

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DE SCIENCES ALIMENTAIRES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Cheniki Sara

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES ALIMENTAIRES

Spécialité: Agroalimentaires et contrôle de qualité

THÈME

**Impact des eaux usées traitées sur le profil
nutritionnelle physico-chimiques et phytochimiques
de l'huile d'olive**

Soutenue publiquement le 21/09/2023

DEVANT LE JURY

| | | | |
|--------------|----------------------|-----------|---------------|
| Présidente | Pr BENAMAR N | Pr | U. Mostaganem |
| Encadreur | Dr BENABDELMOUMENE D | MCA | U. Mostaganem |
| Co-encadrant | Mr BENGUENNOUNA N | Doctorant | U. Mostaganem |
| Examineur | Dr AIT CHABANE O | MCA | U. Mostaganem |

Thème réalisé au

- *Laboratoire de Physiologie Animale Appliqué (LPAA)*
- *Laboratoire de Protection des Végétaux (LPV)*
- *Laboratoire de Technologie Alimentaire et Nutrition (LTAN)*
- *Laboratoire de l'Office Nationale D'assainissements (ONA)*

Remerciements

- ❖ *Je tiens à remercier dans premier temps, toute l'équipe pédagogique de l'Université Abdelhamid Ibn badais –Mostaganem, et les intervenants professionnels responsables de la formation de filière Sciences Alimentaires pour avoir assuré la partie théorique, et j'avais envie d'adresser mes sincères remerciements à ceux qui ont contribué à l'élaboration de mon mémoire.*
- ❖ *Je tiens tout particulièrement à vous remercier Dr «BENABDELMOUMENE Djilali », maître de conférence classe A, au département d'agronomie, directeur du laboratoire de physiologie animale appliquée (LPAA) pour avoir accepté de m'encadrer dans cette étude. Je la remercie pour votre implication, votre soutien et votre encouragements tout au long de ce travail, et avec qui j'ai établi une relation de confiance, et je te remercie mon encadrant pour m'avoir guidé et dirigé durant tout le long de mon travail.*
- ❖ *Je tiens à vous remercier personnellement mon Co-encadrant Mr «BENGUENNOUNA Nourddine» pour votre soutien et votre contribution à la réussite de mon mémoire. Votre expertise et votre engagement ont été des facteurs clés pour que je puisse atteindre mes objectifs académiques. Je tiens également à vous remercier pour le temps que vous avez consacré à la relecture de mon travail, ainsi que les commentaires et les suggestions constructives que vous m'avez apportés. Cela m'a permis d'améliorer la qualité de mon mémoire. Votre contribution m'a permis de mener à bien mon travail de recherche et d'atteindre mes objectifs académiques. Je suis fier d'avoir travaillé sous votre direction et je vous suis reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi. Votre soutien et votre expertise ont été inestimables pour moi et je vous en suis profondément reconnaissante.*
- ❖ *Mes vifs remerciements s'adressent aussi à Pr «BENAMAR Nardjess» au département des sciences de la mer qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma soutenance.*
- ❖ *Je remercie également les membranes de jury Dr «AIT CHABANE Ouiza » d'avoir accepté d'examiner mon travail.*
- ❖ *Mes remerciements à Pr « BOUZOUINA Mohamed » pour sa gentillesse et son aide.*
- ❖ *Mes remerciements s'adressent également à Dr « Zabouri.Y » le responsable de notre promotion.*
- ❖ *Je remercie tous les enseignants qui n'ont suivi le long de mes études.*
- ❖ *Merci à tous mes amis pour leurs encouragements et à toute la promo de deuxième Année Master Agroalimentaire et Contrôle de Qualité.*

Dédicace

Je tiens dédiée Ce travail

- ❖ *Aux personnes les plus chère à mon cœur et les plus proches d'eux est ma chère mère qui m'aide et soutenu sa supplication bénie a eu le plus grand impact sur la gestion du navire de recherche jusqu'à ce qu'il atterrisse sur cette image, à celle qui m'a soutenu et à suivi mes pas et a atténué les difficultés qui ont beaucoup souffert et enduré pour moi et ma position dans ce lieu n'aurait pas eu lieu sans ses encouragements constants et m'a apus que le monde est une lutte et son arme est la connaissance. Ma mère, qui était à la fois mère et père, toutes les phrases de gratitude, d'appréciation et de respect ne te suffissent pas. Ma chère maman, je te suis reconnaissant pour ton amour, tes encouragements, et tes sacrifiées.*
- ❖ *A mon très cher père pour tous ce qu'il a fait pour moi durant toutes mes Années d'étude, pour ses encouragements et ses orientations.*
 - ❖ *A mes trois chers frères et ma chère petite fille, Kenza.*
- ❖ *A tous les familles BENAOUA ET CHENIKI, mes amis surtout ma chère ami « ABDERRAHMANE MOUNA », « IDRIS BACHA ASMA » et « BENNOURRINE SOUMIA » et "ABED IKRM", mes collègues et tous ceux qui ont contribué ne serait –ce qu'une lettre à ma vie universitaire.*

Sarah

Résumé

L'eau est une matière indispensable à la vie, et de l'activité humaine. Devant la rareté de la ressource conventionnelle en eau, la mauvaise gestion des ressources en eau ainsi que la pollution causée par les rejets des eaux usées dans le milieu naturel, Les traitement des eaux usées est donc essentiel pour protéger le milieu naturel et pour créer des nouvelles ressources en eau et la réutilisation et la valorisation pour irrigation agricole. L'objectif de notre étude est d'évaluer et déterminer la qualité physicochimique et microbiologique des eaux usées traitées de la station de lagunage de Hadjadj (Mostaganem) avant et après le traitement, et déterminer l'effet d'irrigation par les eaux usées traitées de cette station sur la qualité physico-chimiques de l'huile d'olive.

D'après nos résultats, les résultats des analyses physicochimiques de l'eau usée traité : Volume épurée= 1991,33 (m³) ; DCO= 79,52 (mg/l) ; DBO5= 25,83 (mg/l) ; MES= 26,66 (mg/l) ; OD= 3,49 (mg/l) ; pH= 7,76 ; CE= 1559,83 (µs/cm) montrent que les valeurs obtenus respectent les normes demandées par l'OMS et la réglementation Algérienne (JORA, 2012) et peut être utilisée ce l'eau en irrigation agricole et ne présente aucun risque. Les résultats des paramètres microbiologiques montrent que ces eaux caractérisées par une contamination fécale (présence des coliformes totaux et fécaux <1000 CF/100ml), l'absence totale des germes pathogènes selon les normes Algériennes (JORA, 2012).

OID'après nos résultats, les échantillons présentent des valeurs physico-chimiques dans les plages acceptables, notamment pour l'indice d'acide, l'acidité, l'indice de peroxyde, l'indice d'iode, et d'autres paramètres. Les niveaux de pigments caroténoïdes, de chlorophylle, de polyphénols, et de flavonoïdes varient mais restent dans des limites raisonnables. Les échantillons d'huile affichent également des taux de matières grasses élevés et une activité antioxydante notable. Notre étude met en lumière l'importance de surveiller de près la qualité de l'eau d'irrigation, en particulier lorsque des eaux usées traitées sont utilisées. Les résultats indiquent que l'irrigation par les eaux usées traitées peut avoir un impact notable sur la qualité de l'huile d'olive

Mots Clés : Eau usée, eau puit, eau épurée, station de lagunage Hadjadj, irrigation, traitement, réutilisation, qualité, l'huile d'olive.

Abstract

Water is essential to life and human activity. Given the scarcity of conventional water resources, the poor management of water resources and the pollution caused by wastewater discharges into the natural environment, wastewater treatment is essential to protect the natural environment and to create new water resources for reuse and reclamation for agricultural irrigation. The aim of our study is to evaluate and determine the physicochemical and microbiological quality of treated wastewater from the Hadjadj lagooning (Mostaganem) plant before and after treatment, and to determine the effect of irrigation with treated wastewater from this plant on the physicochemical quality of olive oil.

According to our results, the physicochemical analyses of the treated wastewater were as follows : Purified volume= 1991,33 (m³) ; COD= 79,52 (mg/l) ; BOD₅= 25,83 (mg/l) ; TSS= 26,66 (mg/l) ; DO= 3,49 (mg/l) ; pH= 7,76±0,25 ; CE= 1559.83 (µs/cm) show that the values obtained comply with the standards required by the WHO and Algerian regulations (JORA, 2012) and can be used for agricultural irrigation without any risk. The results of the microbiological parameters show that these waters are characterized by fecal contamination (presence of total and fecal coliforms <1000 CF/100ml), the total absence of pathogenic germs according to Algerian standards (JORA, 2012).

According to our results, the samples show physico-chemical values within acceptable ranges, notably for acid value, acidity, peroxide value, iodine value, and other parameters. Levels of carotenoid pigments, chlorophyll, polyphenols, and flavonoids vary but remain within reasonable limits. The oil samples also showed high fat levels and notable antioxidant activity. Our study highlights the importance of closely monitoring irrigation water quality, particularly when treated wastewater is used. The results indicate that irrigation with treated wastewater can have a significant impact on olive oil quality.

Keywords : Wastewater, well water, purified water, Hadjadj lagooning plant, irrigation, treatment, reuse, quality, olive oil.

الماء مادة أساسية للحياة والنشاط البشري. في مواجهة ندرة موارد المياه التقليدية، وسوء إدارة الموارد المائية، فضلاً عن التلوث الناجم عن تصريف المياه العادمة في البيئة الطبيعية، فإن معالجة مياه الصرف الصحي ضرورية لحماية البيئة الطبيعية وإنشاء موارد مائية جديدة وإعادة استخدامها لتأمين الري الزراعي. الهدف من دراستنا هو تقييم وتحديد الجودة الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لمياه الصرف الصحي المعالجة من محطة بحيرة الحجاج (مستغانم) قبل وبعد المعالجة، وتحديد تأثير الري بمياه الصرف الصحي المعالجة من هذه المحطة على الجودة الفيزيائية والكيميائية لزيت الزيتون.

وفقاً لنتائجنا، فإن نتائج التحاليل الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف الصحي المعالجة: الحجم المنقى = 1991.33 (م³)؛ COD=79.52 (مغ/لتر)؛ BOD5= 25.83 (مغ/لتر)؛ MES = 26.66 (مغ/لتر)؛ التطوير التنظيمي = 0.82 (م/لتر)؛ الرقم الهيدروجيني = 7.76 ؛ CE = 1559.83 (ميكروثانية/سم) تشير إلى أن القيم التي تم الحصول عليها تحترم المعايير التي طلبتها منظمة الصحة العالمية واللوائح الجزائرية (JORA,2012) ويمكن استخدام هذه المياه في الري الزراعي ولا تشكل أي خطر. تظهر نتائج البارامترات الميكروبيولوجية أن هذه المياه تتميز بالتلوث البرازي (وجود القولونيات الكلية والبرازية <1000 CF/100ml)، والغياب التام للجراثيم المسببة للأمراض حسب المعايير الجزائرية (JORA, 2012).

ووفقاً للنتائج التي توصلنا إليها، فإن العينات لها قيم فيزيائية وكيميائية ضمن النطاقات المقبولة، بما في ذلك قيمة الحمض، والحموضة، وقيمة البيروكسيد، وقيمة اليود، وغيرها من المعالم. تختلف مستويات أصباغ الكاروتينات والكلوروفيل والبوليفينول والفلافونويد ولكنها تظل ضمن حدود معقولة. تُظهر عينات الزيت أيضاً مستويات عالية من الدهون ونشاطاً ملحوظاً مضاداً للأوكسدة. تسلط دراستنا الضوء على أهمية مراقبة جودة مياه الري عن كثب، خاصة عند استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة. تشير النتائج إلى أن الري بمياه الصرف الصحي المعالجة يمكن أن يكون له تأثير ملحوظ على جودة زيت الزيتون

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة، مياه الآبار، المياه النقية، محطة بحيرة الحجاج، الري، المعالجة، إعادة الاستخدام، الجودة، زيت الزيتون.

Liste d'abréviations

A : Acidité

AFIDOL: Association Française Interprofessionnelle de l'olive

AFNOR: Association Française de Normalisation

ASR : Anaérobies sulfitoréducteurs

CE : Conductivité électrique

CE : Commission Européenne

CF : Coliformes Fécaux

COI : Conseil oléicole international

CT : Coliformes Totaux

DBO5 : Demande Biochimique En Oxygène Pendant 5jours

DCO : Demande Chimique En Oxygène

DPPH : Diphenyl -2-Picryl-Hydrazyl

DRE : Direction Des Ressources En Eau

EUE : Eaux Usées Epurées

EUT : Eau Usée Traité

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Gélose S-S : Gélose Salmonella-Shigella

IA : Indice d'acide

Ii : Indice d'iode

Ip : Indice de peroxyde

IR : Indice de réfraction

Is : Indice de saponification

ISO : Organisation internationale de standardisation

J.O.R.A : Journal Officiel De La République Algérienne

K232 : coefficient d'extinction à 232

Liste d'abréviations

K270 : coefficient d'extinction à 270

MES : Matières en suspension

MM : Matière Minérale

MO : Matière Organique

MS : matière sèche

OD : Oxygène dissous

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONA : Office Nationale D'assainissements

ONFAA : Observatoire national des filières agricole et agroalimentaire

OOL: Dioléolinoléine.

OOO : Trioléine.

pH : Potentiel hydrogène

POL : Palmitooléolinoléine.

POO: Dioléopalmitine

PPSP : Produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels

REUE : Réutilisation des eaux usées épurées

SFB : Le bouillon au sélénite de sodium

SM : Solution Mère

SS : Gélose Salmonella-Shigella

STEP : Station d'épuration des eaux usées

TAG : Triacylglycérol : acides gras carboxyliques à longue chaîne

TBARS : Le Test de l'Acide thiobarbiturique Réactif Substances Réactives

VF : Gélose Viande-Foie

VRBG : Violet Red Bile Glucose

| | |
|--|-----------|
| Tableau01: Normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie (kraa , 2017) | 9 |
| Tableau 02 : Les valeurs limite des paramètres physicochimiques de rejet dans un milieu récepteur (JORA , 2012) | 9 |
| Tableau03 : Normes de rejets internationales (Mehammedia et al , 2020) et (Yadav et al , 2022) | 11 |
| Tableau04 : Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (paramètres microbiologiques) (JORA , 2012) | 28 |
| Tableau05: Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (paramètres physicochimiques) (JORA , 2012) | 29 |
| Tableau06: Répartition des quantités des EUT Par zone (ONA , 2019) | 32 |
| Tableau07: Réutilisation des eaux usées traité en agriculture en Algérie (ONA , 2019) | 33 |
| Tableau08: Composition en acides gras part chromatographique en phase gazeuse (COI , 2021) | 37 |
| Tableau09: Acidité des différentes variétés de l'huile d'olive | 45 |
| Tableau10: Indice de peroxyde de différentes variétés de l'huile d'olive | 46 |
| Tableau11: Coefficients d'extinction des différentes variétés de l'huile d'olive | 46 |
| Tableau12: Caractéristiques physico-chimiques de l'huile d'olive vierge (COI , 2015) | 47 |
| Tableau 13: Systèmes épuratoires à travers la wilaya (DRE de la wilaya de Mostaganem , 2018) | 51 |
| Tableau 14: Variations des valeurs moyennes du volume, des eaux brutes et épurées | 78 |
| Tableau 15: Variations des valeurs moyennes de la température, des eaux brutes et épurées | 79 |
| Tableau 16: Variations des valeurs moyennes de la DCO, des eaux brutes et épurées | 79 |
| Tableau 17: Variations des valeurs moyennes de la DBO5, des eaux brutes et épurées | 80 |

| | |
|---|-----------|
| Tableau 18: Variations des valeurs moyennes des MES, des eaux brutes et épurées | 81 |
| Tableau 19: Variations des valeurs moyennes d'oxygène dissous, des eaux brutes et épurées | 82 |
| Tableau 20 : Variations des valeurs moyennes de pH, des eaux brutes et épurées | 82 |
| Tableau 21 : Variations des valeurs moyennes de conductivité électrique, des eaux brutes et épurées | 83 |
| Tableau 22 : Les résultats de l'évaluation microbiologique des eaux usées épurées (CT) | 85 |
| Tableau 23 : Les résultats de l'évaluation microbiologique des eaux usées épurées (CF) | 85 |
| Tableau 24 : Les résultats de l'évaluation microbiologique des eaux usées épurées (Streptocoques fécaux) | 86 |
| Tableau 25 : Résultats de l'évaluation microbiologique des eaux usées épurées (Salmonelles) | 86 |
| Tableau 26 : Résultats de l'évaluation microbiologique des eaux usées épurées (ASR) | 87 |
| Tableau 27: Résultats de l'évaluation microbiologique des eaux usées épurées Staphylocoques (<i>Staphylococcus aureus</i>) | 87 |
| Tableau 28 : Résultats de l'indice d'acide des échantillons d'huile d'olive | 88 |
| Tableau 29 : Résultats de l'acidité libre des échantillons d'huile d'olive | 89 |
| Tableau 30 : Résultats de l'indice de saponification des échantillons d'huile d'olive | 90 |
| Tableau 31 : Résultats de l'indice de peroxyde des échantillons d'huile d'olive | 91 |
| Tableau 32 : Résultats de l'indice d'iode des échantillons d'huile d'olive | 92 |
| Tableau 33 : Résultats de l'indice de siccativité des échantillons d'huile d'olive | 93 |
| Tableau 34 : Résultats de l'indice de réfraction des échantillons d'huile d'olive | 94 |
| Tableau 35 : Résultats de teneur en caroténoïdes des échantillons d'huile d'olive | 94 |
| Tableau 36 : Résultats de teneur en chlorophylle des échantillons d'huile d'olive | 95 |
| Tableau 37 : Résultats de teneur en polyphénols des échantillons d'huile d'olive | 96 |

| | |
|---|------------|
| Tableau 38 : Résultats de teneur en flavonoïdes des échantillons d'huile d'olive | 97 |
| Tableau 39 : Résultats de l'extinction spécifique à K 270 | 98 |
| Tableau 40 : Résultats de l'extinction spécifique à K 232 | 98 |
| Tableau 41 : Résultats de la teneur en eau dans les échantillons d'huile d'olive | 99 |
| Tableau 42 : Résultats de la teneur en matière sèche dans les échantillons d'huile d'olive | 100 |
| Tableau 43 : Résultats de la teneur en matière minérale dans les échantillons d'huile d'olive | 101 |
| Tableau 44 : Résultats de la teneur en corps gras dans les échantillons d'huile d'olive | 102 |
| Tableau 45 : Résultats de l'activité antioxydante des échantillons d'huile d'olive (réduction du DPPH) | 103 |
| Tableau 46 : Résultats des valeurs TBARS (thiobarbituric acide réactive substances) des échantillons d'huile d'olive | 104 |

| | |
|---|-----------|
| Figure N°1: Principaux processus d'extraction de l'huile d'olive (Aggoun-Arhab, 2016) | 43 |
| Figure N°2: Situation géographique de Hadjadj (Google Earth, 2023) | 49 |
| Figure N°3: Situation géographique de la station d'épuration de Hadjadj | 50 |
| Figure N°4: Détermination de pH par pH-mètre (Photo originale, 2023) | 53 |
| Figure N°5: Détermination de MES par filtration (Photos originales, 2023) | 54 |
| Figure N°6: Détermination de MES par centrifugation (Photos originales, 2023) | 55 |
| Figure N°7: Détermination de DBO5 (Photos originales, 2023) | 55 |
| Figure N°8: Détermination de DCO (Photos originales, 2023) | 56 |
| Figure N°9: Détermination de l'oxygène dissous par oxymétrie (Photo originale, 2023) | 56 |
| Figure N°10: Mesure de la conductivité électrique par conductimètre | 57 |
| Figure N°11: Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide (Streptométrie) Test de présomption | 58 |
| Figure N°12: Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide (Streptométrie) Test de confirmation | 59 |
| Figure N°13: Recherche et dénombrement des coliformes totaux (Test présomptif) | 60 |
| Figure N°14: Recherche et dénombrement des coliformes fécaux : Recherche d' <i>Escherichia coli</i> (Test confirmatif) | 61 |
| Figure N°15: Recherche et dénombrement des spores d'anaérobies sulfitoréducteurs | 62 |
| Figure N°16: Détermination de l'indice d'acide et l'acidité (photos originales, 2023) | 65 |
| Figure N°17: Détermination de l'indice de saponification (Photos originales, 2023) | 66 |
| Figure N°18: Détermination de l'indice de peroxyde (Photo originale, 2023) | 67 |
| Figure N°19: Détermination de l'indice d'iode (Photos originales, 2023) | 68 |
| Figure N°20: Détermination de l'indice de siccativité (Photo originale, 2023) | 68 |

| | |
|--|-----------|
| Figure N°21: Détermination de l'indice de réfraction par réfractomètre (Photo originale, 2023) | 69 |
| Figure N°22: Détermination la teneur en caroténoïdes et chlorophylle (photos originale, 2023) | 70 |
| Figure N°23: Extraction des composés phénoliques (Photos originale, 2023) | 71 |
| Figure N°24: Dosage des polyphénols à longueur d'onde 760nm (photos originale, 2023) | 71 |
| Figure N°25: Courbe d'étannolage d'acide gallique | 72 |
| Figure N°26: Extraction et dosage des flavonoïdes à longueur d'onde 415nm (Photos originale, 2023) | 73 |
| Figure N°27: Courbe d'étannolage de quercétine | 73 |
| Figure N°28: Détermination de l'absorbance Ultra Violet (cuve en quartz) (photos originale, 2023) | 74 |
| Figure N°29: Détermination de taux d'humidité à 103°C et refroidissement au dessiccateur (photos originale, 2023) | 74 |
| Figure N°30: Détermination la teneur en corps gras par méthode de Soxhlet (photo originale, 2023) | 76 |
| Figure N°31: Dosage de l'activité antioxydant DPPH (photo originale, 2023) | 77 |

Table de matières

| | |
|------------------------------|---|
| Introduction générale | 1 |
|------------------------------|---|

Partie I : synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Connaissances sur les eaux usées

| | |
|--|----|
| 1. Définition des eaux usées | 5 |
| 2. Origine des eaux usées | 5 |
| 2.1 Eaux usées domestiques | 5 |
| 2.2 Eaux usées industrielles | 6 |
| 2.3 Eaux usées agricoles | 6 |
| 2.4 Eaux usées pluviales et de ruissellement | 7 |
| 3. Polluants des eaux usées | 7 |
| 3.1 Polluants physiques | 7 |
| 3.2 Polluants chimiques | 7 |
| 3.2.1 Métaux lourds | 7 |
| 3.2.2 Produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels(PPSP) | 7 |
| 3.2.3 Pesticides et les herbicides ou les produits chimiques agricoles | 8 |
| 3.2.4 Produits chimiques industriels | 8 |
| 3.2.5 Produits chimiques domestiques | 8 |
| 3.3 Polluants bactériologiques | 8 |
| 4. Composition des eaux usées | 8 |
| 5. Normes algériennes des rejets des eaux usées | 9 |
| 6. Normes internationales des rejets des eaux usées | 11 |

Chapitre 02 : Réutilisation des eaux usées épurées

| | |
|---|----|
| 1. Définition de réutilisation des eaux usées épurées | 12 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| 2. Objectif de réutilisation des eaux usées épurées | 12 |
| 3. Types de la réutilisation des eaux usées épurées | 12 |
| 3.1 Réutilisation directe | 12 |
| 3.2 Réutilisation indirecte | 12 |
| 4. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées | 13 |
| 5. Risques de la réutilisation des eaux usées épurées | 13 |
| 5.1 Risques chimiques | 13 |
| 5.1.1 Présence de polluants organiques | 13 |
| 5.1.2 Présence de métaux lourds | 13 |
| 5.1.3 Formation des sous-produits toxiques | 13 |
| 5.1.4 Produits pharmaceutiques | 14 |
| 5.1.5 Produits chimiques industriels | 14 |
| 5.1.6 Pesticides | 14 |
| 5.1.7 Virus et bactéries résistantes aux antibiotiques | 14 |
| 5.2 Risques microbiologiques | 14 |
| 5.2.1 Infections gastro-intestinales | 15 |
| 5.2.2 Maladies respiratoires | 15 |
| 5.2.3 Infections cutanées | 15 |
| 5.2.4 Parasites | 15 |
| 5.2.5 Antibiorésistance | 15 |
| 5.3 Risques environnementaux | 15 |
| 6. Voies de réutilisation des eaux usées épurées | 16 |
| 6.1 Secteur industriel (réutilisation industrielle) | 16 |

| | |
|---|----|
| 6.2 Secteur urbain et périurbain (la réutilisation pour un usage non alimentaire) | 16 |
| 6.3 Réutilisation pour un usage alimentaire (eau potable) | 17 |
| 6.4 Réutilisation agricole | 17 |
| 7. Traitement des eaux usées épurées | 17 |
| 7.1 Définition de traitements des eaux usées épurées | 17 |
| 7.2 Traitement préliminaire (prétraitement) | 18 |
| 7.2.1 Dégrillage | 18 |
| 7.2.2 Tamisage | 18 |
| 7.2.3 Dessablage | 19 |
| 7.2.4 Déshuilage et dégraissage | 19 |
| 7.3 Traitement primaire des eaux usées épurées (décantation primaire) | 19 |
| 7.4 Traitement secondaire des eaux usées | 19 |
| 7.4.1 Définition de traitement secondaire des eaux usées | 19 |
| 7.4.2 Voies de traitement secondaire des eaux usées | 20 |
| A. Traitement secondaire par voie biologique | 20 |
| B. Procédés alternatifs et extensifs | 20 |
| ➤ Procédés biologiques intensifs | 20 |
| Disques biologiques (cultures fixées) | 20 |
| Lits bactérien (cultures fixées) | 21 |
| Boues activées | 21 |
| ➤ procédée biologiques extensif | 21 |
| Lagunage | 21 |
| • Lagunage naturel | 21 |
| • Lagunage aéré | 22 |

| | |
|--|----|
| C. Traitement secondaire par voie physico-chimique | 22 |
| 7.5 Décantation secondaire des eaux usées | 22 |
| 7.6 Traitement tertiaire des eaux usées | 22 |
| 7.6.1 MES et matière organique | 23 |
| 7.6.2 Azote et phosphore | 23 |
| 7.6.3 Traitement bactériologique | 24 |
| 7.6.4 Traitement biologique par rayonnement UV | 24 |
| 7.6.5 Traitement par voie physico-chimiques | 24 |
| 7.7 Traitement quaternaire des eaux usées épurées | 24 |
| 7.8 Traitement des boues d'épuration | 25 |
| 7.8.1 Définition | 25 |
| 7.8.2 Incérotation ou décharge | 25 |
| 7.8.3 Production de biogaz | 25 |
| 8. Difficultés des traitements des eaux usées | 26 |
| 8.1 Dysfonctionnement de l'épuration | 26 |
| 8.2 Difficulté de valoriser certaines boues | 26 |
| 8.3 Traitement des odeurs | 26 |
| 9. Analyses de qualité des eaux usées épurées | 27 |
| 9.1 Analyses physico-chimiques | 27 |
| 9.2 Analyses microbiologiques | 27 |
| 10. Réglementation algérienne de la réutilisation des eaux usées épurées en l'irrigation | 27 |
| 10.1 Paramètres microbiologiques | 27 |
| 10.2 Paramètres physicochimiques | 29 |

| | |
|---|----|
| 11. Réutilisation des Eaux usées épurées pour L'irrigation en Algérie | 30 |
|---|----|

Chapitre 03 : La qualité de l'huile d'olive

| | |
|---|----|
| 1. Huile d'olive | 35 |
| 1.1 Définition de l'huile d'olive | 35 |
| 1.2 Catégories d'huile d'olive | 35 |
| A. Huiles d'olive vierges | 35 |
| a. Huiles d'olive vierges propres à la consommation en l'état | 35 |
| b. Huile d'olive vierge lampante (non propre à la consommation en l'état) | 35 |
| B. Huile d'olive raffinée | 35 |
| C. Huile de grignons d'olive | 36 |
| D. Huile d'olive | 36 |
| 1.3 Composition de l'huile d'olive | 36 |
| A. Fraction saponifiable | 36 |
| a. Acides gras | 36 |
| b. Triglycérides | 37 |
| B. Fraction insaponifiable | 38 |
| a. Pigments | 38 |
| Chlorophylle | 38 |
| Caroténoïdes | 38 |
| b. Composés phénoliques | 38 |
| Stérols | 39 |
| Tocophérols | 39 |
| Hydrocarbures | 39 |
| 1.4 Procédés de technologies d'extraction de l'huile d'olive | 40 |

| | |
|--|----|
| A. Récolte et transport et Réception et stockage des olives | 40 |
| B. Lavage et Effeuilage | 41 |
| C. Trituration et broyage | 41 |
| D. Malaxage | 41 |
| E. Extraction | 41 |
| a. Système d'extraction par pression (Procédés en discontinu) | 41 |
| b. Système d'extraction par centrifugation (Procédés en continu) | 41 |
| Procédé continu à deux phases | 42 |
| Procédé continu à trois phases | 42 |
| 1.5 La qualité de l'huile d'olive | 43 |
| A. Définition de la qualité de l'huile d'olive | 43 |
| B. Les critères de qualité de l'huile d'olive | 43 |
| a. Paramètres sensoriels | 44 |
| b. Caractéristiques physico- chimiques | 45 |
| Acidité | 45 |
| Indice de peroxyde | 45 |
| Extinction spécifique | 46 |
| Indice d'acide | 47 |
| Indice de saponification | 47 |
| Indice d'Iode | 47 |

Partie II : Méthodologie Expérimentale

Matériels et méthodes

| | |
|---|----|
| 1. Problématique | 48 |
| 2. Objectif | 48 |
| 3. Présentation de zone d'étude | 48 |
| Situation géographique de la commune de Hadjadj | 48 |

| | |
|--|----|
| Situation administrative | 49 |
| Aspect climatique | 49 |
| 4. Présentation de station d'épuration de Hadjadj | 50 |
| 5. Les systèmes épuratoires de la wilaya de Mostaganem | 50 |
| I. Analyses physicochimiques et microbiologiques des eaux usées traitées | 52 |
| Échantillonnage | 52 |
| Prélèvement des échantillons d'eau | 52 |
| A. Analyses physicochimiques | 52 |
| 1. Température (T) | 52 |
| 2. Potentiel hydrogène (pH) | 53 |
| 3. Matières en suspension (MES) | 53 |
| Par filtration | 53 |
| Par centrifugation | 54 |
| 4. Demande biologique en oxygène (DBO5) | 55 |
| 5. Demande chimique en oxygène (DCO) | 55 |
| 6. Détermination de l'oxygène dissous (OD) | 56 |
| 7. Mesure de la conductivité électrique (CE) | 57 |
| B. Analyses bactériologiques | 57 |
| 1. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux | 57 |
| 2. Recherche et dénombrement des coliformes | 60 |
| 3. Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs | 62 |
| 4. Recherche et dénombrement de staphylocoques (staphylococcus aureus) | 63 |
| 5. Recherche de coliformes fécaux et totaux par milieu VRBG | 63 |
| 6. Recherche des salmonelles | 63 |

| | |
|--|----|
| II. Analyses physicochimiques de l'huile d'olive | 64 |
| Echantillonnage | 64 |
| 1. Indice d'acide | 64 |
| 2. Indice de saponification | 65 |
| 3. Indice de peroxyde | 66 |
| 4. Indice d'iode | 67 |
| 5. Indice de siccativité | 68 |
| 6. Indice de réfraction | 69 |
| 7. Détermination de teneur en caroténoïdes | 69 |
| 8. Détermination de teneur en chlorophylle | 70 |
| 9. Détermination la teneur en polyphénols | 70 |
| 10. Détermination la teneur en flavonoïdes | 72 |
| 11. Absorbance en ultra-violet (Extinction spécifique) | 73 |
| 12. Taux d'humidité | 74 |
| 13. Matière minérale | 75 |
| 14. Matière sèche | 75 |
| 15. Teneur en corps gras | 75 |
| 16. Activité antioxydant | 76 |
| 17. TBARS | 77 |

Résultats et discussions

| | |
|---|----|
| I. Résultats des analyses physicochimiques de l'eau usée brute et l'eau usée épurée | 78 |
| 1. Volume Brute et Volume Epurée | 78 |
| 2. Température (T) | 79 |
| 3. Demande chimique en oxygène (DCO) | 79 |
| 4. Demande biologique en oxygène (DBO5) | 80 |

Table de matières

| | |
|--|----|
| 5. Matières en suspension (MES) | 81 |
| 6. Oxygène dissous (OD) | 81 |
| 7. Potentiel hydrogène (pH) | 82 |
| 8. Conductivité Electrique (CE) | 83 |
| II. Résultats des analyses microbiologiques des eaux usées épurées (EUP) | 84 |
| 1. Les coliformes Totaux (CT) | 84 |
| 2. Les coliformes fécaux (CF) | 85 |
| 3. Les streptocoques fécaux | 86 |
| 4. les salmonelles | 86 |
| 5. Clostridium sulfito- réducteurs | 87 |
| 6. Staphylocoques (<i>Staphylococcus aureus</i>) | 87 |
| III. Résultats des analyses physico-chimiques de l'huile d'olive | 88 |
| 1. Indice d'acide (IA) | 88 |
| 2. Acidité (A) | 89 |
| 3. Indice de saponification (Is) | 89 |
| 4. Indice de peroxyde (Ip) | 91 |
| 5. Indice d'iode (Ii) | 92 |
| 6. Indice de siccativité | 93 |
| 7. Indice de réfraction (IR) | 94 |
| 8. Détermination de teneur en caroténoïdes | 94 |
| 9. Détermination de teneur en chlorophylle | 95 |
| 10. Détermination la teneur en polyphénols | 96 |
| 11. Détermination la teneur en flavonoïdes | 97 |
| 12. Absorbance en ultra-violet | 98 |
| Extinction spécifique K270 | 98 |

Table de matières

| | |
|------------------------------------|-----|
| Extinction spécifique K232 | 98 |
| 13. Taux d'humidité | 99 |
| 14. Matière sèche | 100 |
| 15. Matière minérale | 101 |
| 16. Teneur en corps gras | 102 |
| 17. Activité antioxydant (DPPH) | 103 |
| 18. TBARS | 103 |
| Conclusion générale | 105 |
| Références bibliographiques | 107 |
| Annexes | |

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus importantes pour toute vie sur terre, mais les réserves d'eau douce dans le monde représentent moins de 3 % de l'eau totale, et la pression sur ces ressources augmente à mesure que la densité de population continue d'augmenter (**Kama et al.**, 2023). L'Algérie est l'un des pays de la méditerranée touchés par le stress hydrique. Elle est classée dans la catégorie des pays pauvres en cette matière, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé à 1000 m³ /hab. /an (**Bouchaala et al.**, 2017).

