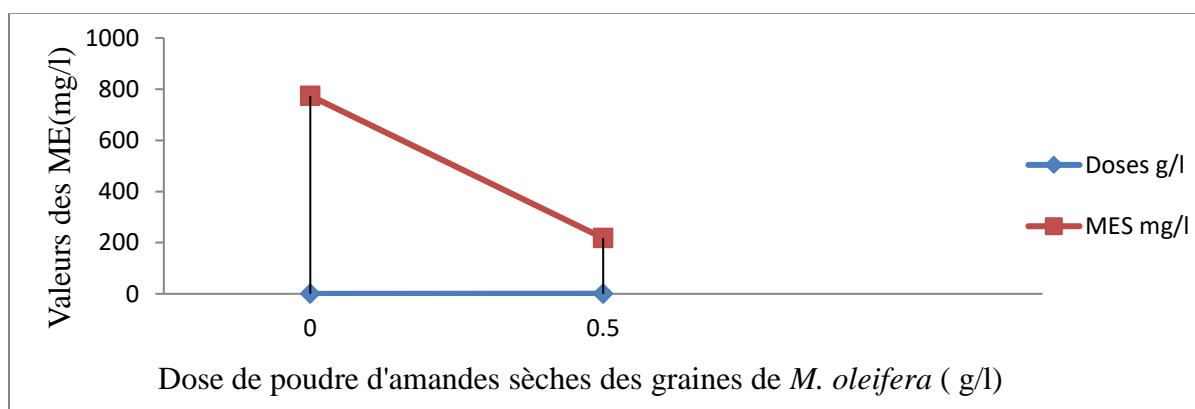
Au niveau de la STEP de Baraki on a constaté que le pH est légèrement acide contrairement à celui de la STEP de Baraki qui est basique et que toujours la poudre des amandes des graines de *M. oleifera* n'affecte pas ce dernier mais elle augmente la valeur de la conductivité électrique (fig. 41).



**Figure 41** : Effet de dose de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur le pH (a) et la conductivité électrique (b) de l'eau brute de la STEP d'Ain benian.

### 1.1.3.1.3. Les matières en suspensions

La poudre des amandes des graines de *M. oleifera* exerce une nette diminution de concentration des MES dans l'eau brute de la STEP d'Ain benian, le traitement avec dose X<sub>1</sub> (0,5g/l) a baissé de 71,83% le taux des matières en suspensions d'eau brute (fig. 42).

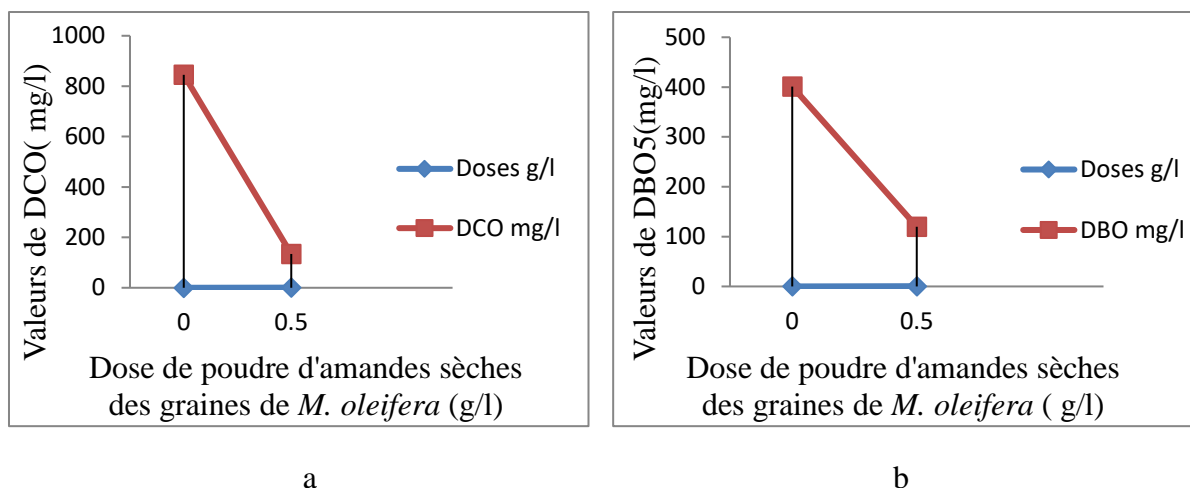


**Figure 42**: Effet de dose de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les matières en suspensions d'eau brute de la STEP d'Ain benian.

### 1.1.3.1.4. Les paramètres chimiques

### 1.1.3.1.5. La demande chimique et biochimique en oxygène

Nous avons constaté une diminution de 84,14%, ce qui signifie que la dose la dose X<sub>1</sub> a exercé une baisse considérable de la DCO, un taux élevé aussi de 70,07% est enregistré pour la DBO5 (fig. 43).



