



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم بيئة ومحيط

Département d'Ecologie et Environnement



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Intitulé :

Caractérisation et cartographie de la biodiversité végétale
au sein d'un milieu perturbé : cas du Centre
d'Enfouissement Technique de Bordj Bou Arreridj

Présenté par :

MEBREK Fatma Zohra & SAADOUDI Amina

Soutenu le 11 / 06/ 2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Mme BELLOULA Salima	MCB	Université de B.B.A.
Encadrant :	Mr CHEKCHAKI Samir	MRB	Centre de Recherche en Biotechnologie (CRBt).
Co-Encadrant:	Mr ZAAFOUR Mohamed Djalil	MCB	Université de B.B.A.
Examineur :	Mme BAAZIZ Naima	MCB	Université de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

Remerciements

*Nos remerciements, d'abord à **Dieu** le tout puissant, pour la volonté, la santé, le courage et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces années.*

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur de mémoire **Mr. Chekchaki Samir**, pour son encadrement exceptionnel, ses précieux conseils et son soutien constant. Sa rigueur scientifique et son expertise ont été essentielles à l'élaboration de ce travail.*

*Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre co-encadreur **Mr. Zaafour Mohamed Djalil** pour ses conseils scientifiques judicieux tout le long de ce mémoire et surtout pour ses qualités humaines.*

*Nous remercions sincèrement **Mme. Belloula Salima** pour nous avoir donné l'honneur de présider le jury pour ce soutien. Nous souhaitons lui exprimer notre sincère gratitude.*

*A **Mme Baaziz Naima**, qui a été heureuse d'accepter l'invitation d'examiner ce travail.*

Nous aimerions lui exprimer notre sincère reconnaissance et notre gratitude.

*Enfin, on tient aussi à remercier **Mr. Makhoukh N** et **Mme Djemouai S** pour leur aide ainsi que pour leurs conseils, qu'ils trouvent ici notre sincère gratitude.*

Dédicace

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me
sont chers,*

*A ma très chère **mère***

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se
doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes
côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A ma deuxième **maman***

Qui m'a soutenu et encouragé durant ces années

*A toute ma famille **Meberk** et **Boudjemline***

*A mon binôme **Amina** et toute sa famille*

*Mes bien chères amies : **Amira, Takwa, Zahra, Rihem, Nada, Riham,**
Nessrine*

À tous les étudiants de la promotion de Biodiversité

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Merci A tous

Fatma Zahra

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

A mon cher père que Dieu l'accueille en son vaste paradis

*Grand plaisir à ma Mère pour son sacrifice, et m'avoir encouragé à
étudier, d'avoir été à mes côtés dans les circonstances et les
moments les plus difficiles, et d'être à la fois la mère et le Père a
nous*

A mes très belles sœurs : Abir, Ghada, Meriem, Sameh, Ahlem

A mes chers frères

Les Enfants : Iyad, Abd allah

A toute la famille : Saadoudi et Barkati

*A mon binôme Fatma Zohra qui m'a accompagné durant cette
difficile*

A toutes mes amies : Nessrine, marwa, Rihem, Nada, Zohra, Sara

A tous les étudiants de ma promotion de Biodiversité

*A tous ceux qui ont contribué de près ou loin à la réussite de ce
travail. A tous ceux qui j'aime*

Merci A tous ...

Amina

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

الملخص

Résumé

Introduction :1

Chapitre 1: Synthèse bibliographique

1. La gestion des déchets	2
1.1. Généralité sur les déchets	2
1.2. Classification des déchets	3
a. Selon la nature	3
b. Selon l'origine	3
1.3. Stratégies de traitement des déchets	4
1.3.1. Le traitement biologique	4
a. La méthanisation	4
b. Le compostage	4
1.3.2. Le Traitement physico-chimique	4
a. Traitement par incinération	4
b. Traitement par élimination	4
- La mise en décharge	4
- Le Centre d'Enfouissement Technique (CET)	5
2. Impacts des décharges sur l'environnement	6
2.1. Sur le Biotope	7
2.2. Sur la Biocénose	8
3. Solution pour la restauration des sites pollués : La phytoremédiation	8
3.1. La phytostabilisation	9
3.2. La phytoextraction	9
3.3. La phytodégradation	9
3.4. La phytovolatilisation	9
3.5. La phytostimulation	10
4. Les systèmes d'informations géographiques (SIG) : un outil de gestion et d'aide à la décision	11

Chapitre 2 : Matériel et méthodes

1. Présentation de la région d'étude.....	12
1.1. Cadre général et localisation géographique	12
1.2. Réseau hydrographique	12
1.3. Géologie	13
1.4. Climat	13
1.4.1. Températures.....	13
1.4.2. Précipitations.....	14
1.5. Végétation :	15
2. Méthodologie de travail	15
2.1. Présentation du site d'étude	15
2.2. Stratégie d'échantillonnage adoptée.....	16
3. Etude de la biodiversité végétale	17
3.1. Coefficient d'abondance-dominance et de sociabilité	18
3.2. Richesse floristique	19
3.3. Fréquence relative	19
3.4. Coefficient de similitude de Sorensen (Q)	19
3.5. Création de cartes thématiques de la biodiversité	19
3.5.1. Prétraitement des données.....	19
3.5.2. Traitement des données	20
4. Etude des propriétés physico-chimiques des échantillons de sol.....	20
5. Etude des propriétés biochimiques des plantes sélectionnées	20
5.1. Description botanique des espèces sélectionnées.....	21
5.1.1 <i>Sinapis Arvensis</i> (L.).....	21
5.1.2 <i>Moricandia arvensis</i> (L.).....	21

Chapitre 3 : Résultats et discussion

1. Analyse de la diversité végétale	23
2. Analyse des propriétés physico-chimiques du sol	28

3. Analyse des propriétés biochimique des espèces sélectionnées	31
Discussion générale	34
Conclusion	36
Références bibliographiques	
Annexe	

Liste des abréviations :

As : Arsenic

Cd : Cadmium

CE : Conductivité électrique

CET : Centre d'enfouissement technique

CH₄ : Méthane

CO₂ : dioxyde de carbone

COV : Composés Organique Volatils

Cr : chrome

Cu : Cuivre

DAS : Déchets d'Activités de Soins

DD : Déchets Dangereux

DI : Déchets Inertes

DID : Déchets Industriels Dangereux

DMA : Déchets Ménagers et Assimilés

DND : Déchets Non Dangereux

DTQD : Déchets Toxiques en Quantités Dispersées

EPGW : Etablissement public de gestion de wilaya

H : Humidité

HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

Hg : Mercure

MO : Matière Organique

Ni : Nickel

Pb : Plomb

pH : Potentiel hydrogène

SIG : Systèmes d'informations géographiques

TRE : Teneur relative en eau

Zn : Zinc

µs/cm : Micro siemens par centimètre

Liste des figures :

- Figure 1** : Coupe d'un Centre d'enfouissement technique
- Figure 2** : Mécanismes des approches de remédiation dans les plantes
- Figure 3** : Localisation géographique de la région d'étude
- Figure 4** : Etage bioclimatique de la région d'étude selon le climagramme d'Emberger
- Figure 5** : Etat des lieux du CET de Bordj Bou Arreridj
- Figure 6** : Vue d'ensemble du CET de Bordj Bou Arreridj
- Figure 7** : Distribution spatiale des points d'échantillonnage
- Figure 8** : Vue générale de *Sinapis Arvensis* (L.)
- Figure 9** : Vue générale de *Moricandia Arvensis* (L.)
- Figure 10** : Spectre spécifique des familles
- Figure 11** : Répartition des espèces selon le type biologique
- Figure 12** : Répartition des espèces selon le type phytogéographique
- Figure 13** : Distribution spatiale de la richesse spécifique dans le site d'étude
- Figure 14** : Richesse spécifique par placette d'étude
- Figure 15** : Classification des espèces selon leur fréquence d'occurrence
- Figure 16** : Distribution spatiale des classes de fréquence d'occurrence des espèces recensées
- Figure 17** : Variation du pH dans les 4 placettes
- Figure 18** : Distribution des valeurs de la conductivité électrique
- Figure 19** : Graphique de la porosité du sol
- Figure 20** : Taux d'humidité et de matière organique du sol
- Figure 21** : Taux du calcaire total et actif dans le sol
- Figure 22** : Répartition des classes texturales pour les échantillons de sol
- Figure 23** : Teneur de la Chlorophylle (a) chez les espèces sélectionnées
- Figure 24** : Teneur de la Chlorophylle (b) chez les espèces sélectionnées
- Figure 25** : Teneur en eau chez les espèces sélectionnées
- Figure 26** : Les composants d'un SIG
- Figure 27** : Méthode pour la détermination de la teneur en matière organique
- Figure 28** : Analyse granulométrique des échantillons de sol
- Figure 29** : Titration par permanganate de potassium
- Figure 30** : Calcimètre de Bernard
- Figure 31** : Dosage des pigments chlorophylliens

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Stratégies de phytoremédiation adoptées par différentes espèces végétales

Tableau 2 : Températures enregistrées à région d'étude (en °C)

Tableau 3 : Moyenne mensuelles et annuelles des précipitations (mm)

Tableau 4 : Matrice de l'indice de similarité entre placettes d'étude

ملخص

في الجزائر، يمثل الانتقال من المكبات العشوائية إلى مراكز الطمر الفني تطورًا هامًا، ولكن التحديات البيئية لا تزال قائمة، خاصة فيما يتعلق بجودة التربة والتنوع البيولوجي النباتي.

يهدف بحثنا إلى تقييم تأثير مركز الطمر الفني (CET) في برج بوعريريج على التنوع النباتي والتربة في المنطقة.

تتمثل المنهجية المتبعة في تقييم التنوع البيولوجي النباتي داخل الموقع المتضرر، تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة التي يتركز عليها، وأخيرًا تقييم تأثير التلوث الناتج عن CET على فيزيولوجيا النباتات المميزة للبيئات المتضررة من خلال التحليلات البيوكيميائية.

النتائج التي تم الحصول عليها تظهر أن أكثر العائلات تمثيلاً في مواقع الدراسة هي النجمية (26.1%)، النجيلية (15.2%)، والبقولية (13.0%). وفقاً لنوع الحياة، تمثل الحوليات النسبة الأكبر بـ 53.3% (24 نوعاً)، تليها النباتات المعمرة بـ 40% (18 نوعاً). يكشف التنوع النباتي في المنطقة المدروسة عن تمثيل قوي للأنواع ذات الأصل المتوسطي، حيث تشكل ما يقرب من نصف الأنواع المسجلة. وفقاً لفئات الترددات، تم تصنيف نوعين على أنهما وفيران جداً (IF=V)، وهما *Moricandia arvensis* و *Sinapis arvensis*.

تكشف نتائج تحليلات التربة عن تربة غنية بالجير مع سيادة الطين الذي يتجاوز 40% في المواقع الأربعة المدروسة. هذه المواقع تظهر درجة حموضة محايدة مما يشير إلى عدم استقرار النفايات في طور التحلل. تظهر التحليلات البيوكيميائية للنباتين المختارتين *Moricandia arvensis* و *Sinapis arvensis* أن الكلوروفيل يظهر قيماً مرتفعة تصل إلى (45.52 مجم/جرام) مما يشير إلى أن هذين النوعين أكثر تكيفاً مع ظروف الإجهاد وكذلك مع البيئات المتضررة.

الكلمات المفتاحية: الجزائر، مركز الطمر الفني، التنوع البيولوجي، الجرد، أخذ العينات، فيزيائي كيميائي، التربة، بيوكيميائي.

Résumé

En Algérie, le passage des décharges sauvages aux CET représente une évolution significative, mais les défis écologiques subsistent, notamment en ce qui concerne la qualité des sols et la biodiversité végétale.

L'objectif de notre étude vise à évaluer l'impact du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Bordj Bou Arreridj sur la diversité végétale et les sols de la région.

La méthodologie adoptée consiste à évaluer la biodiversité végétale au sein du site perturbé ; à analyser les propriétés physico-chimiques des sols sur laquelle elle repose et enfin, à évaluer l'impact de la pollution générée par le CET sur la physiologie des plantes caractéristiques des milieux perturbés, à travers des analyses biochimiques.

Les résultats obtenus montrent que les familles les mieux représentées sur sites d'étude sont les Asteraceae (26,1%), les Poaceae (15,2%), les Fabaceae (13,0%). Selon le type biologique, les thérophytes représentent la majorité avec 53,3% (24 espèces), suivis par les hémicryptophytes avec 40% (18 espèces). La diversité floristique de la zone étudiée révèle une forte représentation des espèces d'origine méditerranéenne, totalisant près de la moitié des espèces répertoriées. D'après les classes de fréquences, deux espèces sont classées comme très abondantes (IF=V), à savoir *Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis*.

Les résultats des analyses du sol révèlent des sols riches en calcaire avec une prédominance de la fraction argileuse qui dépasse les 40 % dans les quatre placettes étudiées. Ces dernières présentant un pH neutre ce qui indique l'instabilité des déchets en voie de décomposition.

Les analyses biochimiques des deux plantes sélectionnées *Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis* montrent que la chlorophylle présente des valeurs élevée qui atteint (45,52 mg /g) indiquant que ces deux espèces sont mieux adaptée aux conditions de stress ainsi qu'aux milieux perturbés.

Mots clés : Algérie, centre d'enfouissement technique, biodiversité, inventaire, échantillonnage, physicochimique, sol, biochimique

Introduction

La production des déchets est devenue un problème mondial de plus en plus important au cours de la dernière décennie en raison de l'augmentation croissante de la population mondiale et de la forte augmentation de la production de déchets (**Warith, 2003**).

En Algérie, la mise en décharge a toujours été le principal mode d'élimination des déchets. Depuis la promulgation de la loi 01-19 de 2001 relative à la gestion des déchets, la technicité de cette activité a considérablement progressé. Ainsi, le pays est passé des décharges sauvages, pratiquées depuis longtemps, à des décharges contrôlées, puis à des Centres d'Enfouissement Technique (CET) (**Aliouche et al., 2017**).