La raréfaction des ressources en eau et la dégradation de leur qualité sont un défi majeur pour le XXI^e siècle. Les pays, qui possèdent des réserves en eau importantes, semblent favorisés. Cependant, de même que la plupart des pays industrialisés consomment beaucoup d'eau, et la qualité de ses rivières et de ses nappes phréatiques n'est pas toujours bon. Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La réutilisation des eaux usées traitées recouvre deux notions : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées traitées. Les eaux usées sont celles rejetées par les collectivités, les industries et les particuliers, puis collectées et acheminées par les réseaux d'égouts vers les stations de traitement des eaux usées afin d'y être traitées. Ce n'est qu'à la fin de ces traitements qu'on les appelle eaux usées traitées. La REUT propose de récupérer ces eaux usées traitées, de leur apporter éventuellement un traitement complémentaire et de s'en servir pour différents usages. La REUT recouvre deux notions : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées traitées. Les eaux usées sont celles rejetées par les collectivités, les industries et les particuliers, puis collectées et acheminées par les réseaux d'égouts vers les stations de traitement des eaux usées afin d'y être traitées. Ce n'est qu'à la fin de ces traitements qu'on les appelle eaux usées traitées. La REUT propose de récupérer ces eaux usées traitées, de leur apporter éventuellement un traitement complémentaire et de s'en servir pour différents usages.

L'Algérie est caractérisée par un climat semi-aride à aride. Le pays souffre d'un manque de précipitations et d'une mauvaise répartition temporelle et spatiale. Les contraintes climatiques, les sécheresses qui sévissent dans notre pays depuis des années, la croissance démographique, les mutations économiques et sociales provoquent de nouvelles augmentations de la demande en eau. Malheureusement, comme l'eau de la planète Terre est à 97,2 % salée, et que l'eau douce ne représente que 2,8 % de l'eau totale du globe, l'eau devient donc une ressource précieuse. Plus d'un milliard de personnes n'ont pas toujours accès à l'eau potable et plus de

Introduction générale

50 pays sont menacés par la pénurie d'eau potable à l'horizon de l'année 2025 (**Habibi et al.**, 2018).

La pénurie d'eau reste aussi un problème majeur pour la production agricole mondiale. À titre d'exemples, avec 70 % de la consommation mondiale d'eau en moyenne, l'agriculture est le secteur d'activité le plus consommateur d'eau (**Santos et al.**, 2023). Actuellement, l'Algérie compte 134 stations d'épuration (STEP et lagunes) en fonctionnement avec une capacité installée estimée à 12 millions de m³ équivalent-habitant (EQH) soit 800 hm³/an, par rapport à un volume d'eau rejetée estimé à 1,4 milliard de m³/an. Une partie conséquente du volume épuré est réutilisée pour l'irrigation. D'ici 2025, 56 autres stations seront reçues, ce qui portera le nombre de stations d'épuration à plus de 200 (**Bouchentouf et Benabdeli**, 2021). Les eaux usées sont riches en potassium, en azote et en micronutriments. Par conséquent, l'irrigation par les eaux usées réduit le besoin d'engrais chimiques. Dans le domaine de la production agricole, les eaux usées municipales traitées ont été utilisées pour irriguer les forêts et les cultures horticoles. Cette réutilisation a été observée dans de nombreux pays (**Sdiri et al.**, 2023).

Aujourd'hui, le traitement des eaux usées est donc essentiel pour protéger le milieu naturel et augmenter les ressources en eau (**Bissati et al.**, 2022). En Algérie, l'olivier est une culture importante dans certaines régions, notamment dans les régions arides et semi-arides (**Rezgui et Benabdeli**, 2021). L'irrigation est donc nécessaire pour assurer une production optimale d'olive et l'huile d'olive. Cependant, l'eau étant une rare dans ces régions, l'utilisation d'eaux usées traitées pour l'irrigation est de plus en plus courante (**Marzoug et al.**, 2020). L'utilisation des eaux usées pour l'irrigation peut avoir des effets négatifs sur la qualité de l'huile d'olive produite en Algérie. Les eaux usées contiennent des contaminants tels que des métaux lourds, des pesticides, des bactéries et des virus qui peuvent s'accumuler dans les sols et les plantes irriguées. Ces contaminants peuvent altérer la qualité de l'huile d'olive en modifiant sa Composition chimique (**Baydoun et al.**, 2021). Cependant, l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation peut être controversée, car il existe des risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Les contaminants peuvent être présents dans les eaux usées traitées malgré le traitement et l'irrigation avec ses eaux peut entraîner l'accumulation de métaux lourds et de produits chimiques dans le sol et les cultures (**UNEP et GPA**, 2017). Pour minimiser les effets négatifs de l'irrigation avec des eaux usées, des mesures doivent être prises. Tout d'abord, la qualité des eaux usées doit être surveillée régulièrement pour s'assurer qu'elles répondent aux normes sanitaires et environnementales. Ensuite, des pratiques de gestion durable de l'eau doivent être mises en place pour minimiser

Introduction générale

l'accumulation de contaminants dans les sols et les plantes irriguées (**Dimitris et al.**, 2020). Les autorités algériennes doivent mettre en place des réglementations pour surveiller la qualité des eaux usées et garantir que les normes sanitaires et environnementales sont respectées pour protéger la santé publique et préserver la qualité de l'huile d'olive produite en Algérie. Des pratiques d'irrigation alternatives, telles que l'utilisation de l'eau de pluie ou des techniques d'irrigation plus efficaces, devraient également être envisagées pour réduire l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation des cultures, y compris les oliviers (**Paolo et al.**, 2018).

L'olive et son huile ont toujours été les composants clés du régime méditerranéen pendant très longtemps, en raison de leur haute qualité nutritionnelle et de leurs effets positifs sur la santé (**Storniolo et al.**, 2017). Les huiles d'olive vierges sont les huiles obtenues du fruit de l'olivier uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques dans des conditions thermiques qui n'entraînent pas d'altérations et n'ayant subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration. Elles sont composées d'une fraction saponifiable et une fraction insaponifiable représentée principalement par des composés phénoliques (**Lama et al.**, 2017). Si les acides gras sont les constituants majeurs de l'huile d'olive, ce sont les constituants mineurs qui permettent son authentification, tant sur le plan de la provenance géographique que sur sa qualité physico-chimique (**Bouskou**, 2015). Cette fraction dite mineure est constituée d'une large gamme de métabolites secondaires qui contribuent à la saveur, à la stabilité et à la valeur nutritionnelle de l'huile. La présence, le profil et le contenu de ces micronutriments fonctionnels dans les olives se reflètent dans l'huile correspondante. Ce profil est conditionné par le cultivar d'olive, les conditions génétiques et pédoclimatiques, mais aussi par la maturité des olives et les techniques d'extraction et de conservation de l'huile. La composition distincte de l'huile d'olive lui confère un nombre illimité de bienfaits sur la santé humaine qui peuvent aller de plusieurs activités biologiques et propriétés pharmaco-nutritionnelles jusqu'à la protection contre différents cancers passant par des effets cardioprotecteur et immun-modulateur (**Romani et al.**, 2019). Bien qu'elle ne contribue qu'à environ 3 % du marché mondial des huiles végétales alimentaires, l'huile d'olive fait l'objet d'un intérêt croissant de la part de nouveaux pays, notamment grâce aux résultats des recherches scientifiques qui confirment les caractéristiques positives de cet « or liquide » et sa place fondamentale dans la diète méditerranéenne. De nos jours, l'oléiculture présente sur les cinq continents permet la production de l'huile d'olive au niveau de 56 pays dans le monde avec une production mondiale estimée à 3,1 millions de tonnes pour la campagne 2019/2020 (**COI**, 2020b). En

Introduction générale

Algérie, L'oléiculture est l'un des secteurs stratégiques et l'huile d'olive est un trésor national d'utilité publique et un précieux carburant pour l'économie. De ce fait, c'est grâce aux efforts constants des pouvoirs publics qui ont déployé énormément de moyens pour développer la filière oléicole, et ce à partir des années 2000. À partir de là, la production de l'huile d'olive a été croissante pour enregistrer le niveau le plus élevé ces cinq dernières années et atteindre en 2020 les allants tours de **120000 tonnes (Fraihat et al., 2017) et (FAOSTAT, 2020)** classant ainsi l'Algérie à la septième place des producteurs mondiaux et la troisième Africaine après la Tunisie et le Maroc avec 1,7% de la production mondiale **(COI, 2020a) et (FAOSTAT, 2020)**. L'Algérie a fait également beaucoup de progrès dans le but d'améliorer la quantité de production et la qualité des huiles vierges et vierges extra d'où elle à gagner deux médailles d'or et deux titres gourmets pour leurs huiles d'olive **(AVPA, Paris 2020)** dans le 18^e Concours international des huiles à Paris. L'olivier et l'huile d'olive ont une longue histoire en Algérie, remontant à l'époque romaine où ils étaient cultivés pour leur valeur économique et leur importante culinaire. Aujourd'hui, l'Algérie est l'un des plus grands producteurs d'huile d'olive en Afrique, avec une production annuelle qui avoisine les 80000 tonnes **(Ouali et al., 2019)**. L'huile d'olive algérienne est connue pour sa qualité et son gout unique, qui varient en fonction de la région de production et des techniques de fabrication, et la source d'irrigation utilisée. L'huile d'olive est également utilisée à des fins médicinales et cosmétiques en Algérie **(Benkhaled et al., 2021) et (Meklati et al., 2019)**.

L'objectif de cette étude consiste à suivre la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux usées domestiques collectées et traitées au niveau de la station d'épuration de Hadjadj pour une éventuelle réutilisation des eaux traitées dans le domaine de l'agriculture (nous avons évalué l'influence de l'irrigation avec des eaux usées traitées sur la qualité physicochimique de l'huile d'olive).

Partie I : synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Connaissances sur les eaux usées

1. Définition des eaux usées

La pollution de l'eau s'entend comme une modification défavorable ou nocive des propriétés physico-chimiques et biologiques, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit. Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées en substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Les eaux usées englobent également les eaux de pluie et leur charge polluante, elles également au milieu récepteur toutes sortes de pollution de nuisance. Les eaux usées sont le résultat de l'utilisation de l'eau par les activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles, ou agricoles (UNESCO, 2017). Ces eaux contiennent des polluants qui peuvent être nocifs pour la santé humaine et l'environnement s'ils ne sont pas correctement traités.

2. Origine des eaux usées

Les eaux usées quelle que soit leur origine, sont généralement chargées en éléments indésirables, qui selon leur quantité et selon leur composition, représentent un danger réel pour les milieux récepteurs ou leurs utilisateurs. L'élimination de ces éléments toxiques exige de concevoir une chaîne de traitement. Toute fois, avant de concevoir tout procédé d'épuration, il est impératif de caractériser l'effluent à traiter, quantitativement et qualitativement. Les eaux usées sont celles qui sont rejetées après leurs utilisations. Suivant l'origine des polluants, on distingue quatre catégories d'eaux usées :(Boukary, 2018 ; Koul *et al.*, 2022).

2.1 Eaux usées domestiques

Les eaux usées d'origine domestiques sont issues de l'utilisation de l'eau par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers. Lorsque les habitations sont en zone d'assainissement collectif, les eaux domestiques se retrouvent dans les égouts. On distingue généralement deux types d'eaux usées domestiques qui arrivent toutes deux dans le réseau d'assainissement : les eaux vannes : les eaux des toilettes, les eaux grises : les autres usages « lave-linge, lave-vaisselle, douche, bain, etc (EPA, 2017 ; Koul *et al.*, 2022).

2.2 Eaux usées industrielles

Elles ont une composition très différente de celle des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Certaines d'entre elles nécessitent un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles ne sont mêlées aux eaux domestiques que si elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent fonctionnement des usines de dépollution. Les eaux industrielles, quant à elles, proviennent des activités industrielles et peuvent contenir une large gamme de contaminants chimiques et biologiques (WHO, 2018). Les eaux usées industrielles sont des rejets aqueux rejetés par les industries. Les industries ont besoin d'eau pour la fabrication, la transformation, le refroidissement, la dilution, le lavage ou le transport du produit. Les eaux usées des industries charrient des matières en suspension ou dissoutes rejetées lors du traitement industriel (Bijekar *et al.*, 2022).

2.3 Eaux usées agricoles

Ce sont des eaux qui ont été polluées par des substances utilisées dans le domaine agricole. Dans le contexte d'une agriculture performante et intensive, l'agriculture est conduite à utiliser divers produits d'origine industrielle ou agricole dont certains présentent ou peuvent présenter, des risques pour l'environnement et plus particulièrement pour la qualité des eaux. Il s'agit principalement : des fertilisants : engrais minéraux du commerce ou déjections animales produites ou non sur l'exploitation. Des produits phytosanitaires : herbicides, fongicides, insecticide. Au cours des cinquante dernières années, les surfaces irriguées au monde ont plus que doublé, le cheptel total a plus que triplé, et l'aquaculture en eaux intérieures a été multipliée plus de vingt fois. La pollution hydrique en provenance de l'agriculture reproduit quand les engrais (nutriments) et autres produits agrochimiques sont appliqués de façon plus abondante que ce que les cultures peuvent absorber, ou quand ils sont emportés par la pluie. Des systèmes d'irrigation efficaces peuvent considérablement réduire les pertes d'eau et d'engrais. Les nutriments peuvent également être émis par la production de bétail et l'aquaculture. L'agriculture peut être une source de nombreux autres types de polluants, et notamment la matière organique, les agents pathogènes, les métaux et des contaminants émergents. Au cours des 20 dernières années, de nouveaux polluants agricoles sont apparus, tels que les antibiotiques, les vaccins, les facteurs de croissance et les hormones,

qui peuvent être émises par les élevages et les exploitations d'aquaculture (UNESCO, 2017 ; Parlakidis *et al.*, 2023).

2.4 Eaux usées pluviales et de ruissellement

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés les polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluie, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (Suits *et al.*, 2023).

3. Polluants des eaux usées

3.1 Polluants physiques

Les polluants physiques dans les eaux usées peuvent inclure des particules en suspension, des solides dissous, des sédiments, des débris et des matériaux solides tels que les déchets plastiques, ainsi que des produits chimiques toxiques qui peuvent causer des dommages physiques à l'écosystème aquatique et à l'environnement général (Raut *et al.*, 2019).

3.2 Polluants chimiques

3.2.1 Métaux lourds

Ces éléments tels que le plomb, mercure, le cadmium, le cuivre, le zinc et l'arsenic peuvent être toxiques pour les organismes vivants, à des concentrations faibles. Les sources de métaux lourds dans les eaux usées peuvent inclure les rejets industriels, les produits chimiques ménagers et les produits de traitement de l'eau (Shoushtarian et Negahban-Azar, 2020).

3.2.2 Produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels (PPSP)

Ces produits comprennent les médicaments sur ordonnance et en vente libre, les cosmétiques, les produits de soins personnels et de nettoyage. Les PPSP peuvent être rejetés dans les eaux usées par les toilettes et les éviers, et ont été détectés dans les eaux usées traitées et les eaux de surface (Hua et Reckhow, 2014).

3.2.3 Pesticides et les herbicides ou les produits chimiques agricoles

Ces produits chimiques sont utilisés pour tuer les insectes et les mauvaises herbes dans l'agriculture et l'aménagement paysager. Les pesticides et les herbicides peuvent être transportés dans les eaux de surface par ruissellement, et peuvent également être rejetés dans les eaux usées par les industries agricoles et les particuliers (**Simon et Burns**, 2016).

3.2.4 Produits chimiques industriels

Les eaux usées peuvent contenir une variété de produits chimiques provenant des industries, tels que les solvants, les hydrocarbures, les composés organiques volatils (COV) et les métaux lourds. Ces produits chimiques peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques et s'accumuler dans les sédiments des cours d'eau (**Meena et Ganguly**, 2017).

3.2.5 Produits chimiques domestiques

Tels que les produits de nettoyage et les cosmétiques, peuvent également se retrouver dans les eaux usées et avoir des effets sur l'environnement et la santé humaine (**Zhang et al.**, 2018).

3.3 Polluants bactériologiques

Sont des microorganismes qui peuvent causer des maladies chez l'homme et les animaux. Les pathogènes les plus courants incluent les bactéries *E. coli*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Shigella*, *Vibrio cholerae*, ainsi que les virus comme les norovirus et les rotavirus. Ces microorganismes peuvent être introduits dans les eaux usées à partir de sources diverses telles que les eaux usées domestiques, les déchets des animaux, les industries agroalimentaires, les hôpitaux et les centres de soins. La présence de ces polluants dans les eaux usées peut avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et l'environnement (**Jiajia et al.**, 2021).

4. Composition des eaux usées

Les eaux usées sont généralement composées d'une grande variété de contaminants, y compris des matières organiques par exemple (des restes alimentaires, des excréments humains et animaux), des nutriments comme (l'azote et phosphore), des produits chimiques industriels, des métaux lourds, des médicaments et des produits de soins personnels. Les eaux usées contiennent également des microorganismes, tels que des bactéries, des virus et des parasites. La composition exacte des eaux usées varie considérablement en fonction de la source par exemple (résidentielle, industrielle, ou agricole), du temps de rétention dans les

conduits d'égout et des processus de traitement des eaux usées utilisés. Par conséquent, les études de composition des eaux usées peuvent se concentrer sur des contaminants spécifiques, des sources particulières ou des processus de traitement (Wang *et al.*, 2020).

5. Normes algériennes des rejets des eaux usées

Les normes algériennes de rejet des eaux usées sont regroupées dans les tableaux 01 et 02.

Tableau01: Normes de rejet des eaux usées appliquées en Algérie (kraa, 2017).

| Paramètres | Normes algériennes |
|------------------|--------------------|
| T (°C) | 30 |
| pH | 6,5-8,5 |
| O2 (mg/l) | 5 |
| DBO5 (mg/l) | 30 |
| DCO (mg/l) | 90 |
| MES (mg/l) | 30 |
| azote (mg/l) | 30 |
| Phosphate (mg/l) | 0,2 |

Tableau 02 : Les valeurs limite des paramètres physicochimiques de rejet dans un milieu récepteur (JORA, 2012).

| Les paramètres | Valeurs limites | Unités |
|------------------|-----------------|--------|
| Température | 30 | °C |
| pH | 6,5 à 8,5 | - |
| MES | 30 | mg/l |
| DBO5 | 30 | mg/l |
| DCO | 90 | mg/l |
| Azote | 30 | mg/l |
| Phosphates | 02 | mg/l |
| Phosphore totale | 10 | mg/l |
| Cyanures | 0,5 | mg/l |
| Aluminium | 20 | mg/l |

| | | |
|------------------------------------|--------------|-------------|
| Cadmium | 0,05 | mg/l |
| Fer | 20 | mg/l |
| Manganèse | 10 | mg/l |
| Mercure total | 0,01 | mg/l |
| Nickel total | 2 | mg/l |
| Plomb total | 10 | mg/l |
| Cuivre total | 5 | mg/l |
| Zinc total | 10 | mg/l |
| Huiles et grasses | 20 | mg/l |
| Hydrocarbures totaux | 10 | mg/l |
| Indice phénols | 0,002 | mg/l |
| Fluor et composés | 15 | mg/l |
| Étain total | 0,2 | mg/l |
| Composés organiques chlorés | 05 | mg/l |
| Chrome total | 0,5 | mg/l |
| (*) Chrome III+ | 03 | mg/l |
| (*) Chrome VI+ | 0,1 | mg/l |
| (*) Solvants organiques | 20 | mg/l |
| (*) Chlore actif | 01 | mg/l |
| (*) PCB | 0,001 | mg/l |
| (*) Détergents | 02 | mg/l |
| (*) Tensioactifs anioniques | 10 | mg/l |
| Sélénium | 0,02 | mg/l |
| Vanadium | 1 | mg/l |
| Molybdène | 0,05 | mg/l |
| Lithium | 2,5 | mg/l |
| Béryllium | 0,5 | mg/l |
| Bore | 2 | mg/l |
| Cobalt | 5 | mg/l |
| Arsenic | 2 | mg/l |

6. Normes internationales des rejets des eaux usées

Il existe plusieurs normes internationales concernant les rejets des eaux usées. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont présentées dans le tableau03.

Tableau03 : Normes de rejets internationales (Mehammedia *et al*, 2020 ; Yadav *et al*, 2022).

| Caractéristiques | Normes utilisés par l'OMS |
|------------------|---------------------------|
| PH | 6,5-8,5 |
| DCO (mg/l) | <90 |
| DBO5 (mg/l) | <30 |
| MES (mg/l) | <20 |
| NH4+ (mg/l) | <0,5 |
| NO3- (mg/l) | <1 |
| P2O5 (mg/l) | <1 |
| NO2- (mg/l) | 1 |
| Température | <30 |
| Couleur | Incolore |
| Odeur | Incolore |

Chapitre 02 : Réutilisation des eaux usées épurées

1. Définition de réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées épurées consiste à traiter les eaux usées pour éliminer les impuretés et les contaminants, puis à les réutiliser à diverses fins, telles que l'irrigation, la recharge des nappes phréatiques, la production d'énergie et d'autres utilisations industrielles (Ahmed et Ahmed, 2018 ; Tawfik *et al.*, 2019).

2. Objectif de réutilisation des eaux usées épurées

L'objectif de la réutilisation des eaux usées épurées est de récupérer les eaux usées traitées pour les utiliser à nouveau à différentes fins telles que l'irrigation agricole, l'arrosage des espaces verts, l'agriculture, l'industrie ou même la consommation humaine, dans le but de réduire la demande en eau douce et de protéger les ressources en eau et assurer la protection de l'environnement et de la santé publique. En effet, la réutilisation des eaux usées traitées peut améliorer la production agricole, diminuer la consommation d'énergie associée à la production / traitements / distribution de l'eau et réduire les problèmes environnementaux en réduisant les charges de nutriments dans les eaux réceptrices (Al-Mutaz *et al.*, 2021 ; Santos *et al.*, 2023).

3. Types de la réutilisation des eaux usées épurées

3.1 Réutilisation directe

La réutilisation directe des eaux usées épurées implique l'utilisation directe des eaux traitées pour un usage non potable, comme l'irrigation agricole, l'irrigation paysagère, le nettoyage des rues, le lavage des voitures, le refroidissement des centrales électriques et autres usages industriels. La qualité d'eau doit être adaptée à l'usage prévu, en fonction des exigences sanitaires, environnementales et économiques (Brink *et al.*, 2017).

3.2 Réutilisation indirecte

La réutilisation indirecte des eaux usées épurées consiste à utiliser les eaux traitées pour recharger les nappes phréatiques ou pour fournir de l'eau de surface, qui peut ensuite être traitée pour une utilisation potable. Dans cette approche, les eaux usées épurées sont généralement traitées pour éliminer les contaminants organiques et inorganiques et les micro-organismes, puis infiltrées dans le sol pour recharger les nappes phréatiques ou pour fournir de l'eau de surface, qui peut ensuite être traitée pour une utilisation potable. Les eaux de

surface peuvent également être rechargées en utilisant des bassins d'infiltration ou des lagunes de retenue (**Ghimire et al.**, 2017).

4. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées

- Les avantages de la réutilisation des eaux usées épurées sont :
 - Réduction de la demande en eau douce
 - Durabilité
 - Productivité agricole
 - Réduction des coûts
 - Amélioration de qualité de sol
 - Augmentation de la sécurité de l'approvisionnement en eau
 - Protection de l'environnement
 - Réduction de l'empreinte écologique (**Lui et Temimi**, 2018).

5. Risques de la réutilisation des eaux usées épurées

5.1 Risques chimiques

Les risques chimiques associés à la réutilisation des eaux usées épurées peuvent être les suivants :

5.1.1 Présence de polluants organiques

Les eaux usées épurées peuvent contenir des résidus de produits pharmaceutiques, d'hormones, de pesticides, de solvants, d'hydrocarbures, de produits industriels, etc. qui peuvent être toxiques pour la santé humaine et l'environnement (**Xiong et al.**, 2021 ; **Ali et shaaban**, 2021).

5.1.2 Présence de métaux lourds

Les eaux usées épurées peuvent contenir des métaux lourds tels que le plomb, le mercure, le cadmium, l'arsenic, etc. Qui peuvent être toxiques pour la santé humaine et l'environnement (**Singh et Kumar**, 2021 ; **Lui et al.**, 2021).

5.1.3 Formation des sous-produits toxiques

Lors de la désinfection des eaux usées épurées, des sous-produits toxiques tels que les trihalométhanes (THM), les acides haloacétiques (AHA) et les acides nitreux peuvent se former (**Zhang et al.**, 2021 ; **Triantafyllidou et Drikas**, 2021).

5.1.4 Produits pharmaceutiques

Les eaux usées épurées peuvent contenir des résidus de médicaments, tels que des antibiotiques, des analgésiques, des hormones et des produits de contraste radiologique. Ces produits pharmaceutiques peuvent être absorbés par les plantes irriguées avec ces eaux usées épurées, ce qui peut entraîner des risques pour la santé humaine, tels que des effets sur la santé endocrinienne et la résistance aux antibiotiques (**Liu et al.**, 2021).

5.1.5 Produits chimiques industriels

Les eaux usées épurées peuvent également contenir des produits chimiques industriels, tels que des solvants, des métaux lourds et des produits chimiques utilisés dans la production de plastiques et de textiles. Ces produits chimiques peuvent contaminer les cultures irriguées avec ces eaux usées épurées, ce qui peut entraîner des risques pour la santé humaine et animale, tels que des effets cancérigènes et neurotoxiques (**Al-Rubaei et al.**, 2021).

5.1.6 Pesticides

Les eaux usées épurées peuvent contenir des résidus de pesticides qui peuvent être absorbés par les cultures irriguées avec ces eaux usées épurées. Cela peut entraîner des risques pour la santé humaine, tels que des effets neurotoxiques et des effets sur la santé endocrinienne (**Oron et Gillerman**, 2020).

5.1.7 Virus et bactéries résistantes aux antibiotiques

Les eaux usées épurées peuvent contenir des virus et des bactéries résistantes aux antibiotiques, qui peuvent être transmis aux humains et aux animaux par le biais des cultures irriguées avec ces eaux usées épurées (**Olmez-Hanci et Demirer**, 2021).

En conclusion, la réutilisation des eaux usées épurées peut présenter des risques chimiques pour la santé humaine et l'environnement en raison de la présence de divers contaminants résiduels. Il est donc important de mettre en place des mesures de traitement adéquates pour éliminer ces contaminants avant la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture (**Verlicchi et al.**, 2019 ; **Ahmed et Ibrahim**, 2020).

5.2 Risques microbiologiques

La REUE peut présenter des risques microbiologiques pour la santé humaine. Ces risques sont liés à la présence de micro-organismes pathogènes dans l'eau, tels que des virus, des bactéries

et des parasites. Les risques microbiologiques associés à la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation et d'autres usages peuvent être divers et comprennent notamment : (Ahmed *et al.*, 2021).

5.2.1 Infections gastro-intestinales

Les eaux usées épurées peuvent contenir des bactéries pathogènes telles qu'Escherichia coli, Salmonella, Campylobacter et des virus tels que Norovirus et Hépatite A. L'ingestion de ces pathogènes peut causer des infections gastro-intestinales, telles que la diarrhée, les vomissements, la fièvre et la déshydratation (Ahmed *et al.*, 2021).

5.2.2 Maladies respiratoires

Les micro-organismes présents dans l'eau, tel que Legionella pneumophila, peuvent être inhalés lors de l'utilisation de l'eau pour la douche et l'irrigation des cultures, entraînant des infections respiratoires telles que la légionellose (Ahmed *et al.*, 2021).

5.2.3 Infections cutanées

L'utilisation de l'eau contaminée pour les activités récréatives telles que la natation peut causer des infections cutanées la folliculite, l'impétigo et la dermatite (Ahmed *et al.*, 2021).

5.2.4 Parasites

Les eaux usées épurées peuvent contenir des parasites tels que Giardia lamblia et Cryptosporidium, qui peuvent causer des infections gastro-intestinales (Otterpohl et Oldenburg, 2021)

5.2.5 Antibiorésistance

La REUE peut entraîner une exposition répétée à des antibiotiques dans l'environnement, ce qui favorise le développement de bactéries résistantes aux antibiotiques et réduit l'efficacité des traitements antimicrobiens chez l'homme (Kassenga, 2021).

5.3 Risques environnementaux

La REUE peut présenter des risques environnementaux potentiels, notamment en termes de contamination chimique et biologique. Examinons les risques environnementaux associés à la REUE pour l'irrigation agricole. Les auteurs ont identifié plusieurs contaminants potentiels, tels que les métaux lourds, les pesticides, les composés organiques persistants, les

microplastiques et les agents pathogènes qui peuvent être présents dans les eaux usées épurées. Les risques environnementaux dépendent des caractéristiques de l'eau d'irrigation, du type de sol et des cultures irriguées, ainsi que de l'utilisation de l'eau d'irrigation et de la qualité de l'eau de surface et des eaux souterraines. Les technologies d'épuration utilisées pour traiter les eaux usées épurées doivent être adaptées aux contaminants spécifiques présents dans les eaux usées et aux exigences de la qualité de l'eau pour l'irrigation. En conclusion, la REUE peut présenter des risques environnementaux potentiels, mais ceux-ci peuvent être minimisés par l'utilisation de technologies d'épuration appropriées et la mise en place de protocoles de gestion de risques adaptés. Il est donc important de surveiller la qualité de l'eau réutilisée et de mettre en place des réglementations strictes pour garantir la sécurité de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'application environnementale ou industrielle (Tawfik *et al.*, 2021).

6. Voies de réutilisation des eaux usées épurées

6.1 Secteur industriel (réutilisation industrielle)

Le secteur industriel des eaux usées épurées, également connu sous le nom de réutilisation industrielle de l'eau, est un secteur qui vise à recycler les eaux usées traitées pour une utilisation industrielle. Cette pratique est de plus en plus populaire dans le monde entier en raison de l'augmentation de la demande en eau douce, de la raréfaction des ressources en eau et de la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les eaux usées traitées peuvent être utilisées pour nombreuses applications industrielles, telles que le refroidissement des équipements, l'irrigation, le lavage des véhicules, le nettoyage des sols et des équipements, et même pour la production d'énergie. En plus d'être une solution durable pour la gestion de l'eau, la réutilisation industrielle de l'eau peut également réduire les coûts d'exploitation pour les entreprises en réduisant les coûts d'approvisionnement en eau douce et en évitant les coûts de traitement des eaux usées. Cependant, la réutilisation industrielle de l'eau nécessite des traitements supplémentaires pour garantir la qualité de l'eau et assurer la sécurité des travailleurs et des consommateurs (Bharath *et al.*, 2021).

6.2 Secteur urbain et périurbain (la réutilisation pour un usage non alimentaire)

La REUE pour usage non alimentaire dans les secteurs urbains et périurbains est devenue une question importante dans de nombreuses régions du monde, en raison de la pression sur les

ressources en eau douce et de la nécessité de trouver des sources alternatives d'eau pour répondre aux besoins en eau non potable (Melly *et al.*, 2021).

6.3 Réutilisation pour un usage alimentaire (eau potable)

La REUE pour un usage alimentaire (ou eau potable) est une pratique qui consiste à traiter les eaux usées afin de les rendre propres à la consommation humaine. Une fois que l'eau usée a été traitée et purifiée, elle peut être réutilisée pour différents usages, tels que l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts, le remplissage des plans d'eau, la recharge des nappes phréatiques et la production d'eau potable. La REUE pour un usage alimentaire est une pratique qui est de plus en plus répandue dans le monde entier, notamment dans les régions où les ressources en eau limitées ou les pénuries d'eau sont fréquentes. La REUE pour l'usage alimentaire, également connue sous le nom d'irrigation agricole avec des eaux usées traitées, est un sujet de recherche actif dans le domaine de l'eau et de l'agriculture (Rahman *et al.*, 2021).

6.4 Réutilisation agricole

La réutilisation agricole des eaux usées épurées est définie comme étant le processus consistant à utiliser les eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'aquaculture, l'élevage ou d'autres utilisations agricoles. Les eaux usées épurées sont des eaux qui ont été traitées pour éliminer les polluants et les contaminants et qui sont considérées comme étant de qualité suffisante pour être réutilisée dans des applications agricoles. Cette pratique de réutilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture peut contribuer à la gestion durable des ressources en eau en offrant une source d'eau alternative pour cultures et réduisant les pressions sur les eaux douces. Cependant, cette pratique doit être mise en œuvre avec prudence pour éviter les risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement (Seth *et al.*, 2021).

7. Traitement des eaux usées épurées

7.1 Définition de traitements des eaux usées épurées

Le traitement des eaux usées traitées fait référence aux techniques de traitement utilisées pour améliorer la qualité des eaux usées déjà traitées afin de répondre aux normes de rejet dans l'environnement. Plusieurs méthodes de traitements des eaux usées traitées sont disponibles, notamment la filtration sur charbon actif, l'ozonation, la désinfection UV, la nanofiltration, la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation, entre autres. L'utilisation de l'eau traitée

pour l'irrigation est de plus en plus courante dans le monde entier, en particulier dans les zones arides où l'eau douce est rare. Cependant, cette utilisation doit être bien contrôlée pour éviter les risques sanitaires et environnementaux (**Falowo et al.**, 2021). Le traitement des eaux usées est généralement un processus en plusieurs étapes, qui peut inclure une combinaison de traitements physiques, chimiques et biologiques. Le processus débute par un prétraitement pour enlever les solides grossiers et les sables. Ensuite, un traitement primaire élimine les solides en suspension par décantation. Le traitement secondaire élimine la majorité de la matière organique en utilisant des processus biologiques. Enfin, le traitement tertiaire, aussi appelé traitement avancé, peut être utilisé pour éliminer les polluants spécifiques qui restent après le traitement secondaire, tel que les nutriments et les produits chimiques (**EPA**, 2021). La nécessité de traiter les eaux usées est bien établie, tant pour des raisons de santé publique que pour la protection de l'environnement. Les systèmes de traitement des eaux usées sont conçus pour éliminer les polluants et produire une eau qui peut être rejetée dans l'environnement sans causer de dommages, ou qui peut être réutilisée pour diverses applications (**UN-Water**, 2020 ; **Bachi et al.**, 2022).

7.2 Traitement préliminaire (prétraitement)

Le traitement préliminaire des eaux usées traitées, également connu sous le nom de prétraitement, est la première étape du traitement des eaux usées. Cette étape est importante, car elle vise à éliminer les matières solides, les sables, les graisses, les huiles et les déchets en suspension de l'eau usée. Le prétraitement est nécessaire pour protéger les équipements de traitement ultérieurs et pour améliorer l'efficacité du traitement global (**Li et al.**, 2021 ; **Jafari et al.**, 2020 ; **Gao et al.**, 2021 ; **Yaseen et Ahmad**, 2021 et **Zinatizadeh et al.**, 2021).