**Figure 43:** Effet de dose  $X_1$  de la poudre d'amandes sèches de *M. oleifera* sur la demande chimique (a) et biochimique en oxygène (b) de l'eau brute de la STEP d'Ain benian.

### 1.1.3.2. L'eau filtrée

Les résultats des paramètres physico-chimiques d'eau filtrée de la STEP d'Ain benian englobés dans le tableau 18 suivant :

**Tableau 18:** Tableau récapitulatif des résultats des paramètres physico- chimiques de l'eau filtrée de la STEP d'Ain benian.

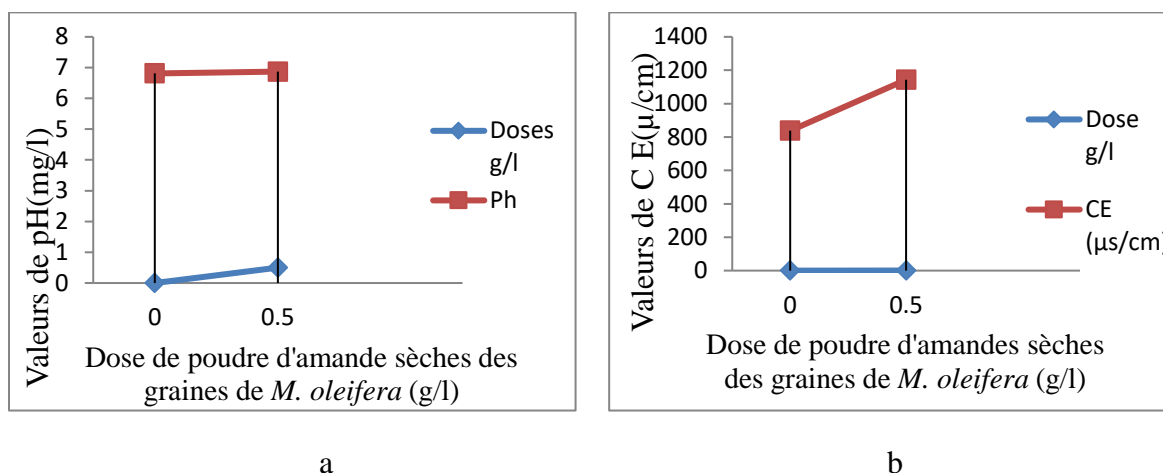
Paramètres	Doses de poudres d'amandes sèches des graines de <i>M. oleifera</i> en g/l	
	$T_0$	0,5 g
$T^\circ(C^\circ)$	12,8	12,8
PH	6,81	6,87
CE ( $\mu s/cm$ )	838	1143
DCO (mg/l)	19	120,96
DCO (%)	-	<b>636,63%</b>
DBO5 (mg/l)	3	44
DBO5 (%)	-	<b>1466,66%</b>
MES (mg/l)	5	30,2
MES en (%)	-	<b>604%</b>



### 1.1.3.2.1. Les paramètres physiques

#### 1.1.3.2.2. Le pH et la conductivité électrique (CE)

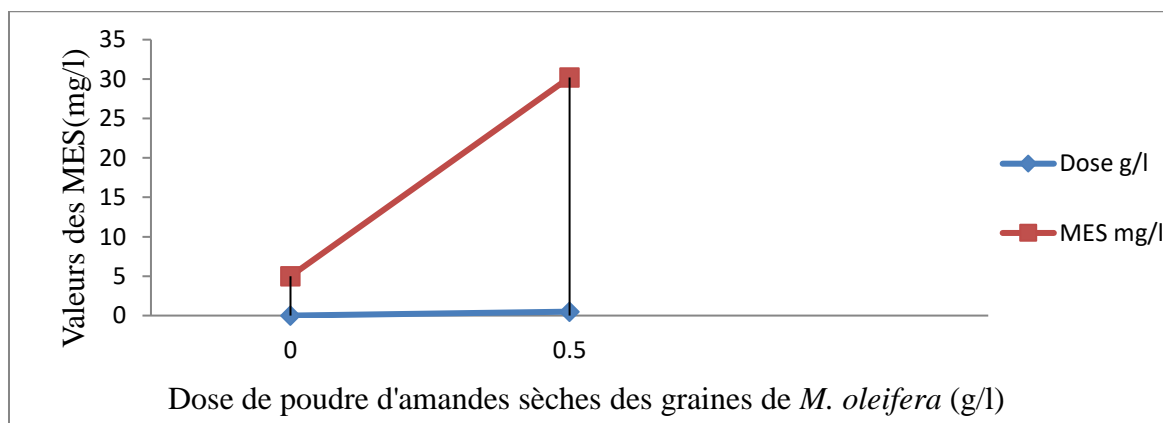
Comme dans l'eau brute nous avons constaté que le pH est légèrement acide mais la dose X<sub>1</sub> n'influe pas sur lui, ce qui est remarquable dans la conductivité électrique sur l'échantillon étudié est que la poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* influe sur ce paramètre physique (fig. 44).