Le centre d'enfouissement technique des déchets ménagers et assimilés intercommunal Bordj Bou Arreridj présente des défis écologiques uniques dus à la gestion des déchets qu'il traite. Les déchets stockés peuvent libérer des substances toxiques et des contaminants qui affectent la qualité des sols, ainsi que la biodiversité végétale.

Dans le cadre de cette problématique l'objectif de notre travail est d'évaluer l'impact du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Bordj Bou Arreridj sur la diversité végétale et les sols sur laquelle elle repose.

Afin de répondre à notre objectif, la démarche adoptée comporte trois étapes :

- La première étape consiste à analyser des cartes topographiques et des images satellitaires (Google Earth) du CET de Bordj Bou Arreridj Cette analyse sera suivie par des sorties de prospection sur le terrain afin d'identifier la méthode d'échantillonnage pour l'étude de la diversité végétale et des caractéristiques des sols.

- La deuxième représente un inventaire floristique détaillé de la zone d'étude. L'évaluation de la biodiversité végétale sera faite à travers la détermination de la richesse floristique des placettes d'étude, l'abondance-dominance, la fréquence relative, le type biologique et phytogéographique de chaque espèce recensée.

- La troisième étape sera une étude d'évaluation de la qualité des sols par analyses des propriétés physico-chimiques.

- La quatrième étape sera de d'évaluer l'impact de la pollution générées par le CET sur la physiologie des plantes préalablement sélectionnées et qui sont caractéristiques des milieux perturbés, à travers des analyses biochimiques.

CHAPITRE I

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1. La gestion des déchets

De tous les temps et en tous lieux, la production des déchets a été inhérente aux activités humaines, qu'elles soient domestiques, agricoles, industrielles ou commerciales. Selon un nouveau rapport de la Banque Mondiale, au cours des trois prochaines décennies, la quantité de déchets produits chaque année devrait augmenter à 3,4 milliards de tonnes, en raison de l'urbanisation rapide et de la croissance démographique (Ngo et Regent, 2004). Cependant, les problèmes liés à leur gestion ont évolué en raison de l'augmentation continue des déchets urbains et industriels et de leur nature complexe (Mor et Ravindra, 2023). Leur mauvaise gestion entraîne plusieurs problèmes pour la société ainsi que divers problèmes de santé (Mor et Ravindra, 2023 in : Istrate et al., 2021).

La gestion des déchets est une préoccupation croissante et écrasante dans le monde entier, en particulier dans les pays en développement, où la production de déchets augmente fortement et où il n'y a pas d'infrastructure de collecte et de traitement suffisante. Elle est définie comme les activités de « collecte, transport, traitement, recyclage, élimination et surveillance » des déchets d'une manière qui minimise les dommages à la terre (Demirbas, 2011). Ces activités sont connues pour différer selon l'emplacement, la démographie et la nation. Même dans le même pays, elles sont connues pour différer dans leurs actions (Kayakutlu et al., 2017).

En Algérie, l'environnement est soumis à une pression intense dans le domaine de la gestion locale des déchets, notamment en ce qui concerne le dysfonctionnement des services en charge des déchets ménagers dans les grandes villes et qui a conduit à des problèmes de santé publique. En effet, les équipements de gestion des déchets ne répondent pas aux besoins des communautés locales (okkacha et al., 2014).

1.1. Généralité sur les déchets

Le terme « déchet » traduit l'idée de se défaire d'un produit dont une personne physique ou morale dispose, vers un exutoire dont elle préfère ne pas assumer la responsabilité et qu'elle souhaite oublier (Damien, 2023).

La loi algérienne (Loi 01-19, 2001) définit les déchets comme "tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, ou toute substance, matériau, produit ou objet, dont le détenteur se défait, projette de se défaire ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer" (Morsli et Sekkal, 2023).

Traditionnellement, les déchets étaient considérés comme des produits indésirables, polluants et dangereux, qu'il fallait éliminer. Cependant, un nouveau concept voit le jour,

selon lequel les déchets peuvent être considérés comme une ressource (**Morsli et Sekkal, 2023**).

1.2. Classification des déchets

a. Selon la nature

- **Déchets Dangereux (DD)** : Ce sont des déchets qui présentent une ou plusieurs propriétés dangereuses (comburant, inflammable, explosif, corrosif, cancérigène...etc) (**Grisey, 2013**).

- **Déchets Non Dangereux (DND)** : Les déchets non dangereux regroupent les déchets non toxiques qui proviennent de l'ensemble des activités économiques et des ménages (**Staub, 2010**).

- **Déchets Inertes (DI)** : Les déchets inertes sont des déchets non dangereux qui sont classés séparément et définis par leurs caractéristiques négatives. Ils ne brûlent pas ; ne se décomposent pas ; ne produisent aucune réaction chimique ou physique ; ne sont pas biodégradables et ne causent pas de détérioration des matières avec lesquelles ils entrent en contact (**Balet, 2016**).

b. Selon l'origine

- **Déchets Ménagers et Assimilés (DMA)** : Ils sont définis comme étant tous les déchets issus des ménages (résidus alimentaires, matières organiques, ...) ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales, et qui sont assimilables aux déchets ménagers lorsqu'ils ne présentent pas de caractère polluant ou dangereux (exemples : papier, verre, plastiques, textiles, carton, bois...etc) (**Addou, 2009 in : OuizaOuld, 2018**).

- **Déchets d'Activités de Soins (DAS)** : Ils représentent tous les déchets issus des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire (**Chaoui, 2020**).

- **Déchets Industriels Dangereux (DID)** : Ce sont tous les déchets qui peuvent avoir un risque pour la santé (par inhalation, ingestion ou contact cutané) et/ou pour l'environnement (polluants des compartiments air - eau - sol). Ils sont généralement constitués de produits chimiques, de solvants, de peintures, de batteries...etc. (**Morsli et Sekkal, 2023**).

- **Déchets Toxiques en Quantités Dispersées (DTQD)** : Ce sont les déchets dangereux issus des ménages en faibles quantités. Ils ne peuvent pas être collectés par la municipalité à cause du risque qu'ils représentent (exemples : désinfectants, acides, décapants, détergents).

1.3.Stratégies de traitement des déchets

1.3.1. Le traitement biologique

Le traitement biologique a pour effet de transformer les matières fermentescibles en un produit plus stable (A.D.E.M. E, 2000 *in* : Boureghda, 2022).

a. La méthanisation

La méthanisation est un processus biologique de dégradation anaérobie de la matière organique, poursuivant deux buts principaux : une valorisation énergétique par la production de biogaz, composé en majorité de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂), et une valorisation agronomique par la production de digestat (résidu organique liquide ou pâteux des déchets non digérés) (Dirrenberger, 2020).

b. Le compostage

C'est un procédé biologique de conversion et de valorisation des déchets organiques qui consiste à les faire fermenter dans des conditions contrôlées en présence d'oxygène (Moletta, 2009 *in* : Belkebir, 2018).

1.3.2. Le Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique permet de transformer des déchets grâce à des réactions chimiques ou des procédés physiques de séparation. Le choix du procédé de traitement doit être adapté selon différents paramètres : l'état physique du déchet et le type de polluant contenu (Laforest *et al.*, 2010).

a. Traitement par incinération

Cette méthode de traitement vise à protéger les personnes et l'environnement contre les déchets dangereux tout en réduisant leur volume (Brunne et Rechberger, 2015). Le processus d'incinération se déroule en présence d'une quantité d'air suffisante pour oxyder la matière première (carburant). Les déchets sont brûlés à une température de 850 °C et, à cette étape, ils sont convertis en dioxyde de carbone, en eau et en matériaux non combustibles avec un état de résidu solide appelé mâchefers d'incinérateur qui contient toujours une petite quantité de carbone résiduel (Defra, 2007).

b. Traitement par élimination

L'élimination consiste à se débarrasser des déchets par leur dépôt définitif ou leur destruction. Ces traitements sont des opérations de bout de chaîne, limitant les économies effectives de matière ou d'énergie (Saoud et Meddahi, 2022). A cet effet, citons :

- La mise en décharge

L'enfouissement insalubre ou décharge sauvage offre une solution plus simple et abordable pour l'élimination de la quantité croissante de déchets. Elle est pratiquée

couramment dans les pays en développement, ce qui constitue une menace sérieuse pour l'environnement (**Wang et Geng, 2015**).

- Le Centre d'Enfouissement Technique (CET)

L'enfouissement sanitaire est défini comme l'élimination contrôlée des déchets pour réduire leur impact négatif sur l'environnement grâce à la récupération du biogaz et à la gestion du lixiviat. Le CET est donc une décharge contrôlée conçue pour le stockage de déchets ultimes non valorisables afin de minimiser les risques de pollution ou de contamination (**Boukar, 2023**). C'est une installation d'élimination de déchets par dépôt ou enfouissement sur le sol ou dans des cavités artificielles ou naturelles, avec couverture ultérieure et réaménagement du site (**René, 2009**).

Le CET est composé (**Figure 1**) :

- d'une zone de service où le contrôle, l'admission et la pesée des déchets se font. Cette zone abrite également les bureaux, vestiaires et autres locaux ;
- d'une zone d'enfouissement qui comporte les casiers d'enfouissement et la station de traitement des lixiviats (liquides émanant des déchets) (**Demdoun, 2019**). Les déchets sont contrôlés à l'entrée du site et transportés jusqu'au casier en exploitation. Ils sont ensuite déversés sur une aire de réception, puis poussés à l'aide d'un engin à chenilles et étalés par couches fines. Le remplissage s'effectue par une succession de couches de 40 cm compactées jusqu'à atteindre la hauteur de 1,4 m. Elles sont ensuite recouvertes par une couche de terre inerte d'environ 10 cm. Une fois la capacité maximale des casiers atteinte, on procède à la fermeture, en installant un recouvrement (**Aliouche, 2006 in : Kehila et al., 2011**). Cette fonction d'étanchéité est assurée par des géo-membranes. Elles sont généralement utilisées pour remédier aux pertes d'eau par infiltration, ou pour éviter la migration de polluants dans le sol (**Arjoun, 2011**).

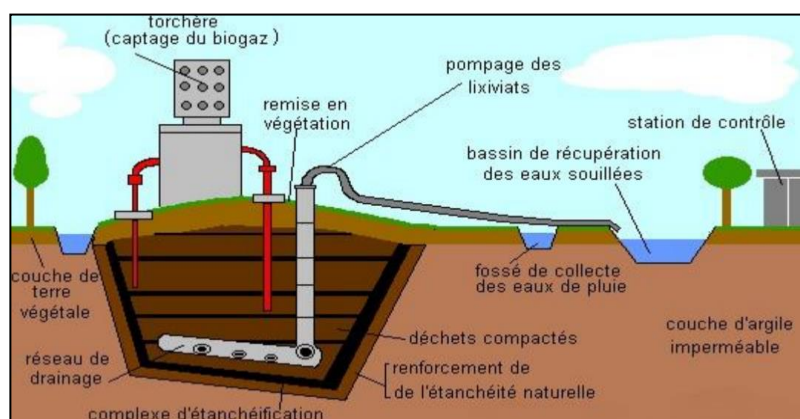


Figure 1 : Coupe d'un Centre d'enfouissement technique (**Arjoun, 2011**)

Il existe trois classes de CET :

- **CET de classe I** : Pour les déchets dangereux, toxiques (déchets industriels spéciaux traités et stabilisés, les cendres volantes des usines d'incinération, etc.) (**Chihaoui, 2017**).
- **CET de classe II** : Pour les déchets ménagers et assimilés : les ordures ménagères ; les déchets ménagers encombrants ; les déblais et gravats ; les déchets commerciaux (**Chihaoui, 2017**).
- **CET de Classe III** : Ne reçoivent que les déchets inertes d'origine domestique qui peuvent également être stockés dans les décharges de classe II (déchets de bricolage, déblais, gravats, déchets de chantiers ou de carrière) (**Sandjakdine, 2011**).

L'Algérie est confrontée à une augmentation constante de la production de déchets à l'échelle nationale. Cette augmentation n'est pas seulement une conséquence de la croissance démographique, mais aussi le résultat de modes de production et de consommation en constante évolution, couplés à une évolution du niveau de vie. Les autorités politiques algériennes ont choisi les centres d'enfouissement technique comme une technique compétitive et sûre si elle est bien conçue par rapport aux autres options de gestion des déchets (**Okkacha et al., 2014**).

Entre 2001 et 2005, 65 centres d'enfouissement technique ont été enregistrés, avec 16 achevés, 28 en cours de réalisation et 21 en phase d'études. En 2005, la quantité de déchets enfouis était de 864 tonnes par jour, par rapport à 72 tonnes par jour à l'ouverture en 2001. Le nombre de CET est passé à 80 projets, avec 20 achevés, 34 en construction et 26 en étude, comprenant 15 nouveaux projets. En 2010, ce nombre est passé à 100 CET, la plupart étant déjà réalisés. En fin d'année 2014, 112 centres d'enfouissement technique ont été réceptionnés, faisant partie d'un total de 300 projets similaires programmés dans le cadre du quinquennal 2010-2014. Pour l'année 2017, 141 centres d'enfouissement technique financés par l'état ont été recensés, dont 87 étaient déjà réalisés, 30 en cours et 24 en début de travaux (**Chihaoui, 2017**).

2. Impacts des décharges sur l'environnement

Le lixiviat d'une décharge est un liquide résultant de la décomposition des déchets, produit par leur compactage progressif. C'est une eau usée hautement polluée, formée par des processus biologiques, chimiques et physiques dans la décharge, ainsi que par la composition des déchets et le régime hydrique du site (**Postacchini et al., 2018**). Ce « jus » est constitué de diverses substances telles que des nutriments, des composés organiques et minéraux solubles, des métaux lourds, des particules en suspension et de nombreux

composés chimiques qui causent de graves dommages aux écosystèmes naturels (Naveen *et al.*, 2017 ; Arunbabu *et al.*, 2017).