7.2.1 Dégrillage

Le dégrillage est la première étape du prétraitement des eaux usées, qui consiste à enlever les déchets solides et les matériaux grossiers tels que les branches, les feuilles, les cailloux, les emballages en plastique, etc. qui peuvent obstruer les canalisations et les équipements de traitement. Cette étape est généralement (**Akpoborie et al.**, 2021 ; **Tawfik et al.**, 2020).

7.2.2 Tamisage

Tamisage est une étape similaire au dégrillage, mais plus fine. Cette étape consiste à enlever la matière en suspension solides plus petites, telles que les cheveux, les fibres, les petits

déchets, les papiers, etc. cette étape est réalisée à l'aide de tamis de mailles plus fines que celles utilisées pour le dégrillage (**Elizalde et al.**, 2021 ; **Rajasekaran et al.**, 2020).

7.2.3 Dessablage

Le dessablage est une étape qui consiste à enlever les particules de sable et de gravier de l'eau usée, qui peuvent provoquer des dommages aux équipements de traitement. Cette étape réalisée à l'aide de dispositifs de séparation des sédiments qui permettent aux particules plus lourdes de se déposer au fond, tandis que l'eau plus propre est évacuée (**Abdullah et al.**, 2021 ; **Fan et al.**, 2020).

7.2.4 Déshuilage et dégraissage

Déshuilage et dégraissage sont une étape qui vise à éliminer les huiles et les graisses de l'eau usée, qui sont souvent présentes dans les eaux usées industrielles et alimentaires. Les huiles et les graisses peuvent obstruer les canalisations et les équipements de traitement, ainsi que nuire à l'efficacité des traitements biologiques ultérieurs. Cette étape peut être réalisée à l'aide de techniques physiques (par exemple, la flottation à l'air dissout, la centrifugation) ou chimiques (par exemple, la coagulation-floculation, l'adsorption) (**Bhattacharya et al.**, 2021 ; **Jin et al.**, 2020).

7.3 Traitement primaire des eaux usées épurées (décantation primaire)

Le traitement primaire des eaux usées est le premier processus d'épuration des eaux usées, au cours de laquelle les matières solides et les matières flottantes sont séparées de l'eau brute. Cette étape consiste généralement en un processus de décantation, au cours duquel les matières solides plus lourdes se déposent au fond d'un bassin de décantation ou des cuves de séparation, tandis que les matières flottantes, telles que les graisses et les huiles, sont récupérées à la surface. L'eau clarifiée est ensuite transférée au processus de traitement secondaire pour une purification plus approfondie (**Huang et al.**, 2020).

7.4 Traitement secondaire des eaux usées

7.4.1 Définition de traitement secondaire des eaux usées

Le traitement secondaire des eaux usées épurées est une étape du traitement des eaux usées qui vise à éliminer les matières organiques dissoutes et en suspension, les nutriments et les

micro-organismes présents dans l'eau usée après le traitement primaire (**Abdel-shafy et Mansour, 2021 ; Nusrat et al., 2022**).

7.4.2 Voies de traitement secondaire des eaux usées

Il existe deux types de traitement secondaire : le traitement biologique et le traitement physico-chimique.

A. Traitement secondaire par voie biologique

Le traitement secondaire par voie biologique est un processus dans lequel les microorganismes utilisent les contaminants restants comme source de nourriture, transformant ainsi ces substances en composés moins nocifs. Les deux types de traitement biologiques les plus couramment utilisés sont les lits bactériens et les systèmes à boues activées (**Li et al., 2020**).

B. Procédés alternatifs et extensifs

Selon (Mazzeo et al., 2022) le traitement secondaire, des eaux usées épurées peuvent également être effectuées à l'aide de procédés alternatifs ou extensifs qui utilisent des méthodes naturelles pour éliminer les contaminants restants. Parmi les procédés alternatifs, on trouve les systèmes de lagunage, les filtres plantés et les zones humides artificielles. Les procédés alternatifs et extensifs sont des méthodes de traitement des eaux usées épurées qui utilisent des processus naturels pour éliminer les contaminants restants. Les procédés alternatifs incluent les filtres plantés, les zones humides artificielles et les lits bactériens, tandis que les procédés extensifs incluent les lagunes de traitement et les étangs aérés :

➤ Procédés biologiques intensifs

Selon (**Vymazal, 2021**)

Disques biologiques (cultures fixées)

Les disques biologiques ou bio disques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation, ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air le reste du temps (pour absorber de l'oxygène). Les disques sont recouverts par un bio film sur les deux faces. Ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr mn⁻¹. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu naturel.

Lits bactérien (cultures fixées)

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement

Boues activées

Dans les conditions idéales d'aération, les micro-organismes d'une eau usée se développent et s'agglomèrent en floccs. Au repos, ces derniers se séparent très bien de la phase liquide par décantation. Le principe du procédé à boues activées consiste donc à provoquer le développement d'un flocc bactérien dans un bassin alimenté en eau usée à traiter (bassin d'aération) afin d'éviter la décantation des floccs dans ce bassin, un brassage vigoureux est nécessaire. La prolifération des micro-organismes nécessite aussi une oxygénation suffisante (Aburzizah et Aljohani, 2019).

➤ procédée biologiques extensif

Selon (Kumar *et al.*, 2022) ils reposent sur les phénomènes de l'autoépuration naturelle et ils demandent une faible énergie, mais nécessitent, en revanche, de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. De point de vue économique, ils sont moins coûteux. Ce sont le lagunage, l'épandage, etc.

Lagunage

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux.

• Lagunage naturel

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassins le plus communément rencontré est de trois (03).

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure de bassins est exposée à la lumière ; ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux dans les eaux usées permettent aux algues de se

multiplier, au fond du bassin où la lumière ne pénètre pas; ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique (**Zegait et al.**, 2021).

- **Lagunage aéré**

Il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs d'air). Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80% à 90% de la DBO, 20% à 30% de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année (**Zegait et al.**, 2021).

C. Traitement secondaire par voie physico-chimique

Le traitement secondaire par voie physico-chimique utilise des procédés physiques et chimiques tels que la décantation, filtration, la coagulation, la floculation et l'oxydation pour éliminer les contaminants restants. Les différents procédés sont sélectionnés en fonction des caractéristiques de l'eau usée et des objectifs de traitement (**Duan et al.**, 2021).

7.5 Décantation secondaire des eaux usées

La décantation secondaire des eaux usées est une étape du traitement des eaux usées qui produit après la décantation primaire. Lors de la décantation primaire, les eaux usées sont laissées immobiles pendant une période de temps pour permettre aux particules solides et flottantes de se déposer au fond ou de flotter à la surface. Cependant, certaines particules plus fines peuvent encore être présentes dans l'eau. La décantation secondaire est donc utilisée pour éliminer ces particules plus fines. L'eau clarifiée de la décantation primaire est alors envoyée dans un réservoir ou un bassin où elle est laissée au repos pendant une période prolongée afin que les particules restantes puissent se déposer. Cette étape peut également impliquer l'aération de l'eau pour encourager la croissance de micro-organismes qui aident à éliminer les particules fines. Une fois que les particules ont été éliminées, l'eau clarifiée peut être utilisée pour l'irrigation, la recharge des nappes phréatiques, ou rejetée dans les cours d'eau sans danger pour l'environnement (**Matamoros et al.**, 2019).

7.6 Traitement tertiaire des eaux usées

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées est une étape de traitement supplémentaire qui est souvent utilisée pour éliminer les polluants résiduels dans l'eau. Il est effectué après les étapes de traitement primaire et secondaire qui éliminent la plupart des matières solides organiques ainsi que les nutriments (azote et phosphore) de l'eau usée. Les techniques

utilisées dans le traitement tertiaire varient, mais elles incluent généralement des méthodes avancées de filtration, de désinfection et d'élimination des nutriments. Les processus de filtration avancée incluent la microfiltration, l'ultrafiltration et l'osmose inverse, qui éliminent efficacement les particules fines et les bactéries de l'eau. La désinfection est effectuée pour éliminer les virus et les bactéries résiduels qui peuvent être présents dans l'eau, en utilisant des produits chimiques tels que le chlore, l'ozone, dioxyde de chlore ou les rayons UV. L'élimination des nutriments est nécessaire pour empêcher l'augmentation de la teneur en nutriments dans les eaux de surface, ce qui peut entraîner une prolifération excessive d'algues et de cyanobactéries. Les méthodes courantes d'élimination des nutriments incluent la précipitation chimique, la coagulation-floculation, l'adsorption sur charbon actif et la bio-filtration. Le traitement tertiaire est souvent utilisé pour produire de l'eau de qualité supérieure pour les usages non potables, tels que l'irrigation, le nettoyage industriel et les usages récréatifs. L'eau traitée peut également être utilisée pour recharger les nappes phréatiques et augmenter la disponibilité des ressources en eau douce. En outre, le traitement tertiaire est souvent une exigence réglementaire pour les rejets d'eaux usées dans les zones sensibles ou pour l'utilisation de l'eau traitée à des fins spécifiques, telles que l'agriculture ou l'aquaculture (Pazos *et al.*, 2021).

7.6.1 MES et matière organique

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées est une étape de traitement supplémentaire qui vise à éliminer les contaminants résiduels tels que les nutriments, les métaux lourds et les produits pharmaceutiques. Cette étape peut inclure des techniques telles que la filtration membranaire, l'ozonation, l'adsorption sur charbon actif, la désinfection et la précipitation chimique (Li *et al.*, 2020).

7.6.2 Azote et phosphore

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées pour l'élimination de l'azote et du phosphore est important pour éviter la pollution de l'environnement, en particulier des écosystèmes aquatiques. Les techniques courantes de traitement tertiaire pour l'élimination de ces nutriments comprennent la filtration sur membrane, la précipitation chimique, l'adsorption sur charbon actif et la bio-filtration (Li *et al.*, 2021).

7.6.3 Traitement bactériologique

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées pour l'élimination des bactéries est important pour garantir que les eaux usées traitées soient sans danger pour les humains et l'environnement. Les techniques courantes de traitement tertiaire pour l'élimination des bactéries comprennent la désinfection par rayonnement ultraviolet, la désinfection par ozonation, la désinfection par chlore et la désinfection par peroxyde d'hydrogène (**Punzi et al.**, 2020).

7.6.4 Traitement biologique par rayonnement UV

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées par rayonnement ultraviolet (UV) est une technique de désinfection efficace pour éliminer les bactéries pathogènes et les virus des eaux usées traitées. Cette technique utilise des lampes UV pour exposer l'eau traitée à une lumière UV à haute intensité, ce qui détruit les micro-organismes (**Heinzmann et al.**, 2022).

7.6.5 Traitement par voie physico-chimiques

Le traitement tertiaire des eaux usées épurées par voie physicochimique est une méthode qui utilise des processus physiques et/ou chimiques pour éliminer les contaminants restants, tels que les matières en suspension, les nutriments (azote et phosphore) et les composés organiques persistants (**Sun et al.**, 2022).

7.7 Traitement quaternaire des eaux usées épurées

Le traitement quaternaire des eaux usées épurées est une étape supplémentaire de traitement visant à éliminer les micropolluants qui n'ont pas été éliminés par les processus de traitement conventionnels tels que la décantation, l'aération et la filtration. Les micropolluants peuvent inclure des produits pharmaceutiques, des produits chimiques industriels, des hormones et d'autres substances qui peuvent être nocives pour l'environnement et la santé humaine. Une méthode de traitement quaternaire des eaux usées épurées qui a été largement étudiée est la combinaison de la bio-filtration avec la nano-filtration ou l'osmose inverse. Cette méthode utilise des bactéries pour décomposer les micropolluants organiques en composés moins toxiques, qui sont ensuite retenus par les membranes de nano-filtration ou d'osmose inverse (**Zhang et al.**, 2021 ; **Vanrolleghem et al.**, 2019 ; **Gheraout et Elboughdiri**, 2021 et **Noh et al.**, 2021).

7.8 Traitement des boues d'épuration

7.8.1 Définition

Le traitement des boues d'épuration fait référence aux processus de traitement des déchets solides produits lors du traitement des eaux usées dans les usines d'épuration. Les boues d'épuration sont constituées de matières organiques et minérales, ainsi que de micro-organismes, de produits chimiques et d'autres contaminants. Le traitement des boues d'épuration comprend plusieurs étapes, telles que la stabilisation, la désinfection, la déshydratation et la valorisation. L'objectif est de réduire les contaminants dans les boues et de les rendre moins nocives pour l'environnement et la santé publique, tout en les transformant en matières valorisables, telles que des engrais ou du biogaz (**Lui et al.**, 2021).

7.8.2 Incération ou décharge

Le traitement des boues d'épuration peut être effectué de différentes manières, y compris l'incinération et la décharge. L'incinération est un processus de traitement thermique qui utilise une température élevée pour brûler les boues, réduisant ainsi leur volume et éliminant une grande partie des contaminants. La décharge, quant à elle, implique l'enfouissement des boues dans un site d'enfouissement ou une décharge. Il est important de noter que l'incinération et la décharge présentent toutes deux des inconvénients et des avantages, et que le choix entre les deux méthodes dépend de plusieurs facteurs, tels que la quantité de boues produites, la qualité des boues et les réglementations locales (**Buzatu et al.**, 2020).

7.8.3 Production de biogaz

Le traitement des boues d'épuration peut également inclure la production de biogaz par digestion anaérobie, un processus biologique qui décompose les matières organiques dans les boues pour produire du méthane, qui peut être utilisé comme source d'énergie (**Hussain et al.**, 2021).

Au cours de la dernière décennie, il y a eu un intérêt croissant pour le développement et l'application de technologies avancées de traitement des eaux usées. Par exemple, la membrane bioréacteur technologie (MBR) combine les processus de traitement biologique avec une filtration par membrane, offrant une solution compacte et efficace pour le traitement des eaux usées (**Zhang et al.**, 2019). D'autre part, des procédés d'oxydation avancés, tels que l'ozonisation et la photocatalyse, ont été explorés pour l'élimination des contaminants

émergents tels que les produits pharmaceutiques et les perturbateurs endocriniens (**Luo et al., 2020**). Cependant, malgré les avancées technologiques, il reste de nombreux défis à relever pour assurer un traitement efficace et durable des eaux usées. Parmi ceux-ci figurent le coût et l'énergie requis pour les processus de traitement avancé, la gestion des boues résiduelles et la minimisation de l'impact environnemental du rejet d'eaux usées traitées (**OECD, 2022**).

En somme, le traitement des eaux usées est un domaine en constante évolution, qui joue un rôle clé dans la préservation de la santé publique et de l'environnement. A l'avenir, il est crucial de continuer à rechercher et à développer des solutions innovantes pour le traitement des eaux usées, afin de répondre aux défis posés par l'augmentation de la population mondiale et le changement climatique.

8. Difficultés des traitements des eaux usées

8.1 Dysfonctionnement de l'épuration

Les dysfonctionnements dans les stations d'épuration peuvent avoir des causes diverses, notamment liées à des perturbations dans le processus biologique ou à une surcharge de la capacité de traitement (**Bourgeois et Wéry, 2017**).

8.2 Difficulté de valoriser certaines boues

Valorisation des boues d'épuration est un enjeu important pour limiter leur impact environnemental et en faire une ressource. Cependant, certaines boues peuvent être difficiles à valoriser en raison de leur teneur en métaux lourds ou en polluants organiques persistants (**Laabs et Gaudin, 2019**).

8.3 Traitement des odeurs

Le traitement des odeurs dans les stations d'épuration est un défi important, car les émissions odorantes peuvent être désagréables pour les riverains et les travailleurs sur site. De nombreux procédés de traitement des odeurs sont disponibles, mais leur efficacité dépend de la nature des composés odorants émis (**Le Cloirec et Gourdon, 2018**).

9. Analyses de qualité des eaux usées épurées

9.1 Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques des eaux usées épurées sont des méthodes permettant de mesurer différentes caractéristiques chimiques et physiques de l'eau traitée après son passage dans une station d'épuration. Ces analyses peuvent inclure la mesure du pH, de la conductivité électrique, de la turbidité, de la concentration en matières organiques, en nutriments tels que l'azote et le phosphore, en métaux lourds et en polluants organiques, MES, DCO, DBO5. Les résultats de ces analyses permettent de déterminer la qualité de l'eau traitée et son aptitude à être réutilisée à des fins agricoles, industrielles ou domestiques (**Zhang et al.**, 2021 ; **Wei et al.**, 2020 ; **Guo et al.**, 2021 et **Liu et al.**, 2021).

9.2 Analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques des eaux usées épurées sont des méthodes utilisées pour évaluer la qualité de l'eau après le traitement des eaux usées. Ces analyses sont réalisées pour déterminer la présence et la concentration de micro-organismes telles que les bactéries, les virus, les protozoaires et les champignons dans l'eau. Les analyses microbiologiques peuvent inclure des tests pour la détection de bactéries indicatrices de contamination fécale telles qu'Escherichia coli, ainsi que des tests pour la détection de pathogènes spécifiques tels que Salmonella, Shigella et Vibrio cholerae (**Gourmelon et al.**, 2020 ; **Shen et al.**, 2021 et **Saleem et al.**, 2021).

10. Réglementation algérienne de la réutilisation des eaux usées épurées en l'irrigation

Les normes algériennes de la réutilisation des eaux usées épurées en l'irrigation sont regroupées dans le tableau04 et 05.

Les paramètres microbiologiques et physicochimiques.

10.1 Paramètres microbiologiques

Tableau04 : Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (paramètres microbiologiques) (JORA, 2012).

| GROUPE DE CULTURES | PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES | |
|--|---|---|
| | Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique) | Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique) |
| Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant Être consommés crus. | <100 | Absence |
| Légumes qui ne sont pas Consommés cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non Alimentaire. | <250 | <0,1 |
| Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes Fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles(3). Arbres forestiers. Plantes florales et Ornementales(4). | Seuil recommandé <1000 | <1 |
| Cultures du group précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6) | pas de norme recommandée | pas de norme recommandée |

10.2 Paramètres physicochimiques

Tableau05: Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (paramètres physicochimiques) (JORA, 2012).

| Paramètres | | Unité | Concentration Maximale Admissible |
|------------|--------------------|-------|-----------------------------------|
| Physiques | PH | - | $6,5 \leq \text{PH} \leq 8,5$ |
| | MES | mg/l | 30 |
| | CE | ds/m | 3 |
| | Infiltration | | 0,2 |
| | le SAR = 0-3 CE | | 0,3 |
| | 6-12 | ds/m | 0,5 |
| | 12-20 | | 1,3 |
| | 20-40 | | 3 |
| Chimiques | DBO5 | mg/l | 30 |
| | DCO | mg/l | 90 |
| | Chlorure | mg/l | 10 |
| | Azote | mg/l | 30 |
| | Bicarbonate | mg/l | 8,5 |
| | Aluminium | mg/l | 20 |
| | Arsenic | mg/l | 2,0 |
| | Béryllium | mg/l | 0,5 |
| | Bore | mg/l | 2,0 |
| | Cadmium | mg/l | 0,05 |
| | Chrome | mg/l | 1,0 |
| | Cobalt | mg/l | 5,0 |
| | Cuivre | mg/l | 5,0 |

| | | | |
|--------------------------------------|-----------|------|-------|
| Éléments Toxiques (*) | Cyanures | mg/l | 0,5 |
| | Fluor | mg/l | 15,0 |
| | Fer | mg/l | 20,0 |
| | Phénols | mg/l | 0,002 |
| | Plomb | mg/l | 10,0 |
| | Lithium | mg/l | 2,5 |
| | Manganèse | mg/l | 10,0 |
| | Mercure | mg/l | 0,01 |
| | Molybdène | mg/l | 0,05 |
| | Nickel | mg/l | 2,0 |
| | Sélénium | mg/l | 0,02 |
| | Vanadium | mg/l | 1,0 |
| | Zinc | mg/l | 10,0 |

11. Réutilisation des Eaux usées épurées pour L'irrigation en Algérie

La réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui date des temps anciens. Selon le MRE, dès les années 1990, des programmes de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation ont été mis en œuvre. Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est de 13.37% dans le cas de la région hydrographique Chelif Zahrez, de 21.4% dans la région hydrographique Constantine- Seybousse-Mellegue, et de 34.92 % dans la région hydrographique Oranie-Chott-Chergui. Cette dernière est nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du Nord algérien (400 mm/an environ). La composante réutilisation des eaux usées en irrigation devient même prépondérante avec un ratio de 45%, voire 100% dans le cas du périmètre de Mléta dans la région de l'Oranie de l'Ouest algérien. Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficientes en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épurations exploitées par l'ONA à travers les 43 wilayas, quelques stations sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. En 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles. En effet ce potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une

évolution significative où environ 17 millions de m³ ont été enregistrés en 2011, environ 45 millions de m³ en 2012, 300 millions de m³ en 2014. Le projet d'élaboration de normes algériennes et d'un guide technique pour les bonnes pratiques de la réutilisation des eaux usées pour des fins agricoles est en cours d'approbation par l'Institut algérien de Normalisation. (LAID BOUCHAALAL, 2017).

Durant le mois de février 2018, un volume de 1,5 million de m³ d'eaux épurées par 17 STEP, a servi à l'irrigation de 11 062 hectares de superficies agricoles, soit un taux de la RE-USE de 40 % du volume épuré par les 17 STEP concernés et à 9% du volume total épuré par l'ensemble des 146 STEP en exploitation par l'ONA (ONA, 2018).

Selon (ONA, 2019), pour le mois de janvier 2019 ; la gestion et l'exploitation de 153 stations d'épuration, dont :

- 75 stations à boues activées
- 75 stations de lagunage
- 03 filtres plantés.

La capacité globale installée de ces 153 stations est de 10 359 462 Équivalents-habitants, soit un débit nominal de **1 572 167m³/j**.

Le volume des eaux usées traitées dépasse **21 millions de mètres cubes**, soit un débit moyen journalier de **681 232 m³ /j**, d'importantes quantités d'eau qui peuvent être gérées pour une éventuelle réutilisation surtout à des fins agricoles, ce secteur qui a les plus importants besoins en eau.

Dans le tableau06 suivant ; qui démontre clairement d'importantes débits journaliers et mensuels qui peuvent être réutilisées en irrigation dans la majorité des wilayas en Algérie ; c'est le trésor bleu qu'il faut exploiter.

Tableau06: Répartition des quantités des EUT Par zone (ONA, 2019).

| Répartition par zone des volumes des eaux usées traitées | | | | | |
|--|----------------|--|--|---|---|
| zone et DA | Nombre de STEP | Débit nominal des STEP (m ³ /j) | Débit journalier des eaux Brutes (m ³ /j) | volume mensuel des eaux Brutes (m ³ /mois) | Taux d'utilisation des capacités installées (%) |
| Oran | 44 | 253066 | 172550 | 5349059 | 68 |
| Tizi Ouzo | 15 | 110046 | 41681 | 1292108 | 38 |
| Sétif | 11 | 230347 | 55492 | 1720264 | 24 |
| Annaba | 10 | 159370 | 57703 | 1788805 | 36 |
| Chlef | 5 | 58304 | 16203 | 502298 | 28 |
| Constantine | 7 | 140417 | 34633 | 1073627 | 25 |
| Batna | 13 | 83320 | 24822 | 769491 | 30 |
| Tiaret | 5 | 73560 | 46557 | 1443253 | 63 |
| Saida | 16 | 95372 | 42179 | 1307540 | 44 |
| Alger | 5 | 52500 | 22891 | 709621 | 44 |
| Tamanrasset | 3 | 20700 | 20238 | 627382 | 98 |
| Laghouat | 8 | 137284 | 57897 | 1794813 | 42 |
| Béchar | 2 | 12200 | 4760 | 147545 | 39 |
| D-A El Oued | 4 | 76799 | 39964 | 1238875 | 52 |
| D-Tougourt | 2 | 9375 | 8167 | 253170 | 87 |
| D-A Ouargla | 3 | 59507 | 35495 | 1100333 | 60 |
| TOTAL ONA | 153 | 1572167 | 681232 | 21118183 | 43 |

Tableau07: Réutilisation des eaux usées traité en agriculture en Algérie (ONA, 2019).

| Réutilisations des eaux usées épurées | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------------|--|--------------------|---|---|---|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| zone/DA | Unité | Désignation | Capacité (EQ/H) | Débit nominal (m ³ /j) | volume mensuel épuré (m ³) | volume mensuel réutilisé (m ³) | Domaine Agricole (ha) | Type de culture | utilisateurs |
| Alger | Boumerdes | Station d'épuration à boues activées de Boumerdes | 75000 | 15000 | 358060 | | Flici : 49 | Pépinière d'oranger et vignes | M.Flici |
| | | | | | | | Rahmoun : 76 | | M. Rahmoun |
| El Oued | | Station de lagunage aéré de Kouinine | 239134 | 44335 | 891596 | 19200 | 15 | Arbres (Eucalyptus et Kazarina) | ONA |
| Annaba | Guelma | Station d'épuration à boues activées de Guelma | 200000 | 32000 | 367815 | 367815 | Guelma, Boumahra et Bouchegouf : 6980 | Vergers | contribution l'irrigation du périmètre géré par O.N.I.D |
| | Souk Ahras | station d'épuration à boues activées de Souk Ahras | 150000 | 30000 | 11594 | 11594 | 200 | Arboriculture | Réutilisation indirecte (Apport à Oued Medjerda) |
| | Tlemcen | Station d'épuration à boues activées de Tlemcen | 150000 | 30000 | 788451 | 189000 | Plaine de Hennaya : 912,22 | Arboriculture | O.N.I.D |
| | | station d'épuration à | 100000 | 13000 | 242440 | 242440 | El-Kouar : | | |

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|---------|--|--|--------|---------|--------|---------------------|--|------------------------------|
| Oran | Mascara | boues activées de Mascara | | | | | 400 | Oliviers* culture céréalière* Agrumes | Associations agriculteurs |
| | | station de lagunage aéré de Ghriss | 48000 | 5800 | 17624 | 17624 | Ghriss : 420 | | |
| | | station de lagunage aéré de Bouhanifia | 32500 | 3900 | 42213 | 42213 | 475 | | |
| | | station de lagunage aéré de Hacine | 20000 | 3200 | 7311 | 7311 | 390 | | |
| | | station de lagunage naturel d'Oued Taria | 21000 | 2520 | 19106 | 19106 | 196 | | |
| | | station de lagunage naturel de Tizi | 12000 | 1440 | 9046 | 9046 | 200 | | |
| | | station de lagunage naturel de Mohammedia Est | 19000 | 2280 | | | El-Hebra : 175 | | |
| | | station de lagunage naturel Forha | 9400 | 1128 | 7820 | 7820 | Ghriss : 182 | | |
| | | station de lagunage naturel Khalouia | 6321 | 949 | 29047 | 29047 | 182 | | |
| | | Ain Temouchent | station d'épuration à boues activées d'Ain Tmouchent | 72800 | 10920 | 314492 | 0 | | |
| Saida | Saida | station d'épuration à boues activées d'Ain Al Hadjar | 30000 | 4800 | 100926 | 20000 | Oued Meknes : 58 | Arboriculture Céréales | |
| Total de 16 STEP | | | 1185155 | 201272 | 3207540 | 982216 | 11045 ha | | |

Chapitre 03 : La qualité de l'huile d'olive

1. Huile d'olive

1.1 Définition de l'huile d'olive

Selon (COI, 2017) l'huile d'olive correspond à l'huile d'olive vierge obtenue à partir du fruit de l'olivier uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques, dans des conditions, qui n'entraînent pas d'altération de l'huile, et qui n'a subi aucun traitement autre que le lavage, la décantation, la centrifugation et la filtration, à l'exclusion des huiles obtenues par solvant, par adjuvant à action chimique ou biochimique, ou par des procédés de ré estérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature.

1.2 Catégories d'huile d'olive

Une l'huile d'olive ne peut être obtenue que par des procédés physiques sans intervention de solvants. Cette définition est cependant incomplète et d'autres critères permettant de diviser les huiles en différentes sous-catégories (COI, 2018).

A. Huiles d'olive vierges

Selon (COI, 2019) sont les huiles obtenues du fruit de l'olivier (*Olea europaea* L) uniquement par des procédés mécaniques ou d'autres procédés physiques dans des conditions, thermiques notamment, qui n'entraînent pas d'altération de l'huile. On distingue plusieurs classes :

a. Huiles d'olive vierges propres à la consommation en l'état

Huile d'olive vierge extra : C'est l'huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est 0,8gramme pour 100 grammes d'huile.

Huile d'olive vierge : C'est l'huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum 2 grammes pour 100 grammes d'huile.

Huile d'olive vierge courante : C'est l'huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 3,3 grammes pour 100 grammes d'huile.

b. Huile d'olive vierge lampante (non propre à la consommation en l'état)

C'est l'huile d'olive vierge dont l'acidité libre exprimée en acide oléique est supérieure à 3,3 grammes pour 100 grammes et dont les caractéristiques organoleptiques et les autres caractéristiques correspondent à celles fixées pour cette catégorie par la présente Norme. Elle est destinée aux industries des raffinages ou à des usages techniques (COI, 2015).

B. Huile d'olive raffinée

Huile d'olive obtenue par le raffinage d'huiles d'olive vierges dont l'acidité libre, exprimée en acide oléique, ne peut être supérieure à 0,3g pour 100g (COI, 2019).

C. Huile de grignons d'olive

C'est une l'huile obtenue par traitement aux solvants ou d'autres procédés physiques, des grignons d'olive, à l'exclusion des huiles obtenues par des procédés de réestérification et de tout mélange avec des huiles d'autre nature (COI, 2020a).

D. Huile d'olive

Huile constituée par le coupage d'huile d'olive raffinée et d'huile d'olive vierge propres à la consommation humaine. Son acidité libre exprimée en acide oléique est au maximum de 1g pour 100g d'huile et ses autres caractéristiques correspondent à celles prescrites pour cette catégorie (COI, 2018).

1.3 Composition de l'huile d'olive

L'intérêt pour les huiles d'olive a été accru depuis la découverte de leur richesse en vitamines liposolubles et en polyphénols qui sont des antioxydants, néanmoins son bon équilibre en AGPI/AGS lui confère des propriétés de stabilité contre les dégradations thermiques oxydatives, notamment en ce qui concerne la formation d'aldéhydes volatils, il rend de cette dernière une huile appropriée et recommandable à être utilisé pour les fritures (Molina-Garcia *et al.*, 2017). Cette relation entre les acides gras poly et mono insaturé et la faible teneur en graisses saturées lui fait également l'une des huiles végétales les plus saines à consommer cru (Arslan *et OK*, 2019). Si les acides gras sont les constituants majeurs de l'huile d'olive, ce sont les constituants mineurs qui permettent son authentification, tant sur le plan de la provenance géographique que sur sa qualité physico-chimique et comme toutes les huiles végétales, l'huile d'olive est composée d'une fraction saponifiable dite primaire ou major et d'une fraction insaponifiable dite secondaire ou mineure (Giuffre *et al.*, 2018).

A. Fraction saponifiable

Selon (Giuffre *et al.*, 2018), cette fraction représente 99 % de l'huile d'olive. Elle est composée essentiellement de triglycérides, esters du glycérol et d'acides gras (AG).

a. Acides gras

Les acides gras sont les constituants de base de la grande majorité des lipides, ils se trouvent généralement liés au glycérol en formant les triacylglycéros ou à 1 libre suite à de ces derniers. Les acides gras sont constitués d'une chaîne carbonée dont la longueur peut varier de 4 à 22 atomes de carbone. Dans les huiles végétales, les acides gras prédominants sont ceux à 16 et à 18 atomes de carbones. Il est particulièrement riche en acides gras essentiels

mono-insaturés (55 à 83% d'acide oléique) et en acides gras polyinsaturés (2,5 à 21% d'acide linoléique) (Boukroune, 2018).

Le tableau montre les limites de la composition en acides gras fixées par le conseil oléicole international (Tableau08).

Tableau08: Composition en acides gras part chromatographique en phase gazeuse (COI, 2021).

| Acides gras | Nomenclature | Huile d'olive |
|-----------------------|--------------|---------------|
| Acide myristique | C14 :0 | <0,03 |
| Acide palmitique | C16 :0 | 7,50-20,00 |
| Acide palmitoléique | C16 :1 | 0,30-3,50 |
| Acide heptadécanoïque | C17 :0 | <0,40 |
| Acide heptadécénoïque | C17 :1 | <0,60 |
| Acide stéarique | C18 :0 | 0,50-5,00 |
| Acide oléique | C18 :1 | 55,00-83,00 |
| Acide linoléique | C18 :2 | 2,50-21,00 |
| Acide linoléinique | C18 :3 | <1,00 |
| Acide arachidique | C20 :0 | <0,60 |
| Acide gadoléique | C20 :1 | <0,50 |
| Acide béhénique | C22 :0 | <0,20* |
| Acide lignocérique | C24 :0 | <0,20 |

*Limite portée à < 0,30 pour les huiles de grignons d'olive.

b. Triglycérides

L'huile d'olive est composée de 95-99% de TAG (Triacylglycérol : acides gras carboxyliques à longue chaîne). Le TAG le plus courant est celui qui contient trois unités d'acide oléique (Oléique, oléique, oléique) (OOO), représentant environ la moitié de la portion totale de TAG trouvée dans l'huile d'olive. Les autres triacylglycérols également présents sont les suivants : palmitique-oléique-oléique (POO), oléique-oléique-linoléique (OOL), palmitique-oléique-linoléique (POL) et stéarique-oléique-oléique (SOO). Les diacylglycérols et les monoacylglycérols ont été identifiés dans l'huile d'olive vierge à des concentrations de 1-2,8% et 0,25, respectivement (Jimenez-Lopez *et al.*, 2020).

B. Fraction insaponifiable

Représente environ 2% et elle est constituée d'un mélange complexe de composés mineurs appartenant à diverses familles chimiques, dont les alcools aliphatiques et tri terpéniques, les stérols, les hydrocarbures, les phénols, les tocophérols, les esters, les pigments chlorophylle et caroténoïdes et les composants volatils qui comprennent aldéhydes, les cétones et les alcools (Rallo *et al.*, 2018).

a. Pigments

Chlorophylle

Les pigments chlorophylliens se trouvent dans l'huile d'olive sous forme a et b. ces pigments possèdent dans leur structures en atome de magnésium qui se dégradent facilement sous l'action de la lumière en donnant naissance aux phéophytines a et b de couleur marron perdant ainsi, l'atome de magnésium responsable de la couleur verte de ses composés, plusieurs travaux de recherche ont montré que ces pigments sont à l'origine de la couleur caractéristique de l'huile d'olive et de l'activité oxydative de ce produit (Boukroune, 2018).