**Figure 44:** Effet de dose de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur le pH (a) et la conductivité électrique (b) de l'eau filtrée de la STEP d'Ain benain.

#### 1.1.3.2.3. Les matières en suspensions MES

Une nette action est enregistrée sur l'effet de la poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* sur les matières en suspensions, pratiquement cette dose a augmenté la concentration 6 fois plus dans l'eau filtrée que celle de son témoin T<sub>0</sub> (fig. 45).

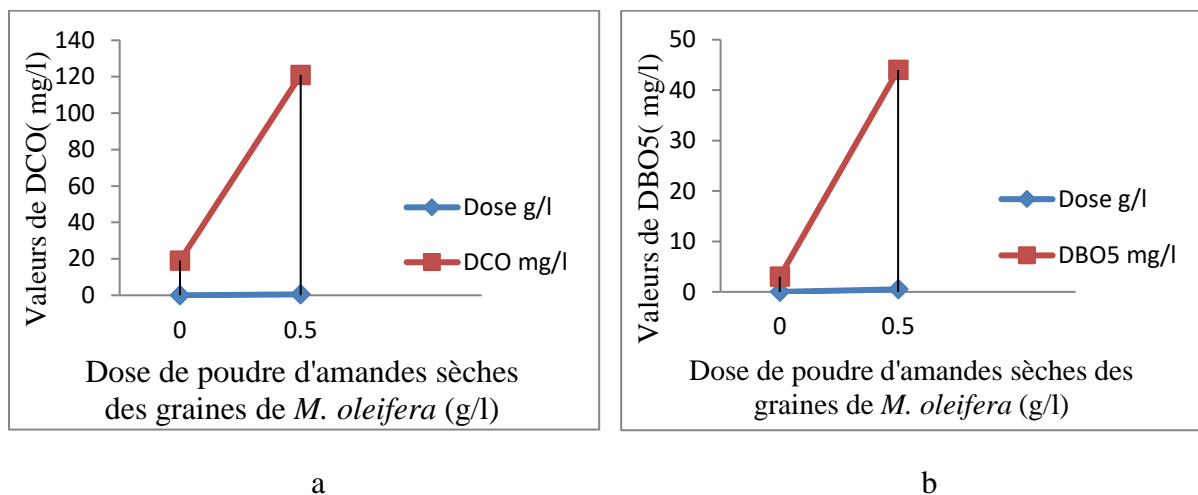


**Figure 45:** Effet de la dose X<sub>1</sub> (0,5g/l) de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur les matières en suspensions (MES) d'eau filtrée de la STEP d'Ain benain.

### 1.1.3.2.4. Les paramètres chimiques

### 1.1.3.2.5. La demande chimique et biochimique en oxygène

Nous avons constaté dans l'eau filtrée de la STEP d'Ain benain une nette augmentation des demandes chimiques et biochimiques en oxygène, la DCO a augmenté de plus de 6 fois, de même pour la DBO5 plus 14 fois par rapport a leurs  $T_0$  (fig. 46).



**Figure 46:** Effet de dose  $X_1$  de poudre d'amandes sèches des graines de *M. oleifera* sur la demande chimique (a) et biochimique en oxygène (b) de l'eau filtrée de la STEP d'Ain benain.

## **2. Discussion générale sur l'effet de la poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* sur les paramètres physico-chimiques étudiés**

Dans tous les essais que nous avons réalisés au niveau des stations d'épuration d'eau usées d'Alger, des témoins  $T_0$  sont toujours conservés dans leurs états initiaux, après deux heures de décantation, les résultats d'analyses paramètres physico chimiques des échantillons d'eaux ( $T_0$ ) comparer aux résultats obtenus des mêmes types d'eaux avec ajouts des doses différentes doses de poudres d'amandes des graines de *M. oleifera* nous donnera une idée générale sur l'effet ces graines sur la purification des eaux usées. Les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques obtenus pour les deux sites (STEP) nous permet de conclure que :

