

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences
Département des Sciences de la Nature et de la Vie
Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Ecologie des milieux naturels

Intitulé

**Évaluation qualitative d'un compost d'origine mixte et son influence
sur les propriétés des sols en milieu naturel (RA2K)**

Présenté Par : - ZEGGARI Roua
- TOUALBIA Djomana Yasmine
- HAMROUCHE Meriem Nada
- ZERAZEHI Wail

Membres de Jury :

Dr. BOUGDAH.M	Présidente	MCB	Univ.20 août 1955-Skikda
Mme. SACI. A	Promotrice	MAB	Univ .20 août 1955-Skikda
Dr. BOUBRYEM.A	Examinatrice	MCB	Univ.20 août 1955-Skikda

Année universitaire 2024/2025



Remerciements

Nous remercions tout d'abord **Allah**, pour la force, le courage et la patience qu'il nous a accordés tout au long de la réalisation de ce travail.

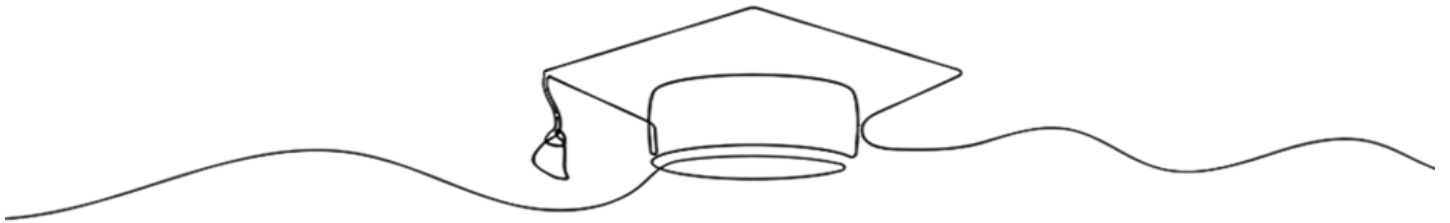
Nous exprimons notre sincère gratitude à notre promotrice **Mme. SACI Amina**, pour sa disponibilité son encadrement en qualité, ses efforts considérables, ses conseils précieux et son soutien constant durant toutes les étapes de ce mémoire.

Nous remercions également tous les membres du jury, **Dr. BOUBRYEM Amira ET DR. BOUGDAH.Mounira**, pour avoir examiné attentivement notre travail.

Nous remercions chaleureusement l'équipe de **RA2K** pour leur accueil, leur aide précieuse et leur coopération au cours du stage.

Nous remercions aussi les professeurs du département pour la qualité de leur enseignement et leur accompagnement pendant notre parcours universitaire.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à **nos familles** ainsi qu'à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin l'élaboration de ce travail.



Dédicace

À ceux qui ont laissé leur empreinte dans les détails de mon parcours.

À **mes parents**, noblesse de l'efforts et grandeur du don.

À **mes frères** prolongement du cœur et douce présence de l'âme.

À tous ce qui est furent une ombre bienveillante dans les instants d'épuisement.

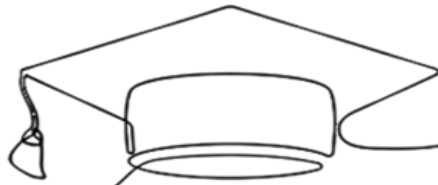
Et à moi-même,

À celle qui a avancé malgré tout, avec constance, patience, et une passion qui ne s'éteint jamais.

Je dédie ce travail pas comme une fin, mais comme le commencement de ce qui est encore plus beau.

Avec toute ma gratitude

Roua



Dédicace

A Dieu, pour sa lumière dans mes nuits d'incertitudes, pour la force qu'il m'a insufflée lorsque mes pas

Devenaient lourds, et pour avoir placé dans ma vie des âmes précieuses.

A la mémoire de mon père, ton absence est douleur silencieuse, mais ton amour reste ma plus grande force

Ce mémoire, je te le dédie avec tout mon cœur.

A ma mère, femme courageuse et douce mon refuge et ma force.

Merci pour ton amour infini et ton soutien de chaque instant dans toute ma vie.

A l'homme de ma vie, ton amour m'a portée, ta patience m'a guidée.

Merci d'avoir cru en moi quand moi-même je doutais.

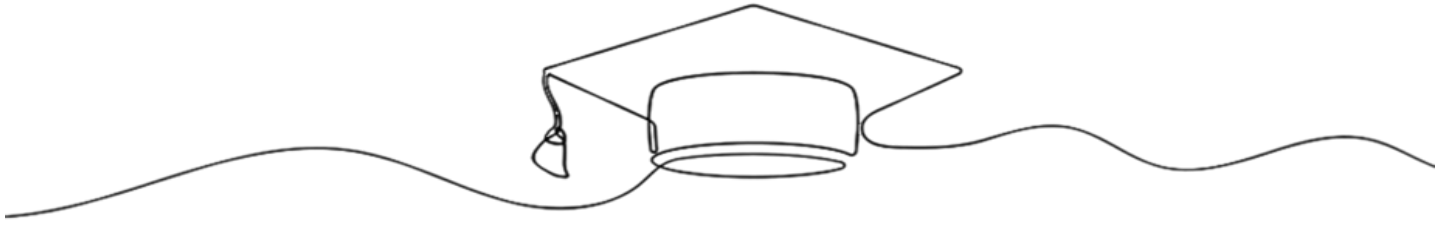
A ma famille, merci pour votre présence rassurante, vos mots simples, vos encouragements sincères.

A mes enseignants et encadrant, merci pour vos conseils, votre patience et votre générosité.

Enfin, à moi-même, a celle qui a traversé les épreuves, a celle qui a douté, pleuré, espéré, persévérer.

Sois fière, ce chemin fut rude, mais tu n'as jamais abandonnée.

Djomana Fasmine



Dédicace

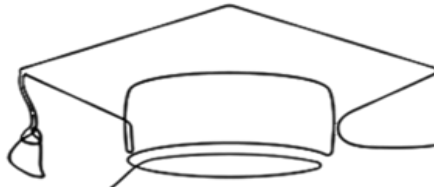
À Celui qui me voit sans que je Le voie, À Celui qui connaît mes faiblesses et les soutient, mes peurs et les apaise. Merci pour chaque pas, chaque chute, et chaque force après.

À **mes parents**, Le cœur de la maison, le calme dans le tumulte. Merci d'avoir toujours été là, même quand je ne le demandais pas.

À **mes amis**, Pour chaque rire honnête au milieu de la fatigue, pour chaque « n'aie pas peur » dite par les regards avant les mots. Vous étiez la chaleur quand tout devenait froid.

À ceux qui ont cru en moi en silence, À ces cœurs qui ont été lumière quand tout s'assombrissait. Votre présence n'était peut-être pas bruyante, mais elle était suffisante.

W&IL



Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Par Sa grâce nous avons commencé, par Sa lumière nous avons été guidés, et par Son aide nous avons achevé ce chemin, Louange à Dieu, toujours et à jamais.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont marqué ma route des plus belles manières... **À l'âme pure de mon grand-père**, À moi-même, Et aux histoires qui ne seront jamais racontées.

À mes parents bien-aimés, ainsi qu'à **mes frères** et **ma sœur**, Vous avez été le premier pilier, et la cause — après Dieu — de tout ce qu'il y a eu de beau.

À ma grande famille (**HAMROUCHE _BOUHERI**), des plus jeunes aux plus anciens, Recevez tout mon amour et ma gratitude. Et plus particulièrement : ma grand-mère **Khadidja**, ma tante **Nadia**, mon oncle **Sami**, ma tante **Soumia**, **Rokia** l'épouse de mon oncle, et mes oncles : **Omar**, **Kheireddine** et **Yacine**. Vous avez été le soutien silencieux, et l'invocation sincère qui a accompagné chacun de mes pas.