Des gaz sont aussi générés lors de la décomposition des matières organiques déposées (papier, animaux, déchets alimentaires, matières végétales). Au cours du processus de décomposition biologique, les conditions dans la décharge passent d'un état aérobie à un état anaérobie à mesure que la disponibilité de l'oxygène dans les couches de déchets déposés diminue. Au cours des transformations biologiques, des Composés Organique Volatils (COV) sont formés, en plus du méthane (45-60%) et du dioxyde de carbone (40-60%) (TanseletInanloo, 2019).

Cependant, l'impact des décharges qu'elles soient sauvages ou contrôlée, plus précisément ses effluents (lixiviats et les biogaz) sur la biosphère et l'environnement sont, malheureusement, nombreux.

2.1. Sur le Biotope

La pollution des décharges est classée selon plusieurs aspects, en fonction de ses impacts environnementaux. Les catégories les plus courantes sont peut-être celles qui traitent de l'air récepteur (émissions), de l'eau (effluents) et du sol (dépotoirs et éliminations) (Hossainet *al.*, 2014).

- **Sur l'eau** : Si le lixiviat n'est pas correctement collecté, traité et géré, il peut potentiellement contaminer les plans d'eau de surface tels que les rivières, les lacs et les cours d'eau, ainsi que les ressources en eau souterraine (nappes phréatiques). Cela peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques, notamment les organismes qu'ils y abritent, en perturbant et en altérant leurs habitats, affectant ainsi leur survie et leur reproduction (Gunarathne *et al.*, 2024).

- **Sur le sol** : Le sol à proximité des décharges est généralement la région la plus contaminée de l'environnement parce que les substances toxiques sont transportées et dispersées lorsque l'eau pénètre dans ce dernier. De nombreux polluants nocifs, tels que les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), les métaux lourds (Plomb, Zinc, Cuivre...etc) et les produits pharmaceutiques, ont été trouvés dans le sol, dont certaines d'entre eux peuvent être absorbées par le sol et s'accumuler par diffusion (Swati *et al.*, 2018).

D'autre part, les gaz peuvent traverser le sol et remplacer l'oxygène du sol disponible, ce qui réduit la micro/macrofaune du sol et endommager les racines des plantes (Kjeldsen *et al.*, 2002).

-**Sur l'air** : Lors de la mise en décharge, divers polluants sont libérés dans l'air, tels que les matières particulaires (Bianet *al.*, 2018). Ils comprennent également des Composés

Organiques Volatils qui peuvent être toxiques en raison de leur composition chimique similaire à celle des déchets. Ces émissions résultent de processus de décomposition, de remise en suspension des déchets et d'autres activités liées à l'élimination de ces derniers (O'Dwyer *et al.*, 2018).

2.2. Sur la Biocénose

Les lixiviats issus des décharges peuvent avoir un impact négatif sur la biocénose. Ils peuvent avoir des effets indirects en réduisant la disponibilité de nourriture et d'abris adaptés, ou directes causant des dommages aux plantes et aux animaux. Cela peut entraîner des modifications dans la composition et l'abondance des espèces, la perte de biodiversité et la perturbation des fonctions et des services écosystémiques (Gunarathne *et al.*, 2024).

Le sol d'un site d'enfouissement non contrôlé contient des métaux lourds tels que le Cuivre (Cu), le Plomb (Pb), le Zinc (Zn), le Cadmium (Cd), le Chrome (Cr) et le Nickel (Ni) dépassant les directives réglementaires (Bhattacharyya *et al.*, 2008). La concentration excessive de ces métaux lourds pourrait affecter l'activité microbienne et entraver la qualité du sol, entraînant des conditions défavorables à la croissance des plantes (Rawat *et al.*, Singh, 2008).

La majorité des déchets municipaux constituent aussi une menace pour les habitants locaux (Mor et Ravindra, 2023). Les panaches provenant par exemple des décharges sont associés à des risques élevés pour la santé de la population vivant à proximité des sites d'enfouissement. Ces gaz sont responsables de divers problèmes de santé tels que la diarrhée, la dysenterie, les vomissements, les douleurs abdominales et l'hépatite (Mor et Ravindra, 2023 in Ravindra *et al.*, 2016 ; Mor *et al.*, 2018).

3. Solution pour la restauration des sites pollués : La phytoremédiation

L'une des techniques qui semble être la plus prometteuse pour décontaminer les sites pollués est la phytoremédiation (Slim *et al.*, 2015). C'est un processus de décontamination par les plantes. Les herbes, les arbustes et les arbres en association avec des micro-organismes, remédient à l'environnement (sol, eau et air) en dégradant, accumulant et stabilisant les contaminants (Gomes, 2012 ; Rajkumar *et al.*, 2012 ; Cameselle *et al.*, 2019). Il s'agit d'une "technologie verte" avec le potentiel d'éliminer les contaminants du sol tout en minimisant la génération de déchets secondaires.

D'après Nejad *et al.* (2018), la phytoremédiation des sols contaminés par des métaux lourds implique diverses étapes et processus :

3.1. La phytostabilisation

C'est une méthode visant à réduire le nombre de polluants dans des régions contaminées en accumulant les polluants dans les racines via les poils racinaires, en les adsorbant à la surface des racines, ou en les précipitant à l'intérieur de la rhizosphère de certaines espèces végétales. Les contaminants sont maintenus hors de la chaîne alimentaire et présentent une biodisponibilité réduite grâce à la restriction de la quantité pouvant être libérée par cette technique. La phytostabilisation maintient les polluants à distance dans les zones racinaires des plantes, les empêchant ainsi d'entrer dans les parties végétatives (**Hansaet al., 2024**).

3.2. La phytoextraction

Elle fait référence à l'absorption et à l'élimination de polluants par les racines ou les feuilles des plantes dans l'air, le sol et l'eau. À ce stade, il y a le transport et l'accumulation de substances toxiques dans les bourgeons, les feuilles et les tiges (**Guo et al., 2023**).

Certaines catégories de plantes dites phytoaccumulatrices se prêtent mieux à la décontamination des métaux toxiques grâce à leur propriété phytoextractive. Parmi ces plantes, les plantes hyperaccumulatrices peuvent accumuler 50 à 500 fois de métaux que la moyenne des plantes dans leurs racines ou les parties aériennes et sont même utilisées en phytomining pour l'extraction des métaux à partir des minerais (**Leblance et al., 1999 in : Ramamonjy et al., 2024**).

3.3. La phytodégradation

La phytodégradation, (ou phytotransformation) est le processus de dégradation des polluants organiques par les plantes grâce à l'utilisation d'enzymes telles que la déhalogénase et l'oxygénase. Les plantes sécrètent diverses enzymes qui peuvent dégrader directement les contaminants organiques. Ce processus n'est pas dépendant des microorganismes rhizosphériques (**Susarla et al., 2002 ; Vishnoi et Srivastava, 2008 ; Ali et al., 2013**). Il est important de noter que la phytodégradation se limite à l'élimination des impuretés organiques, car les métaux lourds ne sont pas biodégradables (**Susarla et al., 2002 ; Jabeen et al., 2009**).

3.4. La phytovolatilisation

Cette méthode signifie que les plantes absorbent des polluants du sol ou de l'eau, les transfèrent dans la partie aérienne, et les transforment en substances volatiles moins toxiques, principalement émises dans l'atmosphère via les feuilles et les tiges (**Guo et al., 2023**).

3.5. La phytostimulation

Ce processus consiste à stimuler les enzymes présentes sous les racines des plantes afin de remédier aux polluants et de les nettoyer. Le processus est réalisé par la libération de substances fluides dans les racines des plantes qui servent de nutriments aux micro-organismes du sol (Dakasku *et al.*, 2024 in : Shakoor *et al.*, 2017).

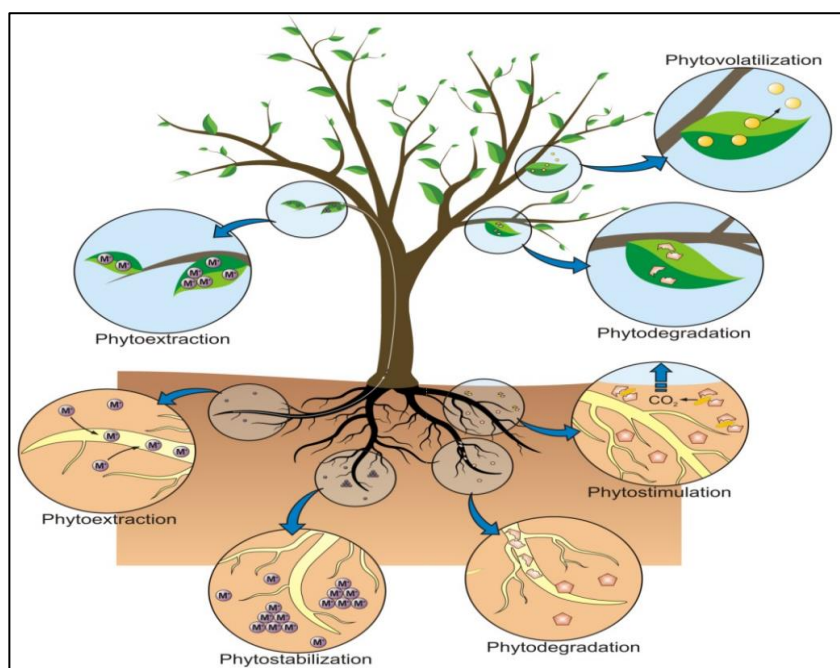


Figure 2 : Mécanismes des approches de remédiation dans les plantes (Alchimia, 2016)

Le tableau ci-dessous résume les stratégies de phytoremédiation adoptées par quelques espèces végétales afin de dépolluer un site contaminé par des éléments traces métalliques :

Tableau 1 : Stratégies de phytoremédiation par des espèces végétales (Hansa *et al.*, 2024)

Métal ciblé	Plante remédiatrice	Processus de décontamination
Arsenic (As)	<i>Pteris vittata</i> L.	Phytoextraction
Cadmium (Cd)	<i>Oryza sativa</i> L.	Phytoextraction
Chromium(Cr)	<i>Brassica juncea</i> L.	Rhizofiltration
Cobalt (Co)	<i>Berkheya coddii</i> L.	Phytoextraction
Plomb (Pb)	<i>Hemidesmus indicus</i> L.	Rhizofiltration
Mercure (Hg)	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Rhizofiltration
Nickel (Ni)	<i>Agropyron elongatum</i> L.	Phytostabilisation

4. Les systèmes d'informations géographiques (SIG) : un outil de gestion et d'aide à la décision

Le développement technologique a élargi le concept et l'utilisation des cartes, avec l'émergence de logiciels accessibles, tels que les Systèmes d'Information Géographique (SIG), qui permettent des analyses complexes et complètes (Lyseen AK *et al.*, 2014).

Le SIG permet une visualisation rapide de la situation. Il offre une base solide pour des ajustements stratégiques, en servant d'outil d'observation et d'aide à la décision, elle guide efficacement le développement futur du système en fournissant des données précieuses et des perspectives claires (Lamari et Makri ,2017).

Les professionnels de la conservation soutiennent les travaux de conservation de la biodiversité grâce à des cartes et des applications optimisées pour les processus de gestion et de surveillance. Basé sur des données géospatiales prêtes pour l'analyse, le SIG aide les spécialistes de la conservation à :

- Approfondir leurs connaissances sur les questions environnementales complexes,
- Comprendre les interdépendances entre espèces indigènes et activité humaine,
- Gérer efficacement les opérations et créer des rapports d'impact,
- Anticiper et limiter les risques liés au changement climatique et au développement incontrôlé (site 1).

CHAPITRE 2

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Présentation de la région d'étude

1.1. Cadre général et localisation géographique

La Wilaya de Bordj Bou Arreridj, située dans les hauts plateaux de l'Est algérien, s'étend sur l'axe Alger-Constantine au point géographique 36°06' de Latitude Nord et 4°30' de Longitude Est. Elle est délimitée au Nord par la wilaya de Bejaïa, à l'Est par Sétif, à l'Ouest par Bouira et au Sud par M'sila. Elle couvre une superficie d'environ 3921 km², avec des altitudes allant de 302 à 1885 m (Miara *et al.*, 2019) (Carte 1).



Figure 3 : Localisation géographique de la région d'étude

1.2. Réseau hydrographique

La région de Bordj Bou Arreridj est constituée de deux bassins versants dont l'un concerne la Soummam et l'autre le Chott El Hodna. Par ailleurs, les retenues collinaires font partie de ce réseau.

Le sens d'écoulement principal du bassin versant de la Soummam est Sud - Nord et couvre la moitié septentrionale de la wilaya à dominance marneuse ou argileuse imperméable. Il est à remarquer que les points d'eau sont peu fréquents. Le bassin versant de Chott El Hodna occupe la moitié méridionale de la région de Bordj Bou Arreridj. On note la présence de nombreuses sources d'eau (Boulaouad, 2018 *in*: Annani, 2013).

1.3. Géologie

La géologie de la région de Bordj Bou Arreridj se compose de deux grands ensembles : les Flyschs Numidiens d'une part et le domaine Tellien d'autre part. Les Flyschs Numidiens localisés au Nord, se composent de formations allochtones qui affleurent au niveau de Djebel Morissane. Le domaine Tellien à prédominances marneuses et schisteuses occupe le territoire de la commune de Bordj Bou Arreridj (**Boulaouad, 2018 in : Annani, 2013**).