- Le pH, est très légèrement affecté par toutes les doses comparé à leurs témoins  $T_0$
- La conductivité électrique (CE) à peu changé mais dans les eaux filtrée de la STEP d'Ain benian la dose  $X_1(0,5g/l)$ , à influencée cette dernière cela donne signe de la charge en ions que contient cette poudre
- pour les matières en suspension MES , nous avons remarqué que l'effet de la dose  $X_1(0,5g/l)$  sur la concentration des MES après deux heures par rapport au autres doses est le meilleur pour tous les échantillons d'eaux étudiés y compris les témoins  $T_0$ , sauf que dans l'eau décantées l'effet est nul et pour l'eau filtrée la poudre d'amandes de *M. oleifera* augmente la concentration des MES, pour l'ensemble des doses ( $X_1= 0,5g/l$  ;  $X_2=1g/l$  et  $X_3=1,5 g/l$ ).
- Pour les paramètres chimiques (DCO, DBO5). Nous avons distingué l'effet purifiant de la dose  $X_1 (0,5g/l)$  sur tous les échantillons étudiés des deux sites, une bonne réduction pour la DCO et la DBO5 pour les deux essais les eaux brutes de la STEP de Baraki et une réduction extraordinaire qui a atteint 84, 14% pour la DCO et 70,07% pour la DBO5 pour les eaux brutes d'Ain benain, l'effet des autres doses est nettement inférieur par rapport à la dose  $X_1$  pour tous les échantillons d'eaux usées.
- Pour l'azote total et le phosphore total (NT, PT), la poudre des amandes des graines de *M. oleifera* n'a pas d'effet positif sur ses deux paramètres, au contraire elle amplifie la pollution azotée et phosphatée d'une manière signifiante (taux élevés) ce qui favorisera le phénomène d'eutrophisation après dans la nature, mais nous avons remarqué une légère baisse de ses deux paramètres avec la dose  $X_1 (0,5g/l)$  sur l'eau brute et uniquement une baisse insignifiante du taux de phosphore sur l'eau décantée.

## *Purification de l'eau par les graines de Moringa oleifera*

---

D'une manière générale la dose  $X_1(0,5g/l)$  de poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* a octroyées des très bons résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques des eaux brutes des deux sites (STEP), cela signifié que cette dose à un effet purifiant sur les eaux usées brutes, pour les eaux usées décantées et filtrées, globalement l'étude a montrée que la poudre des amandes des graines de *M. oleifera* ne dépollue pas ces effluents de la même manière que les eaux brutes, au contraire dans l'étape finale du traitement, elle favorisera une forte pollution azoté et phosphatée.

**La qualité des eaux dans les stations d'épuration des eaux usées doit être ramenée au niveau des recommandations du journal officiel de la république algérienne, minimisant ainsi les risques sanitaires et la pollution de l'environnement, les normes fixées par la législation algérienne sont mentionnées dans l'annexe 1.**

### **Conclusion**

Après les résultats obtenus des trois essais de l'effet de la poudre des graines de *M. oleifera* sur les eaux usées des STEP des deux sites d'études, nous a permis de déterminer l'effet flocculant des graines, la poudre des amandes de graines de *M. oleifera* contient sans doute un coagulant qui favorise la floculation en éliminant la pollution par décantation. Le suivi des paramètres physico-chimiques a déterminé des résultats très encourageants au niveau des eaux brutes, il est résulté que le temps de décantation (2h) est apparu suffisant pour éliminer la presque totalité des matières en suspension, un abattement de la turbidité est enregistré en moins d'une heure de traitement et une baisse des MES, DCO, DBO5, NT, et le PT est aussi remarquée avec la même dose X<sub>1</sub> (0,5g/l) qui est considérée efficace pour la floculation et par la suite la décantation, on a constaté l'effet contraire pour le traitement des eaux épurées et les eaux décantées ce qui rend l'opération du traitement des eaux usées avec la poudre des graines pratiquement difficile et complexe. D'après les résultats obtenus pour chaque paramètre et pour tous les échantillons d'eaux usées, la dose optimale de coagulant végétal utilisé pour le meilleur traitement est la dose X<sub>1</sub>, la dose compétitive parmi les autres proposées. Après avoir touché les deux objectifs que nous avons proposé au début de l'étude il reste à poser une question, est-ce que pratiquement c'est possible de traiter les eaux usées avec la poudre d'amandes des graines de *M. oleifera* ?

L'étude des caractéristiques des graines et les calculs effectués pour déterminer la quantité suffisante en poudre pour traiter les effluents d'une STEP comme celle de Braki pendant une année, même avec le tourteau des amandes sèches des graines après séchage (les graines contiennent que 4.5% de leur poids en eau) rend l'opération impossible vu l'énorme quantité de poudre nécessaire qu'il faut prévenir pour traiter un tel volume d'effluents, de plus il faut cibler le quel des paramètres à traiter et pour quel type d'eau usée. Dans ce cas puisque les graines de *M. oleifera* ont démontrés leurs effets encourageant pour le traitement des eaux usées, il est recommandé d'utiliser la matière active de ces graines pour éviter toute sorte de pollution organique par la suite due aux flottants de la poudre non dissouts, pour les deux destinations finales des eaux filtrées, la poudre des graines de *M. oleifera* encourage des problèmes au niveau de l'irrigation (le colmatage du réseau d'irrigation par les flottants de poudre non dissouts) et pour sa deuxième destination si elle est jetée dans les milieux naturels, la poudre des amandes favorise l'eutrophisation à cause des taux élevés d'azote et du phosphore dans l'eau filtrée si nous traitons encore l'eau usée avec les graines de *Moringa*.