À mes amies du cœur et des souvenirs, **Meissa Allouche**, **Meissa Sabbagh**, **Angham**. Vous êtes ce qu'il y a de plus beau en forme humaine. Et à mes amies du monde virtuel, **Khouloud El Yasmine Khinouche**, **Kheira** et **Maroua Med Sarouri**, **Wardia**, **Mahbous**, **Roumaila Hamed**. Merci d'avoir été une chaleur, sans même vous rencontrer

Ce n'est pas une fin, c'est une empreinte

Meriem nada

Sommaire

Sommaire.....	1
Résumé.....	4
Introduction	5

Chapitre I : De la raffinerie au compost

1.1. Présentation de La raffinerie RA2K de Skikda.....	7
1.1.1. Aperçu de Sonatrach.....	7
1.1.2. La raffinerie RA2K : Un modèle environnemental.....	7
1.1.3. Traitement des eaux usées a la RA2K.....	7
1.2. Caractérisation des boues résiduares de la RA2K.....	9
1.2.1. Nature et origine	9
1.2.2. Propriétés physico-chimiques.....	9
1.3. Méthodologie de caractérisation des boues	9
1.3.1. Perte au feu (PAF)	9
1.3.2. Attaque acide	10
1.4. Le compostage – Principes, typologie et facteurs influents.....	11
1.4.1. Définition et principes du compostage	11
1.4.2. Types de composts.....	11
1.5. Conditions essentielles à la réussite du compostage	11
1.5.1. Rapport Carbone/Azote (C/N)	11
1.5.2. Teneur en humidité	11
1.5.3. Teneur en oxygène	11
1.5.4. Température	11

1.6. Phases du compost	12
------------------------------	----

Chapitre II : Matériels et méthodes

2.1. Objectif du chapitre	14
2.1.1. Zone d'étude	14
2.1.2. Préparation des substrats organiques	14
2.1.3. Mise en place du compost	16
2.1.4. Échantillonnage et protocole d'analyse	18
2.2. Plan expérimental : Test de germination.....	18
2.2.1. Méthodologie	18
-Préparation des substrats.....	18
-Remplissage.....	18
-Dispositif expérimental.....	19
-Semis.....	19
-Arrosage.....	19
-Conditions de germination.....	19

Chapitre III : Résultats et discussions

3.1. Résultats des analyses des boues résiduaires.....	21
3.1.1. Paramètres physico-chimiques.....	21
3.1.2. Métaux lourds et éléments minéraux	22
3.2. Suivi du processus de compostage.....	23
3.3. Analyses physico-chimiques des boues.....	25

3.3.1. Perte au feu (PAF)	25
3.3.2. Attaque acide.....	25
3.4. Évaluation du compost final.....	25
3.4.1. Paramètres de maturité.....	25
3.4.2. Analyse comparative des concentrations entre les boues brutes et le compost final.....	26
3.5. Test de germination.....	27
3.5.1 : Méthodologie.....	27
3.5.2. Résultats du test de germination.....	27
3.6. Discussion générale.....	29
Conclusion	30
Références bibliographiques	31
Annexe	33
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste d'abréviation	

Résumé

Avec l'augmentation de la pollution industrielle et la dégradation de la fertilité des sols, la valorisation des déchets est apparue comme une solution écologique efficace, en raison de son rôle dans la réduction de la pollution, l'amélioration de la qualité de l'environnement et la protection de la santé humaine. Cette étude vise à évaluer un compost organique élaboré à partir des boues de la raffinerie RA2K, combinées à des déchets naturels locaux.

Les résultats, obtenus après 60 jours de compostage, ont montré que le produit final est stable, non toxique, mature et conforme aux normes environnementales. Le test de germination réalisée sur lentille et le tournesol a donné des résultats encourageants, confirmant son efficacité en tant qu'amendement du sol et solution durable

Mots clés : Compost organique, boues industrielles, test de germination, sol.

Abstract

With the rise of industrial pollution and the decline in soil fertility, waste valorization has emerged as an effective environmental solution, due to its role in reducing pollution, improving environmental quality, and protecting human health. This study aims to evaluate an organic compost prepared from sludge generated by the RA2K refinery, mixed with local natural waste.

The results obtained after 60 days of composting showed that the final product is stable, non-toxic, mature, and compliant with environmental standards. The germination test conducted on lentil and sunflower seeds showed encouraging results, confirming its effectiveness as a soil amendment and sustainable solution.

Keywords: Organic compost, industrial sludge, germination test, soil.

المخلص

في ظل تزايد التلوث الصناعي وتدهور خصوبة التربة، برزت عملية تثمين النفايات كخيار بيئي فعال، لما لها من دور في تقليل التلوث وتحسين جودة البيئة وصحة الإنسان. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم سماد عضوي مركب من حمأة مصفاة RA2K ونفايات طبيعية محلية. أظهرت النتائج بعد 60 يوماً من التسميد أن المنتج مستقر، غير سام، وناضج، مع توافقه مع المعايير البيئية. كما أظهر اختبار الإنبات على العدس وعباد الشمس نتائج مشجعة، مما يؤكد فعاليته كمحسن للتربة وحل مستدام.

الكلمات المفتاحية: السماد العضوي، الحمأة الصناعية، اختبار الإنبات، التربة.

Introduction

La gestion des déchets industriels représente aujourd'hui un défi environnemental majeur, notamment dans les pays en voie de développement où les enjeux de durabilité et de santé publique s'intensifient. Parmi ces déchets, les boues issues du traitement des eaux usées industrielles soulèvent des préoccupations croissantes en raison de leur volume, de leur richesse en polluants organiques et métalliques, mais aussi de leur potentiel valorisable (OMS, 2018 ; UNEP, 2020).

En Algérie, la raffinerie RA2K de Skikda, infrastructure stratégique pour l'économie nationale, génère des quantités importantes de boues résiduaire à haute charge organique. Ces résidus, souvent considérés comme des déchets ultimes, pourraient pourtant représenter une ressource précieuse s'ils étaient intégrés dans des procédés de valorisation appropriés (APS, 2024 ; Radio Algérienne, 2024).

Parmi les stratégies émergentes, le compostage constitue une solution innovante, écologique et économiquement viable. En associant ces boues à des déchets organiques d'origine domestique ou agricole, il devient possible de produire un compost utilisable en agriculture, contribuant ainsi à la réduction de la pollution, à la fertilisation des sols, et à une gestion plus durable des ressources (Mustin, 1987 ; Znaïdi, 2002).

Dans ce contexte, notre travail s'inscrit dans une démarche de valorisation environnementale des boues de la RA2K, à travers leur intégration dans un compost mixte testé sur différentes espèces végétales. Ce mémoire présente d'abord la caractérisation physico-chimique de ces boues, puis les étapes du compostage expérimental et les résultats issus des tests de germination (Francou, 2003 ; CCME, 2005).

En Algérie, les boues industrielles issues du traitement des eaux, telles que celles produites par la raffinerie RA2K de Skikda, représentent une problématique environnementale croissante. Riches en matière organique mais potentiellement contaminées par des métaux lourds, hydrocarbures, etc, leur gestion durable devient essentielle. Le compostage apparaît comme une voie de valorisation prometteuse. Ainsi, comment transformer ces boues en un compost stable, non toxique et utile à l'amélioration des sols, tout en respectant les normes environnementales

L'objectif de ce travail vise à étudier la faisabilité du compostage des boues industrielles en les mélangeant à d'autres résidus organiques biodégradables, à caractériser physico-chimiquement le compost obtenu, et à évaluer sa qualité agronomique, notamment son impact sur la germination et la croissance des plantes à travers des tests biologiques normalisés

CHAPITRE 1 :
De la raffinerie au
compost

Chapitre 1 : De la raffinerie au compost

1.1: Présentation de la raffinerie RA2K de Skikda

1.1.1. : Aperçu de Sonatrach

Sonatrach est la compagnie algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leur dérivé. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses métiers en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent.

Sonatrach est la première entreprise du continent africain. Elle est classée 12ème parmi les compagnies pétrolières mondiales, 2ème exportateur de GNL et de GPL et 3ème exportateur de gaz naturel. Sa production globale (tous produits confondus) est de 230 millions de tep en 2006. Ses activités constituent environ 30% du PNB de l'Algérie. (Europetrole,2025)

1.1.2 : La raffinerie RA2K : Un modèle environnemental

La raffinerie de condensat de Skikda : un modèle d'excellence environnementale. Située dans la wilaya de Skikda (RA2K) se veut un exemple édifiant de l'harmonie entre l'industrie et l'environnement. La construction de cette raffinerie a été orchestrée avec un engagement inébranlable envers la préservation de l'écosystème, en mettant en œuvre des technologies de pointe pour surveiller et minimiser les impacts environnementaux. (Radio algérienne ,2024).

La raffinerie de condensat de Skikda elle comprend plusieurs unités : distillation du condensat, séparation propane/butane, unité sous vide de traitement gas-oil lourd, de traitement du kérosène, unité de stockage et transfert des produits, et unité de production des utilités et de traitement des eaux. (Algérie presse service ,2024).

1.1.3 : Traitement des eaux à la RA2K

Les informations fournies ci-dessous sont basées sur des observations que les auteurs ont faites lors de notre stage à la raffinerie RA2K.

La raffinerie RA2K possède une section de traitement des eaux industrielles identifiée par le numéro (501), dont la source principale est constituée des eaux domestiques. L'installation du traitement des eaux usées est un système de protection d'environnement auxiliaire de l'usine Topping de condensat. La capacité de traitement des eaux usées est de 60m³/h. Le processus commence par un traitement primaire pour séparer les solides et les huiles de l'eau. Ensuite, un traitement physico-chimique est réalisé suivi d'une étape de décantation pour séparer les particules en suspension. Un traitement biologique est appliqué pour réduire la matière organique dissoute. Au cours de ces étapes, des boues

résiduaire se forment progressivement et sont séparées de l'eau à l'aide de bassins de décantation, puis stockées. Un traitement tertiaire, comprenant filtration et désinfection, peut être ajouté si nécessaire. L'eau traitée est ensuite rejetée dans la mer par des canaux spécialement conçus, conformément aux normes environnementales. Ce système réduit efficacement la pollution et préserve le milieu marin.