1.4. Climat

La région de Bordj Bou Arreridj est caractérisée par un climat Méditerranéen et se trouve sous la triple influence de « l'Atlas Tellien » qui limite les précipitations hivernales (350-450 mm), le « Sahara » et « l'Atlas Saharien », responsables de masses d'air sec. Le climat de la région est semi-tempéré avec une température moyenne du mois le plus froid comprise entre 0 et 10°C (**Chourghal et al., 2018**).

1.4.1. Températures

À Bordj-Bou-Arreridj, les étés sont courts, très chaud, sec et dégagé dans l'ensemble et les hivers sont long, très froid et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 1 °C à 34 °C et est rarement inférieure à -3 °C ou supérieure à 37 °C (*Site 3*).

Les données relatives aux températures mensuelles moyennes pour la région de Bordj Bou Arreridj sont consignées dans le Tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Températures enregistrées à région d'étude (en °C) (2012-2022)

T (°C)/mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
M °C	10	12	15	18	23	29	33	33	27	22	15	11
m °C	1	1	4	6	10	15	18	18	15	10	5	2
(M+m)/2	5,5	6,5	9,5	12	16,5	22	25.5	25.5	21	16	10	6,5

M : Température moyenne mensuelle des maximas en (°C)

m : Température moyenne mensuelle des minima en (°C)

(M + m) / 2 : Température moyenne mensuelle des températures moyennes en (°C)

1.4.2. Précipitations

La saison connaissant le plus de précipitation dure 9 mois, du 1 Septembre au 2 Juin. La saison la plus sèche dure 3 mois, du 2 Juin au 1 Septembre. Le moins ayant le moins de jours de précipitation à Bordj-Bou-Argeridj est Juillet (**Site 3**).

Les données relatives aux températures mensuelles moyennes pour la région de Bordj Bou Argeridj sont consignées dans le Tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Moyenne mensuelles et annuelles des précipitations (mm) (2012-2022)

Période/Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUI	OUT	SEP	OCT	NOV	DEC
P (mm)	48,9	45,1	44,7	50,6	42,6	16,5	5,5	12,9	33,1	35,6	44,3	50

Selon le climagramme d'EMBERGER (**Figure 4**) qui permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée à partir de la formule : $Q2 = 2000 [P / (M^2 - m^2)]$, où :

P : précipitation annuelle (mm).

M : la température maximale du mois le plus chaud en °C.

m : la température minimale du mois le plus froid en °C.

Q : le quotient pluviométrique d'EMBRGER.

P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm.

Il classe la région de Bordj Bou Argeridj dans l'étage bioclimatique « **semi-aride à hiver frais** ».

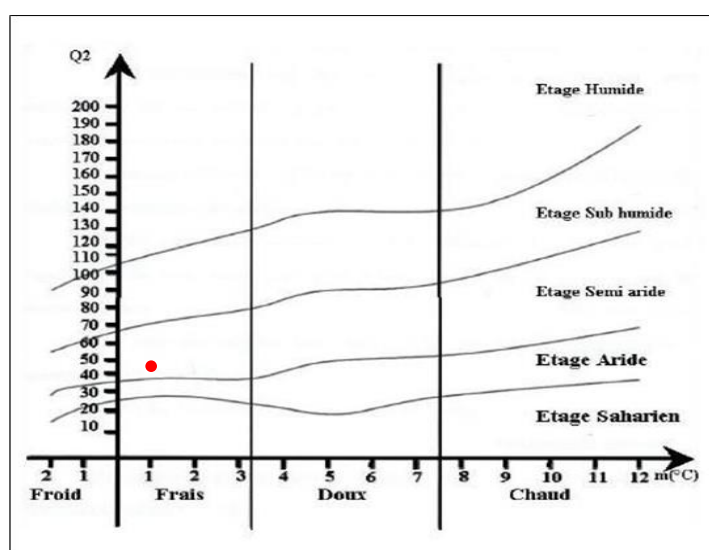


Figure 4 : Etage bioclimatique de la région d'étude selon le climagramme d'Emberger

1.5. Végétation

La région de Bordj Bou Arreridj occupe une place stratégique au sein de l'Est algérien par ses richesses végétales, dont le couvert constitue plus de 20% de la totalité du territoire de la wilaya. Selon la conservation des forêts, ces 20% sont constitués de forêts, soit 75 880 hectares. Toute la région Nord, c'est-à-dire la daïra d'El-Djaâfra, Zemmourah, la région Ouest de la daïra de Mansourah, constituent un vaste territoire forestier. Dans ces régions, le pin d'Alep et le chêne vert forment tous deux 99% du couvert végétal. Tandis que la région de Sud-Est est caractérisée par le cèdre (**Seddiki et Zaoui, 2020 in : Info Soir, 2004**).

La région est à vocation agricole, notamment céréalière. Les potentialités sont de 246 154 hectares de terres agricoles et de 87 000 hectares de terres consacrés à la céréaliculture. Au Nord, la zone montagneuse des Bibans est dominée par l'arboriculture, surtout l'olivier et le figuier. Le Sud-Ouest est une zone steppique à vocation pastorale où se pratique une agriculture extensive avec association céréaliculture-jachère.

2. Méthodologie de travail

La présente étude porte sur l'impact du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Bordj Bou Arreridj sur la diversité végétale et les sols sur lesquelles elle se développe. Les objectifs principaux sont : d'évaluer la diversité végétale ; de réaliser des analyses physico-chimiques du sol, et d'effectuer des analyses biochimiques de plantes caractéristique de ce milieu perturbé.

2.1. Présentation du site d'étude

Le Centre d'Enfouissement Technique de Bordj Bou Arreridj est constitué :

- D'un bâtiment administratif, une zone de contrôles et un pont bascule ;
- D'une aire de stockage des déchets, représenté par deux casiers : le premier casier qui est clôturé possédait une capacité de 150 000 m³ fermé ; le second d'une capacité de 130 000 m³ est déjà saturé mais en cours d'exploitation (**photo 1**).
- De Bassins et de stations de traitement des lixiviats d'une capacité de 80m³/j et qui sont en cours de réalisation par le Ministère d'environnement.

Notons qu'un troisième casier est en cours de réalisation afin d'accueillir les quantités de déchets journaliers dans un futur proche (**EPWG CET, 2024**).



Figure 5 : Etat des lieux du CET de Bordj Bou Arreridj

2.2. Stratégie d'échantillonnage adoptée

Dans le cadre de cette étude, trois sorties au niveau du CET de Bordj Bou Arreridj ont été effectuées au début du mois d'Avril 2024.

Suite à la prospection préliminaire du site, la méthode d'échantillonnage adoptée pour évaluer l'impact direct et indirect des déchets sur la biodiversité végétale est l'échantillonnage aléatoire stratifié. Cette approche permet de garantir une couverture représentative des différentes conditions présentes dans le CET.

Ainsi, nous avons prospecté quatre stations (placettes) basées sur l'âge (degrés de maturité) des déchets et l'état des casiers, à savoir :

- Un casier en cours de réalisation (**placette 1**) ;
- Un casier fonctionnel : Casier actuellement en usage (**placette 2**) ;
- Un casier fermé : Casier qui a été utilisé et qui est maintenant fermé (**placette 3**) ;
- Une décharge sauvage fermée : Ancienne zone de décharge qui n'est plus en usage (**placette 4**) (Carte 2).

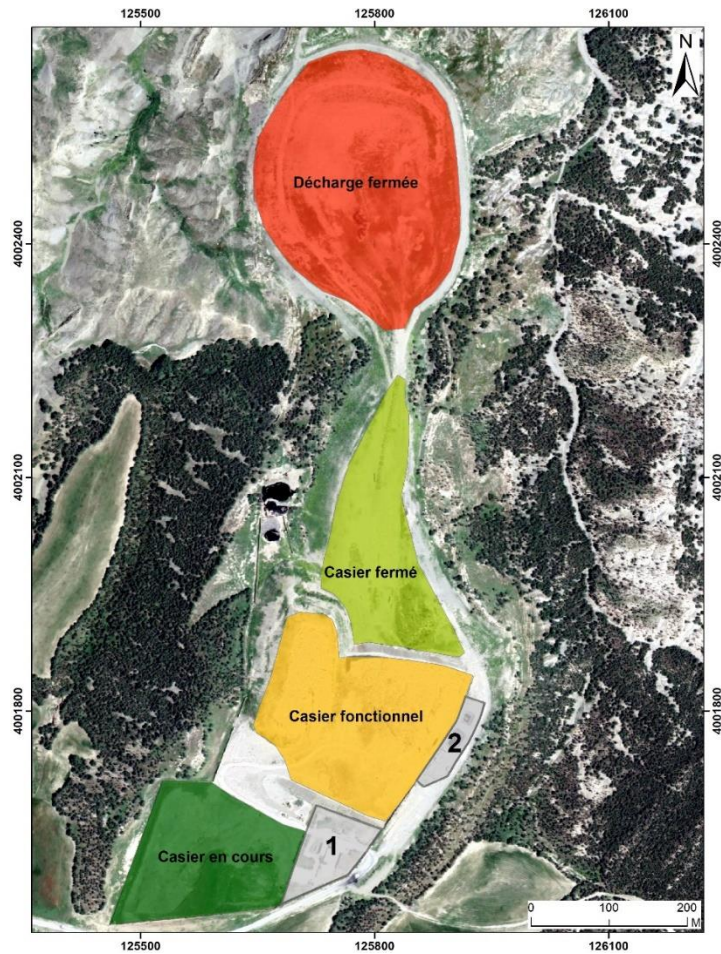


Figure 6 : Vue d'ensemble du CET de Bordj Bou Arreridj

3. Etude de la biodiversité végétale

L'étude de la diversité végétale au sein du CET a été réalisée en appliquant la méthode physionomique. Cette dernière consiste à faire des relevés de végétation sur une surface de référence de taille adaptée à la formation végétale étudiée et dans un ensemble homogène.

Dans chaque placette choisie, trois relevés floristiques ont été réalisés tout en veillant au respect du critère d'homogénéité structurale floristique et écologique.

Au total, nous avons relevé la flore présente au sein de 12 placettes de 16 m², réparties dans un ensemble de quatre placettes (**Carte 3**).

L'évaluation de la biodiversité végétale s'est faite à travers la détermination de la richesse floristique des placettes d'étude, l'abondance-dominance, la fréquence relative, le type biologique et phytogéographique de chaque espèce recensée. L'identification des espèces s'est faite sur terrain ou à l'aide du guide de **Quezel et Santa, (1962)**.

L'ensemble des relevés a été regroupé dans un tableau dit floristique brut à double entrée (relevés/espèces), comportant la liste floristique de tous les relevés : en colonne, les

relevés et en lignes les espèces ; à l'intersection lignes x colonnes est mentionné leur coefficient d'abondance-dominance et de sociabilité. La richesse floristique et la fréquence ont été déterminées à partir de la liste des relevés.

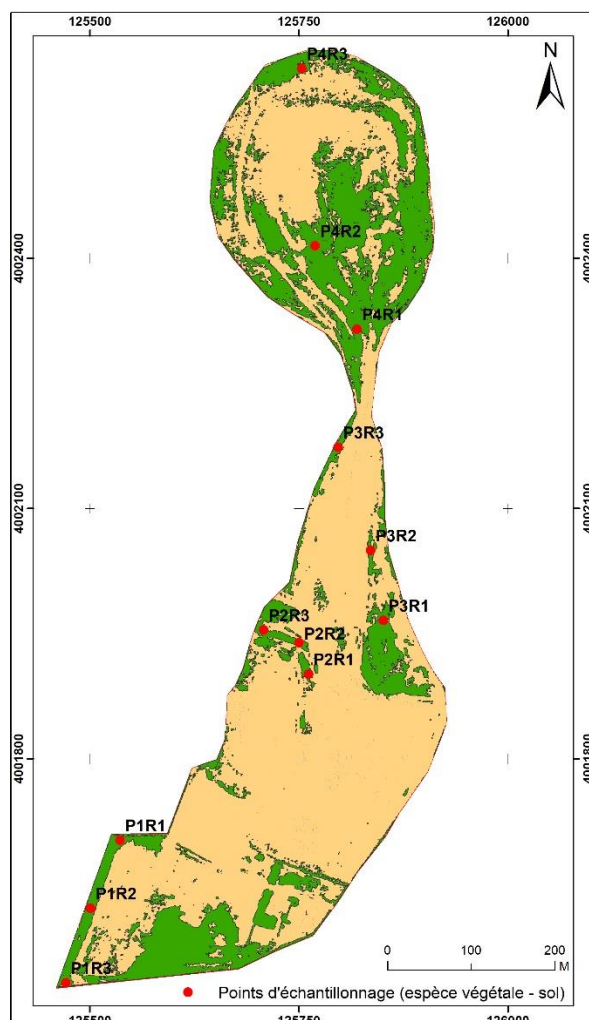


Figure 7 : Distribution spatiale des points d'échantillonnage

La famille et le genre de chaque espèce ont été déterminés. Les types biologiques et phytogéographiques auxquels appartient chaque espèce rencontrée sont illustrés à l'aide des spectres bruts.

3.1. Coefficient d'abondance-dominance et de sociabilité

Les espèces identifiées ont été affectées de deux indices : le premier concerne l'abondance-dominance en utilisant l'échelle de Braun Blanquet (1952) qui traduit l'importance prise par l'espèce au sein du groupement. Les coefficients d'abondance-dominance attribués aux espèces sont :

(+) : espèces dont le degré de recouvrement est insuffisant pour justifier une évaluation ;

- (1) : espèces recouvrant moins de 5% ($< 1/20$) de la surface de référence ;
- (2) : espèces recouvrant de 5 à 25 % ($1/20$ et $1/4$) de la surface de référence ;
- (3) : espèces recouvrant de 25 à 50 % ($1/4$ et $1/2$) de surface de référence ;
- (4) : espèces recouvrant de 50 à 75 % ($1/2$ et $3/4$) de la surface de référence ;
- (5) : espèces recouvrant de 75 à 100 % ($> 3/4$) de la surface de référence.