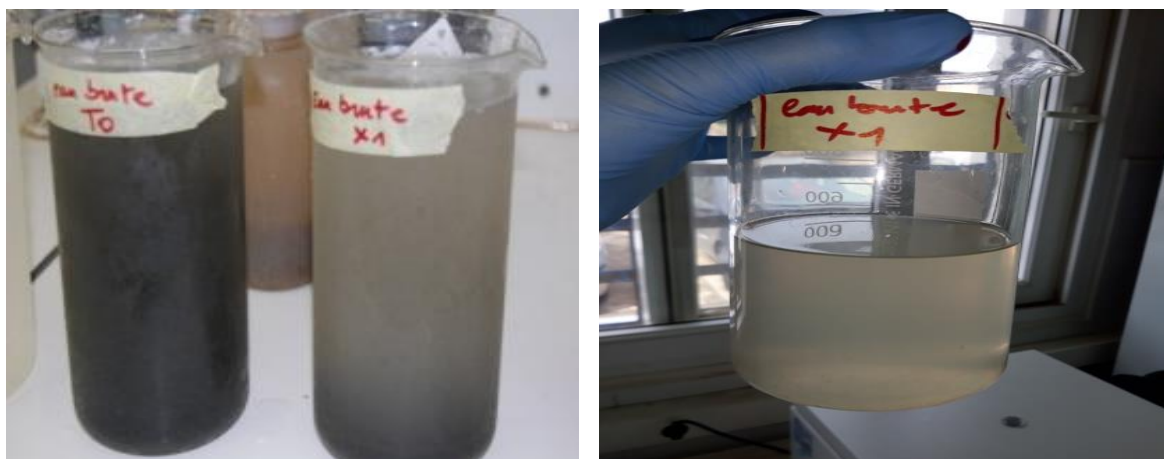
## *Purification de l'eau par les graines de Moringa oleifera*

---

Si nous pensons à utiliser les graines de *M. oleifera* comme un traitement biologique nous devons viser les eaux brutes car l'étude a montré l'efficacité des graines sur ce type d'eau usée, par contre au niveau des eaux filtrées elles favorisent une augmentation très significatives d'azote total et du phosphore total.

l'étude réalisée avec les graines *M. oleifera* sur les différentes eaux usées a démontrée que celles-ci avaient un grand potentiel de traiter les eaux usées brutes, les protéines ( matière active) de ces graines peuvent donc être utilisées comme polypeptide naturel non toxique pour provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques des eaux brutes, elle agit donc comme un coagulant primaire en créant des ponts naturels entre les particules colloïdales, le poly électrolyte cationique du *M. oleifera* réagit préférentiellement avec les eaux usées brute car elles sont plus chargées en matières organiques.

Vu les problèmes que nous pouvons rencontrés avec la poudre des graines et pour des raisons pratiques il est recommandé d'utilisé la **matière active** des graines de *M. oleifera* comme traitement biologique dans la purification des eaux usées avec la dose extraite de la quantité de poudre X<sub>1</sub> (0,5g).



Eau usée brute traitée pendant 02 heures avec la dose X<sub>1</sub> (0,5 g/l).



### Références bibliographiques

**Arbonnier, M., 2002.** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest. 2<sup>e</sup> ed. CIRAD-MNHN, p. 417.

**Akoégninou, A., Van Der Burg, W.J., Van Der Maesen, L.J.G., Adjakidjè, V., Essou, J.P., Sinsin, B., Yédomonhan, H., 2006.** Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers. p. 818.

**Anwar et Bangher 2003.** Enhancement of the oxidative stability of some vegetable oils by blending with Moringa oleifera oil. Food Chemistry, 2007, 103, pp. 1181–1191.

**Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., Gilani, A.H., 2007.** *Moringa oleifera*: A food plant with multiple medicinal uses. *Phytother. Res*, 21 : 17-25.

**Alexandre, 1998.** Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités, CEMAGREF & CSTB & Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, document technique FNDAE n° 22, ISBN 2-85362-495-1, 1998, 96 p.

**Aubry P, Gaüzère B-A. 2012.** Les maladies liées à l'eau, Diplôme de Médecine Tropicale des pays de l'Océan Indien, Actualités 2011, p. 7.

**Akoégninou et al., 2006.** Flore analytique du Bénin. Backhuys Publishers. p. 818.

**Allouche, 2006.** Possibilité d'introduction d'un système d'épuration par phyto-épuration pour l'assainissement urbain dans les zones semi aride et sub humide. Séminaire International des géosciences au service du Développement durable, Tébessa 26-27-28 Novembre.

**Benajiba et al., 2013.** Évaluation de la qualité microbienne des eaux de la nappe phréatique de Martil au Maroc. *Revue des sciences de l'eau*, 26(3), 223–233.

**Boubakar Hassane A. 2010.** Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey (NIGER), Thèse de l'Université, Abdou Moumouni de Niamey (Niger), p. 198.