Figure 1 : Schéma du processus de traitement des eaux à la RA2K



Figure 2 : Zone de traitement des boues résiduaire –section 501



Figure 3: bassin de décantation ME003



Figure 4 : Canal de rejet des eaux traitées vers la mer

1.2. Caractérisation des boues résiduaire de la RA2K

1.2.1. Nature et origine

Les boues résiduaire sont un sous-produit du traitement des eaux. Il s'agit d'un **mélange semi-solide** composé principalement d'eau, de particules organiques et minérales. Leur origine provient :

- Des procédés physico-chimiques et biologiques de la station de traitement,
- Des opérations de nettoyage des installations et bassins.

Elles contiennent généralement :

- Des hydrocarbures totaux (HCT), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP),
- Des métaux lourds (Pb, Zn, Ni, Cr, V),
- Des matières organiques dégradables.

1.2.2. Propriétés physico-chimiques

Tableau 1 : Caractérisation physico-chimiques des boues résiduaire

Paramètre	Valeur observée	Unité
Aspect	Pate noir, visqueuse	—
Teneur en eau	>50%	%
PH	6-8	—
Taux de matière organique	Élevé (confirmé par PAF)	%

PAF : La perte au feu est une méthode classique d'évaluation de la teneur en matière organique par combustion. [Université de Lausanne, 2025](#)



Figure 5 : Échantillon de la boue résiduaire utilisée pour les analyses

1.3. Méthodologie de caractérisation des boues :

Pour l'évaluation physico-chimique des boues résiduaire de la RA2K, deux étapes préliminaires ont été réalisées avant l'analyse proprement dite :

1.3.1. Perte au feu (PAF) :

La méthode de perte au feu (PAF), permet d'estimer la teneur en matière organique du sol (Boue des

eaux usées). Les échantillons sont brûlés à une température suffisamment élevée pour brûler la matière organique, qui se volatilise ensuite sous forme de CO₂ et d'autres composés, mais pas suffisamment élevée pour décomposer les carbonates. La perte de masse représente la teneur en matière organique. [Institut des dynamiques de la surface terrestre, Université de Lausanne](#) (Annexe 1)

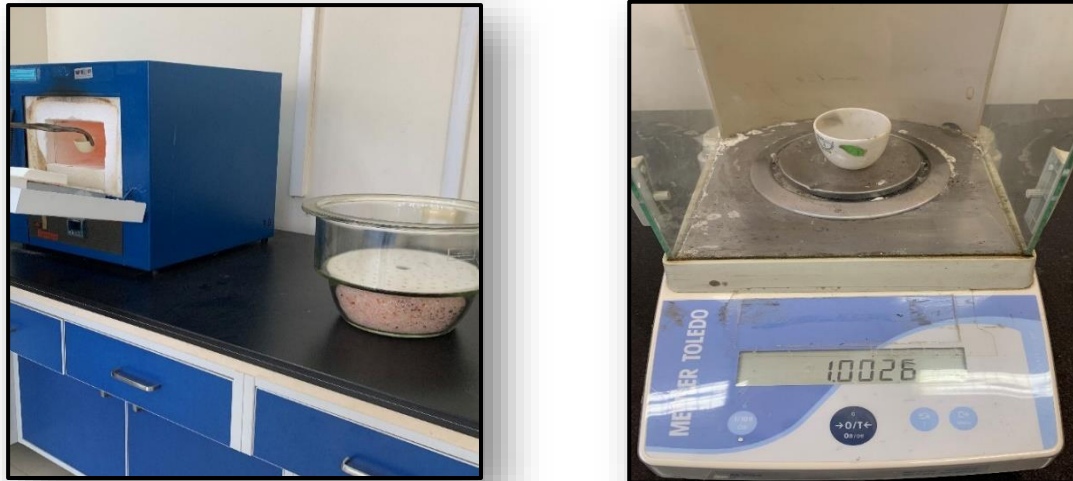


Figure 6 : Illustration pratique de la méthode PAF au laboratoire

1.3.2. Attaque acide :

Réalisée dans notre laboratoire, cette technique repose sur l'utilisation d'acides forts (notamment HCl) pour dissoudre les **métaux présents dans les sédiments** (ou boues). Cette **préparation acide** est une étape essentielle en vue d'une **analyse chimique quantitative** des métaux lourds par spectrométrie ou chromatographie. (Annexe 1)

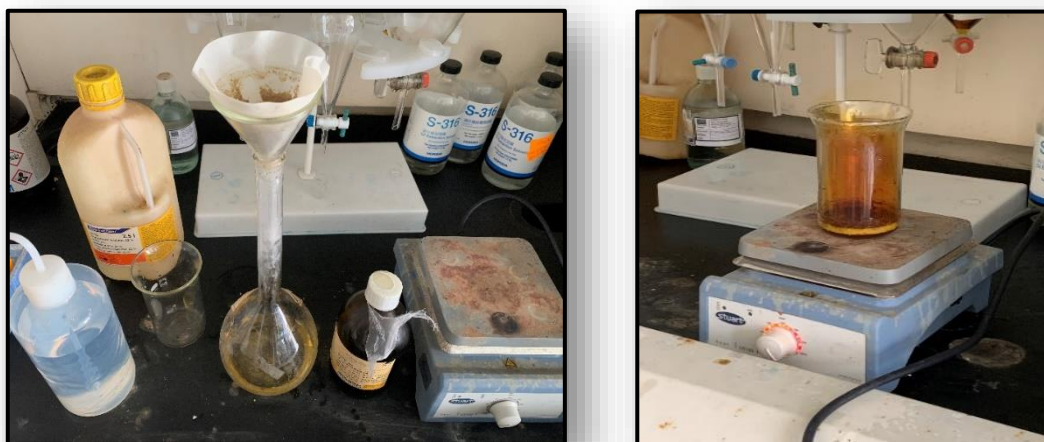


Figure 7 : Application de la méthode attaque acide pour l'extraction des métaux lourds

1.4. Le compostage – Principes, typologie et facteurs influents.

1.4.1. Définition et principes du compostage :

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale par une succession des communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies entraînant une montée en température et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé composte riche en matière organique (Bayard *et al.*, 2001 ; Znaïdi, 2002).

1.4.2. Types de composts

Selon les intrants, les composts peuvent être :

- **Urbains** : à base de déchets ménagers, biodéchets.
- **Agricoles** : à partir de fumiers, résidus de récolte.
- **Industriels** : boues de stations d'épuration, marc, déchets agroalimentaires.

Le **compostage mixte** combine plusieurs sources pour **équilibrer les paramètres chimiques et biologiques**, améliorer la structure, et optimiser les qualités agronomiques (FAO, 2020).

1.5. Conditions essentielles à la réussite du compostage :

Le bon déroulement du processus de compostage dépend de plusieurs facteurs physico-chimiques et biologiques.

1.5.1. Rapport Carbone/Azote (C/N) :

Le rapport C/N est un indicateur crucial du bon équilibre nutritionnel pour les micro-organismes. Un rapport optimal se situe entre **25,1 et 30,1** en début de compostage. Un excès de carbone ralentit la décomposition, tandis qu'un excès d'azote favorise la formation d'ammoniac et les mauvaises odeurs.

1.5.2. Teneur en humidité :

L'humidité optimale pour une activité microbienne efficace se situe entre **50 et 60 %**. Un taux inférieur assèche le substrat et ralentit l'activité biologique, tandis qu'un excès d'eau induit des conditions anaérobies indésirables.

1.5.3. Teneur en oxygène :

Le compostage étant un processus aérobie, l'oxygène est indispensable. Une **teneur minimale de 5 %, et idéale autour de 10 %**, doit être maintenue dans la masse compostée, généralement par retournement ou ventilation passive (aération forcée ou naturelle).

1.5.4. Température :

La température est à la fois un indicateur et un régulateur du processus. Une montée en température jusqu'à **60–70 °C** permet l'élimination des pathogènes et la stimulation de l'activité des bactéries thermophiles. Des retournements sont recommandés lorsque la température excède **66 °C** ou que l'écart thermique interne dépasse **7 °C** (On-Farm Composting Handbook, Université du Maine).

1.6. Phases du compost :**Tableau 2 : Les phases du compost. [Francou \(2003\)](#)**

Phase	Température	Activité microbienne
Mésophile	25 – 45 C°	Dégradation des matières facilement biodégradables
Thermophile	55 – 70 C°	Élimination des pathogènes, dégradation poussée
Refroidissement	↓Température	Élimination des pathogènes, dégradation poussée
Maturation	Ambiante	Formation d'humus stable

Chapitre 2: Matériels et méthodes

Chapitre 2 : Matériels et méthodes :

2.1. Objectif du chapitre :

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés ainsi que les méthodes expérimentales mises en œuvre tout au long de cette étude, dans le but de suivre l'évolution du compost issu d'un mélange de déchets organiques d'origines diverses.

2.1.1. Zone d'étude :

L'étude a été réalisée dans le cadre d'un stage au sein de la Raffinerie RA2K de Skikda. Lors de la phase d'exploration des différentes unités, une quantité importante de boues résiduaires a été identifiée, notamment au niveau de la section 501 – Bassin ME003. Compte tenu de leur richesse en matière organique, ces boues ont été sélectionnées comme composant principal dans la fabrication d'un compost organique d'origine mixte.