Caroténoïdes

Les pigments caroténoïdes surtout présents dans l'huile d'olive sont le β -carotène (provitamine A). Le taux varie de 0,3 à 3,7 mg/kg d'huile. 2mg de β -carotène se transforment en 1mg de vitamine A. la provitamine A se transforme en vitamine A au cours de l'absorption intestinale. La lutéine représente le principal caroténoïde présent dans les olives et le seul représentant de la série de β caroténoïdes. Les autres caroténoïdes présents dans les olives appartiennent aux séries de β , et comprennent le β -carotène, la violaxanthine, la néoxanthine, l'anthéroxanthine et la β -cryptoxanthine. La lutéine, le β -carotène, la violaxanthine et la néoxanthine constituent plus de 95% des caroténoïdes présents dans les olives et sont les caroténoïdes caractéristiques du fruit vert. Lorsque l'intensité lumineuse est élevée, la violaxanthine est transformée via l'anthéroxanthine en zéaxanthine. Cependant, la zéaxanthine n'a été identifiée à aucun stade de la croissance ou la maturation des olives (Gandul-Rojas *et al.*, 2016).

b. Composés phénoliques

L'une des caractéristiques les plus importantes de l'huile d'olive est sa richesse en polyphénols, sa teneur varie de 50 à 1000mg/kg d'huile. En fait cela dépend de facteurs

agronomiques, la maturité des olives, ainsi que la technologie d'extraction et le stockage ou processus d'emballage. Les composés phénoliques de l'huile d'olive sont principalement des glucides (par exemple, l'oleuropéine), des alcools et des phénols (tyrosol, hydroxytyrosol), ainsi que des flavonoïdes (**Monika et al.**, 2018). L'huile d'olive vierge est riche en composés phénoliques appartenant à diverses familles (phénols et hydroxyphénols, acides et alcools, sécoïridoïdes, lignanes, flavonoïdes,...), les polyphénols affectent fortement les propriétés sensorielles de l'huile d'olive vierge comme le goût amer et piquant typique et contribuent à sa stabilité par la lutte contre l'auto-oxydation (**Alu et al.**, 2017). La quantité de polyphénols dans l'huile d'olive vierge varie en fonction de plusieurs facteurs tels que la zone géographique, les conditions agroclimatiques et le degré de maturité des fruits (**Talhaoui et al.**, 2016).

Stérols

Leur quantité dans l'huile d'olive varie entre 1000 et 2000 mg/Kg d'huile, elle varie suivant la variété des olives, leur degré de maturité et plusieurs autres facteurs agronomiques et pédoclimatiques. Le principal stérol est le β - sitostérol qui représente jusqu'à 90 à 95 % de tous les stérols présents. Celui-ci est intéressant, car il s'oppose à l'absorption intestinale du cholestérol alimentaire. L'huile d'olive est la seule huile à contenir un taux particulièrement élevé de ce type de stérols. D'autres phytostérols sont présents: tels que le campestérol et le stigmastérol et l'ergosterol (**Boarelli**, 2020).

Tocophérols

Les tocophérols sont des composés importants de l'huile d'olive en raison de leur double action bénéfique. En effet, ils ont tout d'abord l'atout d'être une vitamine E en plus de leur forte activité antioxygène. Trois isoformes de tocophérols comme le montre la figure 12 sont présentes dans l'huile d'olive extra vierge : l' α , β et le γ . La forme prédominante est la forme α qui représente entre 191,5 et 292,7 mg/kg d'huile, ces valeurs fluctuent avec les variables de la récolte et l'espacement entre les oliviers. En outre, les niveaux élevés de ce type de tocophérol peuvent être liés aux niveaux élevés de pigments de chlorophylle (**Reboredo-Rodriguez et al.**, 2018).

Hydrocarbures

Ce sont quantitativement les principaux composants de la fraction insaponifiable. Le composant majeur est le scalène qui constitue 50 à 90 % de cette fraction. C'est un hydrocarbure polyénique dont la teneur est plus élevée que dans n'importe quelle autre huile

végétale ou animale. Le scalène est un précurseur métabolique du cholestérol et autre stérols (Metlef, 2021).

1.4 Procédés de technologies d'extraction de l'huile d'olive

A. Récolte et transport et Réception et stockage des olives

La récolte des olives s'effectue lorsque les fruits atteignent le niveau maximum d'huilage. Il est bien connu que les caractéristiques qualitatives d'huile d'olive sont optimums lorsque les fruits atteignent leur stade de maturité physiologique. Toutefois, la prolongation de la récolte après la maturité des fruits entraîne une réduction des substances aromatiques de l'huile ainsi qu'une augmentation de l'acidité. Plusieurs techniques de récolte ont été adoptées, elles varient d'une région à l'autre. Elle est faite soit, par cueillette, par gaulage, ou bien par un moyen mécanique, à l'aide de peignes pneumatiques ou secoueur. La récolte à la main est pratiquée dans certaines régions avec des petits oléiculteurs. Elle n'est pas trop adoptée à cause du coût élevé de la main-d'œuvre. En outre, le gaulage est la technique la plus commune avec de longues perches et les olives sont recueillies sur des bâches en nylon et parfois au sol. Il s'effectue toujours de l'intérieur vers l'extérieur pour éviter d'abîmer l'arbre. Cependant, la récolte manuelle reste la meilleure technique, puisqu'elle préserve le fruit et en conséquence produire des huiles de qualité. Finalement, le transport des olives jusqu'au pressoir doit être effectué dans des conteneurs appropriés tels que les caisses en plastique perforés, ce qui permet une bonne aération des olives et sans risque d'écrasement.

Toutefois, l'utilisation des sacs en plastique ou de nylon est peu rationnelle, notamment si les olives sont très mûres. Et c'est la cause principale du déclenchement de processus biologiques d'altération de la qualité de l'huile. Au cours de stockage, les olives subissent des altérations plus au moins importantes, selon la durée et les conditions de stockage. Cette durée doit être la plus courte possible, 72 heures au maximum, car un stockage prolongé représente une cause principale de détérioration de la qualité de l'huile, le chôme, le moisi humide et le rance. Ces altérations peuvent être générées par l'activité enzymatique du fruit lui-même (lipolyse), mais encore au développement microbien durant le stockage. Une longue durée de conservation engendre la fermentation l'augmentation du taux d'acidité, de l'indice de peroxyde, ainsi que la détérioration des propriétés organoleptiques de l'huile. Toutefois, l'extraction des olives immédiatement après la récolte n'est pas toujours possible notamment lors des années de forte production. La seule manière de limiter l'altération des olives c'est des conservées au frais, bien aérés, à l'abri de la lumière et des sources de chaleur ainsi de réduire le temps entre la récolte et la trituration (Iddir, 2020).

B. Lavage et Effeillage

Ils sont réalisés d'une part par des équipements munis d'un flux d'air permettant l'élimination des feuilles, brindilles et autres matières végétales puis les olives sont lavées au moyen d'une circulation forcée d'eau potable et propre pour éliminer les boues, la terre et les pierres (Kailis, 2017).

C. Trituration et broyage

Le procédé d'extraction de l'huile d'olive consiste à broyer l'olive pour éclater les cellules de la pulpe et libérer l'huile, puis à la séparer par tous les moyens disponibles (pression, centrifugation et percolation). Ce processus est réalisé par une succession d'opérations: broyage, malaxage de la pâte obtenue, puis l'extraction proprement dite. La libération de l'huile des tissus végétaux commence par le broyage des olives. Cette opération a pour but de déchiqueter les cellules de la pulpe et de faire sortir les gouttelettes d'huile des vacuoles (Metlef, 2021).

D. Malaxage

L'olive passe dans un malaxeur où s'effectue un chauffage avec injection d'eau dans certains cas. Cette opération a pour but d'homogénéiser la pâte et de détacher les cellules lipidiques. Elle a aussi comme but d'augmenter le pourcentage d'huile tout en favorisant, d'une part, la réunion des gouttelettes d'huiles en des gouttes plus grosses pour former une phase continue et d'autre part, la rupture de l'émulsion huile/eau. Cette étape est très importante pour l'amélioration du rendement (Galliard, 2017).

E. Extraction**a. Système d'extraction par pression (Procédés en discontinu)**

Les systèmes à presses sont des systèmes classiques ils commencent par un broyage des olives suivi du malaxage et du pressage. Ce système utilise des presses métalliques à vis ou, le cas échéant, des presses hydrauliques. La pâte issue du broyage est empilée sur des courtins doit être réalisée de manière progressive. L'opération de pressage dure au moins 45min. Le sous-produit de cette opération est le grignon brut et un mout fait de margines et l'huile. La séparation des deux phases se fait par décantation (Aouadi, 2021) (Figure N°1).

b. Système d'extraction par centrifugation (Procédés en continu)

De nos jours, c'est la méthode la plus couramment utilisée, elle permet d'améliorer la qualité des huiles, comme elle réduit les coûts de la transformation. L'extraction est faite à travers des phases successives, ce procédé est complètement différent du système précédent. Les phases liquides et solides sont séparées par centrifugation. On distingue deux types de

centrifugation ; centrifugation horizontale à deux phases et la centrifugation horizontale à trois phases (Aouadi, 2021) (Figure N°1).

Procédé continu à deux phases

Ce système est plus récent. Ce type de décanteur nécessite l'ajout d'une quantité réduite d'eau comme il sépare trois fractions (grignon humide, margines et moût d'huile). L'avantage de ce système est la réduction de la quantité des margines et les charges polluantes. Ce décanteur à deux phases permet l'obtention d'un rendement en huile un peu plus élevé que celui obtenu par le décanteur conventionnel à trois phases et le système de presse. En plus, il diminue le volume des margines (Labdaoui, 2017) (Figure N°1).

Procédé continu à trois phases

L'étape de la séparation des deux phases, la phase solide et la phase liquide suit l'étape de l'homogénéisation de la pâte. Cette dernière est donc injectée par une pompe qui se trouve dans la centrifugeuse dont l'axe est horizontal appelée décanteur. Il permet la séparation de la pâte en trois phases : les grignons, l'huile avec un peu d'eau et les margines avec un peu d'huile. Les deux phases liquides n'étant pas encore bien séparées, elles sont ensuite regroupées et envoyées dans une centrifugeuse verticale. À la sortie de la centrifugeuse, on retrouve d'un côté des grignons très humides et de l'autre une émulsion huile/eau.

Au-delà de problème des rejets d'effluents, le système continu à trois phases est très consommateur d'eau et d'énergie thermique. Toutefois, ce type de système a un principal inconvénient, vu qu'il réclame un grand ajout d'eau pour fonctionner. L'eau ajoutée va se mélanger aux margines, ce qui augmente le volume de coproduits à éliminer. Le volume d'eaux résiduelles est de 2 à 3 fois supérieur à celui de produit par le système en discontinu, les margines sont, par conséquent moins concentrées (Aouadi, 2021) (Figure N°1).

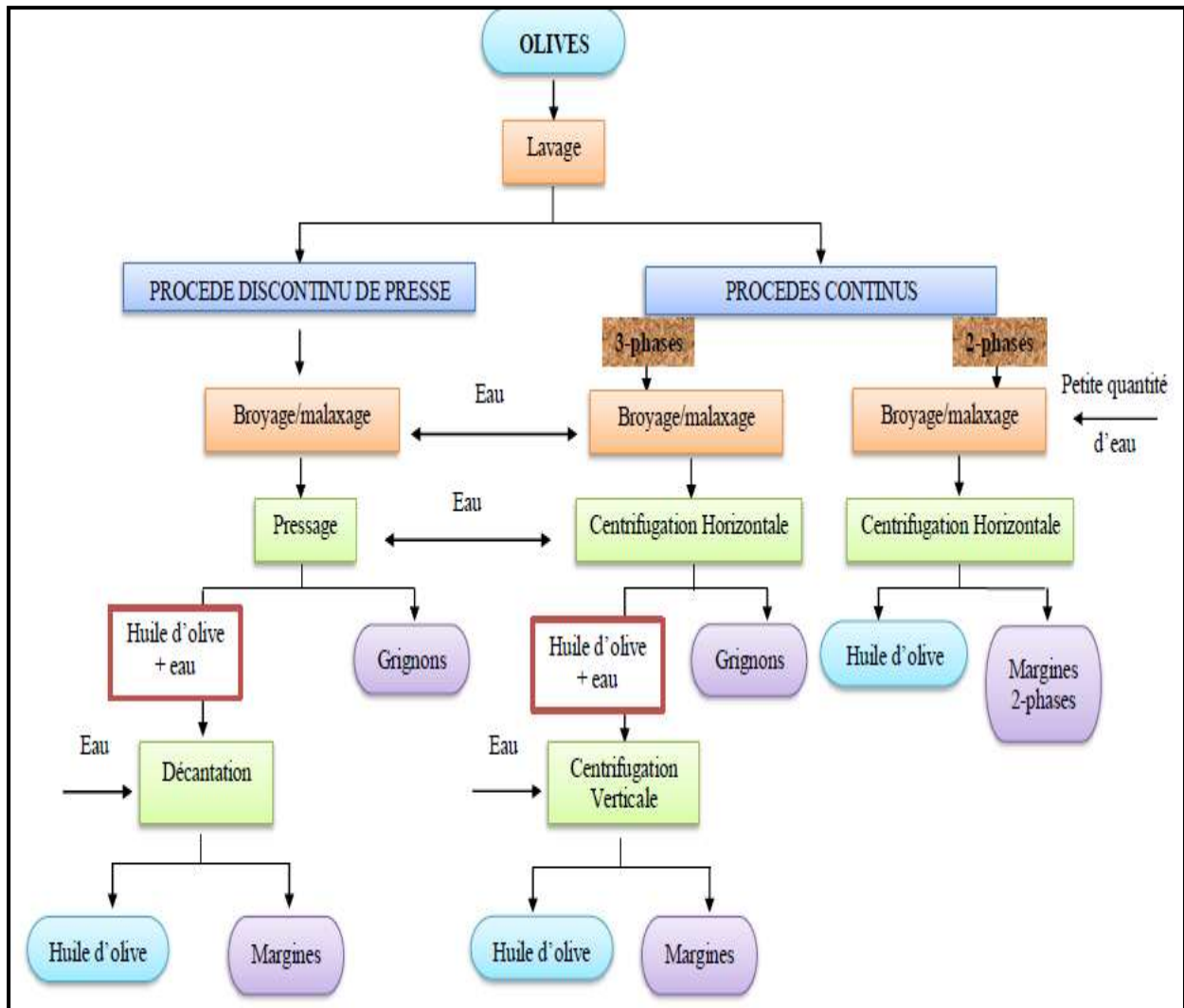


Figure N°1: Principaux processus d'extraction de l'huile d'olive (Aggoun-Arhab, 2016).

1.5 La qualité de l'huile d'olive

A. Définition de la qualité de l'huile d'olive

La qualité est définie par l'AFNOR « un produit ou service de qualité est un produit dont les caractéristiques lui permettent de satisfaire les besoins exprimés ou implicites des consommateurs ». La qualité d'huile d'olive dépend de divers facteurs liés aux variétés, aux conditions climatiques et culturelles ainsi qu'aux conditions de trituration (durée et conditions de stockage, mode de trituration traditionnel ou industriel), aussi bien que la taille, la fertilisation et l'irrigation des oliviers (Ouedrhiri *et al.*, 2017).

B. Les critères de qualité de l'huile d'olive

Le Conseil international de l'huile d'olive, la Commission européenne (CE) et le Codex Alimentaires ont défini la qualité de l'huile d'olive sur plusieurs paramètres, tels que l'acidité libre, teneur en acides gras, valeur du peroxyde, Spectres d'absorption dans la région UV, les solvants halogénés, la présence de certains métaux, les attributs sensoriels, les impuretés

insolubles, et même sa valeur nutritive qui est reliée directement avec sa teneur en acide oléique et en composants mineurs. De manière générale, pour être catégorisée en huile d'olive vierge extra, une huile ne doit présenter aucun défaut organoleptique, une très faible acidité et un très faible état d'oxydation. Ces caractéristiques assurent au consommateur l'achat d'un produit de qualité qui se conservera bien dans le temps (Conte, 2020).

a. Paramètres sensoriels

Selon (Codex, 2017). De nombreuses qualités gustatives (caractéristiques organoleptiques) permettent de caractériser une huile d'olive extra vierge. En effet, c'est une huile claire, de couleur jaune à vert, d'odeur et de saveurs spécifiques, exempte d'odeurs ou de saveurs révélant une altération ou une pollution de l'huile. Les composés volatils (aldéhydes, cétones, esters, alcools saturés et insaturés et autres) sont responsables de l'arôme de l'huile, tandis que le goût est influencé par tous les composants. L'évaluation des qualités sensorielles est basée sur les descripteurs positifs et négatifs des composants sensoriels de l'huile d'olive. La plupart de ces composés sensoriels sont polaires ou solubles dans l'eau, et sont malheureusement perdus à un degré plus ou moins élevé pendant l'extraction - surtout dans l'ancienne méthode d'extraction d'un décanteur à trois phases, où une énorme quantité d'eau est ajoutée au cours du processus. Dans l'huile raffinée, presque tous ces composés sensoriels seraient perdus, y compris les mauvais arômes. Pour l'huile d'olive extra-vierge, la moyenne des défauts est nulle et la moyenne de l'attribut fruité est supérieure à zéro. Pour l'huile d'olive vierge, la moyenne des défauts est supérieure à zéro, mais inférieure ou égale à 2,5, et la moyenne de l'attribut fruité est supérieure à zéro.

Selon (COI, 2018) Les attributs varient en fonction de la variété, stade de la maturité et de la période de la récolte du fruit.

➤ Attributs négatifs

Chômé/Lies : Flaveur caractéristique de l'huile tirée d'olives entassées ou stockées dans des conditions telles qu'elles se trouvent dans un état avancé de fermentation anaérobie ou de l'huile restée en contact avec les « boues » de décantation, ayant elles aussi subi un processus de fermentation anaérobie, dans les piles et les cuves.

Moisi – humide –terre : Flaveur caractéristique de l'huile obtenue d'olives attaquées par des moisissures et des levures suite à un stockage des fruits pendant plusieurs jours dans l'humidité ou de l'huile obtenue d'olives ramassée avec de la terre ou boueuses et non lavées.

Vineux-vinaigré : Flaveur caractéristique de certaines huiles rappelant le vin ou le vinaigre.

Acide aigre : Elle est due fondamentalement à un processus de fermentation aérobie des olives ou des restes de pâte d'olive dans des scourtins qui n'auraient pas été correctement lavés, de qui donne lieu à la formation d'acide acétique, d'acétate d'éthyle et d'éthanol.

Rance : Flaveur des huiles ayant subi un processus d'oxydation intense.

Olive gelée (Bois humide) : Flaveur caractéristique d'huiles extraites d'olives ayant fait l'objet d'un processus de congélation sur l'arbre.

➤ **Attributs positifs**

Fruité : Ensemble des sensations olfactives caractéristiques de l'huile, dépendant de la variété des olives, provenant de fruits sains et frais, verts ou mûrs, perçues par voie directe et/ou rétro nasale.

Amer : Goût élémentaire caractéristique de l'huile obtenue d'olives vertes ou au stade de la véraison, perçu par les papilles caliciformes formant le V lingual.

Piquant : Sensation tactile de picotement, caractéristique des huiles produites au début de la campagne, principalement à partir d'olives encore vertes pouvant être perçues dans toute la cavité buccale, en particulier dans la gorge.

b. Caractéristiques physico- chimiques

La caractérisation chimique de l'huile d'olive est en relation directe avec la détermination d'un certain nombre d'indices dont les plus importants sont:

Acidité : L'acidité est l'une des caractéristiques chimiques de l'huile d'olive qui sert à indiquer le niveau qualitatif d'une huile et à déterminer sa catégorie. Elle ne se perçoit jamais directement par un goût acide, mais par d'autres attributs organoleptiques. Elle est la teneur de l'huile d'olive en acides gras libres résultant de l'hydrolyse des triglycérides en acide oléique et elle est exprimée conventionnellement en grammes d'acide oléique libre pour 100 grammes d'huile (AFIDOL, 2018) (Tableau09).

Tableau09: Acidité des différentes variétés de l'huile d'olive.

| Catégories d'huile d'olive | Valeur limite de l'indice d'acidité |
|----------------------------|-------------------------------------|
| Vierge extra | $\leq 0,8$ |
| Vierge | ≤ 2 |
| Vierge courante | $\leq 3,3$ |
| Raffinée | $\leq 0,3$ |

Indice de peroxyde : L'indice de peroxyde (Ip) est le nombre de milliéquivalent d'oxygène actif par kilogramme de corps gras (Ouedrhiri *et al.*, 2017) (Tableau10).

Tableau10: Indice de peroxyde de différentes variétés de l'huile d'olive.

| Catégories d'huile d'olive | Valeur limite de l'indice de peroxyde |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Vierge extra | $\leq 20 \text{még O}_2/\text{Kg}$ |
| Vierge | $\leq 20 \text{még O}_2/\text{Kg}$ |
| Vierge courante | $\leq 20 \text{még O}_2/\text{Kg}$ |
| Raffinée | $\leq 5 \text{még O}_2/\text{Kg}$ |

Extinction spécifique : La détermination des coefficients d'extinction spécifiques dans l'ultraviolet pour une Solution d'huile à 1 % apparaît comme un des plus sûrs moyens de caractériser l'état d'oxydation de l'huile d'olive. Les hydro peroxydes peuvent être appréciés par leur absorption spectrophotométrique dans la zone UV aux environs de 232 nm. Ces peroxydes évoluent avec le temps et donnent lieu à la formation de produits divers tels les cétones insaturées et les dicétones qui absorbent dans la zone UV vers 270 nm. Le degré et le stade d'oxydation d'une huile peuvent donc être évalués par des coefficients d'absorption de la lumière dans l'ultraviolet appelés absorbances spécifiques K232 et K270.

Le raffinage des huiles d'olive provoque, par migration des doubles liaisons le long de la chaîne grasse, la formation de systèmes conjugués (triènes conjugués) qui absorbent également à la longueur d'onde de 270 nm. Les systèmes conjugués ont, cependant, un spectre UV qui comporte, en plus de la bande d'absorption à 270 nm, deux autres bandes d'absorption situées respectivement à 266 et à 274 nm ; ces dernières sont utilisées pour distinguer l'absorption due aux produits d'oxydation de celle due aux systèmes conjugués (Ouedrhiri *et al.*, 2017) (Tableau11).

Tableau11: Coefficients d'extinction des différentes variétés de l'huile d'olive.

| Catégories d'huile d'olive | Valeur limite autorisée | |
|----------------------------|-------------------------|------------|
| | K270 | K232 |
| Vierge extra | $\leq 0,20$ | $\leq 2,4$ |
| Vierge | $\leq 0,25$ | $\leq 2,5$ |
| Vierge courante | $\leq 0,30$ | - |
| Raffinée | $\leq 1,10$ | - |

Indice d'acide

Corresponds au nombre de milligrammes de potasse (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres dans un gramme de corps gras (COI, 2018).

Indice de saponification

C'est la quantité de potasse exprimée en mg nécessaire pour transformer en savons les acides gras libres liés contenus dans 1g de corps gras (COI, 2018) (Tableau12).

Indice d'Iode

C'est le nombre de grammes d'Iode fixés par 100 g de corps gras (COI, 2018) (Tableau12).

Tableau 12: Caractéristiques physico-chimiques de l'huile d'olive vierge (COI, 2015).

| | |
|---|-----------------|
| Teneur en eau(%) | $\leq 0,2$ |
| Densité relative (20°C/eau à 20°C) | 0,910-0,916 |
| Acidité (%) (g d'acide oléique/100g d'huile) | ≤ 2 |
| Indice de réfraction (nD 20°C) | 1,4677 - 1,4705 |
| Indice de peroxyde (még O ₂ /Kg d'huile) | ≤ 20 |
| Indice d'iode (g d'iode / 100g d'huile) | 75 – 94 |
| Indice de saponification (mg KOH/Kg d'huile) | 184-196 |
| Absorbance dans l'ultraviolet à 232 nm | $\leq 2,6$ nm |
| Absorbance dans l'ultraviolet à 270 nm | $\leq 0,25$ nm |
| Δk | $\leq 0,01$ |

Partie II : Méthodologie Expérimentale

Matériels et méthodes

1. Problématique

Devant la rareté de la ressource conventionnelle en eau, la mauvaise gestion des ressources en eau ainsi que la pollution causée par les rejets des eaux usées dans le milieu naturel, Le traitement des eaux usées est donc essentiel pour protéger le milieu naturel et pour créer des nouvelles ressources en eau. Pour la réutilisation et la valorisation pour irrigation agricole.

2. Objectif

L'objectif de cette étude est la valorisation des eaux usées épurées et leur réutilisation en agriculture pour l'irrigation des cultures en raison de la rareté de l'eau et manque de précipitation et leur impact sur la qualité nutritionnelle de l'huile d'olive et déterminer l'effet d'irrigation par les eaux usées traitées de la station d'épuration de Hadjadj en comparaison avec les eaux de puits, sur la qualité physico-chimiques de l'huile d'olive, en minimisant les dommages causés par l'impact des métaux lourds et les germes pathogènes pour protéger la santé de consommateur.

3. Présentation de zone d'étude

Situation géographique de la commune de Hadjadj

Hadjadj, anciennement Bosquet pendant la période de colonisation française, est une commune côtière de la wilaya de Mostaganem en Algérie. La commune est située dans la boira de Sidi Lakhdar. La commune de Hadjadj est limitée : au nord par la mer Méditerranée, au sud par la commune de Sidi-Belatar (ex-Pont-du-Chéliff), à l'ouest par la commune de Ben-Abdel Malek Ramdane (ex-Ouillis), et à l'est par la commune Sidi-Ali (ex-Cassaigne) et de Sidi-Lakhdar (ex-Lapasset). Son chef-lieu est situé à Hadjadj, à 16 km du siège de la Daïra (arrondissement) et 35 km de la wilaya (département).

La commune est divisée en trois parties :

Le plateau littoral nord-est est une partie montagneuse couverte de forêts et de broussailles et un plateau vallonné au centre.

Il existe une frange de territoire au nord, riche et prospère.

Au sud, la région est montagneuse et déshéritée. Les terres, présentant une légère inclinaison vers la mer, donnent une succession de coteaux propices à la culture et à la vigne. Les forêts de Chouachi et d'Oued Bourahma sont régies par les services de la conservation des forêts de

la wilaya de Mostaganem. Les principales essences de ces forêts sont : le pin d'Alep, eucalyptus, le thuya, le genévrier et le pin pignon.

Elle présente une superficie de 92 m². Les coordonnées géographiques de la commune sont : 36° 07' 15" Nord, 0° 20' 17" Est.



Figure N°2: Situation géographique de Hadjadj (Google Earth, 2023).

Situation administrative

Hadjadj est une circonscription administrative algérienne située dans la wilaya de Mostaganem. Selon le Recensement général de la population et de l'habitat de 2008, la commune de Hadjadj est évaluée à 17330 Habitants pour une densité de 188 habitants/km².

Aspect climatique

Hadjadj possède un climat tempéré méditerranéen a été chaud et sec selon la Classification de Koppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Hadjadj est de 18.1°C et les précipitations sont en moyenne de 382mm.

4. Présentation de station d'épuration de Hadjadj

La station d'épuration de Hadjadj traite toutes les eaux de la commune, elle est conçue pour pouvoir épurer un débit de 2600 m³/j qui correspondent à 18000 EQ/HAB. Elle présente une superficie à être irriguée 100 HEC, la station d'épuration est du type de process Lagunage aéré. Les coordonnées géographiques de la station d'épuration sont 36° 06' 25'' Nord, 0° 20' 02'' Est.



Figure N°3: Situation géographique de la station d'épuration de Hadjadj (Google Earth, 2023).

5. Les systèmes épuratoires de la wilaya de Mostaganem

La Wilaya de Mostaganem dispose actuellement de neuf (09) stations d'épuration, dont quatre (04) stations réceptionnées en 2017 et 2018. Notamment la STEP de Mostaganem a bénéficiée d'une réévaluation avec un montant de 800 000 000,00 DA, pour l'achèvement de La réalisation du système tertiaire, confinement des ouvrages et relevage des eaux épurées vers la frange maritime environ 2.000 ha irriguées. Une haute augmentation a été enregistrée dans le taux d'épuration des eaux usées durant l'année 2017, de 25% à 75 % soit 126.000 m³/j, dont 71.700 m³/j ont été déversés directement au milieu marin, actuellement le taux de la dépollution de littoral est de 95%.

Tableau 13: Systèmes épuratoires à travers la wilaya (DRE de la wilaya de Mostaganem, 2018).

| LE VOLUME GLOBAL DES EAUX USÉES DE LA WILAYA EST DE 110 000 M3/J | | | | | | |
|--|--|--------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---|
| STATIONS D'ÉPURATION EN EXPLOITATION | | | | | | |
| COMMUNE | STATIONS | CAPACITE EQ/HAB | STATIONS | VOLUME EPURE M3/J | SUPERFICIE A ETRE IRRICUEE HEC | ETAT |
| AIN NOUISSY | STATION DE LAGUNAGE AIN NOUISSY ET BENI YAHI | 36 000 | AERE | 5 200 | 100 | Gérée par l'ONA Depuis le 04.01.2012 |
| FORNAKA | STATION DE LAGUNAGE DE FORNAKA ET KEDADRA | 27 000 | NATUREL | 4 000 | 120 | Gérée par l'ONA Depuis le 10.11.2011 |
| BOUGUIRAT | STATION DE LAGUNAGE DE BOUGUIRAT | 18 000 | NATUREL | 2 600 | 120 | Gérée par l'ONA Depuis le 18.07.2012 |
| MESRA | STATION DE LAGUNAGE DE MESRA | 18 000 | AERE | 2 600 | 120 | Gérée par l'ONA Depuis le 02.12.2013 |
| HADJADJ | STATION DE LAGUNAGE DE HADJADJ | 18 000 | AERE | 2 600 | 100 | Gérée par l'ONA Depuis le 18.03.2013 |
| PLUS DE 17 000 M3/JOURS DES EAUX USEES EPUREES VIA LES CINQ STATION DE LAGUNAGE SOIT UN TAUX D'ÉPURATION DE 16 % DU VOLUME D'EAU REJETES | | | | | | |
| STATIONS D'ÉPURATION EN COURS DE RÉALISATION | | | | | | |
| SIDI LAKHDAR | STATION D'ÉPURATION DE SIDI LAKHDAR | 35 000 | BOUES ACTIVEES A MOYENNE CHARGE | 5 600 | 220 | Mise en service Mars 2016 |
| KHADRA | STATION D'ÉPURATION DE KHADRA | 30 000 | BOUES ACTIVEES A MOYENNE CHARGE | 4 300 | 50 | Mise en service Janvier 2016 |
| LE VOLUME DES EAUX USÉES ÉPURÉES ATTEINDRA LES 26 900 M3/J, SOIT UN TAUX DE 25 % APRÈS LA MISE EN SERVICE DES DEUX STEP 1ER TRIMESTRE 2016 | | | | | | |
| SIDI ALI | STATION D'ÉPURATION DE SIDI ALI | 40 000 | BOUES ACTIVEES A FAIBLE CHARGE | 5 800 | 220 | Travaux en cours Date mise en service Juillet 2016 |
| MOSTAGANEM | STATION D'ÉPURATION DE MOSTAGANEM | 350 000 | BOUES ACTIVEES A MOYENNE CHARGE | 50 000 | 850 | Travaux en cours Date mise en service Juillet 2016 |

I. Analyses physicochimiques et microbiologiques des eaux usées traitées

Échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate.

Le prélèvement d'un échantillon d'eau conditionne les résultats analytiques et leurs interprétations.

L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physicochimiques de l'eau (**Rodier et al.**, 2009).

Prélèvement des échantillons d'eau

Les échantillons des eaux usées épurées sont recueillis dans des bouteilles en plastiques pour les analyses physicochimiques.

Pour les paramètres bactériologiques, on a utilisé des flacons en verre stérilisés à 120C°, pendant 1heure.

Les bouteilles de prélèvement sont nettoyées et identifiées : la date, l'heure et l'endroit de prélèvement sont mentionnés.

Les bouteilles sont d'abord rincées deux à trois fois par l'eau à analyser, puis elles sont remplies, en les plongeant à profondeur de 20cm de la surface d'eau.

Durant la période de prélèvement, on évite toute modification des caractéristiques des échantillons (teneur en gaz, composés volatils, contamination biologiques).

Le temps de transport des échantillons doit être minimisé au maximum jusqu'à l'arrivée au laboratoire.

Les échantillons doit être conservés à une température entre 3C° et 5C°.

A. Analyses physicochimiques

1. Température (T)

La température a été mesurée à l'aide d'un thermomètre de type Tempé Mètre.PDO-408. En plongeant l'électrode à environ 15cm de profondeur pendant 10min. On prend la valeur affichée. Le résultat est exprimé en degré Celsius (C°).

2. Potentiel hydrogène (pH)

Principe

C'est la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant de même solution. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺ (**Rodier et al., 2009**) (**Annexe N°1**).



Figure N°4: Détermination de pH par pH-mètre (**Photo originale, 2023**).

3. Matières en suspension (MES)

Principe

Les matières en suspension ont obtenu soit par filtration des effluents peu chargés, soit par centrifugation des solutions, séchages jusqu'à l'évaporation totale d'eau. Dans la méthode par la filtration. Les MES sous des pressions, sur disque filtrant en fibres de verre, elles sont déterminées par pesée après séchage à 105°C (**Rodier et al., 2009**) (**Annexe N°2**). La détermination de MES selon les formules suivantes :

Par filtration

Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration des matières en suspension dans l'échantillon.

On applique la formule suivante :

$$[\text{MES}] = (M1 - M0) * 1000 / V.$$

[MES] : Concentration des MES en (mg/l).

M0 : Masse de la membrane avant filtration.

M1 : Masse de la membrane après filtration.

V : Volume d'échantillon filtré.



Figure N°5: Détermination de MES par filtration (Photos originales, 2023).

Par centrifugation

Le rapport entre la différence des masses et le volume filtré donne la concentration des matières en suspension dans l'échantillon.

On applique la formule suivante :

$$\boxed{[MES] = (M1 - M0) * 1000 / V.}$$

[MES] : Concentration des MES en (mg/l).

M0 : Masse de la capsule vide .

M1 : Masse de la capsule après l'étuvage.

V : Volume de la prise d'essai.



Figure N°6: Détermination de MES par centrifugation (Photos originales, 2023).

