



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud MAMMÉRI de Tizi-Ouzou
Faculté des sciences biologique et des sciences agronomiques
Département d'agronomie



Mémoire de fin de cycle

*En vue de l'obtention du diplôme Master
Spécialité : sciences du sol.*

Thème

**Gestion et valorisation des eaux usées épurée
et la boue résiduaire en agriculture**

Réalisé par : **FRAI SIDALI**

AMARI NADIR

Présenté le 23/09/2024 devant le jury :

Présidente : Mme Kherroubi . S

MCA

UMMTO

Examinatrice : Mme. Yakoubi .S

MMA

UMMTO

Promotrice : Mme Omari .O

MMA

UMMTO

Co-Promotrice : Mme Oumouri . O

MMA

UMMTO

Remerciement

La rédaction de ce mémoire marque l'aboutissement de plusieurs années d'efforts, de travail acharné et de réflexions. Il est le fruit non seulement de mon investissement personnel, mais également de l'accompagnement précieux et de l'aide de nombreuses personnes que je souhaite remercier ici chaleureusement.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance à **Mme OMARI O**, notre encadreur de mémoire et **Mme OMOURI O**, notre Co-encadreur pour leur encadrement bienveillant et rigoureux tout au long de ce projet. Leurs précieux conseils, leur disponibilité, leur patience, ainsi que leurs remarques constructives ont été essentiels à la réalisation de ce travail. Merci d'avoir cru en nous et de nous avoir guider avec tant de professionnalisme, de nous pousser à aller toujours plus loin dans ma réflexion et de me transmettre votre savoir avec générosité.

Nous remercions également tous nos enseignants dont les enseignements et les conseils nous ont été d'une grande aide durant ce parcours académique. Leur engagement et leur expertise ont contribué à enrichir ce travail, et je leur en suis profondément reconnaissant(e).

Nous tenons à exprimer toute ma gratitude aux membres du jury : **Mme Kherroubi S** comme présidente et **Mme Yakoubi S** comme examinatrice pour avoir accepté de juger ce mémoire, leur temps, leur expertise et leurs remarques critiques m'aideront non seulement à améliorer ce travail mais aussi à avancer dans mes futures recherches et dans ma carrière professionnelle. Je souhaite également remercier mes collègues et camarades de promotion pour leur soutien tout au long de cette aventure académique. Nos échanges constructifs, nos moments de partage et de solidarité ont grandement facilité l'avancement de mon mémoire.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des participants à cette recherche, sans qui ce travail n'aurait pu voir le jour. Merci pour votre temps, votre coopération et votre intérêt pour le sujet.

Dédicaces

À mes parents,

Pour tout votre amour, votre soutien inconditionnel, et vos sacrifices qui m'ont permis

d'atteindre mes objectifs. Vous m'avez toujours encouragé à poursuivre mes rêves et m'avez inculqué des valeurs qui m'accompagnent chaque jour. Ce travail est le reflet de vos efforts autant que des miens. Merci du fond du cœur.

À mes deux frères,

Pour votre soutien constant, vos encouragements et vos mots réconfortants tout au long de ce parcours. Vous avez été des piliers de force dans les moments de doute, et votre présence m'a donné la motivation nécessaire pour aller de l'avant.

À mes meilleurs ami(e)s,

Pour les moments de complicité, de soutien et d'encouragement. Vous avez su rendre ce chemin moins ardu grâce à vos sourires, vos discussions et vos conseils.

Enfin, je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à cette réussite, en espérant que ce travail saura être à la hauteur de leurs attentes et de leur confiance.

Nadir Amari

Abréviations

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

Cd : Cadmium

CE : Conductivité Électrique

CFU : Colony Forming Units (Unités Formant des Colonies)

EC : Conductivité Électrique

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Hg : Mercure

K : Potassium

MES : Matières en Suspension

N : Azote

NO₃⁻ : Nitrate

NH₄⁺ : Ammonium

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

P : Phosphore

Pb : Plomb

POP : Polluants Organiques Persistants

PCB : Polychlorobiphényles

PO₄^{t-} : Phosphate

WHO : World Health Organization (Organisation Mondiale de la Santé)

Zn : Zinc

SOMMAIRE

Liste des figures

Introduction générale

Résumé

Chapitre I: GESTION DES EAUX USÉES ÉPURÉES EN AGRICULTURE

I. Caractéristiques des eaux usées épurées	3
I. Caractéristiques des eaux usées épurées.....	3
I.1. Composition des eaux usées épurées.....	3
I. 1.1. Principaux Nutriments.....	3
I. 1.2. Contaminants Organiques	3
I. 1.3. Les Pathogènes	4
I. 2. Propriétés des eaux usées épurées	5
I. 2.1. Le potentiel d'hydrogène.....	5
I. 2.2 La conductivité électrique	5
I. 2.3 Les matières en suspension (MES).....	5
I. 2.4. La température	6
I.3 Normes et réglementations en vigueur	7
I.3.1 Normes de qualité des eaux usées épurées.....	7
I.3.1.1 Normes de traitement et critères de qualité.....	7
I.4 Méthodes de contrôle et d'application	8
I.5 Régulations spécifiques pour l'application agricole	8
I.6 Approche règlementaire internationale	10
I.6.1 Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants.....	10
I.6.2 La convention de Bale sur le contrôle des mouvements transfrontières des déchets dangereux	10
I.6.3 La directive européenne sur le traitement des eaux usées.....	10
I.6.4 Les directives de l'organisation mondiale de la santé (OMS).....	11
I.6.4.1 Contexte et objectif des directives de l'OMS.....	11
I.6.5 Les directives de l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture	11
I.6.5.1 Contexte et objectifs des directives de la FAO	11

Chapitre II : VALORISATION DES BOUES RÉSIDUAIRES EN AGRICULTURE

II. Nature et composition des boues résiduaires	12
II.1.1. Composition des boues résiduaires.....	12
II.1.1.1. Matières organiques.....	12
II.1.1.1.2. Nutriments essentiels	12
II.1.1.1.3. Métaux lourds	13
II.1.1.1.4. Polluants organiques persistants (POP).....	13
II.1.1.1.5. Pathogènes	13
II.1.1.1.6. Matières inertes et résidus inorganiques	14
II.1.2. Propriétés physico-chimiques des boues résiduaires	14
II.1.2.1. Le pH.....	14
II.1.2.2. Capacité de rétention d'eau	14
II.1.2.3. Densité apparente	15
II.1.2.4. Conductivité électrique (CE).....	15
II.1.2.5. Potentiel redox	15
II.1.2.6. Teneur en matières volatiles	15
II.2 Applications agricoles et bénéfiques	16
II.2.1. Utilisation comme amendement ou engrais.....	16
II.2.1.1. Propriétés fertilisantes des boues résiduaires.....	16
II.2.1.2. Amélioration des propriétés du sol.....	16
II.2.1.3. Bénéfices économiques et environnementaux	17

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Objectif de l'étude	18
III.2. Présentation de la zone d'étude.....	18
III.2.1 Les pratiques les plus répandues à Boumerdes	19
III.3 Les étapes suivies dans l'étude	20

Chapitre IV: Résultat et discussion

M Résultats et discussions	21
M2 Eaux usées.....	22

IV.21	Analyse des données sur l'irrigation.....	22
IV.22	Analyse des données sur la profondeur.....	24
IV.23	Analyse des données sur les équipements.....	25
IV.24	Analyse des données sur l'utilisation des eaux usées.....	28
IV.25	Analyse des données sur l'âge des vergers.....	29
IV.26	Précédent cultural.....	30
IV.27	Analyse des Sols	32
IV.28	Pratiques de fertilisation.....	33
IV.29	Analyse des données sur le type de fertilisation utilisé.....	34
IV.210	Analyse des données sur la dose d'engrais	35
13	Les boues	37
IV.31	Analyse des données sur les boues.....	37
	Conclusion générale.....	39

Références Bibliographiques

Annexes

Liste de figures

Figure 1 : Situation géographique de la wilaya de Boumerdes	18
Figure 2 : Représentation des différentes catégories des irrigation	22
Figure 3 : Représentation des différentes catégories de profondeurs	24
Figure 4 : Représentation des différentes catégories des équipements.....	25
Figure 5 : Représentation des différentes catégories des eaux usées.....	28
Figure 6 : Représentation des différentes catégories de l'âge du verger	29
Figure 7 : Représentation de la répartition des différents précédents culturaux.....	30
Figure 8 : Représentation des différentes catégories des sols.....	33
Figure 9 : Représentation des différentes catégories de fertilisation utilisé	34
Figure 10 : Représentation des différentes catégories de dose d'engrais	35
Figure 11 : Représentation des différentes catégories des boues	37

Introduction générale

Introduction Générale :

En Algérie, l'eau douce est une denrée de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée (Kir et al. 2013 In khennofa et labsi, 2017).

La pollution des eaux de surface et souterraines par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et des pesticides en agriculture, à un risque de pénurie d'eau (Belaid, 2010).

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer. C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux (MRE, 2003).

Selon une étude de Global Water Intelligence en 2005, seulement 5% des eaux usées traitées de la planète sont réutilisées à l'heure actuelle, ce qui représente un volume global d'environ 0,18% de la demande mondiale en eau, mais ce marché enregistre, aux États-Unis comme en Europe, une croissance d'environ 25% par an. La réutilisation des eaux usées est donc une activité en plein développement (Moussaoui et Benhabib, 2015).

L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports pluviométriques constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs s'intéressent à l'utilisation des eaux usées (Hannachi et al , 2014).

Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques (Valiron, 1983). Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture (MRE, 2012).

Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier. La politique de valorisation des eaux usées traitées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation (Djedi, 2007)

L'utilisation de l'eau usée traitée pour la production agricole permet en effet, de valoriser les matières fertilisantes qu'elle contient au lieu de les rejeter (Hannachi et al. 2016).

Ainsi, la réutilisation des eaux usées est justifiée dans beaucoup de cas par le fait qu'elles contiennent divers éléments nutritifs pour les plantes, notamment les composés à base de nitrates, de phosphore et de potassium. D'autre part elle peut avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée et des boues, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation (Okba et al, 2013).

Plan de mémoire :

Le mémoire s'articule autour de quatre chapitres principaux. Le premier chapitre traite de la gestion des eaux usées épurées en agriculture, en examinant leurs caractéristiques, leurs propriétés physico-chimiques et les cadres réglementaires nationaux et internationaux qui encadrent leur utilisation. Il met en évidence l'importance des normes et des directives pour garantir une gestion durable et sécurisée. Le second chapitre se concentre sur la valorisation des boues résiduaire, en détaillant leur composition, leurs propriétés agronomiques et leurs applications potentielles pour améliorer la fertilité des sols, tout en soulignant les bénéfices économiques et environnementaux associés. Le troisième chapitre présente la méthodologie adoptée dans cette étude, qui repose sur une enquête menée auprès des agriculteurs de la wilaya de Boumerdes. Cette enquête vise à évaluer les pratiques locales concernant l'utilisation des eaux usées épurées et des boues résiduaire, ainsi que les équipements et techniques utilisés. Enfin, le quatrième chapitre expose et analyse les résultats obtenus, révélant une adoption limitée de ces ressources en agriculture malgré leurs avantages. Ce chapitre discute des obstacles identifiés, tout en proposant des recommandations pour encourager leur utilisation et améliorer les pratiques agricoles dans la région.

Chapitre I : Gestion des eaux usées épurées en agriculture

Chapitre I: Gestion des eaux usées épurées en agriculture

I. Caractéristiques des eaux usées épurées

Pour une gestion efficace des eaux usées épurées en agriculture, il est crucial de comprendre leurs caractéristiques fondamentales.

1.1. Composition des eaux usées épurées

La composition des eaux usées épurées est un élément crucial pour leur utilisation en agriculture, car elle influence leur adéquation comme amendement agricole. Après traitement, ces eaux peuvent contenir divers composants en quantités variées selon le type de traitement et la nature des effluents d'origine.

1.1.1 Principaux Nutriments

Les eaux usées épurées sont généralement riches en nutriments essentiels pour les plantes, tels que l'azote (N), le phosphore (P), et le potassium (K). L'azote est souvent présent sous forme de nitrates (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+), qui sont facilement assimilables par les cultures. Les eaux usées épurées peuvent contenir des concentrations d'azote allant de 5 à 20 mg/L, en fonction du niveau de traitement (Garrido et al., 2019). Le phosphore est généralement trouvé sous forme de phosphates (PO_4^{3-}), avec des concentrations pouvant atteindre jusqu'à 10 mg/L après traitement secondaire (González et al., 2021). Le potassium est également présent, bien que souvent en quantités moindres, typiquement autour de 5 mg/L (Smith et al. 2022).

1.1.2 Contaminants Organiques

Malgré les processus de traitement, les eaux usées épurées peuvent contenir des résidus de contaminants organiques. Cela inclut des produits pharmaceutiques, des hormones et des produits de soins personnels, dont la concentration peut varier en fonction des technologies de traitement appliquées. Les traitements tertiaires tels que l'adsorption sur charbon actif sont efficaces pour réduire ces contaminants, mais des traces peuvent encore être détectées (Jones et al., 2020,). Une étude a révélé que les niveaux de résidus pharmaceutiques dans les eaux épurées pouvaient varier de 0,1 à 10 $\mu\text{g/L}$, selon le type de traitement (Kumar et al., 2019).