Ce choix s'inscrit dans une logique de valorisation des déchets industriels, en vue de réduire leur impact environnemental et sanitaire, tout en contribuant à la fertilisation des sols par le biais d'un recyclage durable.



Figure 8 : raffinerie vue satellitaire du site de la raffinerie (RA2K), localisation du bassin ME003

2.1.2. Préparation des substrats organiques :

A. Collecte des matières premières:

Les matières organiques collectées pour cette étude sont :

- Boues résiduaires issues de la RA2K.
- Marc de café.
- Résidus d'olive.
- Coquilles d'œufs.
- Sciure de bois.



Figure 9 : Illustration des matières organiques utilisées pour le compostage.

B. Le tri sélectif et la préparation :

Ces matières sont préalablement triées afin d'éliminer les éléments non désirés comme le plastique et les matières non dégradables. Puis il faut préparer le mélange pour avoir une bonne homogénéité. Cette étape est nécessaire pour optimiser la qualité et l'efficacité du compostage.

C. Le séchage des matières utilisées :

- Le séchage a été appliqué uniquement aux matériaux à forte teneur en eau. Ainsi :
- Les coquilles d'œufs ont été séchées à l'air libre, au soleil.
- Les boues résiduaires ont été placées dans des plateaux ou creusets, puis séchées dans une étuve au laboratoire.
- Les autres composants (sciure de bois, marc de café, résidus d'olives) étant déjà secs, n'ont pas nécessité de traitement supplémentaire.



Figure 10 : Séchage des boues résiduaires au laboratoire

D. Broyage

Les matières ont été broyées afin d'augmenter la surface de contact et d'améliorer la dégradation. Les coquilles d'œufs ont été broyées à l'aide d'un hachoir électrique. Les autres composants ont été réduits manuellement. Cette étape favorise également l'aération du mélange.

E. Formulation du compost

Un mélange standardisé a été réalisé en respectant les proportions suivantes :

Tableau 3 : Composition en pourcentage des substrats organiques.

Type de déchets	Pourcentage (%)
Boues résiduaires	50%
Résidus d'olives	10%
Marc de café	15%
Coquilles d'œufs broyées`	5%
Sciure de bois	20%
Total	100%

Ce mélange a été humidifié à l'eau pour assurer une bonne homogénéité, en conformité avec les recommandations de [MUSTIN \(1987\)](#).

2.1.3. Mise en place du compost :

Le compost a été mis en place dans une serre afin de garantir des conditions environnementales contrôlées (température, humidité, aération). Le suivi du processus a été réalisé sur une durée de deux mois à l'aide de thermomètres à sonde et infrarouge.



Figure 11 : Suivi de la température à l'aide de thermomètre.

Remarque:

Dans une caisse ajourée, les proportions suivantes ont été pesées puis mélangées manuellement :

- 500 g de boues résiduaires.
- 150 g de marc de café.
- 100 g de résidus d'olive.
- 50 g de coquilles d'œufs.
- 200 g de sciure de bois.



Marc de café



Coquilles d'œufs



La boue



Sciure de bois



Résidus d'olives

Figure 12 : Illustration des quantités de matières premières.

Tableau 4 : L'origine des matières premières et leur rôle dans le compost

Matière organique	Origine	Rôle dans le compost
Boues résiduaires	Raffinerie RA2K (bassin ME003)	Source d'azote et d'humidité, matière organique
Marc de café	Déchets domestiques	Activateur biologique, apport d'azote
Résidus d'olive	Huilerie locale	Texture, matière organique lente à décomposer
Coquilles d'œufs broyées	Déchets ménagers	Source de calcium, régulateur de pH
Sciure de bois	Menuiseries locales	Source de carbone, amélioration de la structure



Figure 13 : Mélange manuel des matières.

2.1.4. Échantillonnage et protocole d'analyse :

Objectif des analyses :

L'objectif est de déterminer le degré de maturation du compost à partir de plusieurs critères physiques et chimiques : aspect, couleur, odeur, structure, température, pH et carbone organique.

Indices de maturité :

- **Température** : retour à la température ambiante en phase finale
- **Carbone (C)** : ≥ 20 % pour un compost mur.
- **PH** : entre 6,5 et 8
- **Apparence** : homogène, brun foncé, odeur de terre, structure friable

2.2. Plan expérimental : Test de germination.

L'effet du compost obtenu a été évalué à travers un test de germination sur deux espèces végétales :

- Tournesol (*Helianthus annuus*)
- Lentille (*Lens culinaris*)

2.2.1. Méthodologie :

1 : Préparation des substrats : Mélange homogène des composants

2 : Remplissage : 30 g de substrat par alvéole, répartis selon cinq traitements :

- 100 % sol naturel
- 100 % compost
- 75 % compost / 25 % sol
- 50 % compost / 50 % sol
- 25 % compost / 75 % sol

3 : Dispositif expérimental : Chaque ligne de la plaque alvéolée correspond à un traitement spécifique (identifié par des étiquettes).



Figure 14 : Répartition des mélanges dans la plaque alvéolée.

4 : Semis : Graines pré-germées sur coton, 2 à 3 graines par alvéole, semées à la même profondeur.



Figure 15 : Pré-germination des graines sur coton.

5 : Arrosage : Maintien d'une humidité constante sans excès.

6 : Conditions de germination :

- Température : 20–25 C°.
- Lumière : exposition naturelle, minimum 12 h/jour.
- Durée : de 7 à 14 jours selon l'espèce.

Chapitre 3

Résultats et discussion

Chapitre 3 : Résultats et discussions

3.1 : Résultats des analyses des boues résiduaire :

3.1.1. Paramètres physico-chimiques :

L'échantillon analysé provient de la section 501, prélevé au niveau du bassin ME003 le 03 avril 2025. Les analyses physico-chimiques, réalisées en laboratoire le 09 avril 2025, ont été effectuées selon les méthodes PAF, attaque acide et autres techniques analytiques standards, sous la supervision de BENDJAMA.H et SAYAD.B.

Tableau 5 : Les analyses physico-chimiques de la boue

Analyses	Unités	Résultats	Interprétation
PH		6.32	Légèrement acide, compatible avec le compostage
Conductivité	μS/cm	1470	Moyennement élevée, à surveiller en cas d'accumulation saline
TDS (Solides dissous)	Mg/l	813	Indique une bonne minéralisation
Température in situ	C°	20	Neutre, favorable à l'activité microbienne
Silice	%	15,54	Améliore la structure et la rétention d'eau du sol
O ₂ dissous	Mg/l	8,61	Très bon niveau, soutient l'activité aérobie

Ces paramètres montrent que la boue présente un bon potentiel pour le compostage avec une surveillance de la salinité.



Figure 16 : Mesure du PH du compost

3.1.2. Métaux lourds et éléments minéraux :

Tableau 6 : Concentration des métaux lourds et des éléments minéraux et leur interprétation

Elément	Unité	Concentration	Interprétation
Cuivre (Cu)	Mg/l	1,76	Oligo-élément utile, non toxique (AFNOR NF U44-051)
Fer (Fe)	Mg/l	6,37	Essentiel à la chlorophylle, favorable à la croissance
Zinc (Zn)	Mg/l	3,00	Favorise la croissance végétale, quantité admissible
Plomb (Pb)	Mg/l	0,007	Très faible, sans danger à court terme
Chrome VI (Cr ⁶⁺)	Mg/l	0,039	En deçà des seuils critiques (normes françaises)
Calcium (Ca)	Mg/l	95	Améliore la structure et l'échange cationique du sol
Magnésium (Mg)	Mg/l	55	Participe à la photosynthèse
Chlorure (Cl ⁻)	Mg/l	281	À surveiller, potentiel d'effet salin modéré à long terme

Aucun élément toxique n'a dépassé les normes autorisées pour un compost agricole.

Tableau 7 : Valeurs acceptables des paramètres analysés (Selon les lignes directrices du CCME)

Paramètre	Valeur acceptable
PH	Entre 6,5 et 8
Conductivité électrique (CE)	1,3 à 2,5 mS/cm (extraction eau / substrat)
Carbone (C)	20-30 %
Humidité résiduelle	40 à 65%
Masse volumique	475 à 700 kg/m ³
Aspect olfactive	Odeur de terre fraîche
Reconnaissance des intrants	Aucun élément reconnaissable
Température	Ne dépasse pas 10-20 C° après retournement
Texture	Souple, humidité légère, cohésion et fiabilité
Métaux lourds	Respect des normes du CCME
Réduction de volume	Jusqu'à 50% de réduction de la matière initiale

3.2. Suivi du processus de compostage

Le compost a été observé durant une période de 60 jours.

Les paramètres suivants ont été surveillés :

- **Température** : Mesurée à l'aide d'un thermomètre à sonde.
- **Odeur** : Évaluation sensorielle.
- **Texture et couleur** : Observation visuelle.
- **PH et carbone (C)** : Analyses de laboratoire.

Des prélèvements ont été réalisés aux jours 7, 15 et 30 pour documenter l'évolution.

-Après une semaine (7 jours) :

Température élevée, caractéristique de la phase thermophile.

Début de la décomposition des matières organiques.