**Baumgartner, T., et C. Pahl-Wostl. 2013.** ONU-Eau et son rôle dans la gouvernance mondiale de l'eau. *Ecologie et société* 18 (3).

**Burnol et al., 2006.** Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les eaux souterraines. Rapport final, BRGM/RP-52910-FR, 73 pp

**Chantrel et Armelle de Saint Sauveur, 1992.** Techniques de clarification avec *Moringa* à différentes échelles. Document réalisé par Emilie Chantrel et Armelle de Saint Sauveur.

**Canler, 2001.** Performances des systèmes de traitement biologique aérobie des graisses  
Le document FNDAE n°24 - Jean-Pierre Canler (2001).

**Creighton, 2001.** Production de graines de *Moringa oleifera* en Tanzanie. Optima of Africa Limited, 5p, disponible sur <http://www.moringanews.org>.

**Deronzier, 2004.** Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées Comparaisons techniques et économiques des voies de traitement biologique et physico-chimique, FNDAE n° 29 Document technique.

**Degremont, 1989.** Mémento technique de l'eau. 9e éd. Paris, Lavoisier (1989) (2 vol.).

**Duncan, 1994.** Assainissement. Un article de Wikipédia, l'encyclopédie libre, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Assainissement>, p.9

**Desjardins, 1997**Le traitement des eaux. Presses Internationales Polytechniques, Éditions del'École Polytechnique de Montréal, Canada. Deuxième édition revue et enrichie, 540 p.

**De Saint Sauveur, 1992.** Le *Moringa oleifera*, arbre fruitier tropical. Étude agro- économique des systèmes de culture du *Moringa* en Inde du Sud. Rapport au Ministère Français de la Coopération, PROPAGE, 33 p.

**De Saint Sauveur et Broin, 2010.** Produire et transformer les feuilles de moringa. Sciences de l'alimentation et de la nutrition , Vol.5 No.9 , 1er avril 2014  
[http://www.anancy.net/documents/file\\_fr/moringawebFR.pdf](http://www.anancy.net/documents/file_fr/moringawebFR.pdf)

**Degremont, 2005.** Mémento technique de l'eau : Tome 2. Lavoisier SAS (Éditeur) – Lexique technique de l'eau, Paris, 10e édition, 785 p.

**Ferrao et Mendez, 1970.** Acidos gordos em oleo de Moringueiro (*Moringa oleifera* Lam.).  
*Agronomia Angolana*. 8, 3-16.

**Foidl et al., 2001.** Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie.Potentiel de développement des produits de *Moringa*. Dar Es-Salaam, Tanzanie, du 29 octobre au 2 Novembre 2001, 20 p.

**Faby et Eleli, 1993.** Utilisation de la graine de Moringa : essais de floculation au laboratoire et en vraie grandeur, rapport de Jean Antoine Faby et Alfred Elli, 1993.

**Foild N., Makkar H.P.S. et Becker K., 2002,** Potentiel du *Moringa oleifera* pour les besoins agricoles et industriels. Dans : *Potentiel de Développement Pour Les Produits de Moringa*.

**Franceys et al., 1995.** Guide de l'assainissement individuel, 258 p.

**Faby et Eleli, 1993.** Utilisation de la graine de Moringa, essais de floculation au laboratoire et en vraie grandeur. CIEH/EIER/Oieau, Série hydraulique urbaine et assainissement, Ouagadougou, Burkina Faso, 132 p.

**Festy et al., 2003.** Qualité de l'eau. In Environnement et santé publique-Fondement et pratiques, 333- 368 p.

**Ferreira et al., 2011.** Coagulant and antibacterial activities of the water-soluble seed lectin from *Moringa oleifera*. Lett Appl Microbiol, 53 p.

**Folkard et Sutherland, 1992.** Development of robust water treatment systems incorporating natural coagulants. Field study report, January-March 1992, Thyolo, Malawi 16 p

**Folkard G., 1997.** The development of the *Moringa oleifera* and *stenopetala* tree to provide valuable products : coagulant for water/wastewater treatment and vegetable oil. Rapport à la Commission Européenne, DG 12, projet de recherche n° TS3\*CT94-0309, période 1995-1997.

**Grosclaude, Gérard, dir. 1999.** L'eau, tome 1 : Milieu naturel et maîtrise et tome 2 : Usages et polluants. Versailles, Institut National de la recherche Agronomique (Coll. « Un point sur ... »), 204 p. et 210 p.

**Ghazali et Zaid, 2013.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès, Maroc). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 12, pp. 25-36.

**Garcia-Armisen T. 2006.** Etude de la dynamique des *Escherichia coli* dans les rivières du bassin de la Seine. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 81 p.

**Gaujous, 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide mémoire, Ed. Tech&Doc Lavoisier, ISBN 2-7430-0021-X, 1995, 220 p.