1.1.3 Pathogènes

Les pathogènes présents dans les eaux usées doivent être éliminés pour garantir leur sécurité lors de l'application en agriculture. Les méthodes de désinfection, telles que l'ultraviolet (UV) ou l'ozone, sont couramment utilisées pour réduire la charge pathogène à des niveaux acceptables. Les niveaux de coliformes totaux, qui sont un indicateur de contamination bactérienne, sont souvent réduits à moins de 100 unités/100 ml après traitement avancé (Williams et al., 2023). L'absence de pathogènes est cruciale pour éviter les risques sanitaires associés à l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture

1.2. Propriétés des eaux usées épurées

Les propriétés physico-chimiques des eaux usées épurées sont des indicateurs importants pour évaluer leur sécurité et leur efficacité en tant qu'amendement agricole. Ces propriétés influencent la manière dont les eaux épurées interagissent avec les sols et les cultures.

1.2.1 Le potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH des eaux usées épurées est un paramètre crucial qui reflète leur acidité ou leur alcalinité. Un pH équilibré est essentiel pour garantir que les nutriments présents dans les eaux usées sont disponibles pour les plantes et pour éviter les effets négatifs sur la structure du sol. Les eaux usées épurées sont généralement ajustées pour maintenir un pH compris entre 6 et 8, ce qui est favorable à la plupart des cultures et compatible avec les exigences agronomiques (Smith et al, 2022). Des variations significatives du pH peuvent affecter la solubilité des nutriments et la santé des plantes (Jones et al, 2020).

1.2.2 La Conductivité Électrique (EC)

La conductivité électrique des eaux usées épurées est un indicateur de la concentration en ions dissous, ce qui donne une idée de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée peut indiquer une concentration élevée en sels, ce qui peut entraîner une salinisation du sol et nuire à la croissance des plantes. Les valeurs typiques de conductivité pour les eaux épurées varient entre 500 et 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en fonction de la concentration en sels dans les eaux usées d'origine (González et al, 2021).

Un suivi régulier est nécessaire pour éviter les impacts négatifs sur les sols agricoles.

1.2.3 Les matières en suspension (MES)

La concentration de ces matières peut affecter la qualité du sol et la performance des systèmes de gestion des eaux usées. Les traitements avancés visent à réduire ces matières solides pour éviter des problèmes tels que l'engorgement des sols ou des obstructions dans les systèmes d'irrigation. Les niveaux de ces matières après traitement varient, mais des concentrations élevées peuvent nécessiter un traitement supplémentaire ou des pratiques de gestion spécifiques pour minimiser les impacts (Kumar et al, 2019).

1.2.4 La Température

La température des eaux usées épurées peut également affecter leur utilisation en agriculture. Les températures plus élevées peuvent favoriser la dégradation des matières organiques et influencer la solubilité des nutriments. Les eaux usées épurées sont souvent maintenues à des températures modérées pour éviter des variations extrêmes qui pourraient nuire aux sols et aux cultures (Jones et al., 2020).

1.3. Normes et réglementations en vigueur

Les normes et réglementations qui encadrent l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture sont essentielles pour garantir la sécurité et l'efficacité des pratiques de valorisation. Ces normes visent à protéger la santé publique, préserver l'environnement, et assurer une gestion durable des ressources. Elles varient selon les pays et les régions, mais partagent des objectifs communs en matière de qualité des eaux et de gestion des résidus.

1.3.1. Normes de qualité des eaux usées épurées

En Algérie, la gestion des eaux usées épurées est régulée par un ensemble de normes et de réglementations qui visent à garantir leur qualité pour une utilisation sûre en agriculture. Ces normes sont établies pour protéger la santé publique, préserver les ressources en eau, et assurer une utilisation durable des eaux usées traitées.

1.3.1.1 Normes de traitement et critères de qualité

Les eaux usées épurées doivent respecter des critères précis avant leur réutilisation en agriculture. Le principal cadre réglementaire est défini par le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, en collaboration avec l'Agence Nationale des

Ressources Hydrauliques (ANRH). Selon les normes algériennes, les critères de qualité des eaux usées épurées sont fixés par les Décrets et Arrêtés en vigueur, notamment le Décret exécutif n° 15-19 du 10 janvier 2015 relatif aux modalités d'application des exigences en matière de qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricole.

Les principaux paramètres de qualité des eaux usées épurées en Algérie comprennent :

- **Concentration en nutriments** : Les eaux usées épurées doivent présenter des concentrations contrôlées en nutriments, tels que l'azote total et le phosphore, afin de prévenir les risques de surcharge nutritive dans les sols et les eaux de surface. Les normes stipulent des niveaux maximaux pour ces nutriments afin d'éviter l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques. Par exemple, le taux de l'azote total ne doit pas excéder 10 mg/L, et le phosphore total doit être limité à 2 mg/L (Décret exécutif n° 15-19, 2015).
- **Concentration en métaux lourds** : Les concentrations de métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le mercure et le chrome doivent être inférieures aux seuils définis pour garantir la sécurité des sols et des cultures. Par exemple, les limites maximales autorisées pour le plomb sont de 0,1 mg/L, et pour le cadmium, de 0,02 mg/L (Décret exécutif n° 15-19, 2015).
- **Qualité microbiologique** : Les eaux usées épurées doivent être traitées pour éliminer les pathogènes afin d'assurer leur sécurité pour l'irrigation. Les normes imposent des seuils pour les coliformes fécaux, avec un maximum de 1000 CFU/100 mL pour les eaux destinées à l'irrigation des cultures comestibles non en contact direct avec les produits alimentaires (Décret exécutif n° 15-19, 2015).
- **Paramètres physico-chimiques** : Les paramètres tels que le pH, la turbidité et la conductivité doivent également être conformes aux normes. Le pH doit être compris entre 6 et 8 pour assurer la compatibilité avec la plupart des sols agricoles, tandis que la turbidité doit être maintenue à un niveau bas pour éviter les problèmes d'encrassement des systèmes d'irrigation (Décret exécutif n° 15-19, 2015).

1.4 Méthodes de contrôle et d'application

La conformité aux normes est vérifiée par des analyses régulières effectuées par des laboratoires agréés. Les stations d'épuration doivent également fournir des rapports périodiques sur la qualité des eaux traitées. L'ANRH est responsable de la supervision et de la régulation des pratiques d'épandage, veillant à ce que les eaux usées épurées soient appliquées de manière à respecter les exigences environnementales et sanitaires (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, 2020).

1.5 Régulations spécifiques pour l'application agricole

Les régulations algériennes concernant l'application des eaux usées épurées en agriculture sont principalement définies par les textes législatifs et les décrets d'application relatifs à la gestion des ressources en eau et à l'agriculture. Le Décret exécutif n° 15-19, du 10 janvier 2015, fournit les principales directives pour l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Voici les aspects clés des régulations spécifiques :

- **Conditions d'application** : Les eaux usées épurées ne peuvent être utilisées en agriculture que si elles respectent les critères de qualité établis.

Le décret stipule que l'application doit se faire de manière à éviter tout risque de contamination des cultures et des nappes phréatiques (Décret exécutif n° 15-19, 2015).

- **Fréquence et volume d'application** : La fréquence et le volume doivent être ajustés en fonction des besoins nutritionnels des cultures et des caractéristiques des sols. Ces régulations visent à éviter la surcharge des sols en nutriments et la contamination des ressources en eau (Décret exécutif n° 15-19, 2015,).
- **Zones d'application** : Les eaux usées épurées ne peuvent être appliquées que dans des zones spécifiques, conformément aux plans de gestion des eaux usées élaborés par les autorités locales. Les zones sensibles, telles que celles situées près des cours d'eau ou des nappes phréatiques, sont généralement exclues de l'application directe des eaux usées pour prévenir la pollution (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, 2020).
- **Suivi et contrôle** : Les exploitants agricoles doivent tenir des registres détaillés des quantités d'eaux usées épurées appliquées, des dates d'application, et des conditions météorologiques. Ces informations doivent être disponibles pour les inspections effectuées par les autorités locales (Décret exécutif n° 15-19, 2015).
- **Formation et sensibilisation** : Les exploitants agricoles doivent recevoir une formation appropriée sur les méthodes d'application des eaux usées épurées et sur les pratiques agricoles durables. Les programmes de formation sont souvent organisés par les agences environnementales locales ou les services agricoles pour garantir une utilisation correcte et sûre des eaux usées (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, 2021).

1.6 Approches réglementaires internationales

Les approches réglementaires internationales concernant l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture visent à établir des normes harmonisées pour garantir la sécurité et la durabilité de leur utilisation. Ces réglementations internationales sont conçues pour protéger la santé publique, préserver l'environnement et promouvoir une gestion responsable des ressources. Plusieurs conventions et directives internationales jouent un rôle clé dans l'encadrement de la réutilisation des eaux usées et des boues de traitement.

1.6.1 La Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants

La Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants (POP) est un traité international crucial visant à protéger la santé humaine et l'environnement contre les polluants organiques persistants. Adoptée en mai 2001 et entrée en vigueur en mai 2004, cette convention est un instrument clé pour réduire la production et l'utilisation de substances chimiques dangereuses qui ont des effets nocifs durables sur les écosystèmes et les organismes vivants.

1.6.2 La Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvement Transfrontières de Déchets Dangereux

La Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvement Transfrontières de Déchets Dangereux est un traité international fondamental adopté le 22 mars 1989 à Bâle, en Suisse. Son objectif principal est de réguler et de contrôler les mouvements transfrontières de déchets dangereux et de garantir une gestion environnementale sûre et appropriée de ces déchets. Ce traité est essentiel pour la protection de la santé humaine et de l'environnement contre les risques liés aux déchets dangereux. (Basel Convention, 2021).

1.6.3 La directive Européenne sur le Traitement des Eaux Usées

La Directive Européenne sur le Traitement des Eaux Usées, officiellement connue sous le nom de Directive 91/271/CEE du Conseil, a été adoptée le 21 mai 1991. Cette directive est un instrument clé de la législation environnementale de l'Union Européenne, visant à améliorer la gestion des eaux usées et à réduire leur impact sur l'environnement. Elle établit des normes et des exigences pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles afin de protéger les ressources en eau et les écosystèmes aquatiques (European Parliament, 2022)

1.6.4 Les directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

Les Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) jouent un rôle crucial dans la définition des normes internationales pour la gestion des eaux usées et des boues de traitement. Ces directives visent à protéger la santé publique en établissant des recommandations sur la qualité de l'eau, les pratiques de traitement et l'utilisation des eaux usées épurées, en particulier dans le contexte agricole. Elles sont essentielles pour garantir que les systèmes de gestion des eaux usées minimisent les risques pour la santé humaine et l'environnement.

1.6.4.1 Contexte et Objectifs des Directives de l'OMS

Les directives de l'OMS sont élaborées pour fournir des recommandations basées sur des preuves scientifiques concernant les pratiques de gestion de l'eau et des boues de traitement. Leur objectif est de protéger la santé publique en réduisant les risques associés à la pollution de l'eau, au contact avec les eaux usées et à l'utilisation des boues de traitement dans des activités comme l'agriculture (WHO, 2023). Elles couvrent divers aspects, y compris le traitement des eaux usées, la gestion des boues et l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture.

1.6.5 Les Directives de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)

Les Directives de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) fournissent un cadre important pour la gestion et l'utilisation des eaux usées épurées et des boues de traitement en agriculture. Elles visent à promouvoir des pratiques agricoles durables et à assurer la sécurité alimentaire tout en minimisant les risques environnementaux et sanitaires liés à l'utilisation des sous-produits du traitement des eaux usées.

1.6.5.1 Contexte et Objectifs des Directives de la FAO

Les directives de la FAO sont conçues pour aider les pays à intégrer les eaux usées épurées et les boues de traitement dans les systèmes agricoles de manière à maximiser les bénéfices tout en réduisant les risques pour la santé publique et l'environnement. Elles reposent sur des recherches scientifiques et des meilleures pratiques pour guider les politiques et les pratiques agricoles en matière de gestion des eaux usées (FAO, 2023).

CHAPITRE II : Valorisation des boues résiduaires en agriculture

CHAPITRE II : Valorisation des boues résiduaires en agriculture

II. 1 .Nature et composition des boues résiduaires

Les boues résiduaires provenant des stations d'épuration des eaux usées représentent un sous-produit important de la gestion des eaux usées. Elles sont composées de matières organiques et inorganiques qui peuvent être valorisées en agriculture, mais leur utilisation nécessite une compréhension approfondie de leur composition et de leurs propriétés.

II .1.1. Composition des boues résiduaires

La composition des boues résiduaires est un élément clé à considérer pour leur valorisation en agriculture. Ces boues sont un mélange complexe de matières organiques, de nutriments essentiels, de métaux lourds, de polluants organiques persistants, et de pathogènes. Comprendre cette composition est essentiel pour évaluer leur potentiel fertilisant et identifier les précautions nécessaires pour leur utilisation en toute sécurité.

II .1.1.1. Matières organiques

Les matières organiques constituent une part importante des boues résiduaires, représentant entre 40 % et 60 % de leur masse sèche. Ces matières organiques sont principalement composées de résidus biologiques tels que les cellules microbiennes mortes, les débris végétaux, et les résidus alimentaires (Smith et al., 2018)

II .1.1.1.2. Nutriments essentiels

Les boues résiduaires sont également riches en nutriments essentiels comme l'azote (N) et le phosphore (P), qui sont présents à des concentrations élevées. L'azote se trouve principalement sous forme d'ammonium (NH_4^+) et de nitrates (NO_3^-), tandis que le phosphore est généralement présent sous forme de phosphates (PO_4^{3-}) (Jones et al., 2019). Ces nutriments sont essentiels pour la croissance des plantes et font des boues résiduaires un amendement attrayant pour l'agriculture, car ils peuvent réduire la nécessité d'engrais chimiques.