Présence d'une odeur organique relativement forte.

Texture encore grossière avec des résidus visibles.



Figure 17 : Evaluation visuelle et mesure de la température du compost après 7 jours

- Après 15 jours :

Diminution progressive de la température, indiquant une baisse de l'activité microbienne.

Apparition d'une odeur plus stable et terreuse.

Changement progressif de la couleur vers des tons bruns.

Texture plus homogène, bien que quelques fragments soient encore présents.



Figure 18 : Évaluation visuelle et mesure de la température du compost après 15 jours

-Après un mois (30 jours) :

Température stabilisée, proche de celle de l'environnement, traduisant la fin de la phase active.

Couleur brun foncé uniforme.

Odeur terreuse agréable, indiquant un compost stabilisé.

Texture fine et bien structurée.

Les observations réalisées indiquent que le compost suit une évolution typique d'un processus de maturation bien conduit. Les variations thermiques, les changements de texture et d'odeur, ainsi que la stabilisation progressive du mélange, confirment que les conditions de compostage ont été correctement maîtrisées.

À la fin de cette phase, le compost a été soigneusement broyé afin d'uniformiser sa granulométrie et de faciliter son utilisation lors des essais de culture



Figure 19 : Compost après 30 jours, évaluation visuelle et mesure de la température (28 C°)



Figure 20 : Compost broyé, non encore utilisé

3.3. Analyses physico-chimiques des boues

Deux analyses préalables ont été réalisées sur les boues brutes :

3.3.1. Perte au feu (PAF)

Cette méthode consiste à chauffer un échantillon de boue à 800 °C pendant 2 heures, pour estimer la teneur en matière organique par perte de masse (Université de Lausanne, 2025).

3.3.2. Attaque acide

Un traitement à l'acide chlorhydrique (HCl 37 %) a été effectué pour dissoudre les métaux lourds en vue d'une analyse par spectrophotométrie. Les métaux analysés sont : Cu, Zn, Fe, Pb, Cr⁶⁺.

3.4 : Évaluation du compost final :

3.4.1. Paramètres de maturité

Tableau 8 : Paramètres de maturité du compost final

Indicateur	Valeur obtenue	Valeur de référence	Conclusion
PH	7,1	6,5 – 8	Optimal
Carbone (%)	20 - 30	20-30 %	Conforme
Température finale	25 C°	Ambiante	Processus achevé
Odeur	Terreuse	Aucune odeur désagréable	Maturation atteinte
Aspect visuel	Brun foncé, homogène	Brune, Friable	Conforme

3.4.2. Analyse comparative des concentrations entre les boues brutes et le compost final

Tableau 9 : Évolution des concentrations en éléments entre les boues brutes et le compost final

Élément analysé	Boues brutes (mg/L)	Compost final (mg/L)	Évolution	Interprétation
Cuivre (Cu)	1,76	1,40	↓ légère	Réduction par stabilisation organique (AFNOR, 2002).
Zinc (Zn)	3,00	0,15	↓ significative	Forte réduction par fixation sur la matière organique (Huang et al., 2001).
Fer (Fe)	6,37	4,19	↓	Diminution attendue, précipitation ou complexation (Lemée et al., 2011).
Chrome VI (Cr ⁶⁺)	0,039	0,072	↑ légère	Légère augmentation, probablement due à une oxydation chimique (Zhou et al., 2014).
Plomb (Pb)	0,007	–	–	Présence très faible, conforme aux normes françaises (AFNOR, 2002).
Silice (SiO ₂)	–	34,13	–	Présente naturellement, aucun seuil critique défini.
Carbone organique (%)	–	20 – 30 %	–	Très bon niveau, indicateur de maturité du compost (≥ 20 % selon CCME, 2005 ; Bernal et al., 2009).
Calcium (Ca)	95	–	–	Améliore les propriétés physiques du sol.
Magnésium (Mg)	55	–	–	Nutriment essentiel, rôle dans la photosynthèse.
Chlorure (Cl ⁻)	281	–	–	Concentration à surveiller pour les cultures sensibles au sel (Gagnon et al., 2003).

Le processus de compostage a permis une réduction notable des concentrations en métaux lourds dans le produit final. Cette diminution est principalement attribuée à :

- L'immobilisation des métaux dans la matière organique via des processus d'adsorption ou de complexation (Huang et al., 2001 ; Bernal et al., 2009)
- La précipitation chimique de certains éléments métalliques en milieu plus stable (Lemée et al., 2011)

Le chrome hexavalent (Cr⁶⁺) montre une légère augmentation dans le compost final. Cela pourrait être dû à une transformation du chrome trivalent (Cr³⁺) en Cr⁶⁺ sous l'effet de l'oxygénation ou de changements de pH pendant le processus de compostage (Zhou et al., 2014). Toutefois, la concentration reste bien inférieure aux seuils réglementaires (normes canadiennes ou françaises) ce qui ne pose pas de problème de toxicité.

La teneur en carbone organique, comprise entre 20 % et 30 %, est conforme aux critères de maturité des composts d'après la norme AFNOR NF U44-051 (AFNOR, 2002), ce qui reflète un produit

stabilisé, favorable à l'amendement des sols.

•Conclusion

La comparaison entre les boues brutes et le compost final met en évidence une efficacité du compostage pour la stabilisation des éléments métalliques et l'amélioration de la qualité organique du matériau. Le produit final peut être considéré comme potentiellement valorisable en agriculture, notamment en tant qu'amendement organique, sous réserve de l'analyse de certains paramètres complémentaires comme le plomb, les pathogènes et la salinité.

3.5. Test de germination

3.5.1. Méthodologie

Deux espèces végétales ont été testées :

- **Tournesol** (*Helianthus annuus*)
- **Lentille** (*Lens culinaris*)

Cinq mélanges compost/sol ont été préparés :

Tableau 10 : Traitements expérimentaux à base de compost et de sol

Traitement	Formulation
R1	100 % sol (témoin)
R2	100 % compost
R3	50 % compost / 50 % sol
R4	75 % compost / 25 % sol
R5	25 % compost / 75 % sol

3.5.2. Résultats du test de germination

Tableau 11 : Résultats du test de germination selon les différentes formules de substrats

Traitement	Nombre de graines semées	Nombre de graines germées	Taux de germination	Observation
R1	8	3	37,5 %	Levée partielle
R2	8	8	100 %	Levée complète
R3	8	4	50 %	Levée partielle
R4	8	8	100 %	Levée complete
R5	8	0	0 %	Aucune levée

Interprétation du tableau :

Les résultats du test de germination montrent que le compost joue un rôle clé dans l'amélioration de la germination des graines. Les mélanges riches en compost, notamment R2 (100 %) et R4 (75 %),

ont obtenu une germination optimale (100 %), contrairement aux mélanges pauvres en compost comme R5 (25 %), qui n'ont pas germé. Le taux de germination a été calculé selon la formule suivante : $\text{Taux de germination (\%)} = (\text{Nombre de graines germées} / \text{Nombre total de graines semées}) \times 100$. Ce taux élevé dans les substrats compostés s'explique par la richesse en nutriments du compost, sa structure aérée et l'absence de substances toxiques. À l'inverse, une faible teneur en compost rend le substrat moins fertile, ce qui freine la germination. Ces résultats confirment donc l'intérêt agronomique du compost comme amendement naturel et efficace.



Figure 21 : Germination et croissance du tournesol sous l'effet du compost organique



Figure 22 : Germination et croissance de la lentille sous l'effet du compost organique

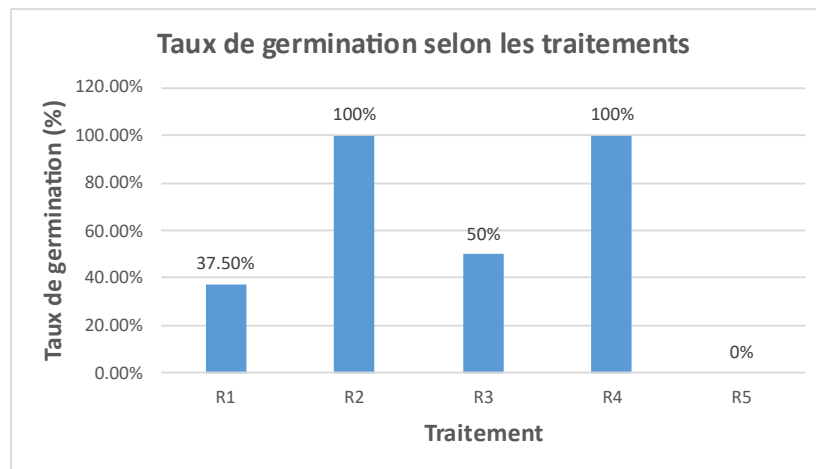


Figure 23 : Taux de germination selon les traitements

Interprétation du graphique du test de germination :

Le graphique montre l'incidence sur le niveau de germination de cinq traitements (R1 à R5). Les traitements R2 puis R4 germent complètement (100%), ce qui indique que des substances phytotoxiques sont absentes alors que le substrat est avancé en maturité. En revanche, des niveaux croissants d'inhibition sont bien révélés par R3 (50%), puis par R1 (37,5%) et surtout par R5 (0%), suggérant soit un manque de maturité, soit des composés toxiques.