**Gamatie, 2005.** Description des filières feuillentes de Moringa au Niger. CTA, 5p.

**Saint Sauveur, A., Broin, M., 2010.** Produire et transformer les feuilles de *Moringa*. Editions CTA, CDE, Horizon Gémeno éd., France, 69 p.

**Hartemann P. 2013.** Eau de consommation, risque, santé. Sciences Eaux & Territoires, 10 : 14-21.

**Henze, 1997,** Wastewater treatment: biological and chemical processes, Ed. Springer, ISBN 3-540-62702-2, 1997, 383 p.

**Host et Telle-Lamberton, 2014.** Le milieu urbain, réceptacle de nuisances multiples, *Les Cahiers de l'IAU îdF* n° 170-171 - septembre 2014

**Jahn, 2003.** L'arbre qui purifie l'eau: Culture de *Moringa* spp au Soudan. La génétique et les forêts d'avenir, n0152, Unasylva, 6 p. Cité sur <http://www.fao.org>.

**Jahn, 1988a.** Chemotaxonomy of flocculating plant materials and their application for rural

**Jahn, 1989b.** Caractéristiques du *Moringa* pour le traitement des eaux, document réalisé par Emilie Chantrel et Armelle de Saint Sauveur.

**Jahn, 1989b.** Différents rôles des coagulants naturels dans la clarification de l'eau, dans les technologies appropriées à usage domestique et dans les installations communales d'épuration. p 11.

**Jahn, 1988a** Using Moringa seeds as coagulants in developing countries. J. AWWA, 80, 43-5

**Jerri et al., 2011.** Antimicrobial sand via adsorption of cationic Moringa oleifera protein. Langmuir, 28 p.

**Kombassere, 2006.** L'accès à l'eau potable et les risques diarrhéiques dans les zones irrégulières de Ouagadougou.

**Kenfaoui A. 2008.** Economisons l'eau en la préservant de la pollution. Revue HTE, 140: 94-96, water purification in developing countries. Acta Univ. Ups. Symb. Bot. Ups., 28, 171-185.

**Kabore, 2011.** Étude du pouvoir flocculant et des qualités épuratoires des graines de Moringa oleifera dans le traitement des eaux brutes de consommation en Afrique sub-saharienne : Cas des eaux du Burkina Faso. Mémoire de DEA, Université de Ouagadougou, Ouagadougou Burkina Faso, 54 p.

**Kokou et al., 2001**, Recherches agronomiques et agroforestières sur *Moringa oleifera* Lam. Au Togo. Laboratoire de Botanique et d'écologie Végétale, Faculté des sciences, Université du Bénin, 6p. Disponible sur [http : //www.john-libbey-eurotest.fr/fr/revues/agro-biotech](http://www.john-libbey-eurotest.fr/fr/revues/agro-biotech).

**Laurent F. 2013**. Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales. Sciences de l'environnement, Université du Maine, p. 188.

**Liénard et al., 1987**. Développement of a new generation of reed- bed filters in France : first results, Wat.Sci.Tech., 19,(12), p. 373-375.

**Mansaly, 2001**. Récupération nutritionnelle et impact de consommation de la poudre de *Moringa oleifera* dans la consultation primaire et curative, 2p.

**Mathieu, C. et Pieltain, F. 2003**. Analyse des sols méthodes choisies. Editions Tec et Doc / Lavoisier, Paris, 408 p.

**Marcovecchio et al., 2007**). Heavy Metals, Major Metals, Trace Elements. In: Handbook of Water Analysis. L.M. Nollet, (Ed.). 2nd Edn. London: CRC Press ; 275-311.

**Makkar. H.P.S.et Becker K., 1997**, Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. Journal of Agricultural Science, Cambridge 128, 311-322, disponible sur <http://www.moringanews.org>.

**Meda B.L., 2011**, Etude comparative des systèmes d'irrigation goutte à goutte et D'aspersion sur la production de *Moringa oleifera* dans la commune de Dano. Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 68p

**Metahri, 2012**. Thèse de doctorat, élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou

**Morton, 1991**. The Horseradish Tree, *Moringa pterygosperma* (*Moringaceae*) A Boon to Arid Lands, Economie Botany,p 45.

**Mullis et al., 1997**. The impacts of discharges from two combined sewer overflows on the water quality of an urban watercourse. Water Sci. Technol., 36, 195-199.

**Mutheeswaran et al., 2011.** Documentation and quantitative analysis of the local knowledge on medicinal plants among traditional siddha healers in Virudhunagar district of Tamil Nadu, India. *Journal of Ethnopharmacology*, 137 p.

**Nyongombe, 2012.** Milieu et hygiène alimentaire, Cours inédit, Fac.de Médecine/UNIKIS, 67p.

**OMS, 1995.** Organisation mondiale de la Santé. <http://www.who.int/iris/handle/10665/41707>

**OMS (2006).** Assainissement et gestion de l'environnement dans la commune d'Adjame: le cas de Williamsville (Abidjan), selon un rapport de l'OMS (2006).