Le second indice concerne la sociabilité. Cette valeur, suivant une échelle de 1 à 5 d'après Braun-Blanquet, désigne le degré de dispersion spatiale des individus :

- (1) : isolés ;
- (2) : en groupes ;
- (3) : en troupes ;
- (4) : en petites colonies ;
- (5) : en peuplement.

3.2. Richesse floristique

La richesse floristique d'un territoire est le nombre d'espèces recensées à l'intérieur de ses limites (Gboze *et al.*, 2020).

3.3. Fréquence relative

D'après Faurie *et al.*, (1980), c'est une notion statistique qui s'exprime par rapport à la fréquence d'une espèce. Selon Chehema, (2005), elle est calculée en pourcentage selon la formule suivantes : $F(x) = n / N \times 100$, où :

n : nombre de relevés de l'espèce x

N : nombre total de relevés réalisés

3.4. Coefficient de similitude de Sorensen (Q)

D'après Dibong et Ndjouondo, (2014), cet indice met l'accent sur la présence conjointe de deux espèces au même endroit. Il est calculé selon la formule suivante : $Q = [2a / (2a + b + c)]$, où :

a : nombre d'espèces communes aux deux milieux ;

b : nombre d'espèces présentes dans le milieu A et absentes dans le milieu B,

c : nombre d'espèces présentes dans le milieu B et absentes dans le milieu A () .

3.5. Création de cartes thématiques de la biodiversité

3.5.1. Prétraitement des données

Nous avons installé le logiciel SIG qui est « ArcGIS » afin de créer des cartes, analyser des données et collaborer. Nous accéderons ainsi à des applications, des cartes et des données spécifiques à nos flux de travail, ainsi qu'à des outils de mobilité sur le terrain. Ensuite, nous avons téléchargé une image satellite de notre site d'étude à partir de la

plateforme « Google Earth Pro ». Nous avons extrait les coordonnées géographiques en degrés décimaux à partir de ce dernier.

3.5.2. Traitement des données

Nous avons inséré les coordonnées géographiques en tant que points d'étalonnage dans l'image satellite que nous avons importé dans le SIG. Ce processus permet de géoréférencer l'image et de l'aligner avec les emplacements géographiques réels représentés par les coordonnées.

Après la géoréférencement de l'image satellite, nous avons numérisé les données de notre site d'étude (placettes d'étude). Ensuite, nous avons réparti nos points de prélèvement en utilisant les coordonnées obtenues à l'aide d'un GPS lors de notre sortie sur le terrain. Nous avons exporté les coordonnées depuis Excel vers ArcGIS, créant ainsi une table que nous avons ajoutée à la table attributaire des points conçus dans le logiciel.

En ce qui concerne la mise en page, nous avons ajouté des éléments tels que l'échelle, la légende et le nord géographique.

Enfin, nous avons créé des cartes thématiques en intégrant les résultats descriptifs obtenus à partir du travail sur terrain. Ces cartes représentent : la carte de localisation des relevés floristiques et des points d'échantillonnages du sol et des plantes sélectionnées ; la carte de distribution de la richesse spécifique dans chaque placette étudiée et la carte des classes de fréquence des espèces recensées.

4. Etude des propriétés physico-chimiques des échantillons de sol

Les échantillons de sol prélevés ont été soumis à une série d'analyses physico-chimiques afin de caractériser leurs propriétés et pour mieux comprendre les conditions qui régissent l'évolution du sol dans les placettes étudiées. Ces analyses se résument au dosage du : le pH, la conductivité électrique (CE), l'humidité (H%), la matière organique (MO), la granulométrie, la porosité et le calcaire actif et total (**Voir annexe 1**).

5. Etude des propriétés biochimiques des plantes sélectionnées

Afin d'évaluer l'impact des stress environnementaux sur la physiologie des plantes, deux espèces caractéristiques des milieux perturbés ont été sélectionnées d'après les résultats de l'étude de la diversité floristique du site d'étude. Ces espèces sont : « *Moricandia arvensis* L. » et « *Sinapis arvensis* L. ». Des analyses biochimiques sur ces espèces sélectionnées ont été effectuées, à savoir : la teneur en chlorophylle et la teneur en eau des tissus végétaux (**Voir annexe 2**). Ces mesures fourniront des indications sur la santé des plantes et leur capacité à s'adapter aux conditions difficiles.

5.1. Description botanique des espèces sélectionnées

5.1.1. *Sinapis Arvensis* (L.)

La moutarde des champs est une plante annuelle de la famille des brassicacées, velue-hérissée ; tige de 30-80 cm, dressée, rameuse ; feuilles inférieures lyrées, les supérieures sessiles, ovales ou oblongues, sinuées-dentées ; pédicelles fructifères épais, bien plus courts que les siliques ; siliques étalées-dressées, oblongues, bosselées, glabres, rarement appliquées ou hérissées ; valves à 3-5 nervures ; bec conique, en alêne, un peu plus court que les valves ; graines globuleuses, brunâtres, lisses.

Sinapis Arvensis est typique des sols neutres à calcaires. Elle pousse peu en sol acide. Elle préfère les sols argileux à limoneux mais peut aussi se retrouver en sol léger ou en terre noire. (Bond *et al.*, 2006 ; site 4).



Figure 8 : Vue générale de *Sinapis Arvensis* (L.)

5.1.2. *Moricandia arvensis* (L.)

Moricandia arvensis (Chou des champs) est une plante pérenne de la famille des brassicacées, ligneuse, à feuilles charnues, cordiformes et amplexicaules (qui embrassent la tige) à la base. Les fleurs sont composées de grands pétales violets, de 15 à 20 mm de longueur. Les fleurs lilas et pâles fournissent des graines unisériées. Ordinairement, *Moricandia arvensis* est une plante sous-frutescente à frutescente au fruit silique. (Hasnaoui *et al.*, 2006).



Figure 9 : Vue générale de *Moricandia Arvensis* (L.)

CHAPITRE 3

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Analyse de la diversité végétale

La figure 5 montre la répartition en pourcentage des différentes familles de plantes présentes dans le CET de Bordj Bou Arreridj.

Les Asteraceae dominent avec 26,1% des espèces, suivies des Poaceae (15,2%), Fabaceae (13,0%), Brassicaceae (10,9%) et Papaveraceae (8,7%). Les Amaranthaceae représentent 6,5% des espèces, tandis que les Geraniaceae en comptent 4,3%. Les familles Boraginaceae, Convolvulaceae, Cucurbitaceae, Hyacinthaceae, Malvaceae, Primulaceae, et Resedaceae ont chacune une seule espèce répertoriée, représentant chacune 2,2% du total. Cette distribution reflète une forte diversité dans certaines familles et une présence plus limitée dans d'autres, probablement en raison de conditions écologiques spécifiques favorisant certaines familles de plantes.

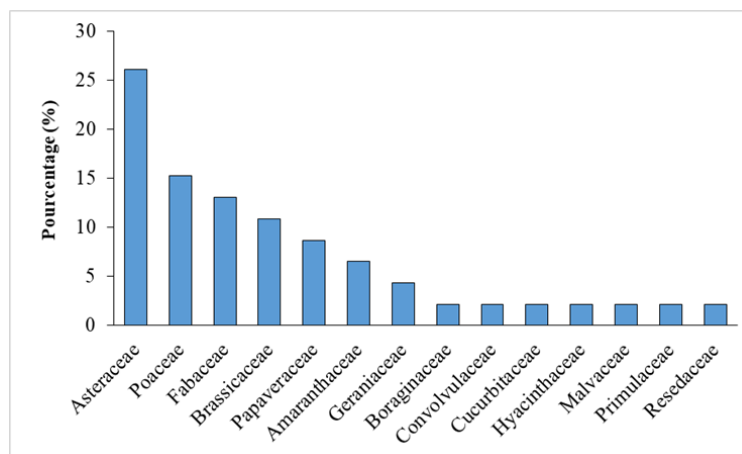


Figure 10 : Spectre spécifique des familles

La figure 6 montre la répartition des espèces selon le type biologique. Les thérophytes représentent la majorité avec 53,3% (24 espèces), suivis par les hémicryptophytes avec 40% (18 espèces). Les chaméphytes sont moins représentés avec 4,4% (2 espèces), et les géophytes sont les moins nombreux avec seulement 2,2% (1 espèce). Cette distribution indique une prédominance des thérophytes et des hémicryptophytes, suggérant que les plantes annuelles et celles qui survivent par des structures proches du sol sont particulièrement adaptées à l'environnement étudié. Les chaméphytes et géophytes, bien que présents, constituent une minorité, ce qui pourrait refléter des conditions écologiques moins favorables pour ces types biologiques dans ce type de milieu.

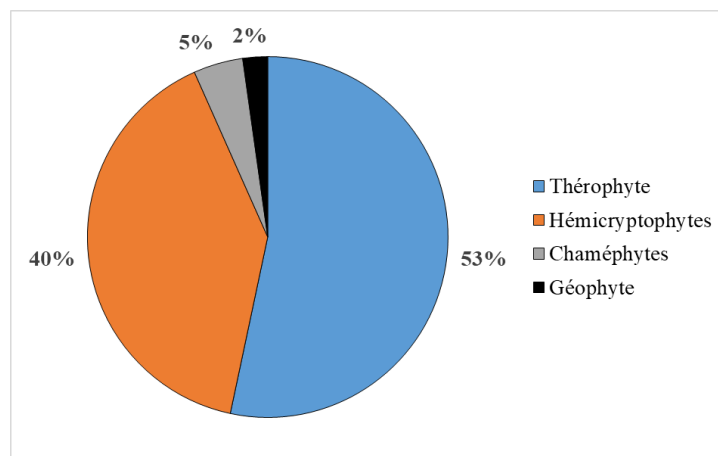


Figure 11 : Répartition des espèces selon le type biologique

La figure 7 montre la répartition des espèces selon leur type phytogéographique. La diversité floristique de la zone étudiée révèle une forte représentation des espèces d'origine méditerranéenne, totalisant près de la moitié des espèces répertoriées. En effet, sur les 45 espèces étudiées, 22 sont méditerranéennes, ce qui équivaut à 48,9% du total. En outre, d'autres types phytogéographiques sont également présents, bien que moins dominants. Le groupe méditerranéen-atlantique et les espèces cosmopolites représentent chacun 11,1% du total.

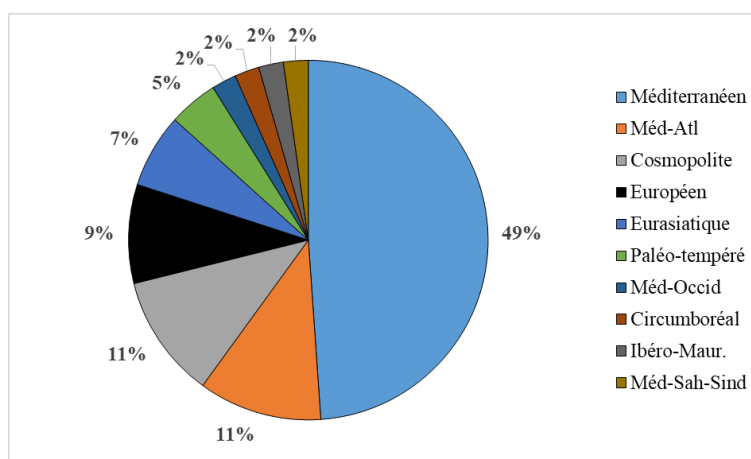


Figure 12 : Répartition des espèces selon le type phytogéographique

Les types tels qu'euro-asiatique, européen et paléo-tempéré témoignent de liens historiques et géographiques entre les régions, avec des pourcentages respectifs de 6,7%, 8,9% et 4,4%. Des associations plus spécifiques sont également observées, comme le groupe méditerranéen occidental (2,2%) et le méditerranéen-saharo-sindien (2,2%), mettant en lumière des nuances dans la distribution géographique des espèces.

La figure 8 et la carte 4 représentent la richesse spécifique et leur distribution spatiale dans chaque placette d'étude. On peut observer que la placette 1 (casier en cours de réalisation) se distingue par sa richesse exceptionnelle en termes d'espèces (31 espèces), ainsi qu'une diversité remarquable de familles (11 familles). En comparaison, la deuxième placette (casier fonctionnel) présente une réduction notable de cette diversité, avec seulement 19 espèces réparties en 8 familles. La troisième placette (casier fermé) se situe entre les deux extrêmes, affichant une diversité intermédiaire avec 22 espèces et 10 familles. Enfin, la quatrième placette (casier en cours) montre la plus faible diversité, abritant seulement 8 espèces provenant de 6 familles différentes.