ZUCCONI et al. (1981) ont donc établi certains critères pour évaluer bien les substrats. D'après ces critères, les substrats ayant un indice de germination supérieur à 80 % sont considérés comme matures et non toxiques pour les plantes (cité dans Raj & Antil, 2011).

3.6. Discussion générale

- Le compost obtenu présente des **caractéristiques conformes aux normes du CCME** et de l'AFNOR pour un usage agricole.
- La **richesse en silice, oxygène dissous et matière organique** améliore la porosité et l'activité biologique du sol.
- Les **métaux lourds** sont présents en quantités faibles, sans effet toxique identifié.
- Le **test de germination confirme l'innocuité** du compost et sa **valeur fertilisante**.

Conclusion

Conclusion

La présente étude visait à évaluer la possibilité de valoriser les **boues résiduelles industrielles** issues de la raffinerie RA2K de Skikda à travers un **processus de compostage mixte**, combinant ces boues à des déchets organiques végétaux locaux. L'approche adoptée s'inscrit dans une logique de **gestion durable des déchets**, de **réduction des impacts environnementaux** et de **production d'un amendement organique conforme aux normes agronomiques**.

Le compost a été formulé à partir des proportions suivantes :

- **50 % de boues résiduelles**, fournissant l'essentiel de la matière organique et de l'azote ;
- **20 % de sciure de bois**, riche en carbone et favorable à l'aération (Mustin, 1987) ;
- **15 % de marc de café**, activateur de la microflore décomposeuse (Francou, 2003) ;
- **10 % de résidus d'olive**, contribuant à la stabilité structurale ;
- **5 % de coquilles d'œufs broyées**, apportant du calcium et régulant le pH (Yang et al., 2024).

Les résultats obtenus montrent que le **compost final est mature, stable et sans effet phytotoxique**. Il présente un **pH de 7,1**, un **Carbone de 20-30 %**, une texture homogène et une odeur terreuse agréable. Les **métaux lourds analysés (Cu, Zn, Pb, Cr⁶⁺)** sont présents à des taux **inférieurs aux limites autorisées (AFNOR, 2005 ; CCME, 2005)**, ce qui confirme la **non-dangerosité** du produit.

Le **test de germination**, mené sur tournesol et lentille, a révélé un taux de germination maximal (100%) avec le compost pur, confirmant ainsi son efficacité agronomique et son innocuité vis-à-vis des plantes. Un résultat identique a été obtenu avec la formulation à 75 % de compost, ce qui témoigne de la performance optimale de cette dernière.

Ces résultats montrent que le **compostage mixte des boues industrielles**, dans une formule bien équilibrée, permet d'obtenir un **amendement organique utilisable en agriculture** ou pour la restauration des sols dégradés. Ce procédé offre ainsi une alternative durable à l'enfouissement ou à l'incinération, tout en contribuant à **l'économie circulaire** et à **la sécurité des sols (Nkoa, 2014 ; Schaller et al., 2020)**.

Référence bibliographique

- **AFNOR.** (2005). Norme NF U44-051 : Amendements organiques - Définition, spécifications et dénominations.
- **AFNOR.** (2002). **Norme NF U44-051** : Amendements organiques — Caractéristiques et critères de conformité. Association Française de Normalisation.
- **Algérie presse service (APS).** (2024). Description de la raffinerie RA2K. www.aps.dz
- **APS.** (2024). Raffinerie de condensat de Skikda : pilier fondamental de l'économie. <https://www.aps.dz>
- **Bayard, R., Gourdon, R., Buffière, P., & Benbelkacem, H.** (2001). Compostage des déchets : Principes et technologies. Techniques de l'ingénieur.
- **Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R.** (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*, 100(22), 5444–5453.
- **CCME.** (2005). Lignes directrices sur le compost. <https://ccme.ca>
- **Europétrole.** (2025) profil économique de sonatrach. www.europetrole.com
- **FAO.** (2020). Guide de la valorisation des résidus agro-industriels. Organisation des nations unies pour l'alimentation et agriculture.
- **Francou, C.** (2003). Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains. Thèse de doctorat, INAPG.
- **Gagnon, B., Simard, R. R., & Rioux, R.** (2003). Impact of chlorides from de-icing salt on the quality of composted biosolids. *Waste Management & Research*, 21(5), 460–466.
- **Huang, P. M., & Germida, J. J.** (2001). Trace metal interactions with microorganisms in the rhizosphere. In *Soil biochemistry* (Vol. 10, pp. 77–122). CRC Press.
- **Institut des dynamiques de la surface terrestre-Université de Lausanne.** (2025) Méthodologie de la perte au feu (PAF).
- **Lemée, L., Chaignon, V., & Hinsinger, P.** (2011). Immobilisation des métaux dans les composts : effets de la matière organique et du pH. *Étude et Gestion des Sols*, 18(3), 199–210.
- **Mustin, M.** (1987). Le compost : gestion de la matière organique. Éditions François Dubusc.
- **Nkoa, R.** (2014). Composts agricoles : Propriétés et effets sur les sols. *Revue Agronomie Africaine*.
- **OMS.** (2018). Gestion des déchets industriels : enjeux de santé publique.
- **Radio Algérienne.** (2024). La raffinerie RA2K : Un modèle d'excellence environnementale. www.radioalgerie.dz

- **Raj, D., & Antil, R. S. (2011).** Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology*, 102(3), 2868-2873.
- **Schaller, J., Brackhage, C., & Dudel, E. G. (2020).** Silicon availability changes structural carbon allocation in grasses. *Science of the Total Environment*, 703.
- **UNEP. (2020).** Global Chemicals Outlook II – From Legacies to Innovative solutions.
- **US Composting Council. (s. d).** On-Farm Composting Handbook. Universite du Maine.
- **Yang, X., Li, Y., Wang, H., & Zhang, X. (2024).** Impact of calcium on soil structure and microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*
- **Zhou, H., Yang, W. T., Zhou, X., Liu, L., Gu, J. F., Wang, W. L., & Zou, J. L. (2014).** Chemical speciation of heavy metals in compost and its effect on compost quality. *Bioresource Technology*, 163, 13–19.
- **Znaïdi, L. (2002).** Le compostage et la valorisation agricole des déchets organiques.
- **Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., & De Bertoldi, M. (1981).** Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*, 22(2), 54–57.

Annexe I

1. Détermination du PH et la température

1.1 Mode Opérateur :

Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée

Immerger les électrodes dans l'échantillon agité

Effectuer la lecture du Ph

Remarque :

Faire le nettoyage de l'appareillage et son environnement après chaque analyse.

Lors de la lecture du PH, les manipulations sont faites rapidement pour éviter l'absorption de CO₂.

. Tenir les électrodes immergées dans l'eau distillée

2. Détermination de l'oxygène dissous

Mode Opérateur 2.1

Mettre l'appareil sous tension.

Allumer l'appareil en appuyant sur l'interrupteur se trouvant derrière l'équipement.

Laisser l'appareillage stabiliser pendant quelques minutes.

Appuyer sur programmes enregistrés, et sélectionner le programme d'analyse.

Préparation du blanc :

Remplir une cuve ronde de 10 ml jusqu'au trait avec l'échantillon, fermer la cuve avec un bouchon.

Remplir un bouchon bleu pour ampoule avec l'échantillon.

Préparation de l'échantillon :

Recueillir au moins 40 ml de l'échantillon dans un bécher de 50ml, remplir une ampoule Accu Vác d'oxygène dissous, gamme haute avec l'échantillon, conserver l'extrémité de l'ampoule immergée jusqu'à son remplissage complet.

Sans retourner l'ampoule, positionner immédiatement le bouchon bleu sur l'embout de l'ampoule. Le bouchon empêche la contamination par l'oxygène de l'atmosphère.

Agiter l'ampoule pendant 30 secondes, l'exactitude n'est pas influencée par la présence de poudre non dissoute.

.Appuyer sur l'icône représentant la minuterie, appuyer sur OK. Une période de réaction de 2 minutes va commencer, cette opération permet à l'oxygène dégazé pendant l'aspiration de se dissoudre à nouveau et de réagir.

Lorsque la minuterie retentit, agiter l'ampoule pendant 30 secondes, attendre

Approximativement 30 secondes, afin de permettre aux bulles d'air de s'éloigner du trajet optique.

. Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve.

Sélectionner sur l'écran : Zéro Indication à l'écran : 0,0 mg/L O₂

Essuyer l'extérieur de l'ampoule Accu Vác (l'échantillon préparé) et l'introduire dans le

Compartiment de cuve. Sélectionner sur l'écran : Mesurer Les résultats est indiqués en Mg/L O₂

Pour éteindre l'appareil appuyer sur Menu Principal, puis cliquer sur le bouton qui est Derrière de l'appareil.