II .1.1.1.3. Métaux lourds

Les boues résiduaires peuvent contenir également des métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le mercure (Hg), et le zinc (Zn). Ces métaux proviennent principalement des rejets industriels et peuvent poser des risques pour l'environnement et la santé humaine s'ils sont présents à des concentrations élevées (Garrido et al., 2020). Les réglementations strictes encadrent leur concentration dans les boues destinées à l'épandage agricole, et des traitements spécifiques, tels que la précipitation chimique ou l'immobilisation, sont souvent nécessaires pour réduire ces niveaux à des seuils acceptables (Williams et al., 2021).

II .1.1.1.4. Polluants organiques persistants (POP)

Les boues résiduaires peuvent également contenir des polluants organiques persistants (POP), tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), et certains produits pharmaceutiques. Ces composés sont particulièrement préoccupants en raison de leur persistance dans l'environnement et de leur potentiel bioaccumulatif (Kumar et al., 2020). La gestion de ces contaminants nécessite des procédés de traitement avancés, comme l'oxydation avancée ou la digestion anaérobie, pour minimiser leur présence avant l'utilisation des boues en agriculture.

II .1.1.1.5. Pathogènes

Les boues résiduaires contiennent également des micro-organismes pathogènes, tels que des bactéries, des virus, et des parasites, qui proviennent des matières fécales et autres déchets biologiques dans les eaux usées (González et al., 2021). Pour garantir la sécurité sanitaire des boues utilisées en agriculture, ces pathogènes doivent être éliminés ou réduits à des niveaux non détectables. Les méthodes de stabilisation des boues, comme la digestion anaérobie, la pasteurisation, et la désinfection par ultraviolets, sont couramment utilisées pour atteindre cet objectif (Smith et al., 2019).

II .1.1.1.6. Matières inertes et résidus inorganiques

En plus des composés organiques et des nutriments, les boues résiduaires contiennent également des matières inertes et des résidus inorganiques tels que du sable, des particules d'argile, et des sels minéraux. Ces composants inorganiques peuvent représenter une proportion significative de la masse des boues, en particulier celles issues de procédés de traitement primaire (Jones et al., 2021). Bien que ces matières inertes n'aient pas de valeur fertilisante directe, elles peuvent contribuer à améliorer la texture du sol et sa capacité à retenir l'eau.

II .1.2. Propriétés physico-chimiques des boues résiduaires

Les propriétés physico-chimiques des boues résiduaires sont des indicateurs clés de leur comportement lorsqu'elles sont utilisées en agriculture. Ces propriétés influencent non seulement la manière dont les boues interagissent avec le sol et les cultures, mais aussi leur efficacité en tant qu'amendement agricole. Voici les principales propriétés physico-chimiques des boues résiduaires.

II .1.2.1. Le pH

Le pH des boues résiduaires est un facteur crucial car il détermine leur acidité ou leur alcalinité, ce qui peut affecter la disponibilité des nutriments et la mobilité des métaux lourds dans le sol. En général, le pH des boues résiduaires se situe entre 6 et 8, ce qui est relativement neutre et convient à la plupart des applications agricoles (Rodriguez et al., 2020).

Toutefois, les boues peuvent être ajustées pour corriger des sols trop acides ou trop alcalins selon les besoins spécifiques.

II .1.2.2. Capacité de rétention d'eau

Les boues résiduaires possèdent une capacité de rétention d'eau élevée en raison de leur teneur en matière organique et en particules fines. Cette propriété est particulièrement avantageuse pour les sols sableux ou peu fertiles, car elle permet de maintenir une humidité optimale pour les cultures (Chen et al., 2019). En améliorant la capacité de rétention d'eau du sol, les boues peuvent contribuer à une meilleure gestion des ressources en eau en agriculture, en réduisant les besoins en irrigation.

II .1.2.3. Densité apparente

La densité apparente des boues résiduaires, qui varie généralement entre 1,2 et 1,6 g/cm³, est une autre propriété importante. Une densité plus faible est souhaitable car elle indique une structure plus poreuse et aérée, facilitant ainsi l'intégration dans le sol et la circulation de l'air et de l'eau (Morris et al., 2018). Une densité élevée peut, en revanche, entraîner des problèmes de compactage lorsqu'elle est incorporée dans le sol, ce qui peut nuire à la croissance des racines et à l'infiltration de l'eau.

II .1.2.4. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique des boues résiduaires est une mesure de leur salinité, qui peut avoir un impact direct sur la croissance des plantes. Une CE élevée indique une concentration accrue de sels dissous, ce qui peut causer une toxicité pour les cultures sensibles à la salinité (Garcia et al., 2021). Il est donc essentiel de surveiller la CE des boues avant leur application agricole, surtout dans des régions où les sols sont déjà salins ou semi-arides.

II. 1.2.5. Potentiel redox

Le potentiel redox des boues résiduaires, qui indique l'état d'oxydation ou de réduction des composants chimiques, est également un paramètre critique. Les boues ayant un potentiel redox élevé favorisent la stabilité des métaux lourds sous forme insoluble, réduisant ainsi leur disponibilité et leur toxicité pour les plantes (Singh et al., 2020). Un potentiel redox faible, en revanche, peut conduire à la libération de ces métaux sous forme mobile, augmentant les risques de contamination.

II .1.2.6. Teneur en matières volatiles

La teneur en matières volatiles est une indication de la fraction de matières organiques qui peuvent être décomposées par des micro-organismes. Une teneur élevée en matières volatiles, généralement supérieure à 60%, indique que les boues sont riches en composés organiques dégradables, ce qui est favorable pour l'activité microbienne dans le sol (Li et al., 2022). Cependant, une décomposition rapide peut également conduire à la libération de gaz tels que le méthane et le dioxyde de carbone, ce qui doit être géré pour éviter les émissions de gaz à effet de serre.

II. 2 Applications agricoles et bénéfiques

La valorisation des boues résiduaires en agriculture présente une opportunité précieuse pour améliorer la fertilité des sols tout en contribuant à la gestion durable des déchets..

II .2.1. Utilisation comme amendement ou engrais

L'utilisation des boues résiduaires comme amendement ou engrais en agriculture est une pratique de plus en plus reconnue pour ses avantages agronomiques et économiques.

II .2.1.1. Propriétés fertilisantes des boues résiduaires

Les boues résiduaires sont riches en nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore, et le potassium, qui sont des éléments cruciaux pour la croissance des plantes. Ces nutriments, présents dans les boues, peuvent contribuer à améliorer la fertilité des sols et la productivité des cultures.

II .2.1.2. Amélioration des propriétés du sol

En plus de fournir des nutriments, les boues résiduaires améliorent également la structure et la qualité du sol. Elles augmentent la capacité de rétention d'eau du sol, améliorent la porosité et favorisent l'activité biologique du sol, ce qui est bénéfique pour la santé des cultures.

- **Capacité de rétention d'eau** : L'application de boues résiduaires améliore la capacité de rétention d'eau des sols, en particulier dans les sols sableux. Cette amélioration permet une meilleure gestion de l'eau et réduit la nécessité d'irrigation supplémentaire (González et al., 2021).
- **Structure du sol** : Les boues résiduaires contribuent à la formation de l'aggrégation du sol, ce qui améliore la structure du sol et sa perméabilité. Une meilleure structure du sol favorise une meilleure aération et un enracinement plus profond des plantes, ce qui contribue à des rendements agricoles plus élevés (Brown et al., 2022).
- **Activité biologique du sol** : L'application de boues résiduaires stimule l'activité biologique du sol en fournissant une source de matière organique et de nutriments pour les microorganismes du sol. Une activité biologique accrue favorise la décomposition des matières organiques, améliore la disponibilité des nutriments et soutient la croissance des plantes (Taylor et al., 2021).

II .2.1.3. Bénéfices économiques et environnementaux

L'utilisation des boues résiduaires comme amendement ou engrais présente des avantages économiques significatifs. Elle réduit les coûts liés à l'achat d'engrais chimiques et contribue à une gestion durable des déchets.

- **Réduction des coûts d'engrais** : Les boues résiduaires offrent une alternative économique aux engrais chimiques. Leur utilisation peut réduire les dépenses en engrais, tout en fournissant des nutriments essentiels pour les cultures (Wang et al., 2021).
- **Gestion durable des déchets** : En réutilisant les boues résiduaires comme amendement, les exploitations agricoles participent à la gestion durable des déchets en réduisant la quantité de déchets envoyés aux sites d'enfouissement. Cela contribue à une réduction de l'impact environnemental lié à la gestion des déchets (Miller et al., 2022).
- **Amélioration des pratiques agricoles** : L'application des boues résiduaires favorise une agriculture plus durable en augmentant la fertilité des sols et en réduisant la dépendance aux intrants chimiques. Cette approche contribue à une meilleure santé des sols et à une plus grande résilience des systèmes agricoles (Harris et al., 2023).

CHAPITRE III : Matériel et méthodes

III.1 Objectif de l'étude :

Notre étude a pour objectif de faire un diagnostic sur la gestion et la valorisation des eaux usées épurées et des boues résiduaires en agriculture chez quelques agriculteurs de la wilaya de Boumerdes.

Le travail consiste à la réalisation d'une enquête auprès des agriculteurs au niveau de la wilaya de Boumerdes afin d'évaluer le taux de l'utilisation des eaux usées traités et des boues résiduaires dans leurs pratiques agricoles.

III.2 Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Boumerdes est située dans la région nord de l'Algérie, précisément à environ 50 kilomètres à l'est d'Alger, la capitale du pays. Elle s'étend sur une superficie de 1 456 km², et se trouve encadrée par plusieurs autres wilayas, ce qui lui confère une position stratégique. Au nord, elle est bordée par la mer Méditerranée, offrant un vaste littoral qui s'étend sur près de 100 kilomètres, ce qui renforce ses activités maritimes et touristiques. À l'ouest, elle est adjacente à la wilaya d'Alger, un facteur qui facilite les échanges économiques avec la capitale. À l'est, elle partage ses frontières avec la wilaya de Tizi Ouzou, une région culturellement riche et marquée par la chaîne de montagnes du Djurdjura, tandis qu'au sud, elle est limitrophe de la wilaya de Bouira, connue pour ses reliefs montagneux.



Fig 1: Situation géographique de la wilaya de Boumerdes

La wilaya est connue pour son climat méditerranéen, favorisant une agriculture variée et dynamique. Cette région joue un rôle important dans l'économie locale grâce à ses terres fertiles, permettant la culture de divers produits agricoles tels que les agrumes, les olives, et les céréales. En plus de l'agriculture, Boumerdes se distingue par ses activités industrielles et touristiques, faisant de cette wilaya une zone d'étude pertinente pour analyser les interactions entre pratiques agricoles et gestion des ressources environnementales, notamment l'eau et les boues.

Le réseau hydrographique de Boumerdes est alimenté par plusieurs oueds (rivières temporaires), tels que l'oued Sebaou, qui prend sa source dans les montagnes de Kabylie et se jette dans la Méditerranée, et l'oued Corso. Ces oueds sont essentiels pour l'irrigation des terres agricoles, particulièrement dans les zones intérieures où les précipitations peuvent être irrégulières. La gestion de l'eau est une question cruciale dans cette région, car les agriculteurs dépendent fortement de ces ressources pour maintenir leur production tout au long de l'année.

III.2.1 Les pratiques les plus répandues à Boumerdes

Boumerdes, en tant que région côtière et fertile, est marquée par un éventail d'activités économiques, parmi lesquelles l'agriculture occupe une place prépondérante. Cependant, d'autres secteurs tels que l'industrie, le tourisme et la pêche jouent également un rôle important dans l'économie locale. Cette diversité d'activités est facilitée par la position géographique stratégique de la wilaya, son accès à la mer, ses ressources naturelles abondantes et son climat favorable. (Benaouda, M.)

L'agriculture est de loin l'activité la plus répandue dans la région de Boumerdes. En raison de son climat méditerranéen, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, Boumerdes bénéficie de conditions idéales pour la culture de nombreux produits agricoles. Les plaines fertiles, en particulier celles de la Mitidja, sont un moteur essentiel de cette production. (Hadjadj, S. (2015)).

Les principales cultures agricoles comprennent :

- **Les agrumes**, en particulier les oranges et les citrons, qui sont des produits phares de l'agriculture locale et sont largement exportés vers d'autres régions du pays et à l'international ;
- **Les oliviers**, qui sont une composante majeure du paysage rural. La production d'huile d'olive de Boumerdes est réputée pour sa qualité et constitue une source importante de revenus pour les agriculteurs ;
- **Les céréales**, telles que le blé et l'orge, cultivées en abondance dans les plaines intérieures ;

- **Les légumes et fruits variés**, y compris les tomates, pommes de terre, carottes, ainsi que des cultures fruitières comme les raisins et les figues

L'agriculture à Boumerdes n'est pas seulement une activité économique mais aussi une tradition profondément ancrée dans la culture locale. Les exploitations agricoles sont souvent de taille modeste, combinant des méthodes traditionnelles et modernes pour maximiser le rendement. Cependant, les agriculteurs doivent faire face à des défis croissants, notamment la gestion des ressources en eau, qui devient de plus en plus critique en raison des périodes de sécheresse et de la surexploitation des nappes phréatiques.

III.3 Les étapes suivies dans l'étude

- Préparation des questionnaires destinés pour l'ONA et les agriculteurs.
- Réalisation d'une visite au niveau de l'ONA dans le but de récolter les données générales sur la gestion des eaux usées épurées et des boues résiduaires dans la région tel que le nombre d'agriculteurs utilisant ces deux sous-produits et leurs localisations.
- Prise d'attache avec les agriculteurs et remise des questionnaires.
- Récupération des questionnaires remplis et analyse des résultats.