4. Demande biologique en oxygène (DBO5)

Principe

La détermination de la DBO5 consiste à mesurer la consommation d'oxygène par voie biologique à une température constante égale 20C° à la présence de l'inhibiteur de nitrification et l'hydroxyde de potassium. Pendant un temps limité par convention 5 jours. La réduction de l'oxygène au niveau d'une cathode convenable engendre un courant proportionnel à la pression partielle d'oxygène dans la solution (Rodier, 1996) (Annexe N°3).



Figure N°7: Détermination de DBO5 (Photos originales, 2023).

5. Demande chimique en oxygène (DCO)

Principe

La DCO consiste à mesurer la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation des matières oxydables présentes dans l'eau. Pendant 2h à l'ébullition (150C°). La DCO est mesurée par voie photométrique (Rodier, 1996) (Annexe N°4). La demande chimique en oxygène exprimé en mg d'O2/L est donnée par la formule suivante :

$$\text{DCO} = 8000T \text{ (V blanc - V ECH) / PE.}$$

8000 : est la masse molaire, en milligramme par litre de 1/202

T : est la concentration en qualité de matière, exprimée en mol/l. de la solution de Sulfate de fer (II) et d'ammonium, calculé par la formule suivante :

$$T = (10,0 \times 0,04 \times 6) / V \quad \text{Titre} = 2,4 / v.$$



Figure N°8: Détermination de DCO (Photos originales, 2023).

6. Détermination de l'oxygène dissous (OD)

Principe

Le taux d'oxygène dissout est un paramètre le plus sensible à l'apport de pollution organique des coupes d'eau (Rodier *et al.*, 2009). Les mesures de l'oxygène dissout a été effectué in situ à l'aide d'une oxymétrie (OX 192) après une émission de quelques minutes de l'électrode dans l'eau à analyser on note la valeur indiquée en mg/l.



Figure N°9: Détermination de l'oxygène dissous par oxymétrie (Photo originale, 2023).

7. Mesure de la conductivité électrique (CE)

Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique et s'exprime généralement par milli siemens par centimètre « ms/cm » (Rodier, 1996). Le résultat est donné directement en uS/cm ou bien en mS/cm (Annexe N°5).



Figure N°10: Mesure de la conductivité électrique par conductimètre (Photo originale, 2023).

B. Analyses bactériologiques

1. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Les streptocoques sont des témoins sensibles et spécifiques d'une contamination d'origine fécale, La recherche se fait en bouillon à l'acide de sodium « bouillon de Rothe ». La recherche sur le milieu liquide comporte :

- un test présomptif.
- un test confirmatif.(Rodier *et al.*, 2009) (Annexe N°8).

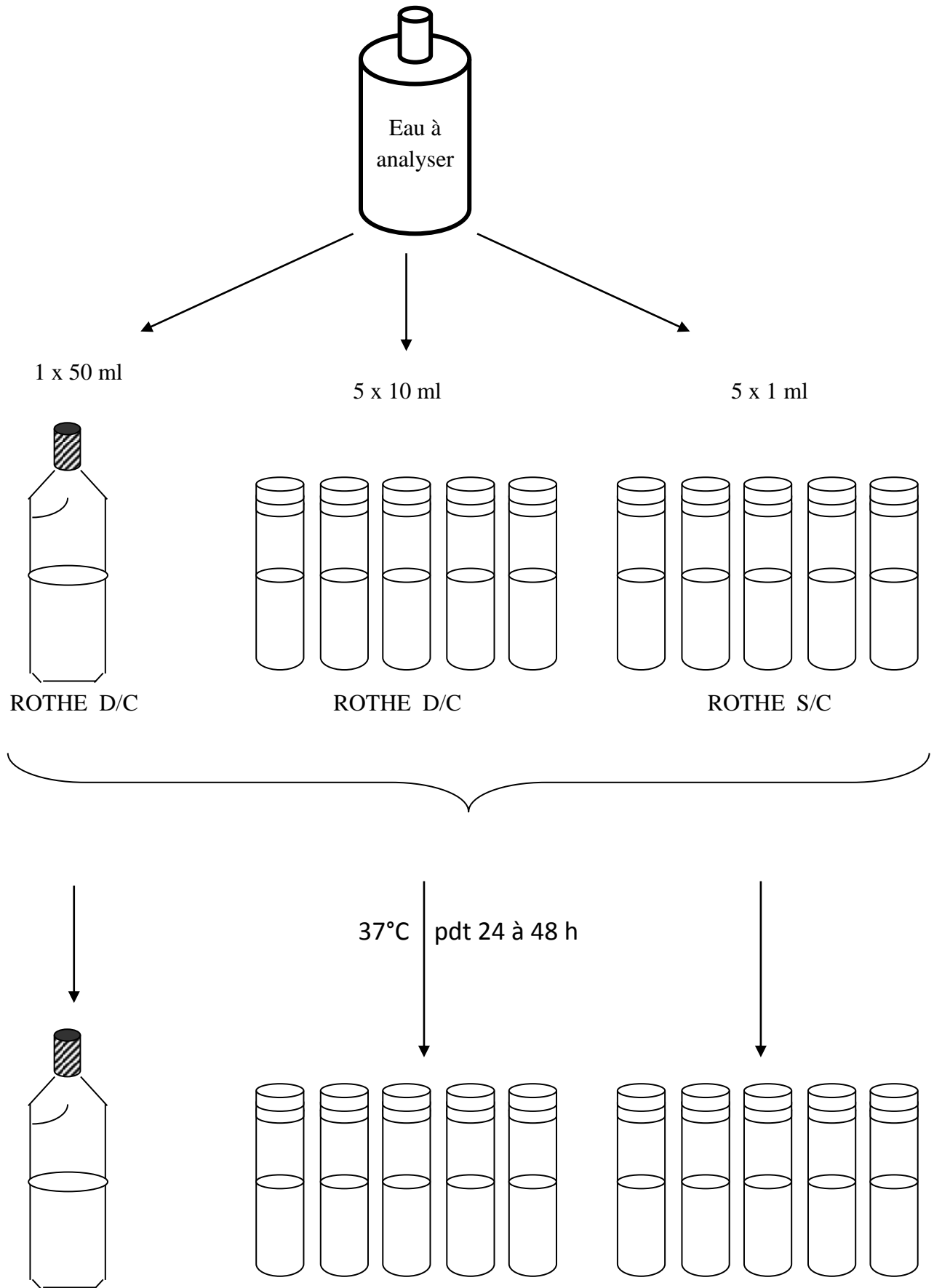
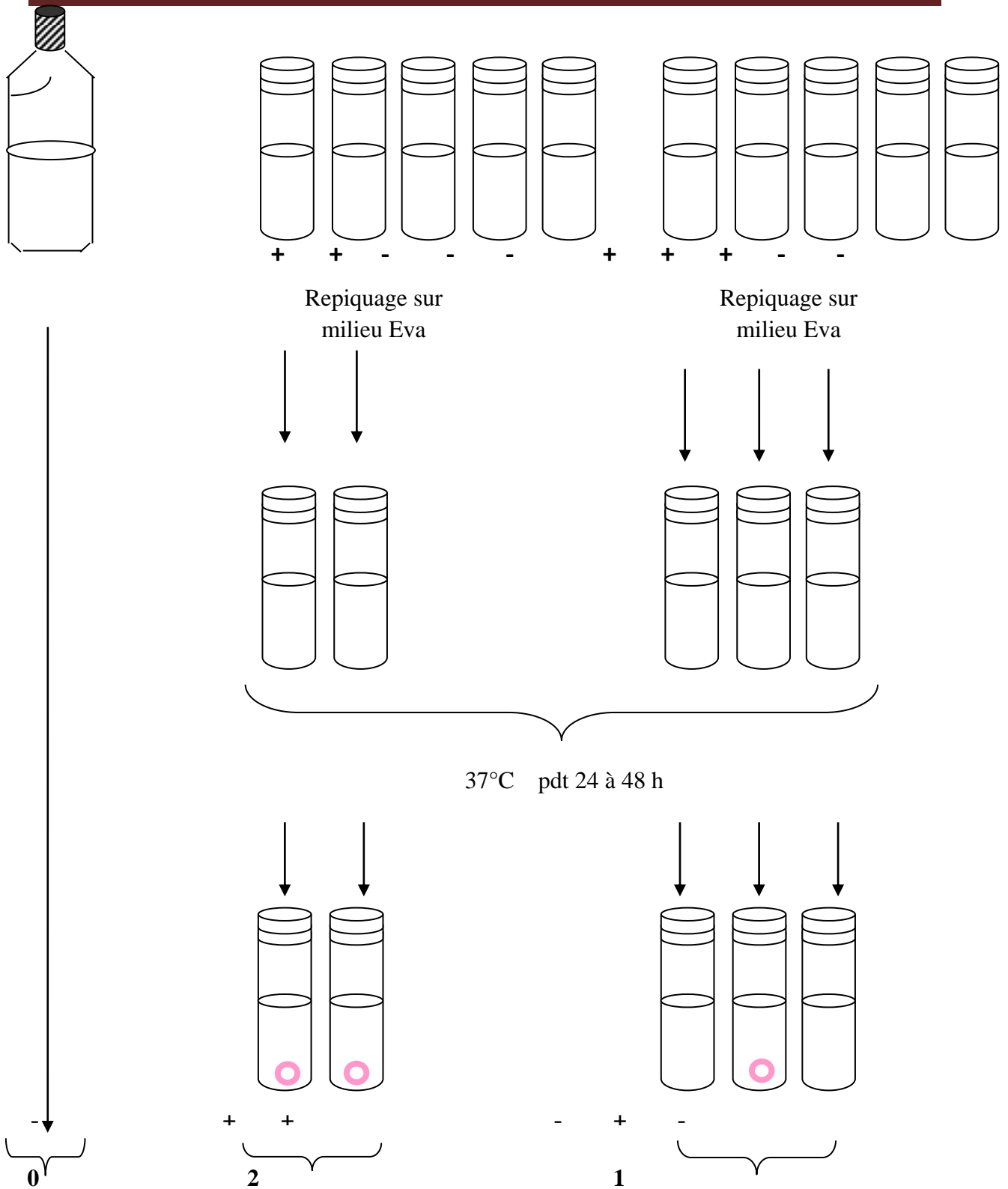


Figure N°11: Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide (Streptométrie) Test de présomption



S'il y a culture et virage au jaune avec présence d'une pastille violette
 Au fond de tube = présence de Streptocoques fécaux

Figure N°12: Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux en milieu liquide (Streptométrie)
 Test de confirmation

2. Recherche et dénombrement des coliformes

La colorimétrie consiste à déceler et à dénombrer les germes coliformes, dont les coliformes fécaux, notamment d'origine fécale. En utilisant le bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol « B C P L ». Elle se réalise en deux étapes :

-La recherche présomptive.

-La recherche confirmative (**Rodier, 1996**) (**Annexe N°8**).

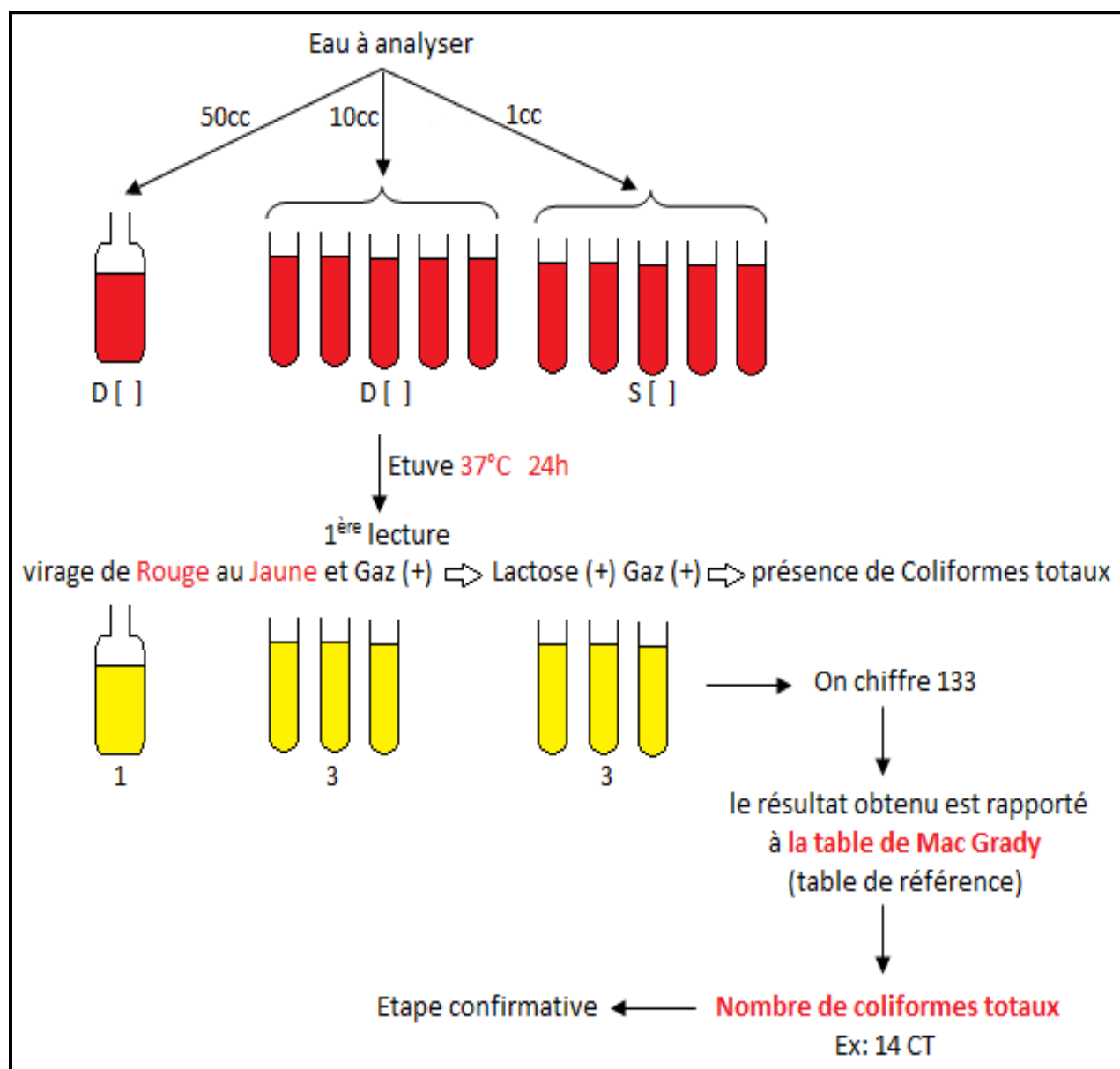


Figure N°13: Recherche et dénombrement des coliformes totaux (Test présomptif)

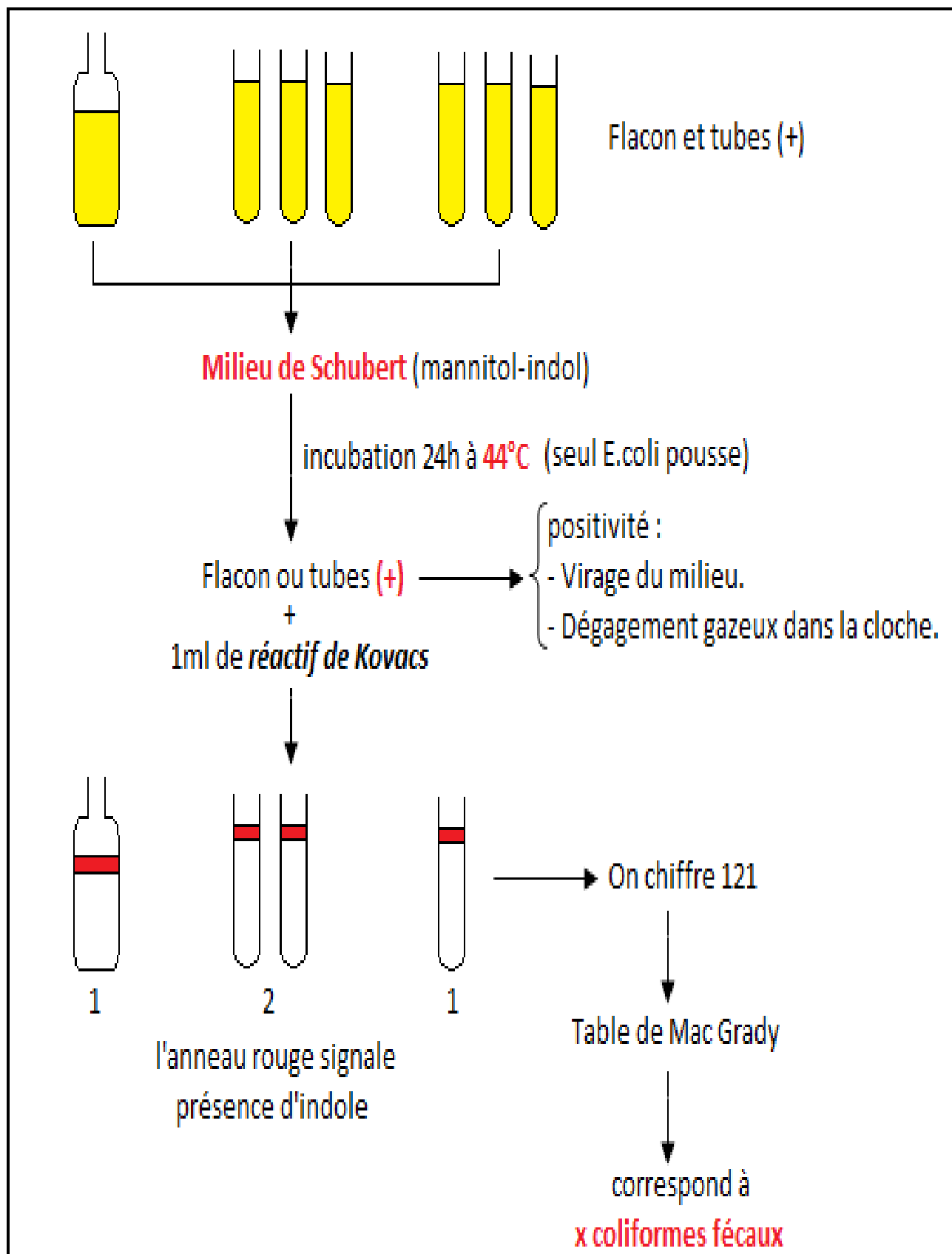


Figure N°14: Recherche et dénombrement des coliformes fécaux : Recherche d'*Escherichia coli* (Test confirmatif).

2. Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs (ASR)

Principe

Les anaérobies sulfitoréducteurs (ASR) se développent de 24h à 48h sur une gélose viande-foie (VF) ils réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui trouve dans le milieu en sulfure de fer (FeS) en présence de fer (Fe^{+2}), en donnant des colonies de couleur noire. Les spores des (ASR) constituent généralement des indices de contamination ancienne (**Rodier et al.**, 2009) (Annexe N°6)

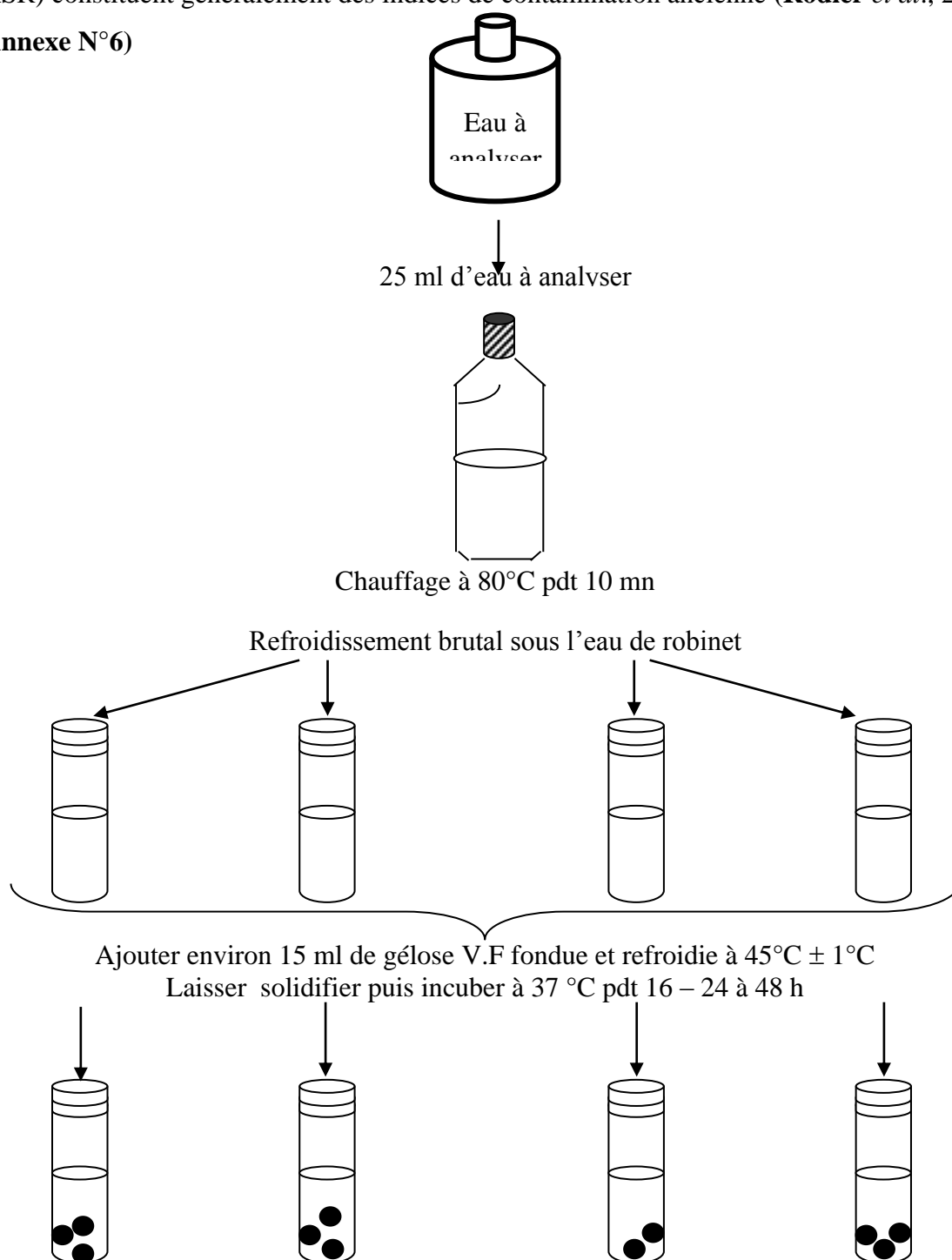


Figure N°15: Recherche et dénombrement des spores d'anaérobies sulfitoréducteurs

4. Recherche et dénombrement de staphylocoques (*staphylococcus aureus*)

Principe

L'espèce *staphylococcus aureus* se présente sous forme de coquille, en grappe, Gram+, possédant l'enzyme catalase et la coagulase. Dans notre étude, la recherche de ces espèces effectuée en utilisant l'enrichissement sur milieu de Chapman (**Rodier et al., 2009**). La lecture s'effectue après 48h d'incubation. Repérer les colonies suspectes à savoir les colonies de taille moyenne, lisses, brillantes, pigmentées en jaune (**Annexe N°7**).

5. Recherche de coliformes fécaux et totaux

Principe

Il s'agit d'une culture en profondeur d'un milieu gélosé VRBG. A partir de la solution mère ainsi que de ses dilutions décimales, on procède à un ensemencement en profondeur, en portant aseptiquement 1ml dans les boites de pétri stériles, auxquelles on ajoute 15 ml VRBG fondue puis refroidie à 45°C. Faire ensuite des mouvements circulatoires pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose et laisser solidifié sur paillasse. Incuber les boites, couvercle en bas à 37°C pendant 24 heures à 48 h pour les coliformes totaux et à 44°C pendant 24 à 48 h pour les coliformes fécaux (**ISO 21528-1, 2004**).

6. Recherche des salmonelles

Principe

La recherche de salmonelle dans les denrées alimentaires se fait par trois étapes : un pré-enrichissement sur le bouillon au sélénite de sodium et à la cystéine (SFB), un enrichissement et un isolement sur le milieu gélose Salmonella-Shigella (SS).

Premier jour : Enrichissement

Introduire 1ml de l'échantillon dans 1 ml de sélénite cystéine (SFB). Puis incubé à 37°C pendant 18 à 24 h (**Navoun, 2005**).

Deuxième jour : Isolement

On porte 0.1 ml (2 gouttes) de milieu d'enrichissement et à l'aide d'une pipette pasteur stérile ensemencé dans des boites de pétri contenant gélose Salmonella-Shigella (Gélose SS). Par la suite, les boites sont incubées à 37°C pendant 24h (**Rodier et al, 2009**). Après 24 heures, les salmonelles se présentent sous forme des colonies incolores à centre noir (**Navoun, 2005**).

II. Analyses physicochimiques de l'huile d'olive

Echantillonnage

Dans notre étude a porté sur trois échantillons d'huile d'olive d'origine algérienne collectés, durant la campagne oléicole 2022/2023 à partir de la région de Hadjadj et Bejaia. Les échantillons d'huile d'olive sont mis dans des flacons propres et secs d'un volume de 1L, bien fermés et placés à l'abri de la lumière, la variété utilisée dans la production de l'huile c'est 100% Chemlal, Cette variété représente environ 40 % du verger oléicole Algérien cultivée essentiellement en grande Kabylie où elle occupe une place importante dans l'économie de la région. Il ne s'agit pas d'une variété mais probablement d'une population, car il existe plusieurs types de Chemlal : - Chemlal de Tizi Ouzou - Chemlal précoce de Tazmalt - Petite Chemlal pendante - Chemlal de l'Oued Aissa - Chemlal Blanche d'Ali- Chérif .Son rendement en huile est de l'ordre de 18 % à 24 %. Elle est réputée pour produire une huile d'excellente qualité. Chemlal est une Variété rustique, tardive, avec une productivité élevée et peu alternante, autostérile et toujours associée à d'autres variétés qui assurent sa pollinisation comme Azeradj et Sigoise. L'huilerie traditionnelle.

1. Indice d'acide (IA)

Principe

L'indice d'acide correspond au nombre de milligrammes de potasse KOH nécessaire pour neutraliser les acides gras libres dans un gramme de corps gras. L'acidité est le pourcentage d'acides gras libres. La teneur de l'huile d'olive en acides gras libres résultants de l'hydrolyse des triglycérides et exprimée conventionnellement en oléique (g/100g huile). La méthode consiste à doser les acides gras libres par titrage des acides gras libres présents à l'aide d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium à la présence d'un indicateur coloré phénolphthaléine. Le principe de la détermination de l'acidité une l'huile est basé sur celui un dosage acido-basique. Il est déterminé selon la méthode décrite dans le règlement (COI, 2018) (Annexe N°9). Détermination de l'indice d'acide et l'acidité par les formules suivantes :

$$\text{L'indice d'acide} = (56,1 * V * N) / P.$$

56,1 : la masse molaire de KOH (mol/l).

V : le volume KOH utilisé (ml).

N : normalité de la solution de KOH (0,1N).

P : la masse de la prise d'essai (g).

L'acidité est exprimée en pourcentage en poids d'acide oléique :

$$A(\%) = 282.5 * N * V * 100 / P * 1000. \text{ Ou } \text{À}(\%) = IA/2.$$

282.5 : masse molaire de l'acide oléique.

N : normalité de la solution titrer KOH (0,1N).

V : volume de KOH utilisé (ml).

P : masse de prise d'essai (g).

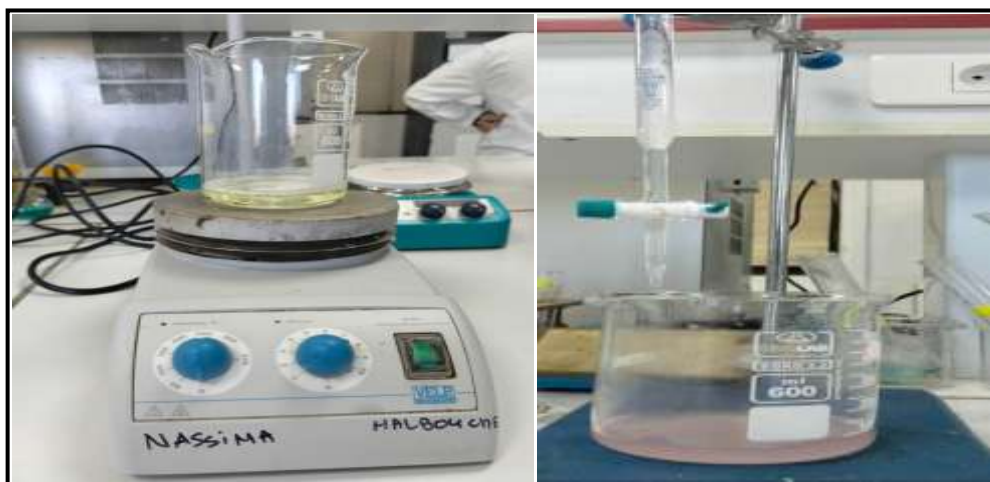


Figure N°16: Détermination de l'indice d'acide et l'acidité (photos originales, 2023).

2. Indice de saponification (Is)

Principe

c'est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaire pour neutraliser les acides gras libres et saponifier les acides gras combinés (esters) présents dans un gramme de l'huile d'olive. Il s'agit de traiter l'ester par la potasse suffisamment concentrée et chaude, ce qui régénère suivant une réaction totale de l'alcool et le sel de potassium de l'acide en donnant naissance d'un ester, il est déterminé en mélangeant un volume d'huile avec de la potasse et Titration avec de l'acide chlorhydrique. (**Norme Codex STAN 33-1981**, 2003) (**Annexe N°10**). Détermination de l'indice de saponification par la formule suivante :

$$I_s = (V - V_0) * N * 56,1 / P.$$

V₀ : volume de HCL utilisé pour l'essai à blanc (ml).

V : volume de HCL utilisé pour l'échantillon à analyser (ml).

N : la normalité de la solution HCL 0,5N.

P : prise d'essai en gramme.

L'indice de saponification est exprimé en mg de KOH/g d'huile.



Figure N°17: Détermination de l'indice de saponification (**Photos originales**, 2023).

3. Indice de peroxyde (I_p)

Principe

L'indice de peroxyde est une mesure permettant d'estimer la quantité de peroxyde, exprimée en milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme d'huile, qui oxydent l'iodure de potassium dans les conditions de fonctionnement décrites. Le principe est basé sur le traitement de la prise d'essai (huile), en solution dans de l'acide acétique et du chloroforme, par une solution d'iodure de potassium, puis titrage de l'iode libéré avec une solution de thiosulfate de sodium en présence d'empois d'amidon comme indicateur coloré (COI/T.20/Doc. No 35/Rev. 1 2017) (Annexe N°11). La détermination l'indice de peroxyde par la formule suivante :

$$I_p = (V - V_0) * N * 1000 / P.$$

V₀ : le volume de thiosulfate de sodium dans le blanc (ml).

V : le volume de thiosulfate de sodium dans la prise d'essai (ml).

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium 0,01N.

P : poids de prise d'essai (g).

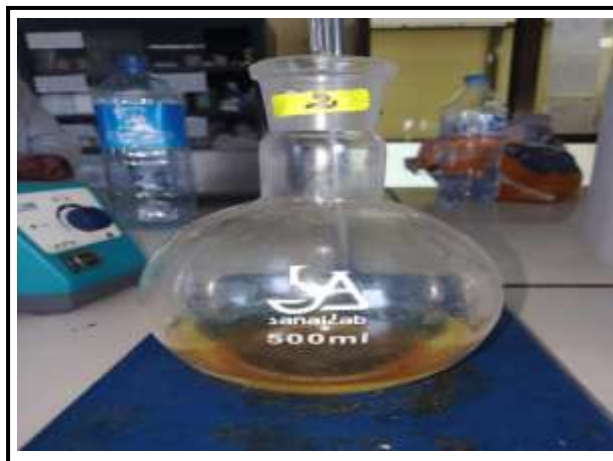


Figure N°18: Détermination de l'indice de peroxyde (**Photo originale**, 2023).

4. Indice d'iode (Ii)

Principe

L'indice d'iode est le nombre en gramme d'iode fixé par 100g de corps gras. Cette réaction d'addition est utilisée pour détermination qualitativement l'instauration des corps gras. Pour cette mesure, utilisez la méthode décrite selon la norme (A.O.C.S, 1992) (**Annexe N°12**). L'indice d'iode est donné par la formule suivante :

$$I_i = (V - V_0) * N * 1,269 / P.$$

V₀ : volume de thiosulfate de sodium nécessaire pour titrer l'essai à blanc (ml).

V : volume de thiosulfate de sodium nécessaire pour titrer l'échantillon (ml).

P : prise d'essai en gramme(g).

N : normalité de la solution de thiosulfate de sodium à (0,1N).



Figure N°19: Détermination de l'indice d'iode (**Photos originales**, 2023)

5. Indice de siccativité

Principe

L'indice de siccativité de l'huile d'olive mesure la capacité de l'huile à sécher ou durcir au contact de l'oxygène de l'air. Cet indice est important pour évaluer la qualité de l'huile et sa capacité à être utilisée dans la production de peintures, vernis et autres produits similaires (**Romero et al.**, 2018) et (**Kalogeropoulos et al.**, 2014) (**Annexe N°13**). Calculer l'indice de siccativité en utilisant la formule suivante :

Indice de siccativité= hauteur de la couche supérieure en mm/ la masse d'échantillons.

L'indice de siccativité est exprimé en millimètres par heure et représente le temps nécessaire pour qu'une pellicule d'huile sèche complètement à l'air libre. Un indice de siccativité élevé indique une huile qui sèche rapidement, tandis qu'un indice bas indique une huile qui sèche lentement.



Figure N°20: Détermination de l'indice de siccativité (**Photo originale**, 2023).

6. Indice de réfraction (IR)

Principe

Pour déterminer l'indice de réfraction, assurez-vous que le réfractomètre est propre et sec avant de l'utiliser. Ouvrez le prisme du réfractomètre et nettoyez-le avec un chiffon doux pour enlever toute trace de poussière ou de saleté. Versez quelques gouttes d'huile d'olive sur le prisme en évitant les bulles d'air, puis refermez le prisme en vous assurant qu'il est bien fixé. Regardez à travers l'oculaire du réfractomètre et ajustez la mise au point pour obtenir une image claire. Lisez la valeur de l'indice de réfraction sur l'échelle graduée du réfractomètre. Enlevez l'échantillon d'huile d'olive du prisme et nettoyez-le soigneusement avec un chiffon doux et propre. Il est important de noter que la température de l'échantillon peut affecter la précision de la mesure. Par conséquent, il est recommandé de laisser l'échantillon s'équilibrer à la température ambiante avant de réaliser la mesure (AOAC, 1990).



Figure N°21: Détermination de l'indice de réfraction par réfractomètre (Photo originale, 2023).