Remarque :

Faire le nettoyage de l'appareillage et son environnement après chaque analyse

Mettre l'appareil sous tension

Allumer l'appareil en appuyant sur l'interrupteur se trouvant devant de l'équipement

Laver soigneusement les électrodes avec l'eau distillée

Immerger les électrodes dans l'échantillon agité

Sélectionner la range avec le bouton approprié

Lire la conductivité sur l'échelle

Le résultat est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou $\text{M}\Omega/\text{cm}$

4. Détermination la dureté totale TH

4.1 Mode Opérateur :

Prendre une prise d'essai de 100ml d'échantillon

.2Ajouter 2ml de la solution tampon (PH=10

.3Ajouter une pincée de l'indicateur (NET

En présence de la dureté, la solution se colore en rouge cerise

Titrer avec l'EDTA 0.01 M jusqu'au virage bleu de la solution et noter le volume

Calcule : TH en mg/l de CaCO₃ = V x10

5. Détermination TA et TAC

: 5.1 Mode Opérateur

Détermination du TA

Prendre 100ml d'échantillon.

. Ajouter 2-3 gouttes de Phénolphtaléine

.En présence d'alcalinité, on obtient une coloration Rose pâle

Titrer avec H₂SO₄ 0,02N jusqu'à décoloration et noter le volume coulé

Calcule : TA= 10 x Va en mg/l de CaCO₃

6. Détermination de la perte au feu

Avant d'utiliser la boue on doit sécher le dépôt pendant 2 heures à l'étuve.

Broyer le et le remettre dans l'étuve à 105°.

6.1 Mode opératoire :

Peser exactement 1g de dépôt dans un creuset en porcelaine.

Passer au four à 800° pendant 2 heures.

Après refroidissement, dans un dessiccateur, peser le creuset.

Résultat :

$$\frac{\text{poids du creuset plein} - \text{poids du creuset vide}}{\text{pesée du dépôt}} = \text{Perte au feu.} (100$$

100 – perte au feu = Résidus minéral.

7. Détermination d'attaque acide

7.1 Mode opératoire :

1. Pesée de l'échantillon : peser environ 0,1g d'échantillon (boue) dans un bécher de 400 ml préalablement nettoyé.
2. Ajout d'acides : ajouter 10 ml de HCL concentré.
3. Chauffer l'ébullition jusqu'à sec.
4. Reprendre avec 10 ml de HCL concentré.
5. Chauffer l'ébullition jusqu'à ce qu'il reste 3ml de solution.
6. Ajouter 10 ml de HNO₃ concentré.
7. Chauffer à l'ébullition, s'il se dégage des vapeurs nitreuses, reprendre avec 10ml de HNO₃ jusqu'à obtenir 5ml de solution.
8. Laisser refroidir.
9. Ajouter 50 ml d'eau distillée.
10. Dans une fiole de 500 ml filtrer le précipité obtenu sur filtre lents.

8. Détermination du silice SiO₂

8.1 Mode opératoire :

1. Filtrer le précipité obtenu après l'attaque acide sur filtre lents et rapides incorporés l'un dans l'autre, dans une fiole de 500ml.
2. Laver le précipité abondamment avec de l'eau distillée.
3. Mettre le filtre dans un creuset, passer à l'étuve puis au four à 800° pendant 2 heures.
4. Refroidir au dessiccateur.
5. Peser le creuset plein et le creuset vide.

Résultat :

$$\left(\frac{\text{creuset plein} - \text{creuset vide}}{\text{masse de dépôt pesé}} 100 \right) = \% \text{ en SiO}_2$$

9. Détermination des métaux lourds

9.1 Détermination du plomb

9.1.1 Mode opératoire :

1. Sélectionnez le test.
2. Remplissez une éprouvette graduée en 100ml avec 100ml d'échantillon.

Versez l'échantillon mesuré dans un bécher en plastique de 250ml.

3. A l'aide d'un compte-gouttes en plastique de 1ml, ajoutez 1ml de solution de conservation acide pPb-1 à l'échantillon et agiter pour mélanger.

Si l'échantillon a été préalablement conservé avec du conservateur acide pPb-1 à raison de 1ml pour 100ml

D'échantillon, ignorez les étapes 4 et 5. (02 :00)

4. Appuyer sur MINUTERIE OK.

5. Une fois le temps écoulé, utilisez un deuxième compte-gouttes en plastique de 1ml pour ajouter 2ml de solution de fixation pPb-2. Agiter pour mélanger.

Les échantillons de terrain conservés à l'acide nitrique ou digérés peuvent dépasser la capacité tampon de la solution de fixation. Après l'étape 6, vérifier le Ph de ces échantillons et ajuster-le avec l'hydroxyde de sodium 5 N à un ph de 6,7 à 7,1 avant de passer à l'étape 7.

6. Montez un nouvel extracteur de colonne rapide sur un support annulaire muni d'une pince. Placez un bécher en plastique de 150ml sous l'extracteur.

Un extracteur de colonne rapide est inclus dans le kit de réactifs LeadTrak. Un nouvel extracteur est nécessaire pour chaque test.

7. Imbibez le tampon de coton d'eau d'ionisée et comprimer-le avec le piston.

Si le tampon de coton remonte dans la colonne, repoussez-le vers le bas à l'aide d'une tige propre et émoussée.

Le tampon de coton doit être bien ajusté contre la paroi interne de la colonne.

8. Versez lentement l'échantillon préparé au contre de l'extracteur de colonne. Attendez que l'échantillon s'écoule. La solution d'échantillon doit s'écouler relativement lentement (2 gouttes par seconde) à travers la colonne. Maintenez le niveau de la solution d'échantillon juste au-dessus du tampon de coton.

9. Une fois l'écoulement arrêté, comprimez complètement le tampon absorbant de l'extracteur avec le piston. Jetez le contenu du bécher. Retirez lentement le piston d'extracteur. Le tampon absorbant doit rester au fond de l'extracteur lorsque le piston est retiré. Si le tampon de coton remonte dans la colonne, repoussez-le vers le bas avec une tige propre et émoussée.

Placez un bécher propre et sec de 150ml sous l'extracteur. A l'aide d'une éprouvette graduée en plastique de 25ml, ajoutez 25ml de solution éluant pPb-3 dans l'extracteur. Maintenez le niveau de la solution éluant juste au-dessus du tampon absorbant.

10. Laisser la solution éluant s'égoutter lentement de l'extracteur. Une fois l'écoulement arrêté, comprimer complètement le tampon absorbant.

11. A l'aide d'un compte-gouttes en plastique de 1ml, ajouter 1ml de solution neutralisante pPb-1 dans le bécher. Bien agiter pour mélanger et passer immédiatement à l'étape 13.

12. Ajouter le contenu d'un sachet de poudre indicatrice pPb-5 dans le bécher et bien agiter pour mélanger. La solution deviendra brune.
13. Verser 10ml de solution dans une cellule d'échantillon carrée.
14. Appuyer sur MINUTRIE OK. Une deuxième période de réaction de deux minutes commencera.
15. Lorsque le minuteur expire, insérez la cuvette d'échantillon dans le porte-cuvette avec la ligne de remplissage orientée vers la droite.
16. Appuyer sur zéro, l'écran affichera 0 μ g/Pb.
17. Retirez la cuvette d'échantillon et ajouter 3 gouttes de solution décolorante pPb-6 dans la cuvette. Agiter pour bien mélanger.
18. Insérez la cuvette d'échantillon dans le porte-cuvette avec la ligne de remplissage orientée vers la droite. Appuyer sur lire, les résultats sont en μ g/l Pb.

9.2 Détermination du Zinc

9.2.1 Mode opérateur :

1. Appuyer sur programmes enregistrés.
2. Sélectionner le programme d'analyse.
3. Remplir une éprouvette graduée de 25ml jusqu'au trait de 20ml avec l'échantillon.
4. Transférer le contenu d'une pochette de réactif Zinc over dans l'éprouvette. Boucher.
5. Renverser plusieurs fois pour dissoudre complètement la poudre. Des mesures incohérentes peuvent provenir d'une faible concentration de zinc liée à la dissolution incomplète des particules. L'échantillon devrait être de couleur orange. Si l'échantillon présente une coloration brune ou bleue, soit la concentration de zinc est trop élevée, soit la présence d'un métal provoque une interférence. Diluer l'échantillon et recommencer l'analyse.
6. **Préparation du blanc** : Remplir une cuve carrée de 1 jusqu'au trait de 10ml avec la solution de l'éprouvette.
7. Préparation de l'échantillon : A l'aide d'un compte-gouttes en plastique, ajouter 0,5ml de cyclohexanone au reste de la solution dans l'éprouvette graduée.
8. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK. Une période de réaction de 30 secondes va commencer. Durant la période de réaction, boucher l'éprouvette et agiter énergiquement. L'échantillon prendra une coloration rouge-orange, brune ou bleue selon la concentration en zinc.
9. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie. Appuyer sur OK. Une période de réaction de 3 minutes va commencer. Durant cette période de réaction, achever l'étape 10.
10. Remplir une autre cuve carrée de 1 jusqu'au trait de 10ml avec la solution contenue dans l'éprouvette.

11. Lorsque la minuterie retentit, essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite. Sélectionner sur l'écran : **Zéro**. Indication à l'écran : 0,00mg/l **Zn**.

12. Essuyer l'extérieur de l'ampoule Accu Vác (l'échantillon préparé) et introduire dans le compartiment de Cu en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.