CHAPITRE IV: Résultat et discussion

M Résultats et discussions

Les informations données par la direction de l'ONA de Boumerdes concernant la gestion et la valorisation des eaux usées épurées et des boues résiduelles sont résumées comme suit :

- Les boues produites par les stations d'épuration de la wilaya de Boumerdes ne sont pas valorisées dans n'importe quel secteur y compris le secteur de l'agriculture.
- La proportion des eaux usées épurées produite par les STEP de la Wilaya et qui est destinée pour l'agriculture est de 5.13 %.
- Deux agriculteurs leader utilisent les eaux usées épurées dans la commune de Corso et font l'exemple de bonnes pratiques de la valorisation des eaux usées épurées dans la wilaya.
- Les agriculteurs de la wilaya sont sensibilisés sur l'utilisation des eaux usées épurées et des boues résiduelles en agriculture.

Il existe des incitations financières et des programmes de subvention pour encourager l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture.

M2 Eaux usées

Dans le cadre du questionnaire, un grand nombre d'agriculteurs ont préféré ne pas divulguer leur âge ni leur niveau d'étude. Cette réticence peut être attribuée à des préoccupations liées à la confidentialité des informations personnelles, ainsi qu'à une perception de ces questions comme étant intrusives ou non pertinentes pour le sujet principal de l'enquête. Par conséquent, les cases "âge" et "niveau d'étude" sont restées non renseignées dans de nombreuses réponses.

M1 Analyse des données sur les sources d'irrigation

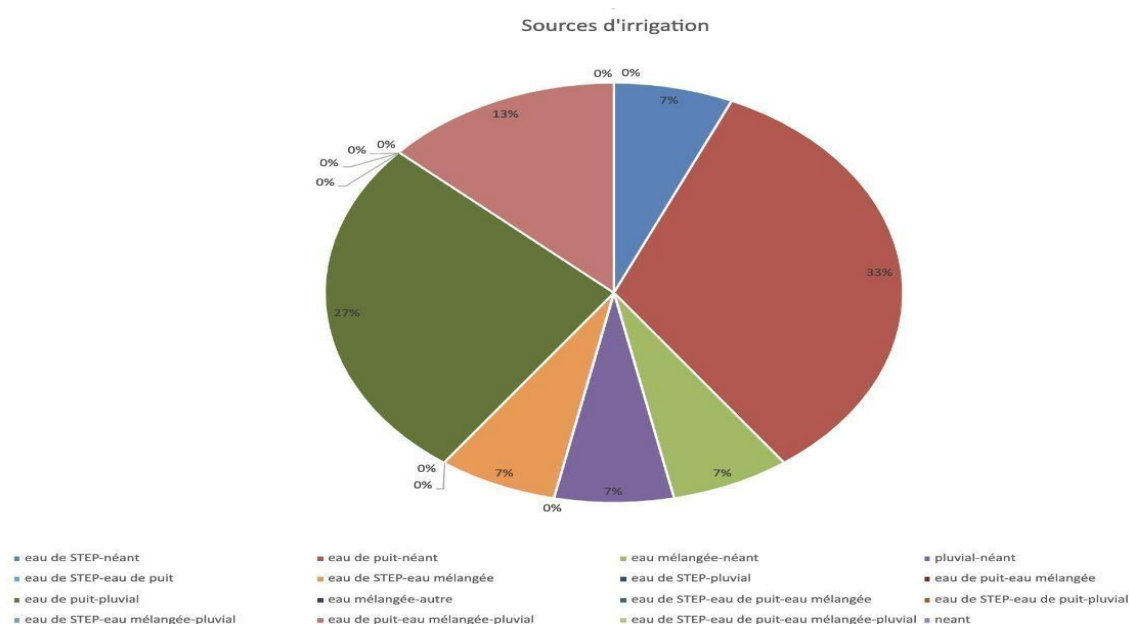


Figure 2: Représentation des différentes catégories des irrigation

Les données recueillies sur les 15 individus montrent des choix variés en termes de sources d'irrigation (eau de STEP, eau de puit, eau mélangée, autre), avec une prédominance de certaines combinaisons.

La source d'irrigation "eau de puit" est dominante :

Avec 33% des individus ayant choisi uniquement la source "eau de puit", elle représente la solution d'irrigation la plus courante. Cela peut indiquer que la source "eau de puit" est soit plus facilement accessible, soit plus efficace, ou bien qu'elle soit préférée par la majorité pour des raisons pratiques ou économiques.

La combinaison "eau de puit-autre" également largement choisie :

Un autre 27% des individus a opté pour une combinaison entre "eau de puit" et "autre". Ce choix suggère que ces deux sources peuvent être complémentaires, peut-être en couvrant des besoins spécifiques (par exemple, une combinaison de durabilité et de performance). Il se peut aussi que "eau de puit" seule ne soit pas suffisante pour répondre à tous les besoins des utilisateurs, d'où le recours à "autre".

Les combinaisons multiples sont moins fréquentes :

Seuls 13% des individus utilisent les trois sources "eau de puit", "eau mélangée", et "autre". Ces utilisateurs semblent opter pour une approche plus diversifiée, peut-être pour maximiser la sécurité ou l'efficacité de l'irrigation, en combinant des ressources. Cela peut refléter un besoin spécifique ou une gestion plus sophistiquée de l'eau.

La source "eau de STEP" et "eau mélangée" sont sous-représentées :

Seulement 7% des individus utilisent la source "eau de STEP" seule, et 7 % utilisent la source "eau mélangée" seule. Cela pourrait indiquer que ces deux sources sont moins populaires, peut-être en raison de contraintes techniques, de coûts plus élevés, ou d'une moins bonne performance. Il est possible que ces sources soient utilisées dans des situations particulières ou par des individus ayant des besoins spécifiques que les autres sources ne peuvent pas combler.

La répartition des sources d'irrigation montre clairement que la source "eau de puit" est la plus populaire, seule ou combinée à d'autres (notamment "autre"). Les individus semblent préférer les solutions qui offrent un équilibre entre performance et sécurité, en optant majoritairement pour "eau de puit" ou une combinaison incluant "autre". Les sources "eau de STEP" et "eau mélangée", moins utilisées, semblent être des options alternatives pour des cas spécifiques, mais ne constituent pas un choix principal pour la majorité.

Cette analyse pourrait permettre d'identifier les préférences des utilisateurs et d'optimiser l'offre en matière d'irrigation en fonction des besoins majoritaires (renforcer l'accès à "eau de puit" et "autre"), tout en continuant à offrir des alternatives pour des besoins particuliers (comme "eau de STEP" et "eau mélangée").

M2 Analyse des données sur la profondeur

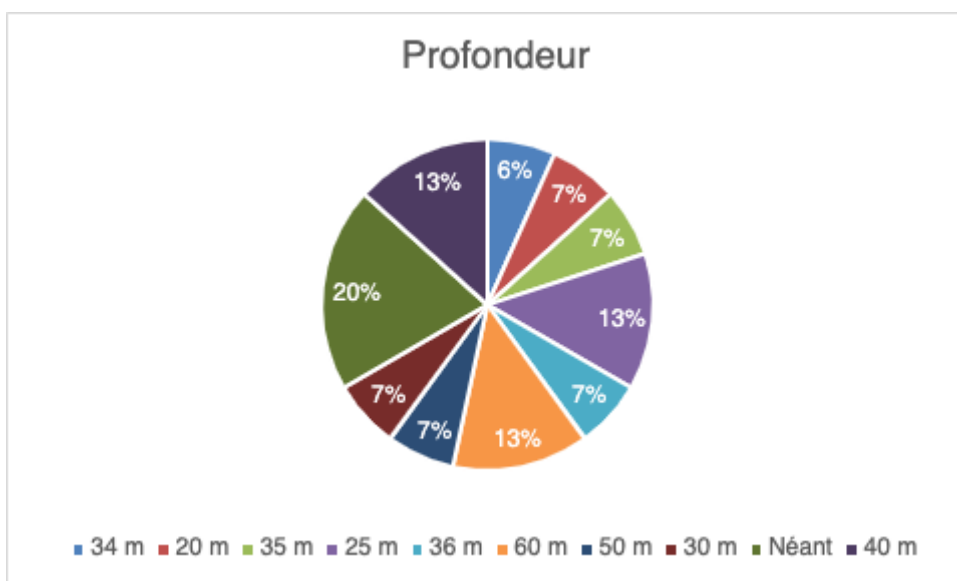


Figure 3: Représentation des différentes catégories de profondeurs

Les données sur les profondeurs d'eau utilisées pour l'irrigation révèlent une variété de choix, avec quelques profondeurs plus fréquemment sélectionnées.

Profondeurs dominantes :

- **Profondeur de 60 m et 40 m :** Ces deux profondeurs représentent chacune **13%** des individus. Elles indiquent une popularité similaire pour des profondeurs importantes, ce qui peut suggérer que ces valeurs sont optimales pour obtenir de l'eau de qualité ou en quantité suffisante. Elles pourraient également être adaptées aux besoins de la majorité des utilisateurs.
- **Profondeur de 25 m :** Elle représente également **13%**, ce qui montre qu'une profondeur plus faible est également une option fréquente. Cela peut indiquer une accessibilité plus facile à cette profondeur, ou que certains types de cultures ou de terrains nécessitent moins de profondeur pour une irrigation efficace.

Profondeur "néant" (non spécifiée ou absente) :

20 % des individus n'ont pas indiqué de profondeur ou n'ont pas d'accès à une source d'irrigation en profondeur. Ce pourcentage relativement élevé peut refléter un accès limité à des ressources en eau, ou des choix alternatifs d'irrigation (superficielle, etc.). Cela pourrait indiquer des zones où l'eau est rare ou difficile à trouver.

Les autres profondeurs (34 m, 20 m, 35 m, 36 m, 50 m, 30 m) : Chaque profondeur individuelle (20 m, 34 m, 35 m, 36 m, 50 m, et 30 m) est utilisée par environ 7% des individus, ce qui suggère une répartition plus ou moins égale des préférences pour ces profondeurs. Cela pourrait être dû à des facteurs spécifiques comme la localisation géographique, le type de sol, ou les ressources disponibles.

Les profondeurs les plus utilisées sont 60 m, 40 m, et 25 m, suggérant que ces valeurs sont optimales pour un certain nombre de terrains et de types de cultures. Toutefois, un pourcentage non négligeable d'individus (20%) n'a pas accès à des profondeurs définies, ce qui peut indiquer des défis en matière d'accès à l'eau. Cela souligne la nécessité potentielle de diversifier les sources d'eau pour combler ces lacunes.

M3 Analyse des données sur les équipements

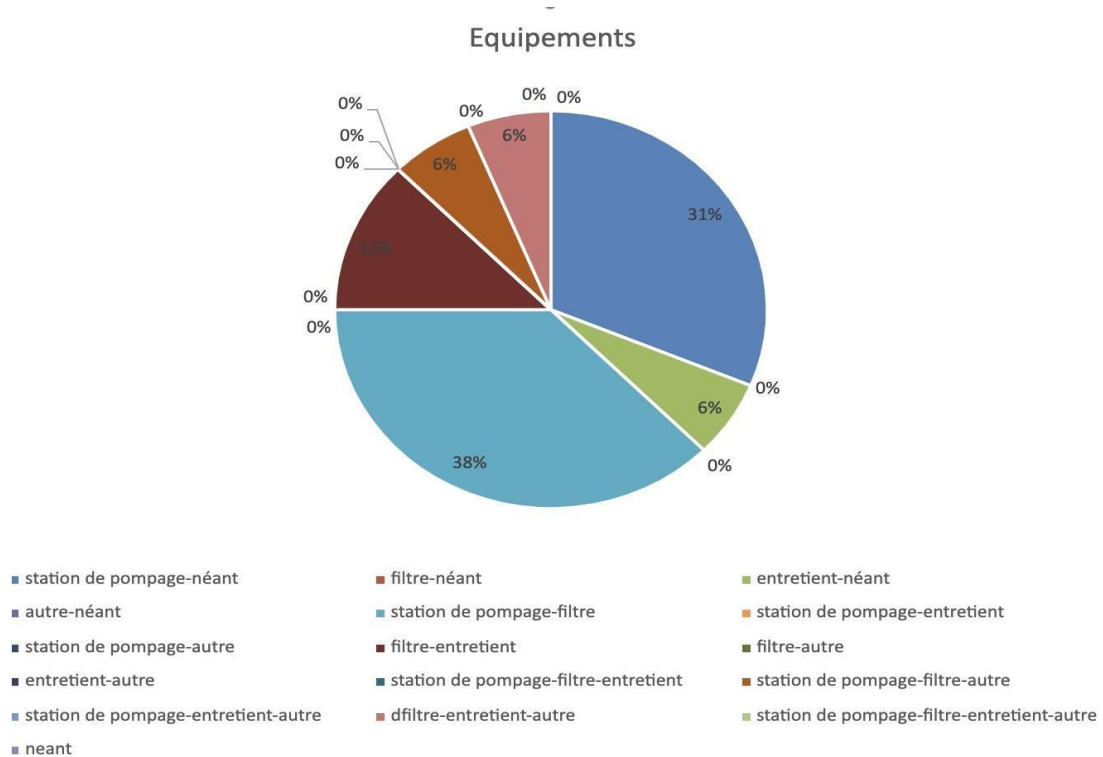


Figure 4: Représentation des différentes catégories des équipements

Les données sur l'équipement utilisé révèlent une concentration significative sur certains types d'équipements, avec des combinaisons variées d'utilisation.