7. Détermination de teneur en caroténoïdes

Principe

La détermination de teneur en caroténoïdes a été effectuée par la méthode de mesure de l'absorbance. Le principe de cette méthode consiste à mesurer l'absorbance à 470nm d'un échantillon d'huile en solution dans le cyclohexane (MINGUEZ MOSQUERA et GANDUL-ROJAS, 1996) (Annexe N°14). La teneur en caroténoïdes est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Caroténoïdes (mg/kg)} = (\text{Abs}_{470} \times 10^6) / (2000 \times 100 \times T).$$

Abs₄₇₀ : absorbance à 470nm.

T : le trajet optique= 1cm.

2000 : coefficient d'extinction β -carotène dans l'huile.

8. Détermination de teneur en chlorophylle

Principe

La détermination de teneur en caroténoïdes a été effectuée par la méthode de mesure de l'absorbance. Le principe de cette méthode consiste à mesurer l'absorbance à 670nm d'un échantillon d'huile en solution dans le cyclohexane (MINGUEZ MOSQUERA et GANDUL-ROJAS, 1996) (Annexe N°14). La teneur en chlorophylle est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Chlorophylle (mg/kg)} = (\text{Abs}_{670} \cdot 10^6) / (613 \cdot 100 \cdot T).$$

Abs₆₇₀ : Absorbance à 670nm.

T : le trajet optique= 1cm.

613 : coefficient d'extinction de la chlorophylle dans l'huile.



Figure N°22: Détermination la teneur en caroténoïdes et chlorophylle (photos originales, 2023).

9. Détermination la teneur en polyphénols

Principe

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PM₁₂O₄₀). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxyde bleu de tungstène et de molybdène, ce qui aide à doser les phénols dans le visible à une longueur d'onde de 760nm

(Singleton *et al.*, 1999) (Annexe N°15). La quantité en polyphénols totaux est exprimée en ppm (mgEAG/kg). Selon la formule suivante:

$$\text{Polyphénols en ppm (mg/kg)} = A_{760} * V * (1000 * P_0) * a.$$

A₇₆₀ : Absorbance à 760nm.

V : Volume de l'extrait de la solution méthanolique (ml).

P₀ : Prise d'essai de l'échantillon (g).

A: coefficient déduit par la méthode exprimé en acide gallique.



Figure N°23: Extraction des composés phénoliques (Photos originales, 2023) (Annexe N°15).



Figure N°24: Dosage de polyphénols à longueur d'onde 760nm (photos originales, 2023) (Annexe N°15).

Gamme d'acide gallique

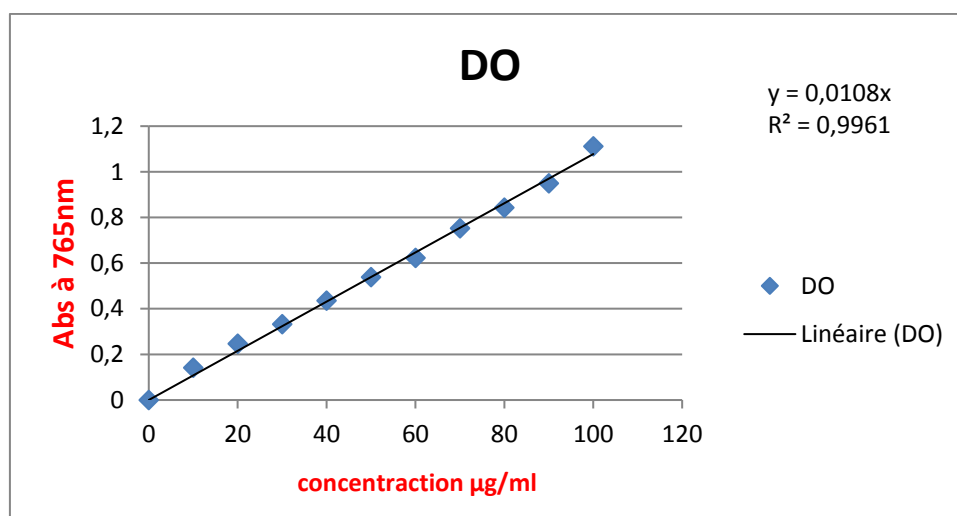


Figure N°25: Courbe d'étalonnage d'acide gallique (Annexe N°15).

10. Détermination la teneur en flavonoïdes

Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner, avec le groupement CO, un complexe de couleur jaunâtre en présence d'aluminium. Le dosage des flavonoïdes est réalisé suivant la méthode de (Branz, 2012) (Annexe N°16). La quantité en flavonoïdes totaux est exprimée en ppm (mg/kg). Selon la formule suivante :

$$\text{Flavonoïdes en ppm (mg/kg)} = A_{415} \cdot V \cdot (1000 \cdot P_0) \cdot a.$$

A₄₁₅ : Absorbance à 415nm.

V : Volume de l'extrait de la solution méthanolique (ml).

P₀ : Prise d'essai de l'échantillon (g).

A: coefficient déduit par la méthode exprimé en quercitrine.



Figure N°26: Extraction et dosage de flavonoïdes à longueur d'onde 415nm (**Photos originales, 2023**) (Annexe N°16).

La Gamme de quercétine

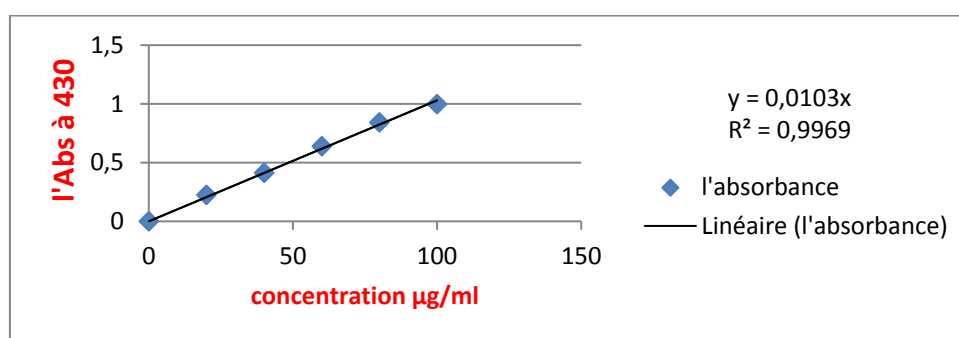


Figure N°27: Courbe d'étalonnage de quercétine (Annexe N°16).

11. Absorbance en ultra-violet (Extinction spécifique)

Principe

L'extinction spécifique est déterminée selon la méthode décrite par le **COI/T20/Doc. No19/Rev.4** 2017. Cette méthode consiste à déterminer les absorbances à 232nm et à 270nm qui correspond au maximum d'absorbance des hydro peroxydes et des produits secondaires d'oxydation (Annexe N°17). Les coefficients d'extinction à 232 et 270nm sont exprimés par l'équation suivante :

$$E(\lambda) = A\lambda / C * S$$

$E(\lambda)$: Extinction spécifique à la longueur d'onde λ .

$A\lambda$: l'absorbance mesurée à longueur d'onde λ .

C : concentration de la solution (g/100g).

S : épaisseur de la cuve (1cm).



Figure N°28: Détermination de l'absorbance Ultra Violet (cuve en quartz) (photos originales, 2023).

12. Taux d'humidité

Principe

La teneur en eau exprimée en pourcentage de masse, et déterminée selon la méthode décrite dans la norme (ISO 662, 1998) par mettre l'échantillon à 103°C pendant 2 heures (Annexe N°18). Le taux d'humidité est calculé selon la formule suivante :

$$H(\%) = [(P1-P2) / (P1-P)] * 100.$$

P : poids de capsule vide.

P1 : poids de capsule contenant l'échantillon.

P2 : poids de capsule après l'étuvage.



Figure N°29: Détermination de taux d'humidité à 103°C et refroidissement au dessiccateur (photos originales, 2023).

13. Matière minérale

Principe

La quantité de la matière minérale est exprimée en pourcentage en poids de quantité initiale d'huile d'olive vierge. Ce test permet de déterminer la teneur en minéraux tels que le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium, etc. présent dans l'huile d'olive. La matière minérale de l'huile d'olive peut être déterminée en utilisant la méthode de calcination des échantillons d'huile à 550°C pendant 4 heures (ISO935 :2016) (Annexe N°18). Calculer la matière minérale en soustrayant la masse de creusets vide de la masse de creusets avec les cendres obtenues.

$$\text{MM(g)} = \text{la masse de creusets avec les cendres obtenues} - \text{la masse de creusets vide.}$$

$$\text{MM(\%)} = (\text{MM(g)} / \text{M1} - \text{M2}) * 100$$

M1 : Masse totale du creuset contenant la prise d'essai(g).

M2 : Masse totale de creusets avec les cendres obtenues (g).

14. Matière sèche

Principe

La teneur en matière sèche de l'échantillon est déterminée en séchant 5g d'huile dans l'étuve à 105C° pendant 24h (AFNOR, 1985) (Annexe N°18). La matière sèche est calculée selon la formule suivante.

$$\text{MS(\%)} = [(P1 - P2) / (P1 - P)] * 100.$$

P : poids de capsule vide.

P1 : poids de capsule contenant l'échantillon.

P2 : poids de capsule après l'étuvage.

15. Teneur en corps gras

Principe

Le mode opératoire standard pour déterminer la teneur en corps gras de l'huile d'olive vierge est la méthode Soxhlet, qui consiste à extraire les lipides de l'échantillon d'huile avec un

solvant organique, tel que l'éther de pétrole, et à mesurer la quantité de lipides extraits (ISO 659 :2019) (Annexe N°19). La teneur en matière grasse de l'huile est calculée par la formule suivante :

$$\text{Lipides totaux (\%)} = [(M1-M0)/M]*100$$

M1 : poids de ballon contenant les lipides.

M0 : poids du ballon vide.

M : la masse de prise d'essai.



Figure N°30: Détermination la teneur en corps gras par méthode de Soxhlet (photo originale, 2023).

17. Activité antioxydant

Principe

Le principe de ce test se résume en la capacité de l'extrait à réduire le radical libre DPPH de couleur violet foncée, qui se transforme en coloration jaunâtre. Cette décoloration est mesurable par spectrophotométrie (Brand *et al.*, 1995) (Annexe N°20) . La capacité antioxydant totale de l'huile d'olive vierge est exprimée en pourcentage d'inhibition de la DPPH, calculé comme suit :

$$\% \text{ inhibition} = [(A0 - A1)/A0] \times 100$$

A0 : la densité optique de la solution de DPPH seule.

A1 : la densité optique de la solution de DPPH mélangée avec l'huile d'olive vierge.



Figure N°31: Dosage de l'activité antioxydant DPPH (photo originale, 2023).

18. TBARS

Principe

Le Test de l'Acide thiobarbiturique Réactif Substances Réactives (TBARS) est une méthode couramment utilisée pour évaluer la peroxydation lipidique dans les échantillons d'huile d'olive (AOCS, 2015) (Annexe N°21).

Conclusion générale

Conclusion Générale

Les eaux usées traitées se révèlent être une précieuse source d'approvisionnement supplémentaire pour l'irrigation agricole. En utilisant ces eaux traitées, on diminue la demande en eau douce pour l'irrigation tout en réduisant le volume d'eaux usées rejetées dans l'environnement. Cette pratique offre ainsi un potentiel considérable pour favoriser la santé, préserver l'écosystème et stimuler l'économie.

Les résultats des analyses montrent que le traitement des eaux usées a considérablement amélioré leur qualité pour une utilisation en irrigation agricole. Les réductions significatives de la demande chimique en oxygène (DCO), de la demande biologique en oxygène (DBO) et de la matière en suspension indiquent une nette diminution de la pollution organique et des impuretés. De plus, l'augmentation de l'oxygène dissous dans l'eau de sortie est bénéfique pour les organismes aquatiques. Les tests microbiologiques ont également révélé des réductions marquées des niveaux de coliformes totaux et fécaux, ainsi que l'absence de contaminants pathogènes. Ces résultats suggèrent que l'utilisation d'eaux usées traitées en irrigation agricole est une option viable, mais une surveillance continue de la qualité de l'eau est essentielle pour garantir une utilisation sûre et durable.

Les résultats de cette étude sur l'effet de l'irrigation par les eaux usées traitées sur la qualité de l'huile d'olive révèlent que cette méthode d'irrigation semble avoir des effets positifs sur plusieurs paramètres de qualité de l'huile, notamment une réduction de l'acidité, une augmentation des polyphénols et de l'activité antioxydante, diminution des flavonoïdes, ainsi qu'une amélioration de la stabilité oxydative. Elle peut également montrer une teneur en matière sèche légèrement plus élevée et une teneur en matière minérale légèrement plus basse par rapport aux autres huiles.

En addition, cette étude révèle que l'huile d'olive irriguée par les eaux usées traitées présente également des avantages tels qu'une teneur en eau plus faible par rapport aux autres huiles, ce qui peut contribuer à une meilleure stabilité de stockage. De plus, l'indice TBARS, qui mesure l'oxydation lipidique, est significativement plus bas dans l'huile EUT, indiquant une meilleure résistance à l'oxydation et une plus longue durée de conservation. Ces constatations renforcent l'idée que l'irrigation par les eaux usées traitées peut avoir un impact global positif sur la qualité de l'huile d'olive, tout en soulignant la nécessité d'une gestion attentive de ce processus pour garantir des résultats cohérents et de haute qualité. L'indice de saponification, l'indice de réfraction et l'indice de siccativité ne montrent pas de variations significatives entre les échantillons d'huile d'olive, ce qui suggère que l'irrigation par les eaux usées traitées

Conclusion Générale

n'a pas un impact majeur sur ces paramètres. En ce qui concerne l'indice d'iode, il est intéressant de noter que l'huile d'olive irriguée par les eaux usées traitées présente un indice légèrement supérieur par rapport aux autres huiles, ce qui peut indiquer une teneur en graisses insaturées potentiellement plus élevée, ce qui est bénéfique pour la santé. Enfin, en ce qui concerne la teneur en matière grasse, l'huile d'olive irriguée par les eaux usées traitées affiche une teneur en matière grasse légèrement supérieure par rapport aux autres huiles, suggérant une composition globale différente, et les autres paramètres les caroténoïdes et la chlorophylle montrent également des variations significatives entre les échantillons.

L'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation des cultures présente des avantages significatifs, notamment la possibilité d'atténuer ou de résoudre les problèmes de pénurie d'eau, le soutien à l'industrie agricole et la préservation des précieuses ressources en eau souterraine. Toutefois, il est crucial de noter que pour garantir le succès de cette approche à la fois à court et à long terme, une gestion appropriée et une surveillance constante des paramètres de qualité de l'eau, du sol et des produits agricoles sont indispensables. En utilisant des eaux usées traitées pour l'irrigation, on réduit la pression sur les sources d'eau douce conventionnelles, ce qui est essentiel dans des régions sujettes à la sécheresse ou confrontées à une demande croissante en eau. De plus, cette pratique contribue à soutenir le secteur agricole en fournissant une source fiable d'eau pour l'irrigation des cultures, ce qui peut augmenter les rendements agricoles et la sécurité alimentaire. Cependant, pour que cette méthode soit durable, il est impératif de mettre en place une gestion minutieuse. Cela comprend le suivi constant de la qualité de l'eau, en s'assurant qu'elle est suffisamment propre pour ne pas compromettre la santé des plantes ou la sécurité alimentaire. De plus, il est essentiel de surveiller les effets potentiels sur le sol, en évitant l'accumulation de sels ou de contaminants indésirables. Enfin, il est tout aussi crucial de contrôler la qualité des produits agricoles issus de ces cultures irriguées, en veillant à ce qu'ils soient sûrs à la consommation.

En conclusion, l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole présente de nombreux avantages, mais leur mise en œuvre réussie nécessite une gestion rigoureuse et une surveillance constante de la qualité de l'eau, du sol et des produits agricoles pour garantir la sécurité, la durabilité et la prospérité à long terme.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A.F. Bellesteros, P.Sanchez-Muniz, and M.A.Giocochea, (2013). « A rapid and simple méthode for the determination of flavonoids and phenolics acids in virgin olive oil by solid-phase extraction coupled to ultra-high-per-formance liquidique chromatgraphy with-diode-array detection, « food chemistry », vol.141, no.1,pp.292-299 ».

Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2021). A review on biological secondary treatment of wastewater. *Journal of Chemistry*, 14(3), 103081. Doi : 10.1016/j.arabjc.2021.103081.

Abdullah H, Al-Gheethi AA, Radin Mohamed R, Amir Hashim MS, Zahrim AY, Mohd Kassim AH. (2021). Application of Constructed Wetland System for Sewage Sludge Dewatering and Sand Removal : Performance and Cost Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(7), 9038-9052.

Aburzizah A.S, et Aljohani F.S, (2019). Activated sludge process of waste water treatment plant. 3(1), p70-61. <https://doi.org/10.26389/AJSRP.F280119>.

AFIDOL. (2018). Association Française Interprofessionnelle de l'olive .critères d'évaluation de l'huile d'olive.

AFNOR (Association Française de Normalisation). (1985). Aliments des animaux, méthodes d'analyses françaises et communautaires. 2^{ème} édition, 200p.

Aggoun-Arhab M. (2016). Caractérisation de la composition en micro constituants des margines issues de la production oléicole et utilisabilité comme complément dans la ration chez la vache laitière. Thèse de doctorat en Sciences Alimentaires. Université Frères Mentouri-Constantine, Constantine, 175p.

Ahmed, M. & Ahmed, A. (2018). Water Reuse : An Overlooked Source of Water. *Environmental Science & Technology*, 52(7), 3868-3876. Doi : 10.1021/acs.est.7b06331.

Ahmed, M. J., & Ibrahim, H. M. (2020). Health and environmental risks of using treated wastewater for agricultural purposes. *Environmental science and pollution research*, 27(12), 13377-13393.

Ahmed, W., Angel, N., Eddeghile, A., Elmi, A., Gyawali, P., Hewitt, J., ... & Sidhu, J. (2021). Microbial risks associated with reuse of treated wastewater for irrigation : A review. *Water research*, 190, 116724. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116724>

Références bibliographiques

Ahoussi, E., Keiba Keumean, N., Kouassi, M., & Koffi, B. (2018). Étude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man: cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire). [Lien vers l'article ↵](#)

Akpoborie IA, Okokoyo PM, Omoniyi LA, Aigbokhan EI. (2021). Performance Evaluation of a Combined Vertical-Parallel Flow Grit Chamber for Municipal Wastewater Treatment. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021, 1-8.

Ali, H., & Shaaban, M. (2021). Persistent organic pollutants in treated wastewater and their potential health effects : A review. *Science of the Total Environment*, 752, 141896.

Al-Mutaz, I. S., Al-Ansari, N., Issa, S., & Knutsson, S. (2021). A comprehensive review on the treatment, management, and reuse of wastewater in Iraq. *Water*, 13(9), 1249. <https://doi.org/10.3390/w13091249>.

Al-Rubaei, S. E., Zhang, Y., Mosa, A., & Zhang, Y. (2021). Chemical contaminants in reclaimed wastewater : A critical review of their occurrence and risks in agricultural irrigation. *Science of the Total Environment*, 778, 146282.

Alu MH, Rababah T, Alhamad MN. (2017). Application of Olive Oil as Nutraceutical and Pharmaceutical Food: Composition and Biofunctional Constituents and Their Roles in Functionality, Therapeutic, and Nutraceutical Properties; Elsevier Inc. Amsterdam, The Netherlands; ISBN : 9780128114124.

Ambaye, T., & Hagos, K. (2020). Photocatalytic and biological oxidation treatment of real textile wastewater. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 10480-10488. [Lien](#)

AOAC (1990). Official Methods of Analysis (15th ed). Method 19.013 : Refractive Index : Gaithersburg, MD, Association of Official Analytical Chemists.

AOCS méthode off cd 1-25 révisée 1992.

Aouadi, A. (2021). Valorisation nutritionnelle et environnementale d'un sous-produit oléicole margines Via la réduction de la méthanogènes ruminale. Thèse de doctorat. Université l'Arbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi.

Arab, K., Bouchenak, O., Yahiaoui, K. (2013). Evaluation de l'activité biologique des feuilles de l'olivier sauvage et cultivé. *Afrique Science*, 9(3) : 159-166p.

Références bibliographiques

Arslan D, Ok S. (2019). Characterization of Turkish Olive Oils in Details. Food Reviews International. 1–25.

Bachi O, Halilat M, Bissati S, Al-Ansari N, Saggai S, Kouadri S, Hadee M, (2022). Wastewater Treatment Performance of Aerated Lagoons, Activated Sludge and Constructed Wetlands under an Arid Algerian Climate. Sustainability, 14(24), 16503. <https://doi.org/10.3390/su142416503>.

Barhi, H., Stitou El Messari, J. E., & Oulad Mansour, M. R. (2022). Apport de la Fracturation et des Méthodes d'analyses Statistiques à l'étude Hydrogéochimique des Eaux Souterraines du Massif Calcaireux de la Région de Tlata Taghramt, Chaîne Calcaire du Haouz (Rif Septentrional, Maroc). [Lien vers l'article ↵](#)

Basim, Y., Farzadkia, M., Jaafarzadeh, N., & Hendrickx, T. (2012). Sludge reduction by *lumbriculus variegatus* in Ahvas wastewater treatment plant. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 9(4). [Lien](#)

Baydon, R., El Rassi, Z., Saleh, A., Hamadeh, H., Kobaiss, H., Al Ghazzawi, J, (2021). The impact of treated wastewater irrigation on olive oil Quality : A Review. Sustainability, 13(5), 2771p. Doi : 10.3390/Su 130 527 71.

Bellumori, M., Innocenti, M., Binello, A., Boffa, L., Mulinacci, N., & Monti, D. (2019). The EFSA Health Claim on Olive Oil Polyphenols: Acid Hydrolysis Validation and Total Hydroxytyrosol and Tyrosol Determination in Italian Virgin Olive Oils. Molecules, 24(11), 2179.

Beltrán, G., Del Rio, C., Sánchez, S., & Martínez, L. (2008). Influence of harvest date and crop yield on the fatty acid composition of virgin olive oils from cv. Picual. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(10), 3434-3440.

Beltrán, G., Del Rio, C., Sánchez, S., & Martínez, L. (2010). Influence of harvest date and crop yield on the fatty acid composition of virgin olive oils from cv. Picual. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(11), 6741-6747.

Benamar, A., Mahjoubi, F., Barka, N., Kzaiber, F., Boutoial, K., Ali, G., & Oussama, A. (2020). Olive mill wastewater treatment using infiltration percolation in column followed by aerobic biological treatment. SN Applied Sciences, 2(5), 1-10. [Lien](#)

Références bibliographiques

Bendini, A., Cerretani, L., Carrasco-Pancorbo, A., Gómez-Caravaca, A. M., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Lercker, G. (2007). Phenolic molecules in virgin olive oils: a survey of their sensory properties, health effects, antioxidant activity and analytical methods. An overview of the last decade. *Molecules*, 12(8), 1679-1719.

Benkhaled, A., Bellahouel, S., Bellahouel, A. (2021). Olive oil in Algeria : From traditional uses to Modern Application. In N.M.Sequeira and P.R. Preetha (Eds), *olive and olive oil in Health and Disease Prevention*, 513-523p Academic Press. Doi : 10.1016/B978—12-81 8732-6.00040-6.

Bharath K. Mynampati, P. S. Kumar, V. P. Singh, (2021). Industrial wastewater reuse : challenges and opportunities for water sustainability. *Journal of Water Process Engineering*, Volume 42,102092, ISSN 2214-7144. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102092>

Bhattacharya S, Saha S, Dutta S. (2021). Optimization of Oil and Grease Removal from Industrial Wastewater by Electrocoagulation Technique Using Response Surface Methodology. *Journal of Environmental Management*, 293, 112917.

Bijekar, S.; Padariya, H.D.; Yadav, V.K.; Gacem, A.; Hasan, M.A.;Awwad, N.S.; Yadav, K.K.; Islam, S.; Park, S.; Jeon, B.-H, (2022). The State of the Art and Emerging Trends in the WastewaterTreatment in Developing Nations. *Water*, 14, 2537, 19p. <https://doi.org/10.3390/w14162537>.

Bissati, S.;Al-Ansari, N.; Saggai, S.; Kouadri, S.; Najm, H.M, (2022). WastewaterTreatment Performance of AeratedLagoons, ActivatedSludge and ConstructedWetlandsunder an Arid Algerian Climate. *Sustainability*, 14(24), 16503. <https://doi.org/10.3390/su142416503>.

Boarelli MC, Biedermann M, Peier M, Fiorini D, Grob K. (2020). Ergosterol as a marker for the use of degraded olives in the production of olive oil. *Food Control*, 112 : 107-136p.

Boskou D. (2015). Olive oil. In *Specialty Oils and Fats in Food and Nutrition*. Elsevier: 3–38p.

Bouchaala L, Charchar N et Gherib AE, (2017).Ressources hydriques: traitement et reutilisation des eaux usées en algerie. *Algerian journal of aridenvironment*, 6(1), p 84-95.

Boukary, S, (2018). Traitement des eaux usées industrielles par des procédés membranaires sous climat sahélien: CAS des eaux usées de brasserie au Burkina Faso, thèse doctorale, Université Montpellier.

Références bibliographiques

Boulkroun, H. (2018). L'oléiculture en petite Kabylie : améliorer la qualité du produit participe au développement durable de la filière. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Sétif 1.

Bourgeois, W., & Wéry, N. (2017). Les dysfonctionnements des stations d'épuration : causes et solutions. Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/procedes-d-epuration-de-l-eau-42585410/les-dysfonctionnements-des-stations-d-epuration-causes-et-solutions-bf7450/>

Bourouache, S., El Jaouhari, A., & El Hamouri, B. (2019). Évaluation de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux usées traitées. Water Research, 56, 123-130. [↵](#)

Brand-William, W., Gvelier, M.F, Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel Wissenschaft and Technologie, 20 : 25-30p.

Branz, A. (2012). Antioxidant activity and phenolic composition of brizillin honey and their extracts J. Chem. Sci., 15-22p.

Buzatu, M. A., Gavrilescu, M., & Cretescu, I. (2020). Environmental and economic assessment of sludge management options : A review. Science of The Total Environment, 701, 135030. Doi : 10.1016/j.scitotenv.2019.135030

CiAnciosi D, Zhang J, Manna PP, Bompadre S et Quiles JL. (2018). Phenolic Compounds Fingerprint changes of toxic volatiles in low PUFA vegetable oils under deep-frying. JAOCS J. Am. Oil Chem. Soc. **94** : 271–284.

Clodoveo, M. L., Camposeo, S., De Gennaro, B., Pascuzzi, S., & Roselli, L. (2014). Modern olive oil extraction systems and the impact of storage conditions on oil quality: A review. Trends in Food Science & Technology, 37(1), 1-11.

Clodoveo, M. L., Camposeo, S., De Gennaro, B., Pascuzzi, S., & Roselli, L. (2014). Towards the definition of a carbon footprint standard for the olive oil sector in Apulia region (Italy). Journal of Cleaner Production, 65, 295-306.

Codex Alimentarius. (2017). Norme pour les huiles d'olive et les huiles de grignons d'olive CXS0. 33-1981.

Codex STAN33-1981/Rev.2 (2003). Normes codex pour les huiles d'olives et les huiles des grignons d'olives.

Références bibliographiques

Conseil Oléicole International (COI). (2017). Norme Commerciale Applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. COI/T.15/NC N°3/Rev.14, 17p.

Conseil Oléicole International (COI). (2017). Norme Commerciale Applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. (COI/T.20/Doc. Nc35.Rev.1 2017).

Conseil Oléicole International (COI). (2018). Norme Commerciale Applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. COI/T.15/NC N°3/Rev.12.

Conseil Oléicole International (COI). (2018). Norme Commerciale Applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. 16p.

Conseil Oléicole International (COI). (2019). Norme Commerciale Applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. COI/T.15/NC N°3/Rev.14.

Conseil Oléicole International (COI). (2021). Norme Commerciale Applicable aux huiles d'olives et aux huiles de grignons d'olive. COI/T.15/NC N°3/Rev.17.

Conseil Oléicole International 2020 b. Agenda du COI. Newsletter du conseil oleicole international, 2020b ; **116**.

Conseil Oléicole International Marché international. Newsletter du conseil oleicole international .2020 a ; **115** :5-18.

Conseil Oléicole Internationale (COI). (2015). COI/T.15/NC N°3/Rev.8.

Conte L, (2020). The Chemistry of Olive Oil: an endless story. OCL. **27** : 28 ; 15.

Cottes, M., Mainardis, M., Goi, D., & Simeoni, P. (2020). Demand-Response Application in Wastewater Treatment Plants Using Compressed Air Storage System: A Modelling Approach. Energies, 13(18), 4780. [Lien](#)

Dimitris, N., Margarita, M., Dimitrios, N., Vasiliki, T, (2020). Sustainable use of treated wastewater in Agriculture : A Review of Best Practices. Sustainability, 12(15), 6043p. Doi : 10.3390/Su 1215 6043.

Ditano-Vázquez, P., Torres-Peña, J. D., Galeano-Valle, F., Pérez-Caballero, A. I., Demelo-Rodríguez, P., Lopez-Miranda, J., & Katsiki, N. (2019). The Fluid Aspect of the Mediterranean Diet in the Prevention and Management of Cardiovascular Disease and Diabetes: The Role of Polyphenol Content in Moderate Consumption of Wine and Olive Oil. Nutrients, 11(11), 2833.

Références bibliographiques

Duan, X., Zhang, H., Yu, Y., Xu, J., & Wang, J. (2021). Facile preparation of magnetic chitosan-graphene oxide composite for efficient removal of heavy metal ions from wastewater. *Chemosphere*, 262, 127810.

Dupont, L., Martin, P., & Leroux, J. (2018). Influence des traitements sur l'indice de siccativité des huiles. *Journal of Oil Research*, 56(3), 210-220. [↵](#)

El-Gawad, H. A. (2014). [Oil and Grease Removal from Industrial Wastewater Using New Utility Approach](#). Hindawi Publishing Corporation.

Elizalde MP, Ochoa-Martinez CI, Lara-González R, Ochoa-Rivero JM. (2021). Effectiveness of Wastewater Screening by Filters with Different Geometries : A Comparative Study. *Journal of Environmental Management*, 287, 112279.

EPA, (2017). Types of Wastewater.

EPA, (2021). Wastewater Treatment.

Fan H, Li C, Li R, Peng Y. (2020). Performance Evaluation and Optimization of a Horizontal Flow Sand Trap for Urban Stormwater Runoff Treatment. *Journal of Environmental Management*, 262, 110290.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla.2020; 00153 Rome, Italy.

Fendri, M. et al. (2021). Non-Invasive Rapid Method to Evaluate Tunisian Virgin Olive Oil Based on color Measurement by Digital Images and Chlorophyll-Carotenoids Content. *Asian Food Science Journal*, 20(4), 1-9. <https://dx.doi.org/10.9734/AFSJ/2021/V20I430292> [↵](#)

Fereja, W. M., Tagesse, W., & Benti, G. (2020). Treatment of coffee processing wastewater using *Moringa stenopetala* seed powder: Removal of turbidity and chemical oxygen demand. *Cogent Environmental Science*, 6(1), 1816420. [Lien](#)

Fernandez, L., Perez, M., & Rodriguez, J. (2016). Influence de la variété et du traitement sur la teneur en caroténoïdes des huiles d'olive. *Journal of Olive Oil Research*, 66(2), 150-160. [↵](#)

Références bibliographiques

Fernandez-Garcia, E., Gomez, R., & Sanchez, J. (2020). Évaluation de la qualité des huiles d'olive : importance de l'indice de peroxyde et d'autres paramètres. *Olive Oil Times*, 32(4), 112-119. [↵](#)

Fraihat S, Lopez PG, Diaz AM, Sabouni I. (2017). Physicochemical characterization of olive oil From Eljouf area of Saudi Arabia. *International Journal of ChemTech Research*. 10 : 9; 1004-1010.

Frankel, E. N. (1991). Recent advances in lipid oxidation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 54(4), 495-511.

Gandul-Rojas B, Roca-L M, Minguéz-Mosquera MI. (2016). Use of Chlorophyll and Carotenoid Pigment Composition to Determine Authenticity of Virgin Olive Oil. *JAOCS*. 77: 853-858p.

Gao, Y., Li, J., & Li, X. (2021). Pre-treatment of wastewater by microfiltration : a review. *Water Science and Technology*, 83(8), 1789-1801.

Garcia, L., Sanchez, R., & Perez, D. (2016). Influence de la variété d'olive et des conditions climatiques sur l'acidité de l'huile d'olive. *Journal of Olive Research*, 48(1), 34-42. [↵](#)

Garcia, R., Gonzalez, L., & Fernandez, S. (2018). Caractérisation des huiles d'olive : importance de la teneur en caroténoïdes. *Olive Oil Studies*, 52(3), 70-80. [↵](#)

Garcia-Lopez, S., Fernandez, A., & Ramirez, J. (2019). Influence des pratiques agricoles sur l'indice de saponification des huiles d'olive. *Agricultural Science Journal*, 28(4), 256-263. [↵](#)

Garcia-Perez, M., Gomez, R., & Sanchez, J. (2020). Évaluation de la qualité des huiles d'olive : importance de l'indice d'iode et d'autres paramètres. *Olive Oil Times*, 33(5), 124-130. [↵](#)

Gharby, S. et al. (2018). Influence of roasting olive fruit on the chemical composition and polycyclic aromatic hydrocarbon content of olive oil. *OCL*, 25(4), D404. <https://dx.doi.org/10.1051/OCL/2018013> [↵](#)

Gheraout, D., & Elboughdiri, N. (2021). Wastewater Treatment and Reuse : The Past, Present, and Future. *Journal of Water Resource and Protection*, 13(04), 289-309. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2021.134019>

Références bibliographiques

Giuffrè AM, Caracciolo M, Zappia C, Capocasale M. (2018). Effect of heating on chemical parameters of extra virgin olive oil, pomace olive oil, soybean oil and palm oil. Italian Journal of Food Science. **30**(4): 715.

Gomez, A., Fernandez, E., & Lopez, M. (2017). Impact de la qualité des olives sur l'indice d'acide de l'huile d'olive. Food Chemistry, 210, 415-421. [↵](#)

Gómez-Rico, A., Salvador, M. D., La Greca, M., & Fregapane, G. (2008). Phenolic and volatile compound of extra virgin olive oil (*Olea europaea* L. Cv. Cornicabra) with regard to fruit ripening and irrigation management. Journal of Agricultural and Food Chemistry, **56**(16), 7340-7346.