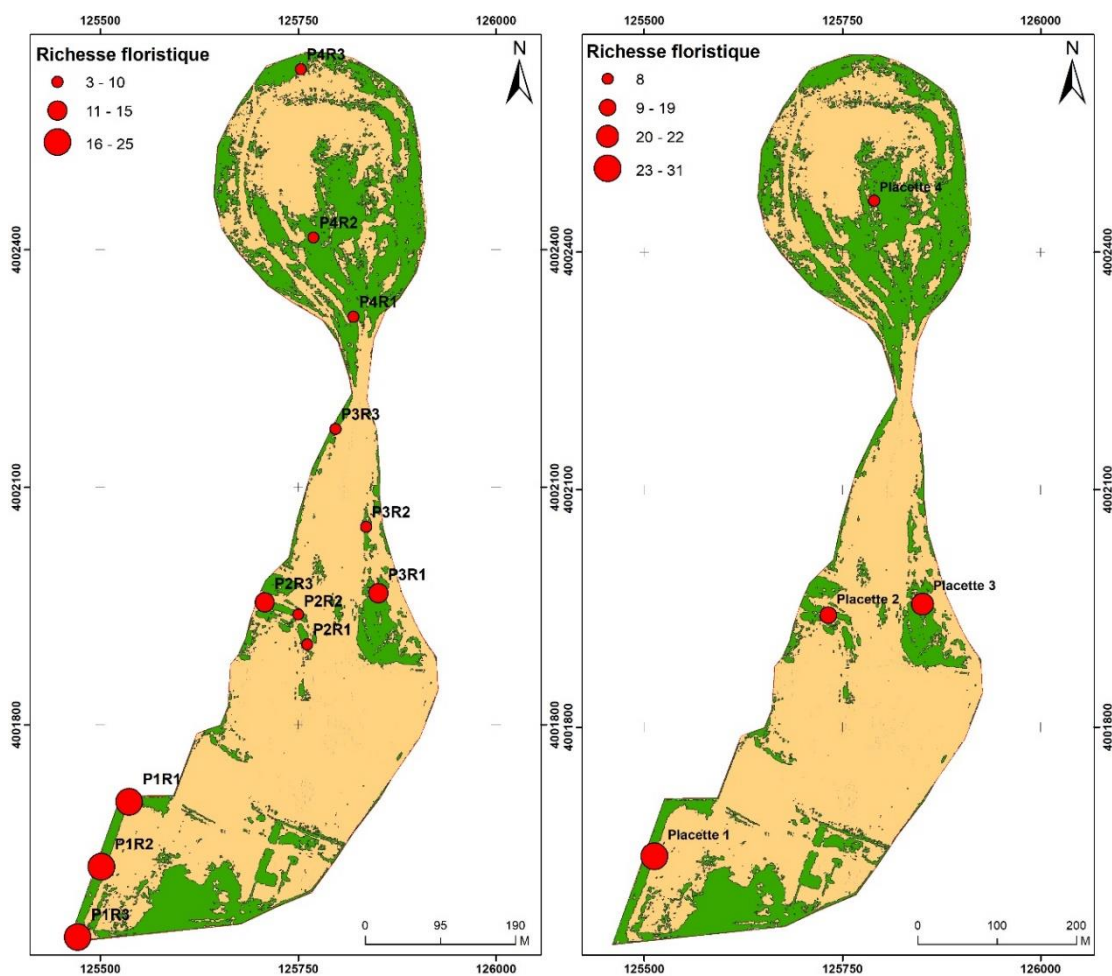


Figure 13 : Distribution spatiale de la richesse spécifique dans le site d'étude

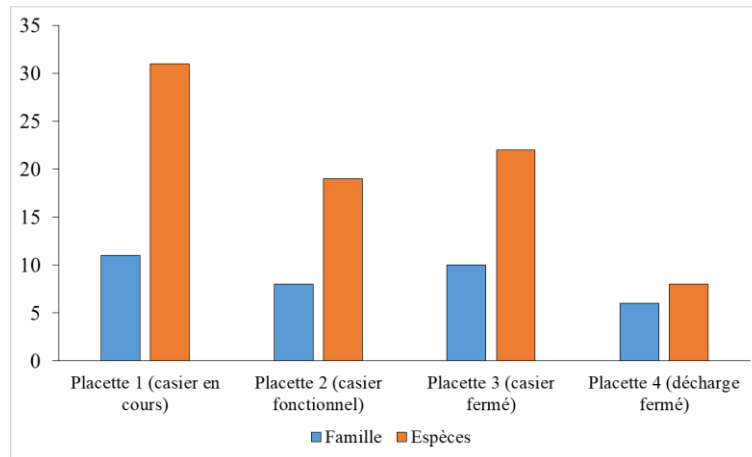


Figure 14 : Richesse spécifique par placette d'étude

Le tableau 4 montre l'indice de similarité entre placettes d'étude. Cet indice permet d'évaluer à quel point les différentes placettes partagent une végétation similaire.

On peut observer une forte homogénéité entre les placettes P2- P3 (61,5%). Cette haute valeur indique que ces deux placettes présentent une composition végétale extrêmement proche et homogène. Les placettes P1-P2 présentent une similarité de 52%, indiquant une similarité modérée entre elles, partageant plus de la moitié des espèces ou des caractéristiques mesurées.

La similarité entre les placettes P1-P3 est légèrement plus basse à 46,1%, ce qui suggère une similarité modérée à faible, partageant un peu moins de la moitié des caractéristiques.

Pour les placettes P1-P4 (27,6%), P3-P4 (26,6%) et P2-P4 (22,2%) les indices de similarité indiquant une faible similarité, avec seulement environ un quart des caractéristiques partagées.

Tableau 4 : Matrice de l'indice de similarité entre placettes d'étude

	Placette 1	Placette 2	Placette 3	Placette 4
Placette 1	-			
Placette 2	52%	-		
Placette 3	46.1%	61.5%	-	
Placette 4	27.6%	22.2%	26.6%	-

La figure 9 et la carte 5 représentent la distribution spatiale des classes de fréquence d'occurrence des espèces inventoriées en utilisant l'échelle de Durietz. Deux espèces sont classées comme très abondantes (IF=V), à savoir *Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis*,

tandis qu'environ 4 espèces sont considérées comme abondantes (IF=IV). Les espèces fréquentes (IF=III) sont au nombre d'environ 15, tandis que les espèces rares (IF=II) sont estimées à environ 25. Aucune espèce n'a été identifiée comme très rare (IF=I).

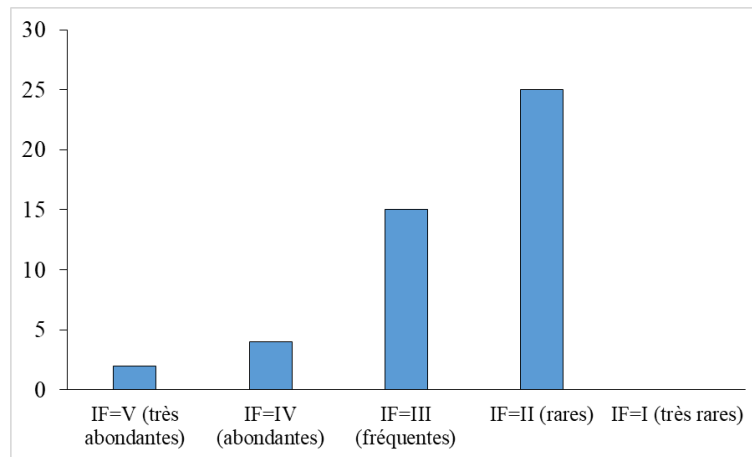


Figure 15 : Classification des espèces selon leur fréquence d'occurrence

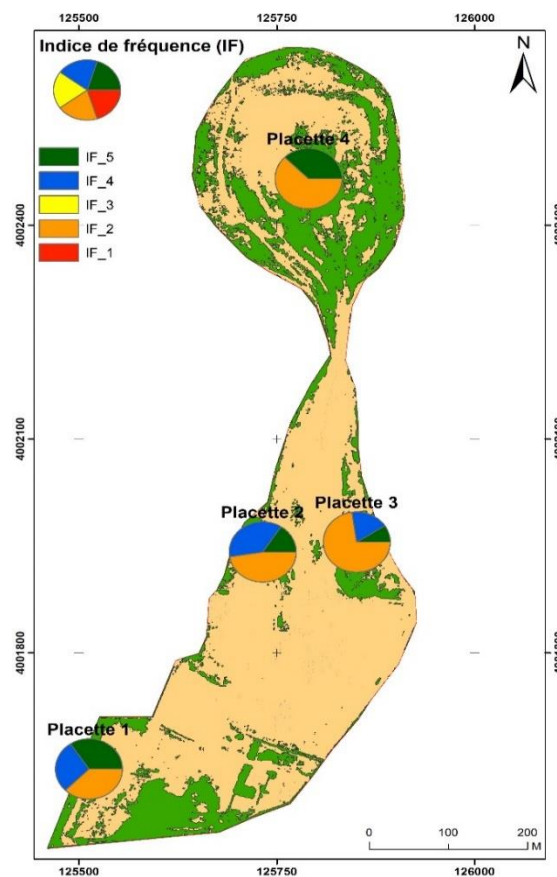


Figure 16 : Distribution spatiale des classes de fréquence d'occurrence des espèces recensées

2. Analyse des propriétés physico-chimiques du sol

Les analyses du sol révèlent un pH neutre à tous les points, devenant légèrement alcalin au niveau de la placette 4. Selon un rapport rédigé à la demande des ministères français de l'Environnement et de la Santé en 2004, les décharges dont le pH varie entre 6,5 et 7,5 indiquent un âge compris entre 5 et 10 ans (Mejraoua et Zine, 2017). Ainsi, les dépôts du centre d'enfouissement peuvent être considéré comme jeune et ne sont pas encore stable (Figure 10).

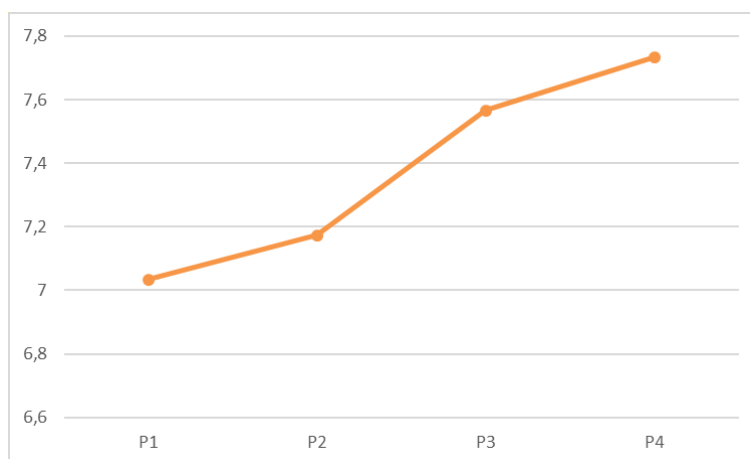


Figure 17 : Variation du pH dans les 4 placettes

L'évaluation de la conductivité électrique des sols étudiés révèle des valeurs élevées présentant une distribution inégale, variant entre 176,7333 et 1299,333, enregistrées respectivement au niveau de la décharge fermée et du casier fermé. Cette variation de la conductivité électrique semble étroitement liée aux différents stades de décomposition des déchets du centre d'enfouissement technique (Figure 11).

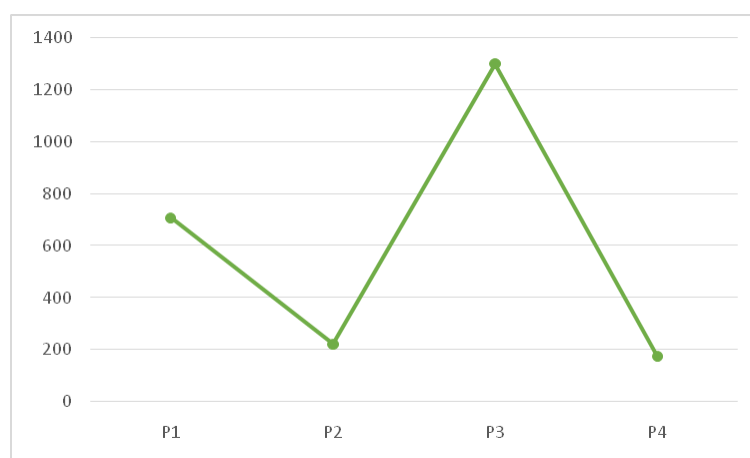


Figure 18 : Distribution des valeurs de la conductivité électrique

En effet, ces fortes valeurs enregistrées peuvent être attribuées à la teneur élevée en sels solubles présents dans les déchets ménagers et libérés dans les lixiviats.

La porosité du sol est une mesure de l'espace vide ou des pores présents dans le sol. Ces pores peuvent être remplis d'air ou d'eau. La porosité est obtenue par la relation densité apparente densité réelle, en fonction de cette relation il ressort que nos sols présentent une bonne porosité, elle varie entre un minimum de 30,20 au niveau du casier fermé et un maximum de 41,30 au niveau du casier fonctionnel, ces valeurs influence directement la capacité du sol à retenir et à transporter l'eau (**Figure 12**).

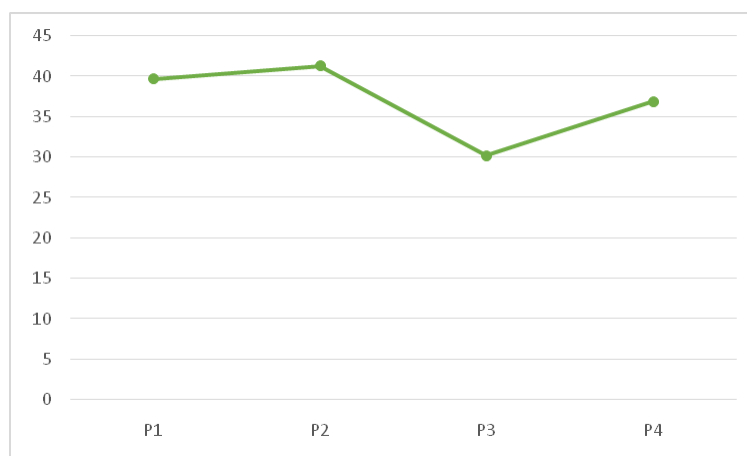


Figure 19 : Graphique de la porosité du sol

D'une manière générale, l'analyse de l'humidité du sol présente des valeurs moyennes à élevées, suggérant une faible perméabilité qui se traduit par une rétention importante de l'eau. Cette caractéristique est confirmée par l'analyse granulométrique, qui révèle une prédominance d'argiles dans les sols étudiés.

En effet, le nouveau casier, le casier fermé et la décharge fermée enregistrent des valeurs moyennes, alors que le casier fonctionnel enregistre une augmentation significative. Cette dernière se concorde avec l'évolution des argiles (une texture fine) dans ce sol.

En résumé, les sols examinés sont principalement composés d'argiles, ce qui entraîne une faible perméabilité et une forte rétention d'eau. Cette tendance est particulièrement marquée dans le casier fonctionnel, où la proportion d'argiles semble augmenter, ce qui peut avoir un impact sur divers aspects de la gestion et de l'utilisation des sols dans cette zone.