Équipement dominant : Station de pompage - Filtre (38%) : La combinaison des équipements **station de pompage** et **filtre** est la plus fréquemment utilisée, représentant **38%** des individus. Cela peut indiquer que ces deux équipements, lorsqu'utilisés ensemble, répondent à la majorité des besoins en termes de performance, efficacité ou accessibilité. Ils pourraient être particulièrement bien adaptés à certains types de cultures ou d'irrigation.

Équipement station de pompage seul (31%) : la **station de pompage** représente à lui seul **31%** des utilisateurs. Cela montre qu'une proportion importante d'individus se repose uniquement sur cet équipement, probablement parce qu'il est suffisant pour certaines configurations d'irrigation ou de culture. Cela peut également refléter des contraintes économiques ou géographiques, où l'équipement **station de pompage est le plus accessible ou le plus rentable**.

Combinaisons moins fréquentes :

- **Filtre-entretien (13%)** : Cette combinaison est utilisée par **13%** des individus, ce qui peut indiquer que l'utilisation des équipements filtre et entretien ensemble est efficace dans des situations spécifiques, mais pas aussi courante que les autres combinaisons.
- **Station de pompage -filtre-entretien-autre (6%) et filtre - entretien -autre(6%)** : Ces combinaisons impliquent l'utilisation de plusieurs équipements simultanément, mais elles restent rares avec chacune **6%** des individus. Cela peut indiquer que ces combinaisons sont adaptées à des besoins spécifiques ou à des terrains particuliers, où l'utilisation de plusieurs équipements est nécessaire pour maximiser l'efficacité de l'irrigation.
- **station de pompage -entretien (6%)** : L'utilisation combinée des équipements **station de pompage** et **entretien** est également marginale, représentant **6%** des utilisateurs, ce qui pourrait suggérer une spécialisation dans certaines conditions ou pour des types spécifiques de culture ou de sol.

Les combinaisons **station de pompage - filtre** et **station de pompage** seul dominent largement l'utilisation des équipements avec respectivement **38%** et **31%**, indiquant que ces options sont les plus couramment préférées pour l'irrigation. Les combinaisons avec plusieurs équipements, comme **station de pompage - filtre -entretien- autre**, sont rares, ce qui peut indiquer un besoin spécifique pour ces configurations, mais elles ne sont pas couramment utilisées. Cela pourrait aussi refléter des contraintes en termes de coût, d'accessibilité ou de type de terrain nécessitant des équipements multiples.

Les données sur l'équipement utilisé révèlent une concentration significative sur certains types d'équipements, avec des combinaisons variées d'utilisation.

Équipement dominant : Station de pompage - Filtre (38%) : La combinaison des équipements **station de pompage** et **filtre** est la plus fréquemment utilisée, représentant **38%** des individus. Cela peut indiquer que ces deux équipements, lorsqu'utilisés ensemble, répondent à la majorité des besoins en termes de performance, efficacité ou accessibilité. Ils pourraient être particulièrement bien adaptés à certains types de cultures ou d'irrigation.

Équipement station de pompage seul (31%) : la **station de pompage** représente à lui seul **31%** des utilisateurs. Cela montre qu'une proportion importante d'individus se repose uniquement sur cet équipement, probablement parce qu'il est suffisant pour certaines configurations d'irrigation ou de culture. Cela peut également refléter des contraintes économiques ou géographiques, où l'équipement **station de pompage est le plus accessible ou le plus rentable**.

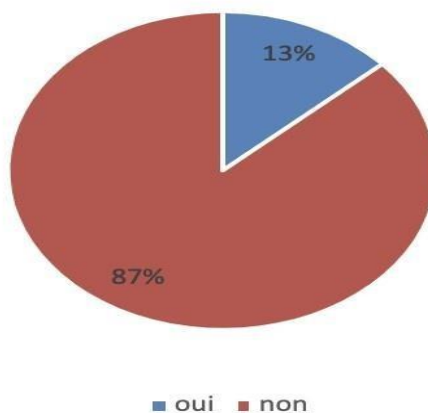
Combinaisons moins fréquentes :

- **Filtre-entretien (13%) :** Cette combinaison est utilisée par **13%** des individus, ce qui peut indiquer que l'utilisation des équipements filtre et entretien ensemble est efficace dans des situations spécifiques, mais pas aussi courante que les autres combinaisons.
- **Station de pompage -filtre-entretien-autre (6%) et filtre - entretien -autre(6%) :** Ces combinaisons impliquent l'utilisation de plusieurs équipements simultanément, mais elles restent rares avec chacune **6%** des individus. Cela peut indiquer que ces combinaisons sont adaptées à des besoins spécifiques ou à des terrains particuliers, où l'utilisation de plusieurs équipements est nécessaire pour maximiser l'efficacité de l'irrigation.
- **station de pompage -entretien (6%) :** L'utilisation combinée des équipements **station de pompage** et **entretien** est également marginale, représentant **6%** des utilisateurs, ce qui pourrait suggérer une spécialisation dans certaines conditions ou pour des types spécifiques de culture ou de sol.

Les combinaisons **station de pompage - filtre** et **station de pompage** seul dominent largement l'utilisation des équipements avec respectivement **38%** et **31%**, indiquant que ces options sont les plus couramment préférées pour l'irrigation. Les combinaisons avec plusieurs équipements, comme **station de pompage - filtre -entretien- autre**, sont rares, ce qui peut indiquer un besoin spécifique pour ces configurations, mais elles ne sont pas couramment utilisées. Cela pourrait aussi refléter des contraintes en termes de coût, d'accessibilité ou de type de terrain nécessitant des équipements multiples.

M4 Analyse des données sur l'utilisation des eaux usées

Utilisation des eaux usées

**Figure 5: Représentation des différentes catégories des eaux usées**

Les données montrent une forte tendance concernant l'utilisation ou non des eaux usées pour l'irrigation, avec une très nette préférence pour ne pas les utiliser.

Majorité n'utilisant pas les eaux usées (87%) : 87% des individus déclarent ne pas utiliser les eaux usées. Ce chiffre très élevé suggère que, pour la grande majorité, l'utilisation des eaux usées est perçue comme inappropriée, soit en raison de contraintes sanitaires, réglementaires, ou du manque de traitement adéquat de ces eaux. Il peut également refléter des inquiétudes sur la qualité de l'eau, les risques pour la santé ou des pratiques agricoles traditionnelles qui favorisent l'utilisation d'eau plus pure.

Minorité utilisant les eaux usées (13%) : Seulement 13% des individus indiquent **utiliser les eaux usées** pour l'irrigation. Cela montre qu'il existe un petit groupe qui trouve ce type d'eau viable pour l'agriculture, peut-être en raison de contraintes en matière de ressources en eau douce, de la disponibilité limitée de sources d'eau alternatives, ou d'une meilleure acceptation des technologies de traitement des eaux usées. L'utilisation des eaux usées peut aussi être associée à des pratiques agricoles plus écologiques ou à des coûts moindres

Une très large majorité (87%) des individus préfère ne pas utiliser les eaux usées, probablement pour des raisons de qualité, de réglementation ou de perception de risques. Cependant, une minorité non négligeable (13%) utilise ces eaux, ce qui pourrait indiquer une ouverture vers des solutions alternatives d'irrigation, surtout dans des régions où l'accès à l'eau douce est limité. Cela pourrait aussi refléter des initiatives locales de gestion de l'eau ou des programmes de réutilisation des eaux usées pour des raisons économiques ou environnementales.

M5 Analyse des données sur l'âge des vergers

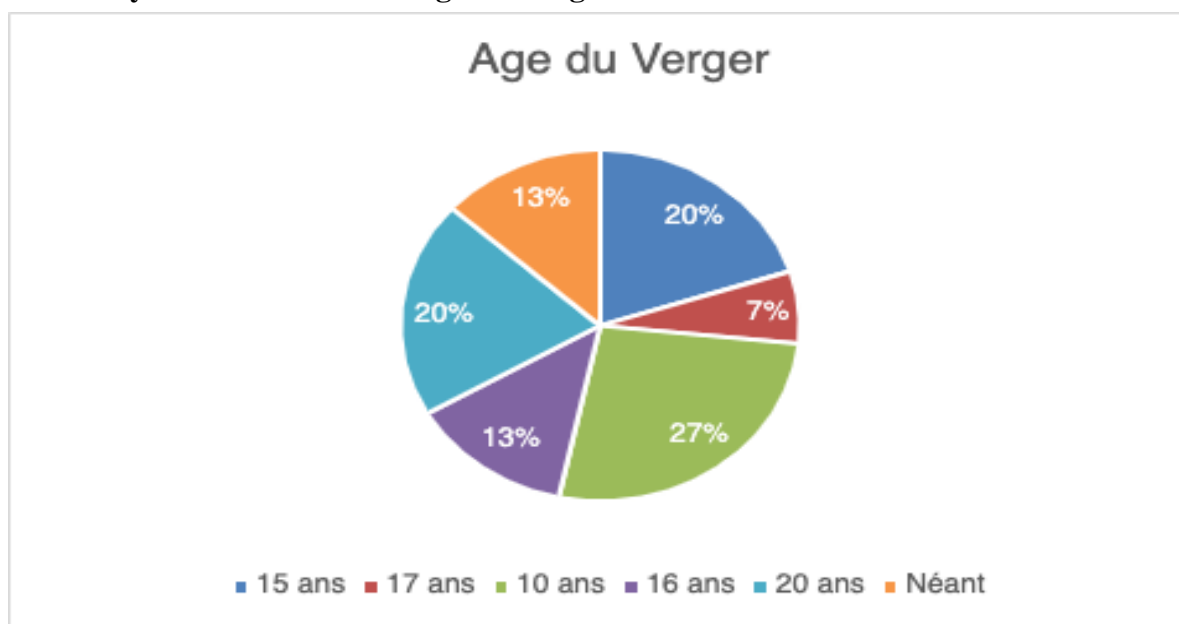


Figure 6: Représentation des différentes catégories de l'âge du verger

Le graphique relatif à l'âge des vergers présente la répartition des arbres selon différentes catégories d'âge, en fonction des réponses fournies par les agriculteurs interrogés. Cette analyse est essentielle pour comprendre la dynamique des plantations dans la région et évaluer l'état de maturité des vergers.

Détail des catégories d'âge :

- **10 ans** : Cette catégorie représente 27 % des réponses des agriculteurs. Elle reflète que plus d'un quart des exploitants ont des vergers relativement jeunes, ce qui pourrait indiquer une période récente de plantation ou un renouvellement important des arbres pour maintenir une production soutenue ;
- **15 ans** : À égalité avec les arbres de 20 ans, cette catégorie constitue 20 % des réponses. Ces arbres étant proches de leur pic de productivité, cela suggère que les agriculteurs cherchent à maximiser leurs rendements pendant cette phase clé ;
- **16 ans** : Avec 13 % des réponses, cette catégorie regroupe des arbres bien établis qui contribuent de manière stable à la production. Ces vergers sont probablement en pleine maturité, assurant un rendement régulier ;
- **17 ans** : Représentant 7 % des réponses, cette catégorie d'âge est la plus faible. Cela peut indiquer que très peu d'agriculteurs ont planté des vergers au cours de cette période, ou que certains arbres plantés à ce moment ont été remplacés ;
- **20 ans** : Tout comme les vergers de 15 ans, cette catégorie représente 20 % des réponses. Elle reflète une proportion significative de vergers matures, dont la production est probablement stable et bien établie ;

- **Néant** : Cette catégorie, qui regroupe 13 % des réponses, correspond à des cas où les agriculteurs n'ont pas fourni d'informations sur l'âge des arbres ou n'ont pas d'arbres ; dans leurs exploitations. Cela peut résulter d'un manque de données ou d'une absence d'activités agricoles pendant certaines périodes.

Interprétation :

La répartition des âges des vergers montre une diversité d'approches dans la gestion des plantations, avec un équilibre entre les jeunes vergers en croissance et les vergers plus matures en pleine production. Le pourcentage élevé de vergers âgés de 10 ans suggère une stratégie de replantation régulière pour maintenir la productivité à long terme. Cependant, la présence de la catégorie "Néant" pourrait nécessiter une enquête plus approfondie pour identifier d'éventuelles zones non productives ou de récents changements dans les pratiques des agriculteurs.