Gonzalez, R., Perez, L., & Fernandez, S. (2018). Caractérisation des huiles d'olive : importance de l'indice de réfraction. Olive Oil Studies, **45**(1), 50-60. [↵](#)

Gourmelon, M., Caprais, M. P., Le Menec, C., Marti, R., Wéry, N., & Jardé, E. (2020). Microbiological water quality monitoring in the context of potential release of treated wastewater : an overview on available techniques. Water Research, **181**, 115908.

Guo, J., Wang, X., Wang, Y., & Liu, Y. (2021). Analysis of water quality in a sewage treatment plant using machine learning methods. Science of The Total Environment, **754**, 142282.

Habibi B, Meddi M, Torfs P, Remaoun M, Lanen H.A, (2018).Characterisation and prediction of meteorological drought using stochastic models in the semi-arid Chélif–Zahrez basin (Algeria). Journal of Hydrology: Regional Studies, **16**, p 15-31. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.005>.

Heinzmann, B., Pouet, M. F., Fabris, R., Battistoni, P., Minella, M., & Simonetti, G. (2022). The role of UV disinfection in a municipal wastewater treatment plant : Efficiency, challenges, and perspectives. Journal of Environmental Management, **307**, 114259. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114259>

Hirsch, P., Piotrowski, R., Duzinkiewicz, K., & Grochowski, M. (2016). [Supervisory Control System for Adaptive Phase and Work Cycle Management of Sequencing Wastewater Treatment Plant](#). Studies in Informatics and Control.

Hua, J., Reckhow, K.H, (2014). Impact of wastewater treatment plant discharge on receiving water quality: A Review. Environmental Science and Technology, **48**(17), 9995-10020p.

Références bibliographiques

Huang, W., Yang, H., Wang, H., & Zhang, X. (2020). Primary treatment of wastewater by gravity settling : a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 28323-28334. Doi : 10.1007/s11356-020-09497-4.

Hussain, N., Wang, X., Ali, M., Khalid, H., Ullah, S., Rizwan, M., ... & Hussain, A. (2021). Advances in the production of biogas from sewage sludge : A review. *Bioresource Technology*, 331, 125018. Doi : 10.1016/j.biortech.2021.125018

Iddir, A. (2020). Etude comparative du comportement des huiles d'olive durant leur stockage. Influence du climat, l'altitude et la date de récolte. Doctorale dissertation université Abdelhamid Ibn Badais- Mostaganem, Algérie. 4p.

International Standard Organization. (1998). Méthode ISO (662. Corps gras d'origine animal et végétale. Détermination d'humidité. Ed 2.

ISO 21528-1, (2004). Microbiologie des aliments - Méthodes horizontales pour la recherche et le dénombrement des Enterobacteriaceae - Partie 1 : recherche et dénombrement à l'aide de la technique NPP avec pré-enrichissement.

ISO 6060-1989. Qualité de l'eau – Détermination de la demande chimique en oxygène Octobre 1989, Ed 2,4p.

ISO659 : (2019). Huiles d'olives et l'huiles de grignons d'olives – Détermination de la teneur en matière grasse.

ISO935 : (2016). Huiles d'olive et l'huile de grignons d'olive. Détermination de la matière minérale.

Isolated from Olive Oil as Nutraceutical Tools for the Prevention and Management of Cancer and Cardiovascular Diseases. *Int. J. Mol. Sci.*6;19 (8): 2305p.

Jafari, S., Jaafarzadeh, N., & Naddafi, K. (2020). Performance evaluation of primary treatment systems for wastewater : A review. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(1), 95-106.

JAOCS J. Am. Oil Chem. Soc., 94 : 271–284p.

Jean Rodier, (1996) ; Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition Dunod. Paris.

Références bibliographiques

Jiajia, F., Yin, X., Zhang, M., Liu, M., Guo, Y., Li, Y, (2021). Bacterial pathogens in wastewater: detection, identification and analysis. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 28, 14146-14160p.

Jimenez-Lopez, C., Carpena, M., Lourenco-Lopez, C., Galhardo-Gomez, M., Lorenzo, J.M., Barba, F.J., and Simal-Gandara, J. (2020). Bioactive compound and quality of extra virgin olive oil *Foods*, 9(8), 1014p.

Jin Y, Kim C, Lee J, Han M, Jeon BH. (2020). Removal of Emulsified Oil from Wastewater Using a Microfluidic Electrocoalescer. *Journal of Hazardous Materials*, 383, 121143.

JORA, (2012). Journal Officiel de la république Algérienne N°41. 8 safar 1433 Correspondant au 2 Janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.

Kailis, S.G. (2017). Olives. In *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Elsevier; 236– 245.

Kalogeropoulos, N., et al. (2014). Olives oil composition and Health effects A critical Appraisal. In : *Handbook of olive oil : Analysis and properties* Springer, 43-77p.

Kama, R.; Song, J.; Liu, Y.;Hamani, A.K.M.; Zhao, S.; Li, Z, (2023). Water Availability and Status of WastewaterTreatment and Agriculture Reuse in China: A Review. *Agronomy*, 13, 1187, 19p. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051187>.

Kassenga, G. R. (2021). A review of the challenges and opportunities of wastewater reuse for irrigation in Sub-Saharan Africa. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101880.

Kiritsakis, A. K. (1998). Flavor components of olive oil – A review. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 75(6), 673-681.

Koul, B.; Yadav, D.; Singh, S.; Kumar, M.; Song, M, (2022).Insights into the DomesticWastewaterTreatment (DWWT) Regimes: A Review. *Water*, 14,3542, 29p. <https://doi.org/10.3390/w14213542>.

Kraa, A, (2017). Contribution à l'étude expérimentale du comportement physic-chimiques et rhéologiques des boues de la station d'épuration de la ville d'Ain Beida. Université- Larbi Ben M'hidi Oum- El Bouaghi.

Références bibliographiques

Kruszelnicka, I., Ginter-Kramarczyk, D., Wyrwas, B., & Idkowiak, J. (2019). Evaluation of surfactant removal efficiency in selected domestic wastewater treatment plants in Poland. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 1443–1453. [Lien](#)

Krzemiński, P., Tomei, M. C., Karaolia, P., Langenhoff, A., Almeida, C. M., Felis, E., ... & Fatta-Kassinos, D. (2019). Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review. *Science of The Total Environment*, 648, 1052-1081. [Lien](#)

Kumar, V., Kumari, P., Yadav, A. K., & Singh, R. (2022). Performance evaluation of stabilization pond system for the treatment of municipal wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 19762-19771. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19300-w>

Laabs, V., & Gaudin, P. (2019). Valorisation des boues d'épuration : enjeux, stratégies et technologies. *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/environnement-securite-th5/procedes-d-epuration-de-l-eau-42585410/valorisation-des-boues-d-epuration-enjeux-strategies-et-technologies-bt7455/>

Labdaoui, D. (2017). Modèle d'extraction des huiles d'olives à deux phases : Impact socio-économiques et environnemental dans la région de Bouira. Thèse de doctorat. Université Abdelhamid Ibn Badais-Mostaganem.

LAID BOUCHAALAL, (2017) Ressources Hydriques: Traitement Et Reutilisation Des Eaux Uses En Algerie Water Resources Treatment And Reuse Of Wastewater In Algeria **Article** · May 2017.

Lair, N., & Reyes-Marchant, P. (2000). Évaluation hydroécologique de la qualité des eaux de la Loire moyenne, réalisée de 1977 à 1998 sur le site de la centrale de Saint-Laurent des Eaux (France). Bilan et perspectives. [Lien vers l'article ↵](#)

Lama A, Pirozzi C, Pia Mollica M, Trinchese G, Di Guida F, Cavaliere G, Calignano A, Mattace Raso M, Berni Canani R, Meli R. (2017). Polyphenol-rich virgin olive oil reduces insulin resistance and liver inflammation and improves mitochondrial dysfunction in high-fat diet fed rats *Molecular Nutrition & Food Research*, **61**:3.

Le Cloirec, P., & Gourdon, R. (2018). Traitement des odeurs en station d'épuration. *Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base->

[documentaire/environnement-securite-th5/procedes-d-epuration-de-l-eau-42585410/traitement-des-odeurs-en-station-d-epuration-bt7451/](#)

Li Z, Li J, Zhou Q, Sun X, Wang Y, Zhang Y, et al. (2021). Comparative study on the pre-treatment of municipal wastewater by coagulation-sedimentation, oxidation and microfiltration. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20020-20028.

Li, B., Peng, Y., Zhang, J., Wei, L., & Zhang, X. (2021). Recent advances in tertiary treatment for nitrogen and phosphorus removal from wastewater : A review. *Chemosphere*, 263, 128291. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128291>

Li, J., Wei, L., Zhang, J., Li, J., Ma, J., & Gao, B. (2020). Current status and future perspectives of tertiary treatment for wastewater reclamation. *Science of the Total Environment*, 748, 142307. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142307>

Li, Y., Jin, Y., Li, S., Zhang, Q., & Li, H. (2020). Performance comparison and microbial community analysis of anammox UASB and SBR systems for treating synthetic municipal wastewater. *Water Research*, 176, 115776.

Liu, H., Li, J., Liu, H., & Zhao, Y. (2021). Comprehensive evaluation of water quality in a sewage treatment plant based on fuzzy synthetic evaluation and TOPSIS method. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(18), 22904-22915.

Liu, J., & Temimi, M. (2018). Potential of reclaimed wastewater reuse in agriculture : A review on technical, microbiological, and physiological considerations for its success. *Sustainability*, 10(8), 2761.

Liu, X., Wang, Y., CIA, Q., Zhang, Q., Qiu, Z., Chen, Y., & Ouyang, Y. (2021). Contaminants of Emerging Concern in Wastewater and Their Potential Risks to Agricultural Irrigation Reuse : A Review. *Environmental Science & Technology*, 55(11), 7526-7543.

Liu, Y., Sun, Z., Sun, H., Chen, C., Xu, Y., & Li, Y. (2021). Current advances in the treatment and valorization of wastewater sludge : A comprehensive review. *Science of The Total Environment*, 766, 144236. Doi : 10.1016/j.scitotenv.2020.144236

Liu, Z., Wang, S., Wang, X., Wei, D., & Zhu, J. (2021). Risk assessment of heavy metals in reclaimed water irrigation based on Nemerow index and health risk model. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112775.

- Lopez, M., Fernandez, A., & Ramirez, J. (2018).** Effets du stockage sur l'acidité et la qualité de l'huile d'olive. *Food Quality Journal*, 25(2), 123-131. [↵](#)
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.I., Zhang, J., & Wang, X.C. (2020).** A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 473-474, 619-641.
- Malovanyy, M., Zhuk, V., Sliusar, V., & Sereda, A. (2018).** Two-stage treatment of solid waste leachates in aerated lagoons and at municipal wastewater treatment plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10 (92)), 6-14. [Lien](#)
- Mansir, N., Oertlé, E., & Choukr-allah, R. (2021).** Performance et qualité des eaux usées traitées par une station d'épuration au Maroc. *Journal of Water and Health*, 19(2), 234-245. [↵](#)
- Marszałek, B., & Żyła, R. (2021).** Récupération de l'eau des teintures textiles par filtration par membrane. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124-131. [↵](#)
- Martinez, J., Romero, R., & Gomez, R. (2015).** Influence de l'irrigation salée sur la qualité de l'huile d'olive. *Journal of Agricultural Science*, 53(2), 123-130. [↵](#)
- Martinez, L., Garcia, P., & Rodriguez, J. (2017).** Influence des traitements sur l'indice de réfraction des huiles. *Journal of Olive Oil Research*, 58(4), 320-330. [↵](#)
- Martinez, L., Perez, J., & Garcia, R. (2019).** Influence des conditions de culture sur l'indice d'iode des huiles d'olive. *Journal of Olive Research*, 61(4), 260-268. [↵](#)
- Martinez, L., Sanchez, R., & Perez, D. (2017).** Variation de l'indice de saponification des huiles d'olive en fonction de la région de production. *Journal of Olive Oil Research*, 55(2), 134-142. [↵](#)
- Marzoug, R., Hanni, S., Saidi, M., Rahmani, Kaddour, (2020).** Use of treated wastewater in olive Tree irrigation in Algeria : Current Status and Challenges, 12(3), 792p. Doi : 10.3390/W120 30792.
- Matamoros, V., García, J., Ferrer, I., Ferrer-Martí, L., & Calderón, K. (2019).** Secondary settling tanks in activated sludge systems : A review. *Water research*, 161, 527-542. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.065>

Références bibliographiques

Maurya, S., & Daverey, A. (2018). Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*, 8(3), 1-9. [Lien](#)

Mazzeo, D. E., Larré-Larrouy, M. C., Quiroga, A. M., Camino, M. F., & Rousseau, D. P. (2022). Artificial wetlands for advanced wastewater treatment : Nutrient removal Efficiency and plant Response. *Science of the Total Environment*, 806, 150523. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.150523>

Meena, S., Ganguly, R. (2017). Treatment of industrial effluents. A Review. *Environmental Science and pollution Research*, 24(19), 15929-15946p.

Mehammedia, A., Touati, T.Kh, (2020). Evaluation de l'efficacité de la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Guelma. Mémoire pour l'obtention du diplôme Master en Génie des procédés. Université de 08 Mai 1945.

Meklati, B.Y., Giampaoli, P., Desai, D. (2019). Olive growing and olive oil production in Algeria. *Olives and olive oil in the global market*. Intechopen. Doi : 10.5772/intechopen.83498.

Metlef, S. (2021). Caractérisation et étude des activités antioxydantes et antibactériennes de l'huile d'olive Algérienne. Thèse doctorat. Université Djillali Liabes.

MINGUEZ-MOSQUERA, M.I et GANDUL-ROJAS, B. (1996). Chlorophyll and Carotenoid composition in virgin olive oils from various spanish olive varieties *J-Sci Food Agric.N*, 2, 31-39p.

Młyński, D., Bugajski, P., & Młyńska, A. (2019). Application of the Mathematical Simulation Methods for the Assessment of the Wastewater Treatment Plant Operation Work Reliability. *Water*, 11(5), 873. [Lien](#)

Molina-Garcia L, Santos CSP, Cunha SC, Casal S et Fernandes JO. (2017). Comparative fingerprint changes of toxic volatiles in low PUFA vegetable oils under deep-frying.

Monika, G.D., Paulina, P, Francesco, C., Alicja, K.J., Antonella, M.G., Narcuz, K., Michel, W., and Magdalena, G.P. (2018). Potential Health Benefits of olive oils and plant polyphenols. *Medicine, Biologie. International Journal of molecular Science*, 19(3), 686p.

Moreau, R., Thomas, L., & Bernard, S. (2019). Caractérisation des huiles d'olive : importance de l'indice de siccativité. *Olive Oil Studies*, 42(2), 134-140. [↵](#)

Références bibliographiques

Moreno, J., Perez, L., & Garcia, R. (2018). Influence de l'origine géographique sur l'indice de peroxyde des huiles d'olive. *Journal of Olive Research*, 60(3), 245-253. [↵](#)

Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Fourmentin, M., Ribeiro, A. R., Noutsopoulos, C., Mapelli, F., ... & Crini, G. (2022). Removal of emerging contaminants from wastewater using advanced treatments. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(1), 1-36. [Lien](#)

Mulinacci, N., Romani, A., Galardi, C., Pinelli, P., Giaccherini, C., & Vincieri, F. F. (2001). Polyphenolic content in olive oil waste waters and related olive samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8), 3509-3514.

Musa, M., Idrus, S., Che Man, H., & Nik Daud, N. N. (2018). Wastewater Treatment and Biogas Recovery Using Anaerobic Membrane Bioreactors (AnMBRs): Strategies and Achievements. *Energies*, 11(7), 1675. [Lien](#)

Musa, N., & Ahmad, W. (2014). Chemical oxygen demand reduction in industrial wastewater using locally isolated bacteria. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(3), 140-144. [Lien](#)

Navoun S, (2005). Thermorésistante de trois sérotypes de salmonella dans l'oeuf et les gésiers de poulets. Université Cocody d'abidjan.87p.

NF EN 872/ T90-105. Qualité de l'eau- Dosage des matières en suspension- Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre (NF EN 872 Juin 2005/ T90-105).

NF T 90-008. Essais des eaux – Mesure électrométrique du pH avec l'électrode de verre NF T 90-008 Avril 1953).

NF T 90-031. Essais des eaux- Détermination de la résistivité ou de la conductivité électrique (NF T90-031 Février 1973).

NFT90-105-2. Quality de l'eau- Dosage des matières en suspension- Méthode par centrifugation.

Noh, G., Lee, S., & Kim, S. (2021). Recent advances in membrane filtration for wastewater treatment : a critical review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 98, 15-31.

Nusrat J, Tahmid M, AfrinaZaman S, Athkia F, Hridoï R, Pervez N, Yingjie C, Vincenzo N, Shahinoor I, (2022). A ComprehensiveReview on the SustainableTreatment of

Références bibliographiques

Textile Wastewater: ZeroLiquidDischarge and Resource Recovery Perspectives. *Durabilité*, 14 (22), 15398 ; <https://doi.org/10.3390/su142215398>.

OECD. (2022). Wastewater Treatment.

Olmez-Hanci, T., & Demirer, G. N. (2021). A review of micropollutants in reclaimed wastewater : Removal, fate, and health effects. *Chemosphere*, 264, 128555.

ONA, (2018). Tableau de bord exploitation mois de fevrier 2018.

ONA, (2019). Tableau de bord exploitation du mois de janvier 2019.

Oron, G., & Gillerman, L. (2020). Environmental and health risks of using reclaimed wastewater for agricultural irrigation : a review of recent research advances. *Water research*, 181, 115896.

Otterpohl, R., & Oldenburg, M. (2021). Risk assessment of the pathogen removal efficiency of wastewater treatment and reuse systems. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 11(1), 9-24.

Ouali, A., Gomez-Coca, R.B., Ferchichi, A, (2019). Olive oil in Algeria : Past, Present, and future. *Grasas y Aceites*, 70(1), 276p. Doi : 10.3989/GYA 1107182.

Ouedrhiri, M., Bensmail, C., El mohtafid, A., Achkari-Begdouri, A. (2017). Evaluation de la qualité de l'huile de pulpe d'olive vierge de la variété picholine marocaine. *Journal of chromatographie*, 183-190p.

Paolo, R., Luigi, R., Francesco, P, (2018). Treated wastewater use in Agriculture : An Intensive Review of opportunities. *Sustainability*, 10(8), 2863p. Doi : 10.3390/Su 100820863.

Parlakidis, P.; Gounari, I.; Georgiou, A.; Adamidis, G.; Vryzas, Z.; Gikas, G.D, (2023). Removal of Two Triazole Fungicides from Agricultural Wastewater in Pilot-Scale Horizontal PMI.

Pazos, M., Plaza, F., Garrido, J.M., & Álvarez, J.A. (2021). Tertiary treatment of urban wastewater for reuse in agriculture : A review. *Journal of Environmental Management*, 296, 113200. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113200>

Pirisi, F.M., Cabras, P., Caoa, C.F., Migliorini, M., Magelli, M. (2000). Phenolic compound in virgin oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 : 1770-1775p.

Références bibliographiques

Plósz, B. G., Liltved, H., & Ratnaweera, H. (2009). Climate change impacts on activated sludge wastewater treatment: a case study from Norway. *Water Science and Technology*, 60(2), 533-540. [Lien](#)

Punzi, M., Millero, A., & Barceló, D. (2020). Current trends in tertiary treatment for bacterial removal from wastewater : A review. *Science of the Total Environment*, 740, 139963. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139963>

Rahman, M. M., Hasan, M. R., Hasanuzzaman, M., & Kumar, S. (2021). Reusing treated wastewater for agricultural irrigation : A review of current practices and emerging trends. *Science of The Total Environment*, 752, 141887. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.14188>

Rajasekaran R, Pakshirajan K, Nambi IM. (2020). Performance Assessment of Rotating Belt Filter in Primary Treatment of Municipal Wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 35, 101288.

Rallo, L., Deiz, C.M., Morales-Sillero, A., Miho, H., Priego-Capote, F., and Rallo, P. (2018). Quality of olives : A focus on agricultural preharvest factors. *Scientia horticulturae*, 233, 491-509p.

Ranalli, A., Contento, S., Lucera, L., Di Febo, M., Marchegiani, D., & Di Fonzo, V. (2001). Factors affecting the contents of iridoid oleuropein in olive leaves (*Olea europaea* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 910-914.

Raut, S., Dutta, S., Chakraborty, S, (2019). Physical pollutants in wastewater and their impact on the environnement: *Journal of environmental Management*, 234, 465-480p.

Reboredo-Rodriguez P, Varela-Lopez A, Forbes-Hernandez TY, Gasparrini M, Afrin S, Remoro, A., et al. (2018). Chemical characterization of Edible oils and fats .In : *Analysis of food Toxines and toxicants*. Elsevier, 257-305p.

Rezgui, S., Benabdeli, K, (2021). Sustainable development of olive growing in arid and semi-arid areas : The case of Algeria. *Journal of Arid land*, 13(2), 117-126p. Doi : 10.1007/S40333-021-0097-1.

Rigacci, S., & Stefani, M. (2016). Nutraceutical Properties of Olive Oil Polyphenols. An Itinerary from Cultured Cells through Animal Models to Humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), 843.

Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, V. G., Đolić, M. B., Gernjak, W., ... & Fatta-Kassinos, D. (2019). Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater. *Science of The Total Environment*, 655, 986-1008. [Lien](#)

Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R., Mialocq J.C., Leroy P., Houssin M., Lavison G., Bechemin C., Vincent M., Rebouillon P., Moulin L., Chomodé P., Dujardin P., Gosselin S., Seux R., Almardini F. (2009) : L'analyse de l'eau, 9ème Ed. Dunod., Paris, France.

Romani A, Ieri F, Urciuoli S, Noce A, Marrone G, Nediani C, Bernini R. (2019). Health Effects of Phenolic Compounds Found in Extra-Virgin Olive Oil, By-Products, and Leaf of *Olea europaea* L. *Nutrients*. 1; **11**(8):1776.

S. Ghimire, D. Konnerup, and P. B. Sørensen, (2017). « Groundwater recharge with reclaimed water for sustainable water management : A review of scientific evidence from field-scale studies », *Science of the Total Environment*, vol. 599-600, pp. 1707-1719.

S. K. Brink, M. R. Weir, J. J. Drewes, J. G. Jacangelo, R. S. Summers, and G. G. W. Sorial, (2017). « Direct potable reuse : A path forward », *Journal of Water Reuse and Desalination*, vol. 7, no. 4, pp. 375-388.

Saleem, M. S., Hussain, S. G., & Hussain, S. (2021). Assessment of water quality in a sewage treatment plant using principal component analysis and cluster analysis. *Journal of Water Supply : Research and Technology-Aqua*, 70(3), 243-253.

Santos, A.F; Alvarenga, P; Gando-Ferreira, L.M.; Quina, M.J, (2023). Urban Wastewater as a Source of Reclaimed Water for Irrigation: Barriers and Future Possibilities. *Jia-Qian Jiang*.10, 17p. <https://doi.org/10.3390/environments10020017>.

Sdiri, W.; AlSalem, H.S.; Al-Goul, S.T.; Binkadem, M.S.; BenMansour, H, (2023). Assessing the Effects of Treated Wastewater Irrigation on Soil Physico-Chemical Properties. *Sustainability*, 15, 5793, 12p. <https://doi.org/10.3390/su15075793>.

Références bibliographiques

Servili, M., Selvaggini, R., Esposito, S., Taticchi, A., Montedoro, G., & Morozzi, G. (2004). Health and sensory properties of virgin olive oil hydrophilic phenols: agronomic and technological aspects of production that affect their occurrence in the oil. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 113-127.

Servili, M., Selvaggini, R., Taticchi, A., Esposito, S., & Montedoro, G. (2004). Volatile compounds and phenolic composition of virgin olive oil: optimization of temperature and time of exposure of olive pastes to air contact during the mechanical extraction process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(23), 7269-7276.

Servili, M., Selvaggini, R., Taticchi, A., Esposito, S., & Montedoro, G. (2004). Volatile compounds and phenolic composition of virgin olive oil: optimization of temperature and time of exposure of olive pastes to air contact during the mechanical extraction process. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(23), 7980-7988.

Seth, R., Misra, A.K., & Rath, S. (2021). Agricultural reuse of treated wastewater : A review of research and development. *Journal of Environmental Management*, 292, 112787p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112787>

Shen, L., Chen, X., Zhang, Y., Qiu, Z., & Sun, X. (2021). Occurrence and fate of microplastics in wastewater treatment plants and their impact on receiving water bodies : A review. *Chemosphere*, 262, 127767p.

Shoushtarian, F and Negahban-Azar, M, (2020).World wide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review, *Water*, 12 (4) ,971p. <https://doi.org/10.3390/w12040971>.

Simon, E., Burns, K.A, (2016). Pesticides in the modern world. Persistent problem, increasing concern. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Environmental carcinogenesis and ecotoxicology reviews*, 34(4), 209-221p.

Singh, G., Sharma, M., & Vaish, R. (2020). Transparent ferroelectric glass–ceramics for wastewater treatment by piezocatalysis. *Communications Materials*, 1(1), 1-11. [Lien](#)

Singh, N.K, et al (2018). An easy-to-handle and efficient process for the preparation of potassium hydroxide in methanol for transesterification of vegetable oils to biodiesel. *Energy sources, Part A : Recovery, utilization, and Environmental Effects*, 40(6) ,691-697p.

Singh, S., & Kumar, A. (2021). Occurrence, sources and health risk assessment of heavy metals in reclaimed water : a review. *Journal of Environmental Management*, 284, 112026.

Singleton, V.L., Ortofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*. 152-178p.

Storniolo CE., Casillas R., Bulló M, Castañer O., Ros E, Sáez GT., Toledo E., Estruch R., Ruiz Gutiérrez V., Fitó MM., Martínez-González A., Salas-Salvadó J., Mitjavila MT et Moreno JJ, (2017). A Mediterranean diet supplemented with extra virgin olive oil or nuts improves endothelial markers involved in blood pressure control in hypertensive women. *European Journal of Nutrition*, 56(1): 89–97p.

Suits, K.; Annus, I.; Kändler, N.; Karlsson, T.; Maris, A.V.; Kaseva, A.; Kotovičca, N.; Rajarao, G.K, (2023). Overview of the (Smart) Stormwater Management around the BalticSea. *Water*, 15, 1623, 30p. <https://doi.org/10.3390/w15081623>.

Sun, Y., Shi, B., Wang, C., Wang, X., Sun, L., & Yang, J. (2022). Advanced treatment of wastewater effluent by electrochemical oxidation integrated with chemical coagulation. *Chemical Engineering Journal*, 430, 132863. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.132863>

Suryawan, I. W., Prajati, G., Afifah, A., & Apritama, M. R. (2021). NH₃-N and COD Reduction in Endek (Balinese Textile) Wastewater by Activated Sludge under Different DO Condition with Ozone Pretreatment. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 18(6), 9127. [Lien](#)

Talhaoui N, Gómez-Caravaca MA, León L. (2016). From Olive Fruits to Olive Oil: Phenolic Compound Transfer in Six Different Olive Cultivars Grown under the Same Agronomical Conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(337).

Tawfik A, Karam HM, Karam HM, Karam JR. (2020). An Experimental Study on the Performance of a Combined Grit Chamber and Screening System for Primary Treatment of Municipal Wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101566p.

Tawfik, A., El-Gohary, F., & Abdallah, A. M. (2019). Wastewater treatment and reuse : Current status and future perspectives. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100-122p. Doi : 10.1016/j.jwpe.2019.01.009.

Références bibliographiques

Tawfik, A., ElSayed, E., Abou-Elwafa Abd-Elrahman, M., & Hasan, A. M. (2021). Environmental risks of using treated wastewater for irrigation : A review. *Journal of Environmental Management*, 296, 113248p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113248>

Tetteh, E. K., & Rathilal, S. (2017). APPLICATION OF RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM) - REDUCTION OF INDUSTRIAL WASTEWATER CHEMICAL OXYGEN DEMAND. *CBU International Conference Proceedings*, 5, 311-316.
[Lien](#)

Touil, S., & Richa, A. (2019). Impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur certaines propriétés du sol. *Journal of Environmental Management*, 123, 45-52. [↵](#)

Triantafyllidou, S., & Drikas, M. (2021). Disinfection by-products in water reuse : a review. *Water Science and Technology : Water Supply*, 21(2), 255-269p.

Trypidis, D. et al. (2019). Real time monitoring of the combined effect of chlorophyll content and light filtering packaging on virgin olive oil photo-stability using mesh cell-FTIR spectroscopy. *Food Chemistry*, 295, 505-513.
<https://dx.doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.05.084> [↵](#)

Tsimidou, M., Boskou, D. (2006). Innovative testing methods for olive oil quality evaluation in olive oil : *Chemistry and Technology*, 2nd Edition, edited by Dimitrios Boskou and Maria-José Motilva, AOCS Press, 221-267p.

Tura, D., Failla, O., Bassi, D., Pedò, S., & Serraiocco, A. (2007). Influence of cultivar and site of cultivation on levels of lipophilic and hydrophilic antioxidants in virgin olive oils (*Olea europea L.*) and correlations with oxidative stability. *Scientia Horticulturae*, 112(1), 108-119.

UNESCO. (2017). Wastewater: The Untapped Resource.

UNISCO, (2017). Les eaux usées une ressource inexploitée, UN Water ONU-Eau, v (19,46MB), 5p.

UN-Water. (2020). Wastewater Management.

Vanrolleghem, P.A., Sin, G., Gernaey, K.V., Rosen, C., Jeppsson, U., Copp, J.B., ... & Alex, J. (2019). The future of wastewater treatment modelling. *Water Research*, 149, 310-320p. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.066>

Références bibliographiques

Vaquer-Sunyer, R., Conley, D., Muthusamy, S., Lindh, M., Pinhassi, J., & Kritzberg, E. (2015). [Dissolved Organic Nitrogen Inputs from Wastewater Treatment Plant Effluents Increase Responses of Planktonic Metabolic Rates to Warming](#). ACS Publications.

Velusamy, S., Roy, A., Sundaram, S., & Mallick, T. K. (2021). A Review on Heavy Metal Ions and Containing Dyes Removal Through Graphene Oxide-Based Adsorption Strategies for Textile Wastewater Treatment. *The Chemical Record*, 21(2), 473-491. [Lien](#)

Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., & Barceló, D. (2019). Emerging contaminants in wastewater reuse : A review of the literature. *Science of the Total Environment*, 662, 669-680.

Vossen, L. (Ed). (2015). *Olive oil : Chemistry and Technology* (3rd ed). AOCS Press.

Vymazal, J. (2021). Constructed wetlands for wastewater treatment : A review. *Ecological Engineering*, 169, 106411. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106411>

Wang, X., Shen, X., Lu, J., Liu, X., and Luo, Y, (2020). A Review of microplastics in waste treatment plants: Detection, Occurrence and removal. *Water Research*, 176, 115710p.

Wei, C., Lin, C., & Fan, J. (2020). Comprehensive evaluation of water quality in a sewage treatment plant using multiple indexes. *Journal of Environmental Management*, 254, 109782.

WHO, (2018). *Industrial Wastewater*.

Wijs, J. (1883). Bestimmung des Gelaltes an ungesattigten Verbindungen in Fetten. *Chemische Brichte*, 16(2), 2592-2597p.

Xiong, J., Zhang, Y., Chen, Q., Lin, K., & Zhang, X. (2021). Occurrence, distribution, and health risk of pharmaceuticals and personal care products in reclaimed water : A review. *Science of the Total Environment*, 755, 142654p.

Yadav, P.; Chaudhary, A.; Keshari, A.; Chaudhary, N.K.; Sharma, P.; Kumar, S.; Yadav, B.S, (2022). Data Visualization of Influent and Effluent Parameters of UASB-based Wastewater Treatment Plant in Uttar Pradesh. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*, 13, p 1–10.

Références bibliographiques

Yaseen, Z. M., & Ahmad, M. A. (2021). Performance and optimization of pre-treatment methods for urban wastewater treatment plants : A review. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 40(1), e13321.

Zegait R, Kouadri S, Kateb S et Azlaoui M, (2021). Reliability and problems of waste water treatment processes in the Algerian sahara In *Promising Techniques for Wastewater Treatment and Water Quality Assessment*. IntechOpen, vol, 8 p 1-14. DOI:10.5772/intechopen.96113.

Zhang, L., Li, J., Li, C., & Li, X. (2021). Combined Biofiltration and Nanofiltration for the Removal of Emerging Contaminants from Wastewater : A Review. *Environmental Science & Technology*, 55(7), 4081-4095. Doi : 10.1021/acs.est.0c08527.

Zhang, Q., Li, X., Li, M., Li, H., & Zhu, S. (2021). Formation and control of disinfection byproducts in reclaimed water reuse : A review. *Chemosphere*, 272, 129707.

Zhang, Q., Li, Y., Wang, X., Zhao, Y., & Li, X. (2021). Monitoring and evaluation of wastewater treatment plants in China : Current status and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 278, 111570.

Zhang, X., Li, J., Liu, Y., Li, X., Liang, X., Wang, X and Li, Y, (2018). Occurrence and fate of personal care products and endocrine disrupting chemicals and sewage treatment plants and their impact on receiving waters along the Yangtze Riviera (China). *Environmental pollution*, 238, 261-270p.

Zhang, Y., Li, X., & Gu, P. (2019). Membrane Bioreactor (MBR) technology for wastewater treatment and reclamation: Membrane fouling. *Membranes*, 6(2), 33.

Zinatizadeh, A. A., Mirbagheri, S. A., & Bashiri, M. (2021). Efficiency evaluation of a combined treatment process for municipal wastewater : pre-treatment and anaerobic digestion. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(6), 7106-7119.

Annexes

Annexe N°1 :

Potentiel hydrogène (pH)

Mode opératoire

Étalonnage de l'appareil

Allumer le pH-mètre. Rincer l'électrode avec l'eau distillée. Prendre dans un petit bécher, la solution tampon pH=7. Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2. Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée. Ré étalonné de la même manière avec les solutions tampons pH=4

Méthode de mesure

Les mesures de pH sont effectuées à l'aide d'un pH-mètre de type tovi band-pH-110. L'eau à examiner sera amenée au contact de l'électrode par circulation. La lecture est faite après stabilisation de la valeur affichée de pH (**NF T 90-800**).

Annexe N°2 :

Détermination de MES

Mode opératoire

Par filtration :

Dans notre analyse, nous avons adopté la méthode de filtration. L'eau est filtrée et le poids de matière retenu par le filtre et déterminer par pesée différentielle. On prend une membrane GFC (Glass Microfibre circule) et la marquer avec précaution pour ne pas l'abimer. Peser la membrane et noter sa masse à vide M0. Placer la membrane sur la rampe de filtration. Bien agiter l'échantillon. Prélever un volume de l'échantillon et le transvider sur la membrane, on utilisée la pompe à vide pour accélérer le mécanisme de filtration. Récupérer la membrane après la filtration, puis la placer dans une étuve à 105C°pendant 2h pour enlever l'excès d'eau et reporter la capsule à l'étuve puis le dessiccateur. Peser de nouveau la membrane après séchage, puis noter sa masse M1 (**EN 872/1996**).