**OMS, 2006 :** Les facteurs environnementaux sont la cause de 24% de maladies 105 pages.

**OMS, 1988.** Assainissement et gestion de l'environnement dans la commune d'Adjame: le cas de Williamsville (Abidjan), selon un rapport de l'OMS (2008).

**(OTV, 1997).** Traiter et valoriser les boues, Lavoisier Tec&Doc, ISBN 2- 9511059-0-8, 1997, 457 p.

**Panda et al., 2008.** Mechanisms of Water transport mediated by PIP aquaporins and their regulation via phosphorylation events under salinity stress in barley roots. *Oxford Journals : Plant and Cell Physiology*. Vol 52 Issue 4. P. 663-675

**Paquier M.** Histoire illustrée de 5000 ans d'hygiène publique, Johannet Editions (2000).

**Payment, P. 1998.** « Les contaminants de l'eau et leurs effets sur la santé ». *Revue des sciences de l'eau*, vol. 11, p. 199-210.

**P. Payment et P. Hartemann.** *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 11, 1998, p. 199-210.

**Pfeiffer, 2013.** Développement d'une méthode de calcul de la performance des procédés de désinfection des installations de traitement d'eau potable ». Mémoire. École Polytechnique de Montréal, 112 p.

**Pousset, 1999.** Le Moringa oleifera est une plante miracle. Disponible sur <http://www.Essentialdrugs.org>. Consulté le 26/09/2013.



**Ramachandran et al., 1980.** Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany* 34, 276-283.

**Rodier, 2005.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, p 1384

**Rodier, Legube et Merlet, 2009.** *L'analyse de l'eau*. Dunod, 1526 p.

**Rosillon F. 2003.** Introduction à la microbiologie des eaux domestiques. Stage intensif de recyclage sur les eaux usées domestiques et industrielles, p. 26.

**Rousseau, 2005 ; Zella et Smadhi, 2016.** L'eau, la gouvernance et l'éthique, p12

**Rejsek, 2002.** Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine (CRDP). Bordeaux. 358 p.

**Roques, 1983.** Fondement théorique du traitement biologique des eaux, techniques et documentations. Ed LAVOISIER, Paris

**Ryding, 1993.** Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs, 294 p.

**Sengupta et al., 2012.** Use of *Moringa oleifera* seed extracts to reduce helminth egg numbers and turbidity in irrigation water. *Water Research*, 46 p.

**Séverin, 2002.** Plant ak pye Bwa tè d'Ayiti; Éditions Quitel de Desk Top Advisory; Mai 2002; 143p

**Servais et al., 2009.** La contamination microbienne dans le bassin de la Seine. Edition. Agence de l'Eau Seine Normandie, p. 49.

**SEAAL, 2018.** Manuel opérateurs, STEP de Braki.

**Soumia, 2013.** Etude et simulation numérique d'un réacteur UV pour la désinfection de l'eau contaminée, Mémoire. Université Mohamed Boudiaf des sciences et de la technologie d'Oran, 71 p.

**Soro G. 2010.** Evaluation quantitative et qualitative des ressources en eau souterraines dans la région des lacs (Centre de la Côte d'Ivoire): hydrogéologie et hydrochimie des aquifères discontinus du District de Yamoussoukro et du département de Tiébissou. Thèse d'Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, p. 250.

**Suarez et al., 2005.** Structurefunction characterization and optimization of a plantderived antibacterial peptide. Antimicrobial agents and chemotherapy, 49 p.

**Tondera et al., 2016.** Pollution des rejets urbains de temps de pluie/Pollution of wet weather flow-Contrôle à la source/Source control, p. 6.

**Toponi, 2013 :** Contribution à l'étude bactériologique de l'eau de boisson vendue en sachet au marché central de la ville de Kisangani, Mémoire inédit, Fac.de Médecine/UNIKIS, 32p.

**UN-Water / WWAP., 2006 .** L'eau : une responsabilité partagée. Résumé du 2<sup>ème</sup> rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau. 52p.

**UNISEF, 2002., Zella, 2016.** L'eau, la gouvernance et l'éthique, p32.

**Vaute L. 1999.** Identification d'éléments indésirables ou toxiques dans les ressources en eau potentielles du bassin ferrifère lorrain. Rapport BRGM R 40908, p. 37.

**Valiron, 1984.** Gestion des eaux, Principes-Moyens-Structures, éd Complète, Paris, 43p.

**Warner et Knowlton, 1997.** Frying quality and oxidative stability of high-oleic corn Oils

**WRI, 2013.** Étude, publiée le 12 décembre 2013 par le World Resources Institute (WRI).

**Zella et Smadhi, 2016.** L'eau, la gouvernance et l'éthique, p12.

**Zella, 2016.** L'eau, la gouvernance et l'éthique, p29.