M26 Précédent cultural

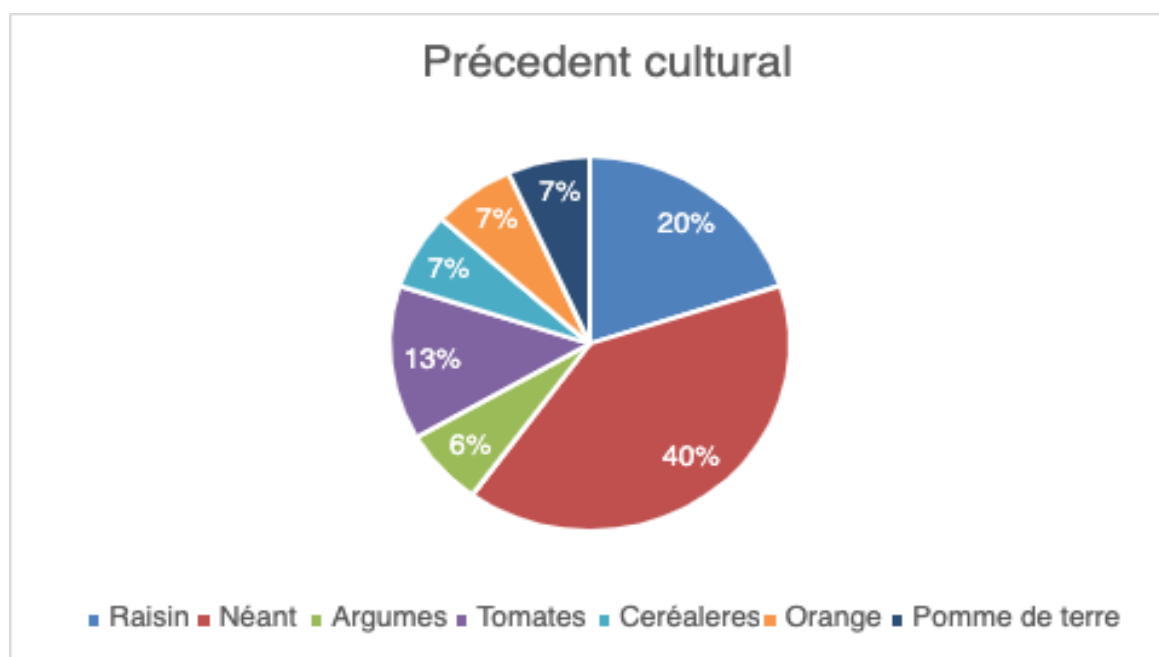


Figure 7 : Représentation de la répartition des différents précédents culturaux

Le graphique relatif au précédent cultural illustre la répartition des cultures antérieures pratiquées par les agriculteurs interrogés. Cette information est cruciale pour comprendre l'historique d'utilisation des terres et les pratiques agricoles qui influencent les décisions actuelles.

Détail des catégories du précédent cultural :

- **Néant** : Cette catégorie représente 40 % des réponses des agriculteurs. Cela signifie que près de la moitié des exploitants n'ont pas indiqué avoir pratiqué une culture ou ont laissé leurs terres en jachère. Cela pourrait être une stratégie pour régénérer les sols ou correspondre à des zones nouvellement mises en culture.
- **Raisin** : Les cultures de vignes représentent 20 % des réponses. Ce chiffre reflète l'importance de la viticulture dans la région, ce qui peut indiquer une tradition ou une spécialisation agricole chez une part significative des exploitants
- **Tomates** : Les agriculteurs ayant cultivé des tomates représentent 13 % des répondants. Cette culture, souvent intensive, montre que certains exploitants privilégiaient les cultures maraîchères.
- **Céréales** : Avec 7 % des réponses, les céréales constituent une part plus modeste des précédents cultureux. Cela pourrait indiquer que cette culture est moins populaire parmi les agriculteurs interrogés ou qu'elle est pratiquée sur des terres moins adaptées.
- **Orange** : Les cultures d'oranges représentent également 7 % des réponses. Ces agriculteurs ont probablement tiré parti de conditions climatiques favorables aux agrumes.
- **Pomme de terre** : Représentant 7 % des réponses, cette culture est moins fréquente dans les précédents cultureux, ce qui pourrait être dû à des contraintes spécifiques liées au sol ou au climat dans la région.

Interprétation :

La répartition des précédents cultureux montre une grande diversité de pratiques parmi les agriculteurs interrogés. Les terres sans précédent cultural (40 %) suggèrent une gestion des sols axée sur des périodes de repos ou des zones récemment converties à l'agriculture. Le raisin et les tomates, représentant ensemble 33 % des réponses, semblent être des cultures prédominantes, reflétant des conditions locales propices à ces productions. Les céréales, les agrumes, et les pommes de terre, bien que moins fréquents, montrent que certains agriculteurs adoptaient une diversité de cultures avant de se spécialiser.

Cette diversité dans les précédents cultureux permet aux exploitants de minimiser les risques liés à la monoculture et d'assurer une résilience face aux conditions climatiques et économiques changeantes.

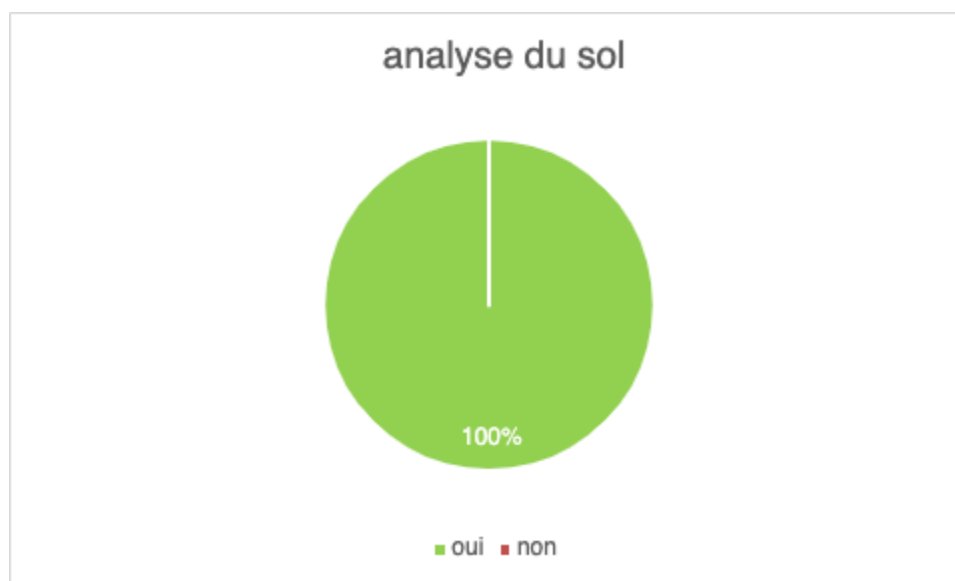
M7 Analyse des Sols

Figure 8: Représentation des différentes catégories des sols

Le graphique lié à l'analyse des sols révèle que 100 % des agriculteurs interrogés ont effectué une analyse de leurs sols avant de commencer la culture. Cette unanimité montre une forte adhésion à cette pratique parmi les exploitants.

Interprétation :

Le fait que tous les agriculteurs (100 %) aient réalisé une analyse des sols avant de cultiver souligne l'importance accordée à cette étape préalable dans la gestion agricole. L'analyse des sols permet aux agriculteurs de mieux comprendre la composition de leurs terres, notamment le pH, la teneur en nutriments, la structure, et la capacité de rétention d'eau.

Ces éléments sont essentiels pour prendre des décisions éclairées sur les types de cultures à planter et les éventuels ajustements nécessaires (fertilisation, amendements, etc.) pour optimiser la santé des plantes et les rendements.

Cette pratique unanime reflète également une tendance à adopter des techniques agricoles modernes et rigoureuses, visant à maximiser la productivité tout en préservant la durabilité des sols. En effet, une gestion adéquate des sols est cruciale pour prévenir l'épuisement des ressources naturelles et garantir la pérennité des exploitations.

Ainsi, l'analyse des sols étant systématiquement pratiquée par tous les agriculteurs interrogés, il est évident que la gestion durable des terres est une priorité pour eux. Cela permet non seulement d'améliorer la qualité des cultures, mais aussi de maintenir la fertilité des sols à long terme. Cette donnée souligne une approche agricole axée sur la préservation des ressources et l'optimisation des pratiques culturales

M28 Pratiques de fertilisation

Le graphique lié aux pratiques de fertilisation indique que 100 % des agriculteurs interrogés ont répondu « oui » à la question concernant l'utilisation de la fertilisation. Cette unanimité montre une reconnaissance généralisée de l'importance de la fertilisation pour maintenir des rendements optimaux.

Interprétation :

Le fait que tous les agriculteurs (100 %) pratiquent la fertilisation démontre une prise de conscience collective de la nécessité de fournir aux plantes les nutriments essentiels qui pourraient manquer dans le sol. La fertilisation est cruciale pour soutenir la croissance des arbres, améliorer leur résistance aux maladies et maximiser la production agricole.

Cette adoption massive des pratiques de fertilisation peut être perçue comme un signe de l'intégration de techniques agricoles modernes et intensives, où la fertilisation joue un rôle clé dans l'optimisation des cultures. En fonction des types de fertilisants utilisés, les exploitants peuvent choisir des pratiques visant à répondre aux besoins immédiats en nutriments ou à favoriser une gestion durable des sols sur le long terme.

L'universalité des pratiques de fertilisation parmi les agriculteurs montre une approche proactive de la gestion agricole, visant à maintenir une productivité élevée. Cela reflète aussi une volonté d'adopter des pratiques qui contribuent à la santé des sols et à la durabilité des exploitations agricoles. Ces résultats soulignent l'importance de la fertilisation dans les stratégies agricoles locales et sa contribution à la performance.

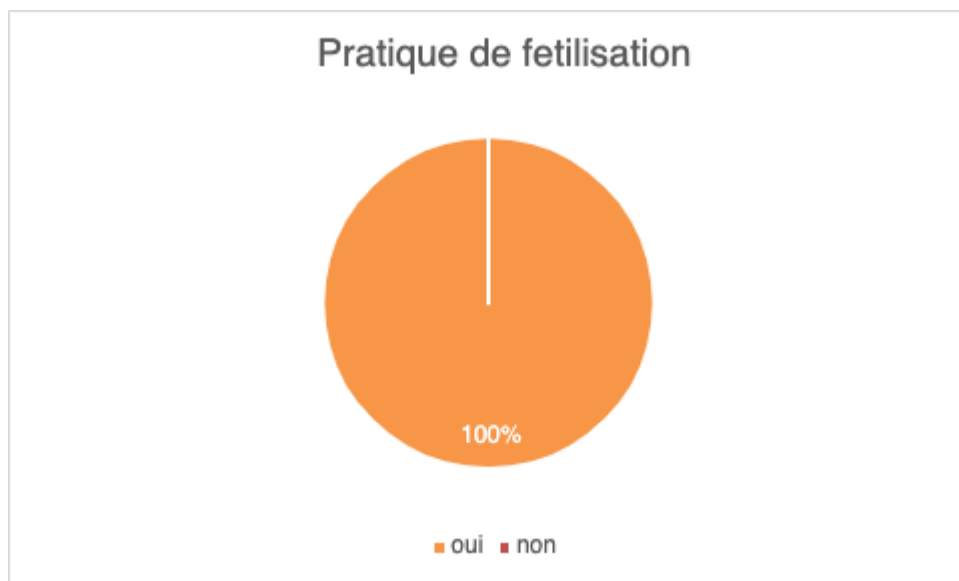
M29 Analyse des données sur le type de fertilisation utilisé

Figure 9: Représentation des différentes catégories de fertilisation utilisé

Les données concernant les combinaisons de types de fertilisation montrent la répartition suivante parmi les 15 agriculteurs interrogés :

- **Minéral-Organique** : 60 %
- **Minéral-Néant** : 13 %
- **Organique-Néant** : 27 %
- **Néant-Néant** : 0 %

Interprétation :

- **Minéral-Organique (60 %)** : La majorité des agriculteurs (60 %) utilisent une combinaison de fertilisants minéraux et organiques. Cela suggère une approche équilibrée, où les agriculteurs cherchent à tirer parti des avantages rapides des fertilisants minéraux tout en maintenant la durabilité à long terme grâce à l'utilisation de fertilisants organiques. Cette combinaison permet de répondre aux besoins immédiats des cultures tout en améliorant progressivement la structure et la fertilité du sol. ;

- **Organique-Néant (27 %)** : Un peu plus d'un quart des agriculteurs utilisent uniquement des fertilisants organiques, sans aucune contribution de fertilisants minéraux. Ces agriculteurs semblent privilégier une approche plus écologique et durable, probablement en raison de l'accent mis sur la conservation des sols et la réduction de l'impact environnemental des intrants chimiques ;
- **Minéral-Néant (13 %)** : Un petit nombre d'agriculteurs (13 %) utilisent uniquement des fertilisants minéraux, sans apport organique. Cette méthode vise à obtenir des résultats rapides en termes de rendement, mais elle peut présenter des risques à long terme pour la qualité du sol si elle est utilisée sans précaution, car les fertilisants minéraux ne contribuent pas à la préservation de la structure du sol ;
- **Néant-Néant (0 %)** : Aucun des agriculteurs interrogés n'a rapporté ne pas utiliser de fertilisation. Cela montre que la fertilisation est une pratique essentielle et largement adoptée par tous les exploitants pour garantir la productivité de leurs vergers ;

L'association **Minéral-Organique**, utilisée par 60 % des agriculteurs, est la combinaison la plus courante, reflétant une volonté d'optimiser à la fois les rendements à court terme et la durabilité à long terme. Les autres exploitants privilégient soit exclusivement la fertilisation organique (27 %) pour sa durabilité, soit uniquement la fertilisation minérale (13 %) pour son efficacité rapide. Ces résultats montrent que, bien que les agriculteurs soient conscients des bénéfices de la fertilisation, les stratégies varient selon les objectifs de production et les contraintes environnementales.