L'analyse du suivi de la matière organique révèle une répartition uniforme, avec une moyenne de 5,6 %, ce qui suggère une faible teneur générale. L'évaluation du taux de matière organique met en évidence la pauvreté des sols des parcelles étudiées, probablement

attribuable à leur nature calcaire, qui tend généralement à présenter une faible concentration en matière organique (**Figure 13**).

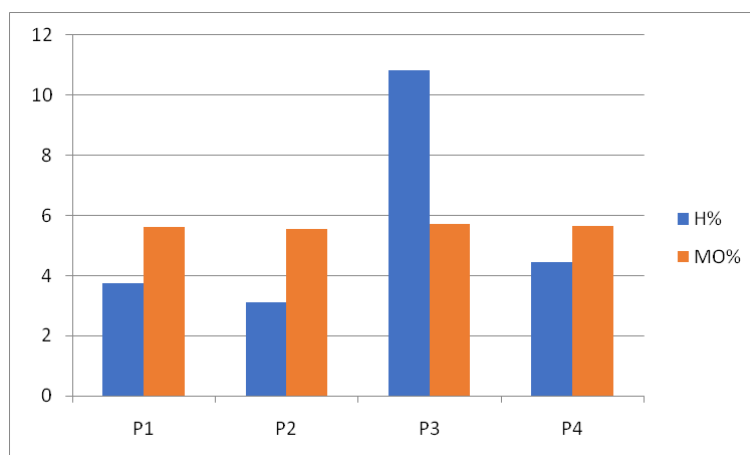


Figure 20 : Taux d'humidité et de matière organique du sol

La concentration en calcaire des sols examinés est élevée, avec une répartition similaire entre le calcaire total et actif, variant de 9,17 % à 13,73 % pour le calcaire actif et de 19,97 % à 28,57 % pour le calcaire total (Fig. 5). Dans les Placettes P2 (casier fonctionnel) et P3 (casier fermé), les niveaux de calcaire sont les plus élevés, suggérant un sol calcaire. Cependant, dans les Placettes P1 (casier en cours) et P4 (ancienne décharge sauvage), les quantités de calcaire actif et total sont nettement inférieures, ce qui indique des sols modérément calcaires (**Figure 14**).

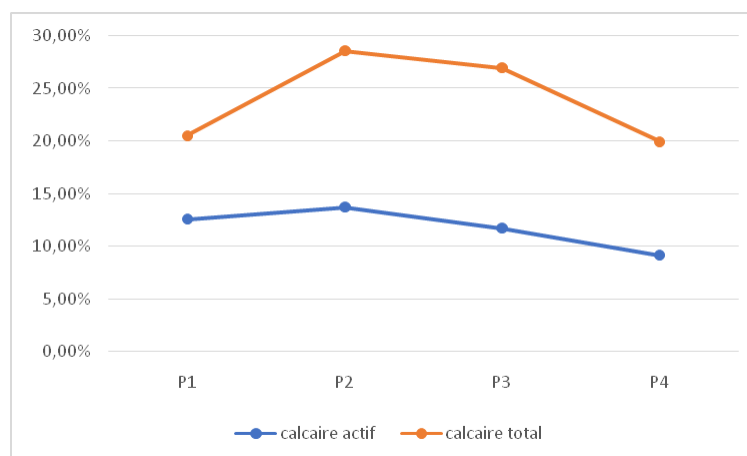


Figure 21 : Taux du calcaire total et actif dans le sol

La figure 15 illustre la répartition des classes texturales des différents points étudiés selon le triangle textural. L'analyse de la fraction minérale de ces sols révèle la prédominance de la

fraction argileuse pour la quasi-totalité des points prélevés. En effet, l'abondance des argiles suggère que le sol est peu perméable, ce qui limite les infiltrations vers le sous-sol.

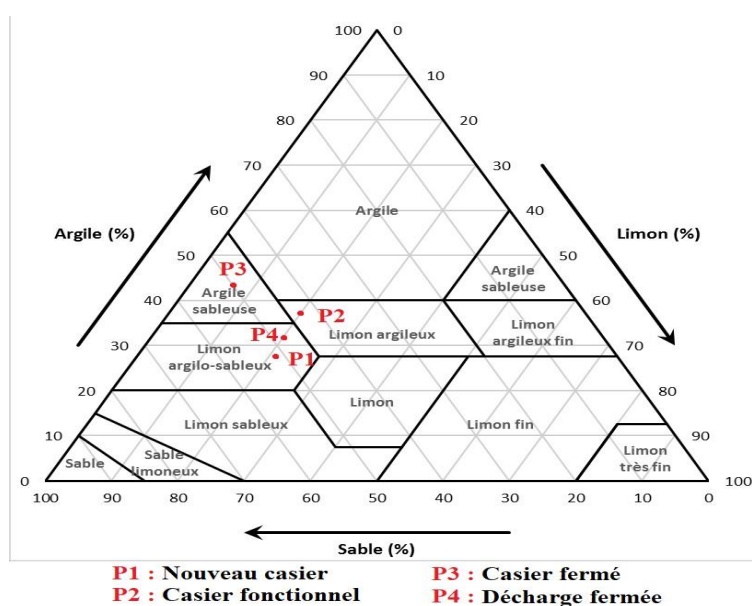


Figure 22 : Répartition des classes texturales pour les échantillons de sol

3. Analyse des propriétés biochimiques des espèces sélectionnées

Le graphique 16 montre la distribution des valeurs de chlorophylle (a) au niveau de quatre placettes. Les données révèlent que *Moricandia arvensis* présente une teneur en chlorophylle plus élevée (27,27 mg/g) par rapport à *Sinapis arvensis* (21,52 mg/g) dans le nouveau casier, ce qui suggère une meilleure adaptation de *Moricandia arvensis* aux environnements perturbés. Dans le casier fonctionnel, les valeurs de chlorophylle sont similaires pour les deux espèces (23,67 mg/g pour *Moricandia arvensis* et 22,91 mg/g pour *Sinapis arvensis*), indiquant une adaptation comparable. Cependant, dans le casier fermé, *Sinapis arvensis* montre une teneur en chlorophylle supérieure (23,89 mg/g) par rapport à *Moricandia arvensis* (20,9 mg/g), ce qui suggère une meilleure résistance de *Sinapis arvensis* dans les conditions stables mais potentiellement compétitives. Enfin, dans la décharge fermée, *Moricandia arvensis* montre une teneur en chlorophylle (23,06 mg/g) bien plus élevée que *Sinapis arvensis* (10,59 mg/g), indiquant une meilleure tolérance aux facteurs de stress environnementaux. En conclusion, *Moricandia arvensis* semble mieux s'adapter aux environnements plus stressants, tandis que *Sinapis arvensis* s'adapte mieux au

casier fermé, ce qui peut orienter les pratiques de gestion écologique selon les conditions spécifiques de chaque placette.

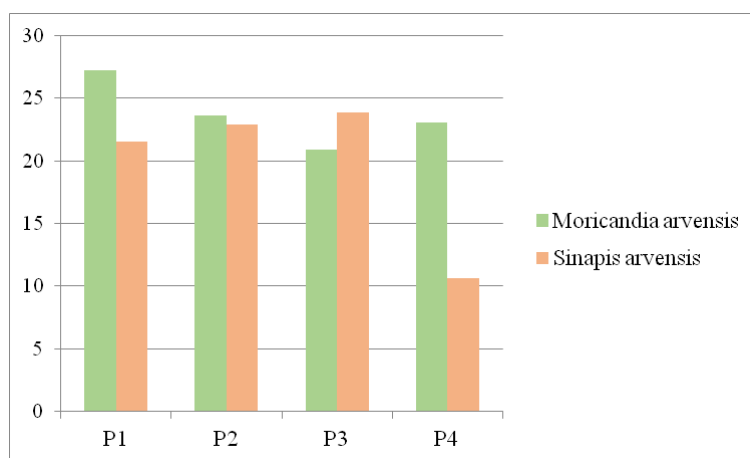


Figure 23 : Teneur de la Chlorophylle (a) chez les espèces sélectionnées

Les données présentées illustrent les variations de la teneur en chlorophylle (b) des deux espèces, *Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis*, dans différents environnements expérimentaux. Dans le nouveau casier, *Moricandia arvensis* présente une teneur légèrement supérieure (45,52 mg/g) en chlorophylle par rapport à *Sinapis arvensis* (39,11 mg/g). Cependant, dans le casier fonctionnel, *Sinapis arvensis* affiche une teneur beaucoup plus élevée (34,06 mg/g), suggérant une meilleure adaptation ou utilisation des ressources dans ce contexte. Dans le casier fermé, *Moricandia arvensis* conserve une teneur relativement élevée en chlorophylle, tandis que *Sinapis arvensis* montre une diminution de la teneur en chlorophylle. Dans la décharge fermée, *Sinapis arvensis* présente une teneur en chlorophylle plus élevée (25,38 mg/g) que *Moricandia arvensis*, bien que les deux espèces montrent une diminution significative par rapport aux autres conditions. En conclusion, ces résultats indiquent des variations significatives de performances entre les deux espèces selon les conditions environnementales, suggérant des différences d'adaptation ou de tolérance spécifiques à chaque environnement (**Figure 17**).

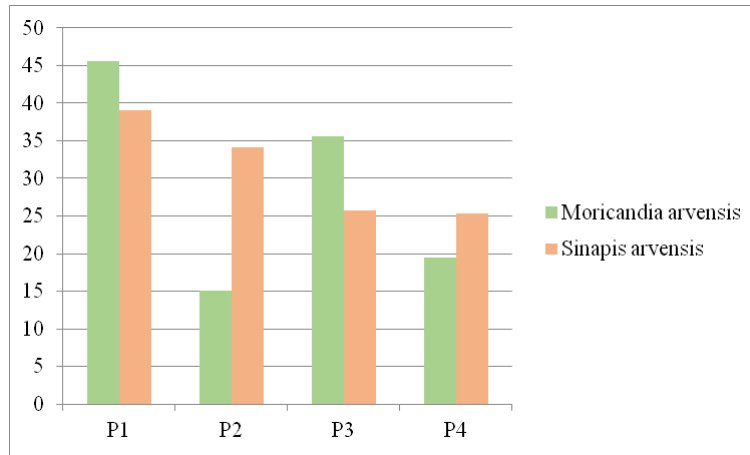


Figure 24 : Teneur de la Chlorophylle (b) chez les espèces sélectionnées

Le graphique 18 montre la teneur en eau au niveau des quatre placettes, dans le nouveau casier, *Moricandia arvensis* présente une teneur en eau de 77,48%, légèrement supérieure à celle de *Sinapis arvensis*, qui est de 71,09%. Dans le casier fonctionnel, la teneur en eau de *Sinapis arvensis* atteint 90,3%, surpassant nettement celle de *Moricandia arvensis*, qui est de 78,18%. Dans les casiers fermés, *Moricandia arvensis* affiche une teneur en eau de 74,4%, bien plus élevée que celle de *Sinapis arvensis*, qui est de 62,14%. Enfin, dans la décharge fermée, *Sinapis arvensis* a une teneur en eau de 80,52%, supérieure à celle de *Moricandia arvensis*, qui est de 75,1%.

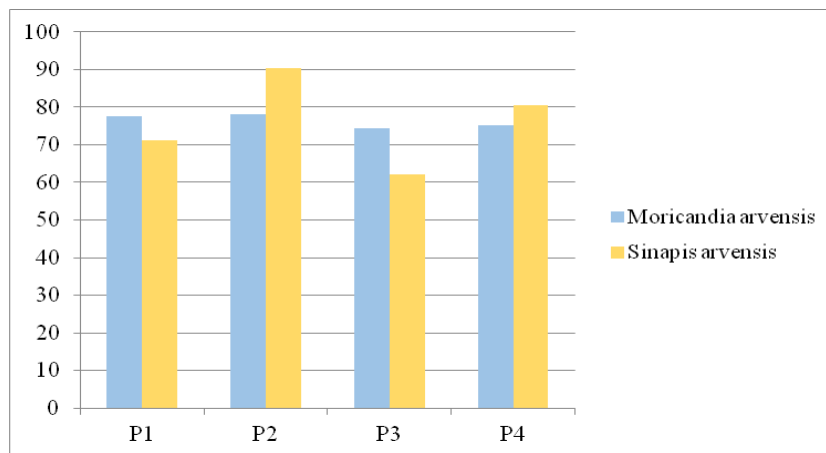


Figure 25 : Teneur en eau chez les espèces sélectionnées

Globalement, la teneur en eau de *Moricandia arvensis* est relativement stable à travers les différents types de placettes, variant entre 74,4% et 78,18%, tandis que celle de *Sinapis arvensis* fluctue davantage, avec une teneur maximale dans le casier fonctionnel (90,3%) et minimale dans les casiers fermé (62,14%). Ces variations peuvent être dues à des différences dans les conditions environnementales ou la gestion des placettes.

Discussion générale

L'analyse des résultats de la diversité végétale montre que les familles les mieux représentées sur le site d'étude sont les Asteraceae, les Poaceae et les Fabaceae. En effet, elles sont celles qu'on retrouve assez fréquemment en Algérie et aussi dans les régions méditerranéennes (**Ghermaoui, 2010**). Cette forte diversité dans certaines familles et une présence plus limitée dans d'autres, s'explique par le fait qu'ils sont aptes à s'adapter à des biotopes instables et diversifiés (**Gharzouli et Djellouli, 2005**).

Les thérophytes et les hémicryptophytes sont les plus dominants car selon **Vidal, (1998)**, les thérophytes et les hémicryptophytes sont des taxons classiquement considérés comme favorisés par des perturbations. Les thérophytes correspondent à une stratégie adaptative les prédisposant à se développer au niveau des habitats perturbés ou d'un environnement stressant (fluctuation imprévisible du climat méditerranéen) (**Madon et Medail, 1997**). Selon **Emberget (1955)**, les hémicryptophytes dominent dans les milieux les plus exposés aux perturbations.