Par centrifugation :

Attendre que les échantillons soient à température ambiante. Homogénéiser le contenu du flacon par agitation. Introduire la totalité de l'échantillon dans le pot de la centrifugeuse (volume 200ml) Centrifuger 20 minutes environ. Éliminer l'eau surnageant, recueillir le culot déposé dans une capsule préalablement séchée à 105°C et peser. Rincer le pot de centrifugation deux fois avec de l'eau distillée et recueillir les eaux d'entraînement dans la capsule. Sécher la capsule et son contenu à 105°C. Laisser refroidir dans un dessiccateur et peser. Renouveler ces opérations jusqu'à l'obtention d'un poids constant (la différence entre 02 pesées consécutives ne diffère pas plus de 0,5mg. **NFT90-105-2.**

Annexe N°3 :

Détermination de DBO5

Préparation de l'inhibiteur de nitrification : Pour 50ml : dissoudre 0.025g de réactif N-Allylthiourea.

Mode opératoire

L'utilisation de DBO mètre de type Lovi-band.

Rincer le flacon avec l'échantillon.

Dans un flacon à DBO amené à un barreau magnétique, on met un volume d'eau à analyser. Ajouter dix gouttes de l'inhibiteur de nitrification. Ajouter trois gouttes de l'hydroxyde de potassium. Placer la soude DBO sur le flacon. Incubation le mélange à 20°C pendant 5 jours à l'obscurité.

Annexe N°4 :

Détermination de DCO

Préparation des solutions

Acide sulfurique+sulfate d'argent : 10g sulfate d'argent (Ag_2SO_4) + 965ml acide sulfurique (H_2SO_4) + 35ml l'eau distillée.

Dichromate de potassium (K_2CrO_2) : 80g sulfate de mercure (HgSO_4) +100ml acide sulfurique+11,768g chromate de potassium séché à 105°C+1000ml l'eau distillée.

Sulfate de fer et d'ammonium : 47g sulfate de fer et d'ammonium+20ml acide sulfurique+1000ml l'eau distillée.

Hydrogénophtalate de potassium : 0,4251g de Hydrogénophtalate de potassium+ 1000ml l'eau distillée.

Ferroïne : 1g de sulfate de fer et d'ammonium+ 1,5g de Phénantroline-1, 10monohydratée+100ml l'eau distillée.

Mode opératoire

Préparation de l'essai

Avant le prélèvement de la prise d'essai, l'échantillon doit être homogénéisé par agitation du Flacon. Dans un tube de DCO, introduire : 10ml d'eau à analyse (DCO>700mg/l, procéder a une dilution) et 5ml de K₂Cr₂O₇). Ajouter quelques granules régulateurs d'ébullition. Homogénéiser et ajouter lentement et avec précaution 15ml d'acide sulfurique plus le sulfate d'argent. Agiter le tube soigneusement. Mettre le réfrigérant et porter a l'ébullition 02heures à une température de 150°C (**ISO 6060-1989**).

Détermination de la DCO

Refroidissement, lavage des parois internes du réfrigérant à l'eau distillée. Sortir le réfrigérant, laisser refroidir. Compléter à 70ml avec de l'eau distillée dans un bécher. Ajouter 2 gouttes de ferroïne. Titrer l'excès de K₂Cr₂O, par la solution de sel de Mohr(virage bleu - vert au brun rouge) noter VE_{CH}.

Essai à blanc

Introduis 10ml d'eau distillée dans le tube à essai. Suivre le même protocole que pour l'essai, noter V Blanc

Essai témoin

Introduire 10ml de solution Hydrogénophtalate de potassium et suivre le même protocole.

Remarque : la DCO théorique de cette solution est de 500mgyl, le procéder expérimental est

Satisfaisant si l'on obtient au mois 96%

Vérification du titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium

Introduire 10ml de la solution de dichromate de potassium dans un bécher. Ajouter 90ml de l'acide sulfurique) 4mol/l. Refroidissement et suivre le même protocole que pour la détermination de la DCO.

Annexe N 5 :

Conductivité elektrische

Mode opératoire

 talonnage de l'appareil

Allumer le Conductimètre. Rincer l'électrode avec l'eau distillée. Prendre dans un petit bécher, la solution standard de KCL. Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage de la constante de la cellule.

Méthode de mesure

Nous avons utilisé un conductimètre   électrode de verre de marque (k 120 consort). Après rinçage de la cellule avec l'eau distillée ; on la plonge dans un Becher contenant de l'eau à analyser en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées. Laisser stabiliser un moment, puis noter la valeur de la conductivité affichée (**NF T 90-031**).

Annexe N 6 :

Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs

Mode opératoire

  partir de l'eau à analyser : prendre environ 25ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de 80C  pendant 8 à 10min. Après le chauffage, refroidir immédiatement le tube. Répartir ensuite le contenu de ce tube dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5ml par tube. Ajouter environ 18ml de gélose Viande-Foie fondue puis refroidie, additionnée une ampoule d'Alum de fer et d'une ampoule de sulfate de sodium. Mélanger doucement le milieu. Laisser solidifier sur pailleasse pendant 30min. Incuber   37C  pendant 24h   48h.

Lecture

D nombrez toute colonie noire de 0,5mm de diamètre

Annexe N 7

Recherche et dénombrement de staphylocoques (*staphylococcus aureus*)

Mode opératoire

Porter 1ml de l'eau à analyser à l'aide d'une pipette Pasteur stérile. Déposer ce volume au centre d'une boîte pétrie contient à environ de 20ml du milieu de Chapman préparé à cet usage. Réaliser l'ensemencement ZIGZAG ou mouvement pendulaire. L'incubation à 37C° pendant 24h à 48h.

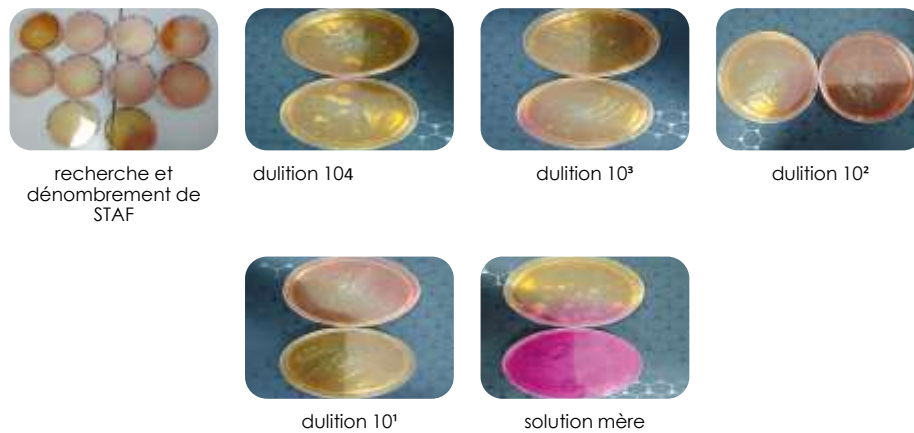


Figure : Recherche et dénombrement de staphylocoques (*staphylococcus aureus*) (Photos originales, 2023).

Annexe N°8 :**Recherche et dénombrement de *Salmonella***

Figure: recherche et dénombrement de *salmonella* milieu S-S (photos originales, 2023).

Recherche et dénombrement des Coliformes

Mode opératoire

1. Le bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol « B C P L »

Recherche et dénombrement des coliformes totaux (test présomptif)

Elle est effectuée en utilisant le bouillon lactosé au pourpre de bromocrésol « B C P L ». Tous les tubes sont munis des cloches de DURHAM pour déceler le dégagement éventuel de gaz. Dans un portoir on prépare 2 séries de tubes plus un flacon 1^{re} : le flacon de B.C.P.L D/C, ajouter 50ml d'eau à analyser et 2^e : série correspond à 5 tubes de B.C.P.L D/C ajouter 10ml d'eau à analyser et 3^{ème} : série correspond à 5 tubes de B C P L S/C ajouter 1 ml d'eau à analyser. Incuber à l'étuve à 37°C pendant 48 heures. Tous les tubes présentant un virage au jaune et dégagement du gaz dans les 1/10 de la cloche caractérisent la fermentation du lactose sont considérés comme positifs.

Lecture

La lecture se fait après 48h d'incubation. Tous les tubes présentant à la fois : Un dégagement gazeux (supérieure au 1/10 de la hauteur de la cloche) et un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune (ce qui consiste le témoin de la fermentation du lactose présent dans le milieu). La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table du nombre le plus probables(NPP).

Recherche et dénombrement des coliformes fécaux : Recherche d'*Escherichia coli* (test confirmatif)

À partir de chaque bouillon B C P L positif ensemercer deux à trois gouttes dans un milieu indole mannitol « milieu de Schubert » muni d'une cloche de DURHAM. Incubation pendant 24 heures à 44°C. Après l'incubation, ajouter 2 à 4 gouttes, de réactif de KOVACKS « recherche d'indole ».

Lecture

Après 24h d'incubation sous une température de 44°C, tous les tubes présentant une culture, de gaz dans la cloche et une réaction indole positive (anneau rouge en surface).

2. Par milieu VRBG



Figure: recherche et dénombrement des Coliformes Fécaux Milieu VRBG

44°C (Photos originales, 2023).

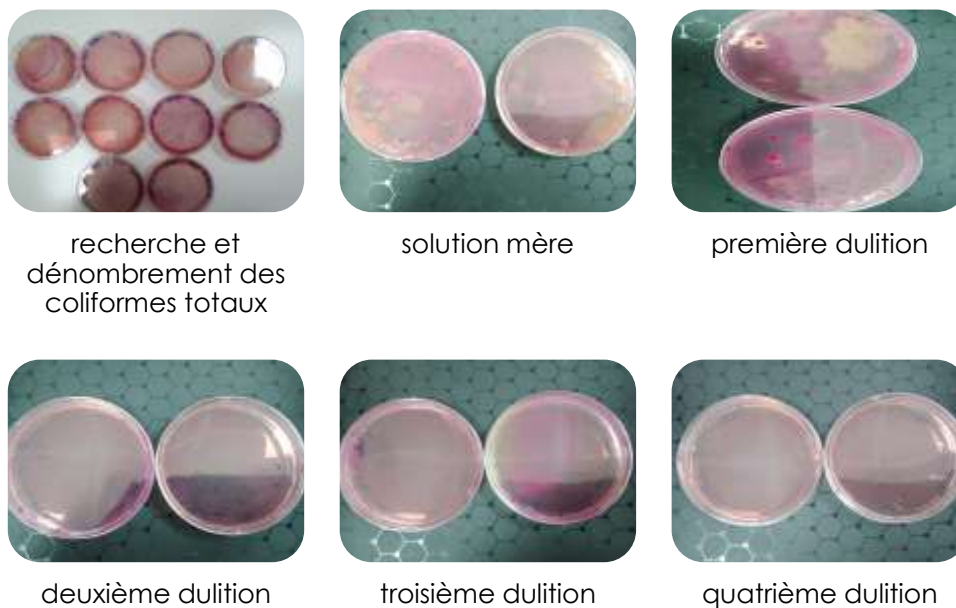


Figure: Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux Milieu VRBG 37°C (photos originales, 2023).

Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux :

Test présomptif

La recherche se fait en bouillon à l'acide de sodium « bouillon de Rothe ». Dans un flacon de 50ml de bouillon de ROTHE D/C ajouter 50ml d'eau à analyser. Dans une série contenant 5 tubes de bouillon de ROTHE D/C ajouter 10ml d'eau à analyser à chaque tube. Dans une série de 5 tubes de bouillon de ROTHE S/C ajouter 1ml d'eau à analyser à chaque tube. Incuber le flacon et les tubes dans l'étuve à 37c° pendant 24 heures à 48 heures.

Lecture

Les tubes présentant un trouble microbien seront considérés comme positifs.

Test confirmatif

À partir du tube de bouillon de ROTHE positif ensemercer deux à trois gouttes dans un bouillon à l'éthyle violet et l'acide de sodium « EVA » incubé à 37c° pendant 48 heures.

Lecture

On note généralement la présence d'une pastille violette dans le fond des tubes, le dénombrement s'effectue en notant le nombre des tubes positifs dans chaque série des tubes ensemençés et on se rapporte à la table du nombre le plus probable à fin de connaître approximativement le nombre de streptocoques fécaux présents dans 100ml d'eau à analyser.



Figure : Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux (photos originales, 2023).

Annexe N°9

Indice d'acide

Préparation de solution phénolphaléine

0,5g de phénolphaléine dans 50ml d'éthanol 95% (v/v).

Solution éthanol à 95%/ éther (v/v) :

25ml d'éthanol.

25ml éther (Diéthylether).

Préparation de solution KOH :

0,1N= 5,61056g pour 1L d'eau distillée. Pour préparer la solution de KOH, dissoudre 1,4g de KOH dans 250ml d'eau distillée et agiter le mélange.

Mode opératoire

Placez 5 g d'huile d'olive sur une balance et mesurez la quantité exacte. Ensuite, ajoutez 50 ml de la solution d'éthanol à 95% mélangée avec de l'éther dans le récipient contenant l'huile d'olive. Ajoutez ensuite 4 à 5 gouttes de phénolphaléine pour servir d'indicateur coloré. Utilisez un agitateur magnétique pour agiter le mélange pendant quelques minutes, en veillant à bien mélanger les substances. Une fois l'agitation terminée, remplissez la burette avec la solution de potasse alcoolique jusqu'au repère de jauge. Maintenant, vous pouvez commencer le titrage en ajoutant la solution de KOH de manière contrôlée dans le mélange jusqu'à ce que le changement de couleur se produise. Le virage de couleur attendu est une coloration rose. Lorsque cela se produit, arrêtez le titrage et prenez note du volume de KOH utilisé.

Annexe N°10

Indice de saponification

Préparation de la potasse alcoolique (Singh *et al.*, 2018).

Ajouter lentement des granules d'hydroxyde de potassium à méthanol en agitation constante jusqu'à dissolution complète. Dissoudre 4,4g d'hydroxyde de potassium dans 100ml de méthanol.

Préparation de 500ml de potasse alcoolique de concentration (0,5mol/l)

La quantité nécessaire de KOH pour préparer 500ml de solution et donc : Dissoudre 22g d'hydroxyde de potassium pour 500ml de méthanol.

Préparation de la Solution de HCL de concentration 0,5mol/l

12.5ml d'eau distillée + 2,053ml HCL et compléter le volume jusqu'à 50ml par l'eau distillée.

Mode opératoire

Dans un premier temps, pesez 2 g d'huile d'olive dans un ballon. Ensuite, ajoutez 25 ml de potasse alcoolique de concentration 0,5 mol/l au ballon contenant l'huile d'olive. Assurez-vous de prendre les précautions nécessaires lors de la manipulation de produits chimiques. Placez le ballon dans un bain-marie bouillant et laissez-le chauffer pendant une période de 45 à 60 minutes. Cette étape permet la saponification de l'huile d'olive par la potasse alcoolique. Après la période de chauffage, ajoutez 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine dans le mélange. Cela servira d'indicateur pour détecter la fin de la réaction. Maintenant, dosez l'excès de potasse en utilisant de l'acide chlorhydrique de concentration 0,5 mol/l. Agitez constamment le mélange jusqu'à ce que la phénolphthaléine passe de la couleur rose à une couleur incolore. Cela indiquera la fin de la réaction et la neutralisation de l'excès de potasse. Il est également nécessaire d'effectuer un essai à blanc dans les mêmes conditions. Cela implique de répéter les étapes précédentes en utilisant uniquement les réactifs, sans l'ajout d'huile d'olive. Cela permet de prendre en compte la quantité d'acide chlorhydrique nécessaire pour neutraliser l'excès de potasse alcoolique dans le calcul final. Une fois ces mesures effectuées, vous pouvez déterminer l'indice de saponification à l'aide de la formule appropriée. Cette formule vous permettra de calculer la quantité de potasse nécessaire pour saponifier une quantité donnée d'huile d'olive, et elle est généralement exprimée en milligrammes de KOH par gramme d'échantillon.

Annexe N°11 :

Préparation des solutions

Solution étalon thiosulfate de sodium

Pour préparer la solution étalon de thiosulfate de sodium, il faut peser 0,250 g de thiosulfate de sodium, puis mesurer 100 ml d'eau distillée dans une éprouvette. Ensuite, les 0,250 g de thiosulfate de sodium doivent être dissous dans 90 ml d'eau distillée en chauffant le mélange jusqu'à dissolution complète. Après refroidissement, le volume est complété jusqu'à 100 ml en ajoutant de l'eau distillée.

Solution d'acide acétique glaciale/chloroforme

Pour préparer cette solution, il faut mélanger 30 ml d'acide acétique glaciale avec 20 ml de chloroforme pour obtenir 50 ml de solution.

Solution d'amidon

La solution d'amidon est préparée en pesant 0,5 g d'amidon, puis en l'ajoutant à 50 ml d'eau distillée tout en agitant. La solution est chauffée sur une plaque chauffante avec une agitation constante jusqu'à ce qu'elle devienne propre et transparente. Ensuite, elle est filtrée à l'aide d'un papier filtre. Après un temps de repos de 30 minutes, le filtrat est recueilli pour être utilisé comme indicateur.

Solution d'iodure de potassium

Pour préparer la solution d'iodure de potassium, 10 ml d'eau distillée sont mesurés et versés dans un tube à essai, puis des cristaux d'iodure de potassium sont ajoutés et le mélange est agité.

Mode opératoire

Une fois les solutions préparées, le mode opératoire de l'expérience peut commencer. Tout d'abord, 1 g d'huile d'olive est pesé. Ensuite, 10 ml de chloroforme, 15 ml d'acide acétique et 1 ml d'une solution aqueuse saturée d'iodure de potassium sont ajoutés. Le mélange est agité pendant 1 minute et laissé à l'obscurité pendant 5 minutes. Ensuite, 75 ml d'eau distillée sont ajoutés en agitant, suivis de quelques gouttes d'empois d'amidon pour obtenir un indicateur coloré. Le dosage est effectué en utilisant la solution de thiosulfate de sodium 0,01 N. Un essai à blanc sans le corps gras est également réalisé en parallèle avec le premier essai.

Annexe N°12 :

Indice d'iode

Préparation de réactif de Wijs

Pour préparer le réactif de Wijs, il faut peser avec précision 13,2 g d'iode et 13,2 g d'iodure de potassium, puis les verser dans un flacon. Ensuite, ajoutez 500 ml d'eau distillée et versez lentement et en remuant constamment 66 ml d'acide sulfurique concentré. Continuez à remuer la solution jusqu'à ce qu'elle soit complètement homogène. Ajoutez de l'eau distillée jusqu'à atteindre un volume total de 1 L. Pour préserver la solution de l'altération due à la lumière, conservez le réactif de Wijs dans une bouteille en verre brun (**Wijs, 1883**).

Préparation de solution thiosulfate de sodium 0,1N

Pour préparer la solution de thiosulfate de sodium 0,1 N, pesez précisément 12,4 g de thiosulfate de sodium à l'aide d'une balance et transférez-le dans une fiole jaugée. Ajoutez environ 300 ml d'eau distillée et agitez vigoureusement pour dissoudre complètement le soluté. Complétez le volume jusqu'à la graduation de 500 ml en ajoutant de l'eau distillée. Agitez de nouveau pour homogénéiser la solution.

Préparation de la solution d'iodure de potassium

Pour préparer la solution d'iodure de potassium, pesez 32 g d'iodure de potassium et versez le solide dans un bécher de 250 ml. Ajoutez environ 100 ml d'eau distillée au bécher et agitez jusqu'à ce que tout le solide soit dissous. Ajoutez lentement de l'eau distillée supplémentaire jusqu'à atteindre le volume total de 200 ml. Mélangez la solution avec un agitateur magnétique pour vous assurer qu'elle est homogène.

Mode opératoire

Pour procéder au dosage, pesez une prise d'essai de 0,2 g de corps gras dans un ballon à fond plat. Ajoutez 10 ml d'hexane, 10 ml d'acide acétique et 25 ml de réactif de Wijs. Laissez le mélange reposer à l'obscurité pendant 1 heure. Ajoutez au mélange 20 ml de solution saturée d'iodure de potassium et 150 ml d'eau distillée. Bouchez le ballon et agitez pendant 5 minutes. Titrez le mélange avec la solution de thiosulfate de sodium 0,1 N jusqu'à l'apparition de la couleur jaune. Ajoutez de l'empois d'amidon et la coloration deviendra bleu foncé. Continuez le dosage jusqu'à ce que cette couleur disparaisse. Effectuez également un essai à blanc sans corps gras en parallèle avec le premier essai.

Annexe N°13 :

Indice de siccativité :

Préparation de solution FeCl₃ 0,1%

Pour la préparation de la solution de FeCl₃ à 0,1%, il faut d'abord peser 0,1g de FeCl₃ et le transférer dans un flacon jaugé de 100ml. Ensuite, ajoutez environ 50ml d'éthanol absolu dans le flacon et mélangez vigoureusement jusqu'à ce que le FeCl₃ soit dissous dans l'éthanol. Ajoutez suffisamment d'éthanol absolu pour atteindre un volume final de 100ml, puis agitez à nouveau le flacon pour assurer une homogénéisation complète de la solution.

Mode opératoire

Concernant le mode opératoire, commencez par peser 5g d'huile d'olive dans un bécher propre et sec. Ajoutez 1ml d'une solution de chlorure de fer (FeCl_3) à 0,1% dans de l'éthanol absolu, suivi de 2ml d'acide acétique glacial et 1ml d'acide sulfurique concentré. Mélangez bien le tout. Placez ensuite le bécher dans un bain d'eau à 70°C pendant 30 minutes, puis retirez-le du bain d'eau et laissez-le refroidir à température ambiante. Ajoutez 10ml de n-hexane (ou cyclohexane ou tétrachlorure de carbone) et mélangez vigoureusement pendant 1 minute. Ajoutez ensuite 5ml d'acide sulfurique concentré et mélangez à nouveau vigoureusement pendant 1 minute. Attendez 30 minutes pour que les deux phases se séparent, puis mesurez la hauteur de la couche supérieure en millimètres

Annexe N°14 :

Détermination de la teneur en caroténoïdes

Mode opératoire

Une prise de 2g d'huile est introduite dans une fiole jaugée de 10 ml qui sera remplie, jusqu'au trait de repère par de cyclohexane. Mesurer l'absorbance de la solution obtenue par rapport à celle solvant à longueur d'onde 470nm.

Détermination de la teneur en chlorophylle

Mode opératoire

Dissoudre 2g de l'huile d'olive vierge dans 10ml de cyclohexane. Homogénéiser la solution. Après l'homogénéisation, mesurer l'absorbance à longueur d'onde 670nm par rapport à celle solvant.

Annexe N°15 :

Détermination de la teneur en polyphénols

Mode opératoire

1/Extraction des composés phénoliques

Pour extraire les composés phénoliques, nous avons adopté le protocole décrit par (**Pirisi et al.**, 2000). Tout d'abord, nous avons pesé 10 g d'huile d'olive et les avons introduits dans un tube. Ensuite, nous avons ajouté 5 ml de n-hexane et 10 ml de méthanol à 60%. La solution a été homogénéisée et centrifugée pendant 5 minutes à 3000 tours par minute. Le surnageant

contenant les polyphénols a été récupéré. Cette procédure a été répétée deux fois afin d'épuiser complètement l'huile. Ensuite, le surnageant a été versé dans un ballon et le solvant a été évaporé à l'aide d'un rota-vapeur à 40°C. Les composés phénoliques ont été récupérés dans 5 ml de méthanol. Le rendement de l'extraction est calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = (M-M_0/MT)*100.$$

R (%) : taux de polyphénols totaux extraits.

M : masse de ballon après l'extraction.

M₀ : masse de ballon vide.

MT : masse totale de l'huile d'olive utilisée.

2/Dosage de polyphénols

En se basant la méthode décrite par (**Arab et al.**, 2013). Pour commencer, un échantillon de 0,5 ml d'extrait méthanolique a été prélevé. Ensuite, 15 ml d'eau distillée ont été ajoutés à l'échantillon, et la solution a été soigneusement mélangée. Par la suite, 0,5 ml de Folin-Ciocalteu ont été ajoutés à la solution, qui a été incubée pendant 5 minutes. Après cela, 0,5 ml de carbonate de sodium ont été ajoutés au mélange, suivi d'une deuxième incubation d'une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière. L'absorbance de l'extrait a été mesurée à 760 nm. Parallèlement, un test blanc a été réalisé en mélangeant 5 ml d'eau distillée avec 0,5 ml de Folin-Ciocalteu et 0,5 ml de carbonate de sodium, dans les mêmes conditions. La quantification des polyphénols a été réalisée en fonction d'une courbe d'étalonnage établie à l'aide d'acide gallique à différentes concentrations, exprimées en équivalent d'acide gallique.

Préparation de réactif de Folin-Ciocalteu

Le réactif de Folin-Ciocalteu a été préparé en mélangeant 1 ml de Folin-Ciocalteu avec 9 ml d'eau distillée

Préparation de la Solution de carbonate de sodium

La solution de carbonate de sodium a été préparée en dissolvant 2,25 g de carbonate de sodium dans 20 ml d'eau distillée.

Gamme d'acide gallique

ANNEXES

SM= 100µg/ml.

2750µg =2,75mg.

2,75mg dans 27,5ml d'eau distillée.

5,5mg d'acide gallique dans 55ml d'eau distillée.

| | Solution mère | L'eau distillée |
|------------|----------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 5 |
| 10 | 0,5 | 4,5 |
| 20 | 1 | 4 |
| 30 | 1,5 | 3,5 |
| 40 | 2 | 3 |
| 50 | 2,5 | 2,5 |
| 60 | 3 | 2 |
| 70 | 3,5 | 1,5 |
| 80 | 4 | 1 |
| 90 | 4,5 | 0,5 |
| 100 | 5 | 0 |
| | 27,5ml | |

La gamme d'acide gallique utilisée pour l'étalonnage était de 0 à 100 µg/ml, correspondant à une quantité de 0 à 5 mg d'acide gallique dans 27,5 ml d'eau distillée. Chaque tube contenant l'échantillon a ensuite reçu 5 ml de Folin-Ciocalteu et a été incubé pendant 5 minutes. Ensuite, 4 ml de carbonate de sodium ont été ajoutés à chaque tube, suivi d'une deuxième incubation d'une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière. L'absorbance de l'extrait a été mesurée à 760 nm.

Annexe N°16 :

Détermination de la teneur en flavonoïdes

Mode opératoire

1/Extraction des flavonoïdes

Pour extraire les flavonoïdes, commencez par prélever 10 ml d'huile d'olive dans un bécher propre et sec. Transférez ensuite l'huile d'olive dans un ballon propre et sec. Ajoutez du méthanol pour extraire les flavonoïdes de l'huile d'olive. La quantité de méthanol dépendra de la quantité d'huile d'olive utilisée, mais en général, un rapport de 1 :10 entre l'huile et le méthanol est suffisant. Fermez le ballon et agitez vigoureusement pendant environ 5 minutes pour bien mélanger le méthanol et l'huile. Ajoutez du chlorure de sodium, généralement entre 1 g et 2 g, pour faciliter la séparation de la phase organique et de la phase aqueuse. Agitez le ballon pendant environ 5 minutes, puis laissez reposer pendant environ 30 minutes pour permettre aux flavonoïdes de se dissoudre dans le méthanol. Ajoutez de l'eau distillée au ballon volumétrique jusqu'à atteindre le volume final, puis agitez vigoureusement pour bien mélanger. Filtré le mélange à travers un filtre en papier plissé pour éliminer les impuretés. L'extrait filtré est maintenant prêt pour le dosage des flavonoïdes (**Bellesteros et al.**, 2013).

Préparation de la solution AlCl₃ :

Pour préparer la solution AlCl₃ à 2%, dissolvez 1 g d'AlCl₃ dans 50 ml de méthanol en agitant.

2/ Dosage de flavonoïdes

Pour le dosage des flavonoïdes, prenez 2 ml de l'extrait d'huile d'olive et ajoutez-y 2 ml de solution AlCl₃. Mélangez bien et laissez reposer à l'obscurité pendant 10 minutes. Après 10 minutes, mesurez l'absorbance de la solution à une longueur d'onde de 415 nm à l'aide d'un spectrophotomètre

Gamme de quercitrine

SM : 100µg/ml.

600µg = 0,6 mg.

0,6mg dans 6ml méthanol.

| N° tube | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| V de solution de quercitrine | 0 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 2 |
| V d'eau distillée | 2 | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 0,4 | 0 |
| Concentration finale de quercitrine | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

Dans la gamme de quercitrine, préparez des tubes contenant différentes concentrations : 0 µg/ml, 20 µg/ml, 40 µg/ml, 60 µg/ml, 80 µg/ml et 100 µg/ml. Ajoutez 2 ml de solution AlCl₃ dans chaque tube et laissez le mélange incuber pendant 10 minutes. Ensuite, mesurez l'absorbance à une longueur d'onde de 430 nm.

Annexe N°17 :

L'absorbance Ultra Violet K270 et K232

Mode opératoire

Préparer une solution d'huile d'olive à une concentration connue dans un solvant approprié, comme l'éthanol ou hexane ou cyclohexane en diluant 0,25ml de l'huile d'olive dans 25ml de solvant. Cette dilution est nécessaire pour que la solution ne soit pas trop concentrée, ce qui pourrait bloquer la lumière UV et donner des résultats faussés. Ensuite, il faut régler le spectrophotomètre UV à longueur d'onde de 270nm et 232nm, puis mesurer l'absorbance des échantillons d'huiles.

Annexe N°18 :

Taux d'humidité

Mode opératoire

Pour le mesurer, une capsule en verre est d'abord séchée dans une étuve réglée à 103 °C. Après refroidissement, la capsule est pesée (P). Ensuite, 5 g d'huile sont pesés dans la capsule (P1). L'échantillon est placé dans l'étuve pendant 2 heures à une température de 103°C. Après refroidissement dans un dessiccateur, la capsule est pesée à nouveau (P2).

Matière minérale

Mode opératoire

Pour le déterminer, environ 5 g d'huile d'olive vierge sont pesés dans un creuset, puis placés dans un four préchauffé à 550 °C pendant environ 5 heures. Ensuite, le creuset est retiré du four et refroidi sur une plaque froide. Environ 2 ml d'acide nitrique concentré sont ajoutés au creuset, puis chauffés doucement jusqu'à évaporation complète de l'acide nitrique. Le creuset est ensuite replacé dans le four à 550 °C pendant 4 heures. Après refroidissement, le creuset avec les cendres est pesé, et la masse est enregistrée.

Matière sèche

Mode opératoire

Pour le mesurer, une capsule en verre est séchée dans une étuve réglée à 105 °C, puis refroidie et pesée (P). Ensuite, 5 g d'huile sont pesés dans la capsule (P1) et placés dans l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C, refroidir au dessiccateur et peser autre fois la capsule (P2).

Annexe N°19 :

Détermination la teneur en corps gras

Mode opératoire (La méthode de Soxhlet)

Est que les lipides sont solubles dans les solvants organiques, tels que l'éther de pétrole, tandis que les autres composants de l'huile ne sont pas solubles. L'échantillon d'huile est placé dans l'extracteur en forme de tube la cartouche contenant la prise d'essai de 10g d'huile d'olive, qui est inséré dans le ballon de distillation. Le solvant organique est placé dans le ballon de distillation et chauffé à reflux, la quantité nécessaire 400ml de solvant organique. Le solvant organique s'évapore et condense dans le réfrigérant, formant des gouttelettes de solvant qui tombent dans l'extracteur en forme de tube. Le solvant organique dissout les lipides de l'échantillon d'huile et s'accumule dans l'extracteur. Lorsque la quantité de solvant organique dans l'extracteur atteint un certain niveau, le solvant organique est récupéré dans le ballon de distillation et le cycle recommence. Pour réaliser une extraction correcte d'une substance, on réalise généralement plusieurs cycles d'extraction. Une fois l'extraction est terminée l'appareil devrait être éteint et laissé refroidir puis le solvant est éliminé par

évaporation dans un rota- vapeur. La pesée du ballon contenant l'extrait lipidique après évaporation du solvant et du ballon vide permet de calculer la teneur en lipides exprimée en pourcentage (g/100g).

Annexe N°20 :

L'activité antioxydant

Préparation de la solution de DPPH

La solution de DPPH est préparée en dissolvant 3,9 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol. Cette solution doit être préparée juste avant utilisation.

Préparation des échantillons d'huile

L'échantillon d'huile d'olive vierge est dilué dans du méthanol 1 ml d'huile d'olive vierge et le diluer dans 9 ml de méthanol.

Mode opératoire

L'activité antioxydant de l'huile d'olive vierge peut être mesurée à l'aide d'une méthode appelée capacité antioxydant totale (CAT), qui évalue la capacité de l'huile à neutraliser les radicaux libres (Tsimidou et Boskou, 2006). Ajouter 2 ml de la solution de DPPH préparée dans le tube contenant 1 ml d'huile d'olive vierge diluée. Bien mélanger et laisser reposer pendant 30 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière, puis mesurer la densité optique de la solution obtenue à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis

Annexe N°21 :

TBARS

Préparez une solution de TBA à 0,67%

En dissolvant 0,67 g de TBA dans 100 ml d'acide sulfurique à 0,05 M.

Préparez une solution de trichlorure de fer à 20%

En dissolvant 20 g de FeCl₃ dans 100 ml d'acide perchlorique à 0,25 M.

Mode opératoire

Prélevez une quantité précise d'huile d'olive (généralement entre 0,1 et 1 g) et transférez-la dans un tube à essai propre. Ajoutez 2 ml de solution de TBA à 0,67% à l'échantillon d'huile d'olive. Mélangez soigneusement le contenu du tube à essai. Placez le tube à essai contenant le mélange d'huile d'olive et de TBA dans un bain-marie préchauffé à 95 °C pendant 60 minutes. Assurez-vous que le tube est correctement scellé pour éviter toute perte de solvant. Retirez le tube à essai du bain-marie et laissez-le refroidir à température ambiante. Centrifugez le tube à une vitesse suffisante pour séparer les phases lipidiques et aqueuses. Transférez la phase lipidique supérieure dans une cuvette en veillant à ne pas transférer de particules solides, puis mesurez l'absorbance de la solution à une longueur d'onde de 532 nm en utilisant un spectrophotomètre et utilisez la solution de trichlorure de fer à 20% comme blanc de référence pour l'étalonnage du spectrophotomètre.