M210 Analyse des données sur la dose d'engrais

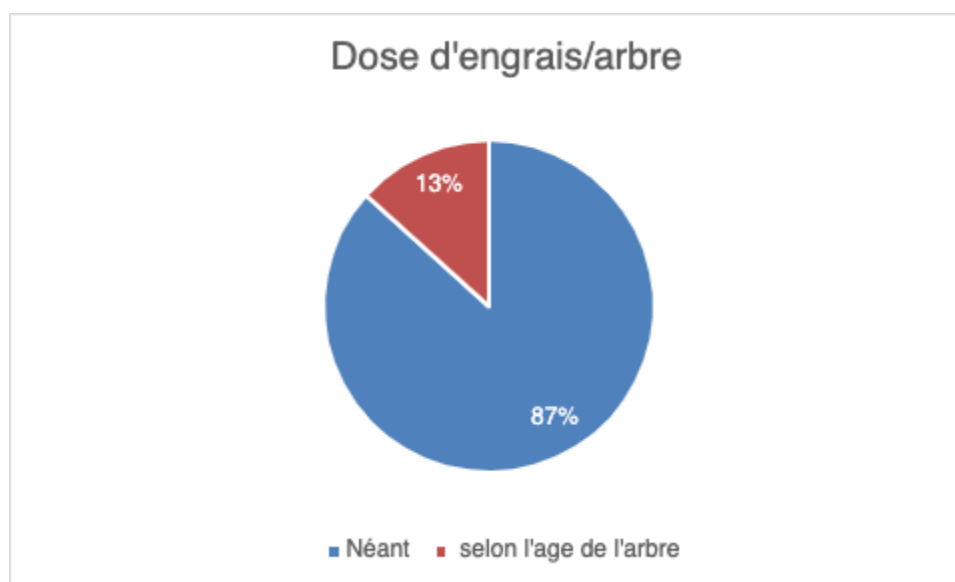


Figure 10: Représentation des différentes catégories de dose d'engrais

Les données recueillies sur la dose d'engrais appliquée par arbre montrent la répartition suivante parmi les 15 agriculteurs interrogés :

- **87 % : Néant**
- **13 % : Selon l'âge de l'arbre**
- **Interprétation :**
 - **Néant (87 %) :** Une large majorité des agriculteurs (87 %) n'appliquent pas de dose spécifique d'engrais par arbre. Cela pourrait indiquer plusieurs pratiques :
 - **Application uniforme :** Il est possible que les agriculteurs appliquent une quantité standard d'engrais sur l'ensemble de leur parcelle, sans ajuster la dose selon les besoins individuels de chaque arbre. Cette méthode simplifie le processus de fertilisation, mais elle peut ne pas optimiser l'utilisation des ressources ni la productivité.
 - **Manque de formation :** Certains agriculteurs pourraient manquer de formation ou d'information sur les avantages d'adapter la dose d'engrais selon des critères comme l'âge, la santé ou la taille des arbres.
 - **Contraintes économiques :** L'ajustement de la dose d'engrais en fonction des besoins spécifiques des arbres peut représenter un coût supplémentaire en termes de main-d'œuvre et de ressources. Cette contrainte économique pourrait dissuader certains agriculteurs d'adopter des pratiques plus personnalisées.
 - **Selon l'âge de l'arbre (13 %) :** Seulement 13 % des agriculteurs ajustent la dose d'engrais en fonction de l'âge de l'arbre. Cette pratique est plus précise et présente plusieurs avantages :
 - **Optimisation des ressources :** Les besoins nutritionnels des arbres varient selon leur âge. Par exemple, les jeunes arbres nécessitent des nutriments spécifiques pour leur croissance, tandis que les arbres matures peuvent avoir des besoins différents. En ajustant la dose, ces agriculteurs maximisent l'efficacité de la fertilisation.
 - **Amélioration de la santé des arbres :** Une fertilisation adaptée permet de mieux répondre aux besoins spécifiques des arbres, renforçant ainsi leur santé, leur résistance aux maladies et leurs rendements.
 - **Réduction de l'impact environnemental :** En évitant la sur-fertilisation, cette approche limite le risque de pollution des sols et des eaux par les nutriments excédentaires, contribuant ainsi à une gestion plus durable de l'exploitation.

L'analyse montre qu'une majorité d'agriculteurs n'adaptent pas la dose d'engrais en fonction des caractéristiques spécifiques des arbres, ce qui laisse place à des améliorations en matière de gestion agricole. Les 13 % qui appliquent une dose personnalisée en fonction de l'âge des arbres mettent en pratique une approche plus réfléchie et durable, optimisant à la fois les ressources et la productivité. Promouvoir des formations sur l'importance d'adapter la fertilisation pourrait encourager davantage d'agriculteurs à adopter des méthodes plus précises, bénéfiques pour la rentabilité et l'environnement.

M3 Les boues :**M3.1 Analyse des données sur les boues :**

La figure suivante montre le pourcentage des agriculteurs utilisant les boues résiduaires en agriculture

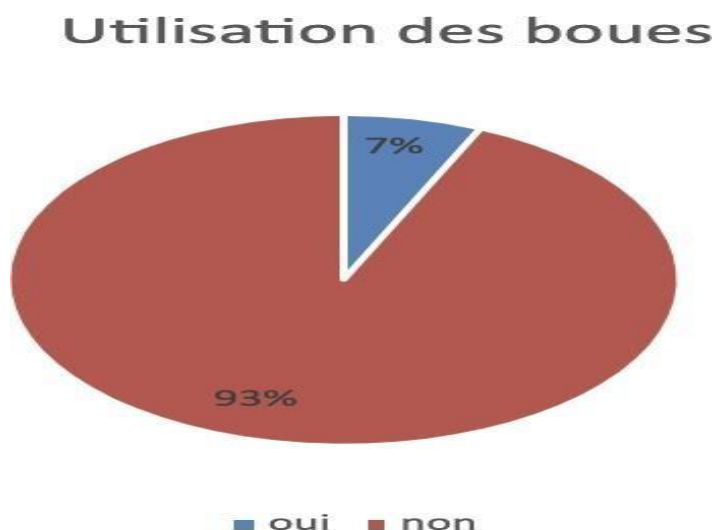


Figure 11: Représentation des différentes catégories des boues

Parmi les 15 agriculteurs recensés à travers notre enquête, un seul agriculteur valorise les boues résiduaires produites par la STEP de Corso cela représente 7% des agriculteurs recensés.

Les informations données par cet Agriculteur sont résumées comme suit :

- Qu'il possède un degré de connaissance faible sur l'intérêt agronomique des boues résiduaires
- Les parcelles sur lesquelles il fait l'épandage des boues sont cultivées par les arbres fruitiers et le suivi de ces parcelles se fait par l'ONA.
- L'agriculteur dispose d'une analyse du sol avant l'épandage des boues sur la parcelle agricole.
- Les effets positifs constatés suite à l'épandage des boues sont l'amélioration de la fertilité du sol et la réduction des besoins en engrais chimiques.

- D'après l'agriculteur, le principal risque associé à l'utilisation des boues en agriculture est le risque lié à la pollution de l'environnement et non pas celui lié à la santé humaine.
- L'agriculteur a bénéficié de formations et /ou d'informations spécifiques sur la gestion et la valorisation des eaux usées épurées et des boues résiduelles en agriculture.
- L'agriculteur est intéressé par des technologies innovantes ou de nouvelles méthodes pour optimiser l'utilisation des boues en agriculture et ouvert à participer à un
- programme de suivi à long terme sur les impacts de l'épandage des boues sur les sols, les cultures et l'environnement ainsi que des partenariats ou des collaborations avec des organisations de recherche pour améliorer les pratiques d'épandage et le traitement des boues.
- L'agriculteur est informé des réglementations en vigueur concernant l'épandage des boues d'épuration en agriculture mais il souhaite avoir plus d'information.
- L'agriculteur bénéficie de temps en temps de consultations avec des experts en agronomie ou en environnement pour évaluer l'impact de l'utilisation des boues sur votre exploitation.
- L'agriculteur rencontre de temps en temps des oppositions ou des réticences de la part de la communauté locale ou des consommateurs concernant l'utilisation des boues d'épuration en agriculture.
- L'agriculteur considère le coût associé à l'utilisation des boues (transport, épandage. etc) comme obstacle mineur qui n'a pas d'influence.
- L'agriculteur n'est pas prêt à partager vos données d'exploitation et résultats de culture pour une étude sur les impacts à long terme de l'utilisation des boues.

Les agriculteurs qui ne valorisent pas les boues résiduelles ont donné quelques raisons dont on peut citer :

- Le coût de transport de ces boues depuis la station jusqu'à la parcelle.
- Les agriculteurs craignent la présence de métaux lourds et de produits chimiques dans les boues, qui pourraient contaminer leurs terres.
- Les agriculteurs ne sont pas suffisamment informés sur les avantages des boues et manquent de formation sur leur utilisation sécurisée.

Conclusion Générale

Conclusion :

L'utilisation des eaux usées épurées et des boues résiduaires en agriculture représente une opportunité significative pour une gestion durable des ressources tout en contribuant à l'amélioration de la fertilité des sols. À travers cette étude menée dans la wilaya de Boumerdes, nous avons pu observer les pratiques actuelles de gestion et de valorisation de ces sous-produits par les agriculteurs locaux, ainsi que les bénéfices et les défis associés.

L'objectif principal de ce mémoire était d'évaluer l'efficacité des pratiques actuelles et d'identifier des stratégies pour maximiser les avantages agronomiques tout en minimisant les risques environnementaux et sanitaires. Les résultats montrent que, bien que les eaux usées épurées et les boues résiduaires soient perçues comme une ressource précieuse par de nombreux agriculteurs, leur utilisation reste limitée par plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci, la variabilité de la qualité des résidus, le manque de formation et d'accompagnement technique, ainsi que des préoccupations liées à la réglementation et à l'acceptation sociale jouent un rôle majeur.

Les expérimentations et les enquêtes réalisées ont permis de démontrer que, sous certaines conditions, l'application contrôlée de ces résidus peut améliorer la structure du sol, augmenter sa capacité de rétention d'eau et réduire le besoin en engrais chimiques. Cependant, il est crucial de mettre en place des protocoles stricts de traitement et de stabilisation des boues pour éviter les risques de contamination par des métaux lourds ou des agents pathogènes.

De plus, l'analyse des perceptions des agriculteurs a révélé un besoin urgent de sensibilisation et de formation sur les bonnes pratiques d'épandage. Les agriculteurs sont ouverts à l'adoption de ces techniques, mais requièrent un soutien technique et institutionnel pour intégrer ces pratiques de manière sécurisée et efficace dans leurs exploitations.

En conclusion, la valorisation des eaux usées épurées et des boues résiduaires en agriculture est une voie prometteuse pour une agriculture durable, à condition que des cadres réglementaires clairs et des programmes de formation adéquats soient mis en place. Il est recommandé de renforcer les politiques publiques en matière de gestion des résidus, d'encourager les recherches sur les technologies de traitement et de stabilisation, et de promouvoir des campagnes de sensibilisation pour surmonter les réticences et faciliter l'adoption de ces pratiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références

A

- Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) - Mentionnée en lien avec les réglementations algériennes.

B

- Benaouda, M. (2010). L'agriculture dans les régions méditerranéennes de l'Algérie: Le cas de la Mitidja. Université des Sciences d'Alger. Cet ouvrage explore l'impact du climat méditerranéen sur l'agriculture dans la région de la Mitidja, qui fait partie de Boumerdes.
- Belaid, 2010.
- Brown et al., 2022 - Amélioration de la structure du sol grâce aux boues.

C

- Chen et al., 2019 - Capacité de rétention d'eau des boues.
- Convention de Bâle sur le Contrôle des Mouvement Transfrontières de Déchets Dangereux - Traité international adopté le 22 mars 1989 à Bâle, visant à réguler les mouvements de déchets dangereux (Basel Convention, 2021).
- Convention de Stockholm sur les Polluants Organiques Persistants - Traité international adopté en mai 2001, en vigueur depuis mai 2004, visant à réduire les polluants organiques persistants.

D

- Décret exécutif n° 15-19 du 10 janvier 2015 - Cité concernant les modalités d'application des exigences de qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation agricole.
- Décret exécutif n° 15-19 (2015) - Mentionné à plusieurs reprises pour les normes concernant les concentrations en nutriments, métaux lourds, qualité microbiologique, et paramètres physico-chimiques des eaux usées épurées.
- Directive Européenne sur le Traitement des Eaux Usées (Directive 91/271/CEE) - Adoptée le 21 mai 1991, établit des normes pour le traitement des eaux usées urbaines et industrielles (European Parliament, 2022).
- Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) - Recommandations sur la qualité de l'eau et les pratiques de traitement pour protéger la santé publique (WHO, 2023, p. 5).
- Directives de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) - Cadre pour la gestion et l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture (FAO, 2023, p. 5).

Références

E

F

G

- Garrido et al., 2019 - Mentionné concernant la concentration d'azote dans les eaux usées épurées.
- Garrido et al., 2020 - Sur la présence de métaux lourds dans les boues résiduaires.
- Garcia et al., 2021 - Conductivité électrique des boues.
- González et al., 2021 - Référencé pour les concentrations de phosphore et de conductivité électrique.
- González et al., 2021 - Sur la présence de pathogènes dans les boues.

H

- Hadjadj, S. (2015). L'économie des wilayas côtières algériennes : Approches et perspectives. Presses universitaires d'Alger. Ce livre fournit un aperçu complet sur les différents secteurs économiques des régions côtières, dont Boumerdes.
- Harris et al., 2023 - Contribution des boues à des pratiques agricoles durables.

I

J

K

- Kir et al. 2013 In khennofa et labsi, 2017.
- Kumar et al., 2019 - Référencé pour les niveaux de résidus pharmaceutiques et les matières en suspension.
- Kumar et al., 2020 - Traitement des polluants organiques persistants (POP).

L

- Li et al., 2022 - Teneur en matières volatiles.