Sélectionner sur l'écran : **Mesurer**.

13. Les résultats sont indiqués en mg/l **Zn**.

9.3 Détermination u cuivre

9.3.1 Mode opératoire :

1. Préparation de la solution à analyser

- Prélever 10 ml de la solution obtenue après extraction ou digestion de l'échantillon contenant le cuivre.
- Verser ces 10 ml dans une cuve spectrophotométrique de 10 mL (comme sur ta photo).

2. Ajout du réactif complexant

- Ajouter la poudre de réactif spécifique au cuivre (généralement un réactif formant un complexe coloré avec Cu^{2+} , par exemple la néocuproïne, la bicinchoninate ou la dithizone).
- Mélanger doucement jusqu'à ce que la couleur de la solution devienne rose-orangé, signe de la formation du complexe cuivre-réactif.

3. Attente de stabilisation

- Laisser reposer quelques minutes pour que la couleur se stabilise et que la réaction soit complète.

4. Lecture au spectromètre

- Placer la cuve dans le spectrophotomètre UV-Visible.
- Régler la longueur d'onde appropriée pour le complexe (souvent entre 450 et 600 nm selon le réactif utilisé ; par exemple, 560 nm pour la néocuproïne, 480 nm pour la dithizone, etc.).
- Mesurer l'absorbance de la solution.

5. Détermination de la concentration

- Réaliser la même opération avec des solutions étalons de cuivre de concentrations connues, préparées dans les mêmes conditions (même volume, même ajout de réactif).
- Tracer la courbe d'étalonnage : absorbance en fonction de la concentration de cuivre.
- Utiliser l'absorbance mesurée pour ton échantillon pour déterminer la concentration de cuivre par interpolation sur la courbe d'étalonnage.

6. Calcul final

- Si tu as effectué des dilutions, n'oublie pas de les prendre en compte pour calculer la concentration réelle de cuivre dans l'échantillon initial.

Résumé du mode opératoire

1. Prélève 10 mL de la solution à analyser dans une cuve de 10 ml.
2. Ajoute la poudre de réactif jusqu'à obtention d'une couleur rose-orangé.
3. Laisse la couleur se stabiliser.
4. Place la cuve dans le spectromètre et mesure l'absorbance à la bonne longueur d'onde.
5. Compare l'absorbance à celle de solutions étalons pour déterminer la concentration de cuivre.

1 Détermination du cuivre

1.1 Mode opératoire ;

1. Appuyer sur programme enregistré.
2. Sélectionner le programme d'analyse.
3. Préparation de l'échantillon : Remplir une cuve carrée de 1 jusqu'au trait de 10ml avec l'échantillon.
4. Transférer le contenu d'une pochette de réactif de cuivre CuVer 1 de la cuve (l'échantillon préparé). Boucher et agiter pour homogénéiser.

Utiliser la pochette de réactif CuVer 2 pour les échantillons contenant des concentrations élevées en aluminium, fer et dureté. L'usage de la cuve pour échantillon de 25ml et requise.

5. Appuyer sur l'icône représentant la minuterie.
Appuyer sur **OK**.
Une période de réaction de 2 minutes va commencer.
6. **Préparation du blanc** : Remplir une autre cuve carrée de 1 jusqu'au trait de 10ml avec l'échantillon.
7. Essuyer l'extérieur du blanc (cuve) et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.

Sélectionner sur l'écran : **Zéro**.

Indication à l'écran : **0,00MG /L Cu**.

8. Dans les 30 minutes après le retentissement de la minuterie, essuyer l'extérieur de la cuve contenant l'échantillon préparé et l'introduire dans le compartiment de cuve en dirigeant le trait de remplissage vers la droite.

Sélectionner sur l'écran : **Mesurer**.

Les résultats sont indiqués en **mg/l Cu**.

Détermination du fer

1.1 Mode opératoire :

1. Appuyer sur programme enregistré.

2. Sélectionner le test.
3. **Echantillon préparé** : Remplissage une cuvette carrée propre avec 10ml d'échantillon.
4. Ajouter le contenu d'un sachet de poudre de réactif de Ferro Ver dans la cuvette.
Résumer pour mélanger.
Une couleur orange se formera si du fer est présent.
5. Appuyer sur minuterie **OK**.
Une période de réaction de trois minutes commencera.
(Laisser les échantillons contenant de la rouille réagir pendant au moins 3 minutes).
6. **Préparation du blanc** : Remplissez une deuxième cuvette carrée avec 10ml d'échantillon.
7. Lorsque le minuteur expire, insérez le blanc dans le porte-cuvette avec la ligne de remplissage orientée vers la droite.
Appuyer sur **Zéro**.
L'écran affichera : **0,00mg/L Fe**.
8. Placez l'échantillon préparé dans le porte-cuvette avec la ligne de remplissage orientée vers la droite.
Appuyer sur lecture, les résultats sont **en mg/L Fe**.

Détermination du chrome

1.1 Mode opératoire :

1. Appuyer sur programme enregistre.
2. Sélectionner le test.
3. **Echantillon préparé** : Remplissez une cuvette carrée propre avec 10ml d'échantillon.
4. Ajouter le contenu d'un sachet de poudre de réactif de chroma Ver dans la cuvette.
Résumez pour mélanger.
5. Appuyer sur minuterie OK.
Une période de réaction de 5 minutes.
6. Lorsque le minuteur expire, insérez le blanc dans le porte-cuvette avec la ligne de remplissage orientée vers la droite.
7. Appuyer sur **Zéro**. L'écran affichera : 0,00mg/L Cr6.
8. Placez l'échantillon préparé dans le porte-cuvette avec la ligne de remplissage orientée vers la droite.
Appuyer sur lecture.
Les résultats sont en mg/l Cr6

Listes des figures

Titre de la figure	Page
Figure 1 : Schéma du processus de traitement des eaux à la RA2K	8
Figure 2 : Zone de traitement des boues résiduaires- Section 501.	8
Figure 3 : Bassin de décantation ME003 (photo de terrain)	8
Figure 4 : Canal de rejet des eaux traitées vers la mer.	8
Figure 5 : un échantillon de la boue résiduaires utilisés pour les analyses	9
Figure 6 : Illustration pratique de la méthode PAF au laboratoire	10
Figure 7 : Application de la méthode attaque acide pour l'extraction des métaux lourds	10
Figure 8 : vue satellitaire du site de la raffinerie (RA2K), localisation du bassin ME003	14
Figure 9 : Illustration des matières organiques utilisées pour le compostage	15
Figure 10 : Séchage des boues résiduaires au laboratoire.	15
Figure 11 : Suivi de la température à l'aide de thermomètres	16
Figure 12 : Illustration des quantités de matières premières	17
Figure 13 : Mélange manuel des matières	18
Figure 14 : Répartition des mélanges dans la plaque alvéolée.	19
Figure 15 : Pré-germination des graines sur coton.	19
Figure 16 : Mesure du PH du compost	21
Figure 17 : Evaluation visuelle et mesure de la température du compost après 7 jours	23
Figure 18 : Évaluation visuelle et mesure de la température du compost après 15 jours	24
Figure 19 : Compost après 30 jours, évaluation visuelle et mesure de la température (28 C°	24
Figure 20 : Compost broyé, non encore utilisé	25
Figure 21 : Germination et croissance du tournesol sous l'effet du compost organique	28
Figure 22 : Germination et croissance de la lentille sous l'effet du compost organique	28
Figure 23 : Taux de germination selon les traitements	29

Listes des tableaux

Tableau	Page
Tableau 01 : Caractérisation physico-chimiques des boues résiduaires	9
Tableau 02 : Les phases du compost	12
Tableau 03 : Composition en pourcentage des substrats organiques	16
Tableau 04 : L'origine des matières premières et leur rôle dans le compost	17
Tableau 05 : Les analyses physico-chimiques de la boue	21
Tableau 06 : Concentration des métaux lourds et des éléments minéraux et leur interprétation.	22
Tableau 07 : Valeurs acceptables des paramètres analysés (Selon les lignes directrices du CCME)	22
Tableau 08 : Paramètres de maturité du compost final	25
Tableau 09 : Evaluation des concentrations en éléments entre les boues brutes et le compost final	26
Tableau 10 : Traitements expérimentaux à base de compost et de sol	26
Tableau 11 : Résultats du test de germination selon les différentes formules de substrats	26

Liste d'abréviation

Kg : kilogramme

G : Gramme

L : Litre

PAF : Perte au feu

Zn : Zinc

Pb : Plomb

Cu : Cuivre

Fe : Fer

Cr : Chrome

RA2K : Raffinerie de condensat de Skikda 2

HCT : Hydrocarbures chlore

HAP : Hydrocarbures aromatique polycyclique

CO₂ : Oxygène

HCl : Acide chlorure d'hydrogène

m³ : mètre cube

C/N : Carbone et azote

PH : Potentiel hydrogène

CCME : Conseil canadien de ministre de l'environnement

TDS: Total dissolved solids

GNL : Gaz naturel liquéfié

GPL : Gaz de pétrole liquéfié

Tep : Tonnes équivalent pétrole

PNB : Produit national brut