Références

M

- Miller et al., 2022 - Gestion durable des déchets à travers l'utilisation des boues.
- Morris et al., 2018 - Densité apparente des boues résiduares.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville (Algérie)
- Référencé pour les normes de qualité des eaux usées épurées.
- Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville (2020) - Cité concernant la supervision des pratiques d'épandage et les régulations spécifiques pour l'application agricole.
- Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (2021) - Référencé pour la formation et sensibilisation des exploitants agricoles sur les méthodes d'application des eaux usées épurées.

N

O

P

Q

R

- Rodriguez et al., 2020 - Sur le pH des boues résiduares.

S

- Singh et al., 2020 - Potentiel redox des boues.
- Smith et al., 2018 - Concernant la composition organique des boues résiduares.
- Smith et al., 2019 - Méthodes de stabilisation pour éliminer les pathogènes.
- Smith et al., 2022 - Cité pour les niveaux de potassium et le pH des eaux usées épurées.

éférences

T

U

V

W

- Wang et al., 2021 - Avantages économiques de l'utilisation des boues comme engrais.
- Williams et al., 2021 - Discutant des réglementations sur les métaux lourds.
- Williams et al., 2023 - Cité concernant les niveaux de coliformes totaux.

X

Y

Z

Annexes

Les questionnaires établis dans le cadre de l'étude :

Questionnaire pour l'agriculteur sur l'utilisation des boues résiduaires urbaines :

Q1 : Quel est votre degré de connaissance de l'intérêt agronomique des boues d'épuration urbaines ?

- Faible
- Moyen
- Élevé

Q2 : Les parcelles sur lesquelles vous avez épandu les boues sont-elles suivies par les organismes suivants :

- ONA (Office National de l'Assainissement)
- Université
- DSA (Direction de Services Agricoles)
- Autres (préciser)

Q3 : Quel est l'âge de l'exploitation agricole utilisant les boues ?

- 1- Moins de 5 ans
- 2- Entre 5 et 10 ans
- 3- Entre 10 et 15 ans
- 4- Entre 15 et 20 ans
- 5- Entre 20 et 30 ans
- 6- Plus de 30 ans

Q4 : Quels types de cultures cultivez-vous sur les parcelles où vous épandez les boues ?

- 1- Céréales (blé, maïs, etc.)
- 2 Légumes (tomates, carottes, etc.)3-
- Fruits (pommes, raisins, etc.)
- 4- Cultures fourragères (maïs ensilage, luzerne, etc.)5-
- Autres (préciser)

Q5 : Quelle est la fréquence d'épandage des boues sur vos parcelles agricoles ?

- 1- Annuelle
- 2- Pluriannuelle (tous les deux ans, tous les trois ans, etc.)
- 3- Ponctuelle (occasionnelle)

Q6 : Disposez-vous d'une analyse de sol préalable avant l'épandage des boues sur vos parcelles agricoles ?

- 1- Oui
- 2- Non

Q7 : Avez-vous constaté des effets positifs sur vos cultures suite à l'épandage de boues ?

- 1- Oui,
- 2- Non,

Q8 : Quels sont, les principaux avantages de l'utilisation des boues en agriculture ?

- 1- Amélioration de la fertilité du sol
- 2- Réduction des besoins en engrais chimiques
- 3- Valorisation des déchets urbains
- 4- Autres (préciser)

Q9 : Quels sont, les principaux inconvénients ou risques associés à l'utilisation des boues en agriculture ?

- 1- Risques pour la santé humaine
- 2- Risques de pollution de l'environnement (eau, air, sol)

3- Autres (préciser)

Q10 : Avez-vous bénéficié de formations ou d'informations spécifiques sur la gestion et la valorisation des eaux usées épurées et des boues résiduelles en agriculture ?

1- Oui

2- Non

Q11 : Seriez-vous intéressé par des technologies innovantes ou de nouvelles méthodes pour optimiser l'utilisation des boues en agriculture ?

1- Oui,

2- Non,

Q12 : Avez-vous mis en place des mesures spécifiques pour limiter les impacts négatifs potentiels de l'épandage des boues sur l'environnement ?

1- Oui (préciser lesquelles)

2- Non

Q13 : Quelles informations supplémentaires ou quel type de soutien serait le plus utile pour vous concernant l'utilisation des boues en agriculture ?

1- Informations techniques sur l'épandage

2- Accès facilité à des analyses de qualité des boues

3- Soutien financier ou subventions pour l'épandage

4- Formations sur les bonnes pratiques

5- Autre (préciser)

Q14 : Êtes-vous informé des réglementations en vigueur concernant l'épandage des boues d'épuration en agriculture ?

1- Oui, parfaitement informé

2- Oui, mais souhaite plus d'informations

3- Non, peu informé

4- Non, pas du tout informé

Q15 : Seriez-vous ouvert à participer à un programme de suivi à long terme sur les impacts de l'épandage des boues sur les sols, les cultures, et l'environnement ?

- 1- Oui, très ouvert
- 2- Oui, quelque peu ouvert
- 3- Non, pas ouvert

Q16 : Avez-vous déjà rencontré des oppositions ou des réticences de la part de la communauté locale ou des consommateurs concernant l'utilisation des boues d'épuration en agriculture ?

- 1- Oui, souvent
- 2- Oui, quelques fois
- 3- Non, jamais

Q17 : Considérez-vous le coût associé à l'utilisation des boues (transport, épandage, etc.) comme un obstacle majeur ?

- 1- Oui, c'est un obstacle majeur
- 2- C'est un obstacle mineur
- 3- Non, ce n'est pas un obstacle

Q18 : Avez-vous besoin de davantage de recherches et de données scientifiques pour être convaincu de l'efficacité et de la sécurité de l'utilisation des boues en agriculture ?

- 1- Oui, absolument
- 2- Oui, dans une certaine mesure
- 3- Non, pas spécialement
- 4- Non

Q19 : Quelle importance accordez-vous à la traçabilité des boues d'épuration utilisées sur vos terres ?

- 1- Très importante
- 2- Pas importante

Q20: Avez-vous déjà refusé d'utiliser des boues d'épuration pour des raisons éthiques ou environnementales ?

1- Oui

2- Non

Q21 : Avez-vous déjà bénéficié de consultations avec des experts en agronomie ou en environnement pour évaluer l'impact de l'utilisation des boues sur votre exploitation ?

1- Oui, régulièrement

2- Oui, occasionnellement

3- Non, jamais

Q22 : Seriez-vous prêt à partager vos données d'exploitation et résultats de culture pour une étude sur les impacts à long terme de l'utilisation des boues ?

1- Oui, totalement disposé

2- Oui, mais seulement anonymement

3- Non, je préfère ne pas partager

Q23 : Êtes-vous intéressé par des partenariats ou des collaborations avec des organisations de recherche pour améliorer les pratiques d'épandage et le traitement des boues ?

1- Oui, très intéressé

2- Peu intéressé

III.3.1 Questionnaire pour L'ONA:

Q1 : En quelle année l'épandage des boues d'épuration urbaines (BEU) sur sols agricoles a-t-il eu lieu dans la wilaya de Tizi-Ouzou ?

Q2 : Quelles sont les quantités annuelles de boues d'épuration urbaines épandues depuis 2013 à 2023 ?

Années	Quantité épandue (en tonnes)
2013	
2014	
2015	
2016	
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	
2022	

Q3 : Les boues d'épuration urbaines (BEU) produites sont-elles toutes destinées à l'épandage agricole ? Selon vos analyses statistiques, quel est le pourcentage ?

Années	Pourcentage destiné à l'épandage agricole (%)
2013	
2014	
2015	
2016	
2017	
2018	
2019	
2020	
2021	
2022	
2023	

Q3 : Si les boues sont valorisées dans d'autres secteurs, lesquels ?

Q4 : Quel type de cultures bénéficie principalement de l'épandage des boues d'épuration urbaines (BEU) dans votre région ? Veuillez lister les types de cultures et estimer le pourcentage d'épandage pour chaque type :

Type de culture	Pourcentage d'épandage (%)
Céréales	
Légumineuses	
Maraîchage	
Arboriculture	
Autres	

Q5 : Quelles méthodes d'épandage des BEU sont principalement utilisées dans votre exploitation ? Veuillez indiquer les méthodes utilisées et leur fréquence :

Méthode d'épandage	Fréquence d'utilisation
Épandage direct	
Incorporation dans le sol	
Compostage avant épandage	
Autres (préciser)	

Q6 : Quels sont les principaux systèmes de traitement des eaux usées utilisés dans votre région ?

Q7: Quelle proportion des eaux usées traitées est destinée à l'agriculture ?

Q8 : Comment les risques pour la santé humaine et l'environnement liés à l'utilisation des eaux usées épurées en agriculture sont-ils évalués et gérés ?

Q9 : Existe-t-il des différences régionales ou sectorielles dans les pratiques de gestion et de valorisation des eaux usées épurées et des boues résiduaires en agriculture ?

Q10: Quels sont les critères utilisés pour déterminer la qualité des eaux usées épurées et des boues résiduaires en tant qu'amendements agricoles ?

Q11: Quelles sont les méthodes de stockage et de transport des boues résiduaires les plus couramment utilisées ?

Q12: Quelles sont les cultures ou les types de sols les plus adaptés à l'utilisation des boues résiduaires comme engrais ?

Q13: Quelles sont les alternatives à l'utilisation des boues résiduairees en agriculture et comment se comparent-elles en termes d'efficacité et de durabilité ?

Q14: Quels sont les impacts potentiels de l'utilisation à long terme des boues résiduairees sur la qualité des sols et des eaux souterraines ?

Q15 : Quels sont les systèmes de surveillance et de suivi en place pour évaluer l'impact environnemental de l'utilisation des boues résiduairees en agriculture ?

III.3.2 Enquête sur l'utilisation des eaux usées traitées

Age de l'agriculteur : Niveau
d'instruction :

- La source d'irrigation : STEP Forage Mélange Pluvial
- Pourquoi utilisez-vous cette source ?

1/ Eau de STEP

- Quel est le type de votre bassin ?
- Quelle est sa capacité ?
- Date de sa réalisation ?
- Est-ce-que le volume de bassin assure vos besoins en irrigation ? Oui Non
- Equipement du bassin : Station de pompage
 Filtre
 Entretien
 Autre
- Lâcher d'eau à partir de la STEP, est-ce-que sous contrat ? Oui Non
- Période de lâcher : Début / Fin /
- Fréquence de lâcher Jours/ Semaine
- Durée de lâcher : Heurs/ Jours

- Avez-vous un contact permanent avec l'ONA ? Oui Non

- Si oui, quel type de contact ?

- Est-ce-que l'eau est tarifiée ?

- Si oui, combien ?

.....

.....

- Faites-vous des analyses de ces eaux?

Oui Non

- Si oui, quel type d'analyse ?

Physico-chimique

Bactériologiques

Biologiques

Conseils analyse :

Oui Non

Résumé

L'utilisation des eaux usées épurées en agriculture présente un potentiel pour une agriculture durable grâce à leur richesse en nutriments bénéfiques, tels que l'azote, le phosphore et le potassium. Cependant, leur application nécessite des traitements avancés pour éviter la présence de contaminants et de pathogènes.

Notre étude consiste à mener une enquête auprès de quelques agriculteurs dans la wilaya de Boumerdes, au nord de l'Algérie afin de faire un diagnostic sur l'utilisation des eaux usées épurées et les boues résiduelles en agriculture.

Les résultats ont montré que l'utilisation de ces deux sous-produits (EUE et boue) est restreinte, 7% pour l'utilisation des EUE et 13% pour les boues résiduelles, malgré les efforts consentis de l'Etat en termes de sensibilisation et de formation ainsi que la priorité donnée à cette wilaya notamment dans le programme de la réutilisation des eaux usées épuré en irrigation.

Mots clés : Eau usée épurée, STEP de Boumerdes, Irrigation, Boues résiduelles

Summary

The use of treated wastewater in agriculture offers potential for sustainable agriculture thanks to its richness in beneficial nutrients, such as nitrogen, phosphorus, and potassium. However, its application requires advanced treatments to avoid the presence of contaminants and pathogens.

Our study involves conducting a survey with some farmers in the Wilaya of Boumerdes, in northern Algeria, to diagnose the use of treated wastewater and residual sludge in agriculture.

The results showed that the use of these two by-products (treated wastewater and sludge) is limited, 7% for the use of treated wastewater and 13% for residual sludge, despite the efforts made by the State in terms of awareness and training as well as the priority given to this Wilaya, particularly in the program for reusing treated wastewater for irrigation.

Keywords : Treated wastewater, Boumerdes treatment plant, Irrigation, Residual sludge.

ملخص

استخدام المياه المستعملة المعالجة في الزراعة يقدم إمكانيات لا لمستدامة بفضل غناها بالعناصر الغذائية المفيدة، مثل النيتروجين، الفوسفور والبوتاسيوم. ولكن، تطبيقها يتطلب معالجات متقدمة لتجنب وجود الملوثات ومسببات الأمراض. دراستنا تتكون من إجراء تحقيق مع بعض المزارعين في ولاية بومرداس، شمال الجزائر، من أجل إجراء تشخيص حول استخدام المياه المستعملة المعالجة والحماة المتبقية في الزراعة.

النتائج أظهرت أن استخدام هذين المنتجين الثانويين (المياه المستعملة المعالجة والحماة) محدود، 7% لاستخدام المياه المستعملة المعالجة و13% للحماة المتبقية، رغم الجهود المبذولة من الدولة من حيث التوعية والتكوين وكذلك الأولوية المعطاة لهذه الولاية خصوصاً في برنامج إعادة استخدام المياه المستعملة المعالجة في الري.

الكلمات المفتاحية: المياه المستعملة المعالجة، محطة معالجة بومرداس، الري، الحماة المتبقية.