Les placettes d'étude montrent une diversité dans leur composition végétale, avec les placettes P2 et P3 ayant une forte similarité, tandis que P1 et P4 présentent des différences marquées. Ces variations peuvent être dues à des facteurs environnementaux ou de gestion. La relation positive entre le nombre d'espèces et la surface serait liée à des facteurs tels que l'hétérogénéité des biotopes, l'extension des gradients environnementaux et la probabilité accrue de rencontrer des milieux perturbés (**Pyšek et al. 2009**).

Les résultats des analyses du sol montrent un pH neutre dans l'ensemble des points, avec une légère alcalinité observée à la placette 4. Conformément à un rapport commandé par le ministère français de l'Environnement et de la Santé en 2004, les décharges présentant un pH compris entre 6,5 et 7,5 sont généralement âgées de 5 à 10 ans (**Mejraoua et Zine, 2017**). Ainsi, les dépôts du CET de Bordj Bou Arreridj peuvent être considérés comme récents et encore instables.

L'étude sur la conductivité électrique des sols révèle des valeurs élevées, enregistrées respectivement à la décharge fermée et au casier fermé. Cette variation semble être liée aux différents stades de décomposition des déchets du centre d'enfouissement technique. Les valeurs de CE les plus élevées indiquent un mouvement d'ions dans le sol (**Ifenna et Osuji,**

2013). Les valeurs élevées observées peuvent être expliquées par la présence abondante de sels solubles dans les déchets domestiques, lesquels sont ensuite libérés dans les lixiviats.

L'analyse des sols révèle une prédominance de la fraction argileuse, indiquant une faible perméabilité et limitant les infiltrations vers le sous-sol. Dans les sols peu perméables, le mouvement de l'eau est limité. Les études montrent que les lixiviats peuvent migrer au sol par diffusion, ce qui est important pour évaluer les risques de contamination à long terme. (**Van Impe et Bouazza, 1996**) cette situation se confirme par les fortes valeurs enregistrées pour l'humidité (forte rétention en eau).

Concernant les résultats des analyses biochimiques des plantes sélectionnées, la teneur de chlorophylle (a) et (b) chez *Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis* est élevée. Cela confirme qu'ils ont la capacité de s'adapter aux milieux perturbés. La teneur en chlorophylle des feuilles est un indicateur clé de la santé de la végétation et fait partie intégrante de la récolte du rayonnement solaire nécessaire à la photosynthèse (**Zhang et al., 2022**).

La teneur en eau des plantes vivant en milieu perturbé peut varier considérablement en fonction du type de perturbation et des adaptations spécifiques des plantes. La forte teneur en eau enregistrées chez nos plantes peut être attribuée à divers facteurs tels que l'organisation structurelle de l'eau dans les tissus végétaux, les influences environnementales (l'humidité de l'air, l'apport en minéraux) et des formes de vie spécifiques (**Zhu et al., 2022**).

Conclusion

L'étude de l'impact du Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Bordj Bou Arreridj sur la diversité végétale et les sols de la région nous a permis de réaliser une série d'analyses physicochimique des sols, ainsi que des analyses biochimiques de deux espèces sélectionnées (*Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis*).

D'après cette étude, il ressort que les familles les mieux représentées sur le sites d'étude sont les Asteraceae, les Poaceae et les Fabaceae. Les Thérophytes et les Hémicryptophytes sont les types biologiques les plus dominants. Deux espèces, à savoir : *Moricandia arvensis* et *Sinapis arvensis*, sont classées comme très abondantes. Cela montre qu'elles ont la capacité de faire face à des milieux difficiles et perturbés.

Les analyses des échantillons de sol montrent une nette prédominance de la fraction argileuse, suggérant une faible perméabilité. Cela indique que les lixiviats peuvent migrer dans le sol par diffusion, ce qui est crucial pour évaluer les risques de contamination à long terme.

Les analyses biochimiques des deux plantes sélectionnées montrent que la teneur en chlorophylle est supérieure donc ces deux espèces sont mieux adaptées aux environnements stressants ainsi qu'aux milieux perturbés.

Références bibliographiques

- **Adeofun C.O., Achi H.A., Ufoegbune G.C., Gbadebo A.M., Oyedepo J.A. (2011).** Application of remote sensing and geographic information system for selecting dumpsites and transport routes in Abeokuta., Nigeria. Proceedings of the Environmental Management Conference. *Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.*
- **A.D.E.M.E. (2000).** Le traitement biologique : Enquête sur les installations de traitement des déchets ménagers et assimilés en 2000, Ed. A.D.E.M.E. Paris.13p.
- **Addou, A., (2009).** Traitement des déchets valorisation, élimination. Ellipses, Paris. 284.
- **Alchimia. (2016).** La phytoremédiation : du Cannabis pour nettoyer les sols. *Blog GrowshopAlchimia.* URL.
- **Ali H., Khan E., Sajad M.A. (2013).** Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere* 91, 869–881.
- **Aliouche S. (2006)** Gestion des déchets urbains et diagnostic d'une décharge contrôlée : cas du CET de Ouled Fayet, Alger, *Mémoire de Magister, Alger, 2006,* 220.
- **Aliouche S., Kehila Y., & Benkahoul L. (2017).** Modalités de sélection des sites d'enfouissement technique en Algérie et leur prise en charge par les instruments d'aménagement du territoire et d'urbanisme. *Environnement, Ingénierie & Développement, N°75.*
- **Arafat H.A., Jijakli K., Ahsan A., (2015).** Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. *J. Clean. Prod.* 105, 233–240.
- **Arjoun Y. (2011).** Etude d'un Centre d'Enfouissement Technique. *Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie minier, Ecole Nationale Polytechnique, 75.*
- **Balet J.M. (2016).** Gestion des déchets. (5e éd). *Malakoff.* Dunod, 303.
- **Bhattacharyya P., Mitra A., Chakrabarti K., Chattopadhyay D.J., Chakraborty A & Kim K. (2008).** Effect of heavy metals on microbial biomass and activities in century old landfill soil. *Environ. Monit. Assess.* **136 (1–3)**, 299–306.

- **Bian R., Xin D., Chai X. (2018).** A Simulation model for estimating methane oxidation and emission from landfill cover soils. *Waste Manage.* 77, 426–434.
- **Bond W., Davies G., Turner R. (2006).** The biology and non-chemical control of Charlock (*Sinapis arvensis* L.). Le site Agri-Réseau/agriculture biologique à l'adresse suivante : [http://www.agrireseau.qc.ca/agriculture biologique/](http://www.agrireseau.qc.ca/agriculture_biologique/). Consulté le : 03.06.2024
- **Boukar M. (2023).** Gestion de déchets dans les villes d'Afrique. Réduire-recycler-réutiliser (3R) valorisation pour la production d'électricité et autres applications. *L'Harmattan.* 282.
- **Boukli CH., Rabah A. (2020).** Systèmes D'information Géographique. *Cours et Travaux Pratique. Université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.*
- **Boulaouad B.A. (2018).** Contribution à l'étude de la bioécologie de quelques oiseaux insectivores du Sahel Algérois et de la région de Bordj Bou Arréridj. - Recherche Google., alger, école nationale supérieure agronomique el-harrach-alger.
- **Brunner P.H., Rechberger H. (2015).** Waste to energy—key element for sustainable waste management. *Waste Manage.* 37, 3–12. Charters, W.W.S., 2001. Developing markets for renewable energy technologies. *Renew. Energy* 22 (1), 217–222.
- **Cameselle C., Gouveia S., Urréjola S. (2019).** Benefits of phytoremediation amended with DC electric field. Application to soils contaminated with heavy metals. *Chemosphere* 229, 481–488.
- **Chaoui S. (2020).** Quelle gestion pour une prise en charge efficiente des déchets d'activités de soins à risques infectieux en Algérie. Cas d'Azzaba. *Environnement, Ingénierie et Développement*, 83, 7722.
- **Chihaoui G. (2017).** Les centres d'enfouissement technique pour la protection de l'environnement en Algérie. *ASJP*, 3(2), 32-45.
- **Chourghal N., Huhard F., Boukhalfa H., et Belhamra M. (2018).** Le climat récent observé et les changements climatiques futurs dans la région de bordj bou arréridj. *Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie*, 2018, (26), 585-592.
- **Cristaldi A., Conti G. O., Jho E.H., Zuccarello P., Grasso A., Copat C., et Ferrante M. (2017).** Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review. *Environmental Technology et Innovation*, 8, 309-326.
- **Dajoz R. (1985).** Précis d'écologie. Bordas, Paris, France, 504 p.

- **Dakasku G., Galo Y., Hassan S., Shinge A. (2024).** Heavy Metal Toxicity and Phytoremediation. *Short Communication*, 2, 1-10.
- **Damien A. (2023).** Guide du traitement des déchets. (7^{édition}). Dunod, 405.
- **Demdoum A. (2019).** *Comportement hydrique et mécanique d'un mélange de Bentonite - Sable Calcaire – Tuf: Application à la conception des Installations de Stockage des Déchets (ISD)* (Thèse doctorat). Université Amar Telidji de Laghouat. Algérie ,155.
- **Demirbas A. (2011).** Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes. *Energy Convers Manag.*52, 1280–7.
- **Defra. (2007).** Department for Environment, Food and Rural Affairs. Incineration of municipal solid waste, waste management technology brief, the new technologies work stream of the Defra Waste Implementation Programme.
- **Dibong S., Ndjouondo G. (2014).** Inventaire floristique et écologie des macrophytes aquatiques de la rivière Kambo à Douala (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 80(1), 7147-7160.
- **Dirrenberger P. (2020).** Méthanisation (partie 1) : Principe, paramètres et polluants émis – état de l’art. *Techniques Sciences Méthodes*, 9, 15-30.
- **Dro B., Soro D., Koné M. W., Bakayoko A., Kamanzi K. (2013).** Evaluation de l’abondance de plantes médicinales utilisées en médecine traditionnelle dans le Nord de la Côte d’Ivoire. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 17(3), 2631-2646.
- **Emberger L. (1955).** Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Lab. Bot., Geol., Zool. Fac. Scien. Série Bot. 7,3-43.
- **Fekir Y. (2022).** Système d’Informations Géographiques. *Cours et Travaux Pratiques*. Université Mustapha Stambouli Mascara.
- **Gharzouli R., & Djellouli Y. (2005).** Diversité floristique des formations forestières et préforestières des massifs méridionaux de la chaîne des Babors (djebel Takoucht, Adrar ou Mellal, Tababort et Babor) Algérie. *Le Journal de Botanique*, 29(1), 69-75.
- **Ghermaoui, M. (2010).** Bioécologie du Goéland (Aves-Laridés) dans les formations végétales ouvertes du littoral de Rachgoun (Ain Témouchent). Mémoire de Magister. Université de Tlemcen.
- **Gomes H. I. (2012).** Phytoremediation for bioenergy: challenges and opportunities. *Environmental Technology Reviews*, 1(1), 59-66.
- **Grisey E. (2013).** *Impact de l’évolution des déchets d’une installation de stockage de déchets non dangereux sur l’environnement - Site d’étude : l’ISDND d’Etueffont*

(Territoire de Belfort - France) (Thèse doctorat). Université de Franche-Comté. France.

- **Gunarathne V., Phillips A.J., Zanoletti A., Rajapaksha A.U., Vithanage M., Di Maria F., Pivato A., Korzeniewska E., et Bontempi E. (2024).** Environmental pitfalls and associated human health risks and ecological impacts from landfill leachate contaminants: Current evidence, recommended interventions and future directions. *Science of The Total Environment*, **912**, 169026
- **Guo K., Yan L., He Y., Li H., Lam S.S., Peng W., & Sonne C. (2023).** Phytoremediation as a potential technique for vehicle hazardous pollutants around highways. *Environmental Pollution*, **322**, 121130
- **Hansa A., Devi A., Upadhyay M., Gupta, H., Syam K., AsgariLajayer B., & Sharma R. (2024).** Toxicological implications of industrial effluents on plants: A review focusing on phytoremediation techniques. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **21(2)**, 2209-2224
- **Haripavan N., Dey S. (2023).** Application of remote sensing and geographic information system in solid waste management for Gudivada Municipality, Andhra Pradesh, India. *Waste Management Bulletin*, **1(3)**, 128–140.
- **Hasnaoui N., Daly D., Haj Khelil A., Zorgui L. & Chekir-Ghedira, L. (2006).** Etude des protéines totales et de l'ADN issus des feuilles de *Moricandia arvensis* collectées de quatre régions du sud Tunisien. *Revue des Régions Arides*, 507-513.
- **Hazil Kh.(2021).** *Cartographie assistée et Système d'information Géographique SIG. Support de cours SIG.* Université Mostefa Ben Boulaïd, Batna
- **Hossain M., Das S., Hossain M. (2014).** Impact of landfill leachate on surface and ground water quality. *Int J Environ Sci Technol* **7**,337–346.
- **Ifenna, I., and Osuji, C. L. (2013).** Physico-chemical characteristics of soils within the vicinity of a hot mix asphalt (HMA) plant in Obigbo, Port Harcourt, Nigeria. *Archives of Applied Science Research*, **5 (3)**, 184-192.
- **Issoufou A.A.E.S., Rabiou S., Soumana I., Habou M.K.A., Mahamane A.(2020).** Etude floristique des dunes fixées à base de *Leptadenia pyrotechnica* (Forssk)Decne Dans la région de Diffa ,Niger. *Rev. Ivoir. Sci Technol* **36**, 26-41.
- **Istrate I.R., Medina-Martos E., Galvez-Martos J.L., Dufour J. (2021).** Assessment of the energy recovery potential of municipal solid waste under future scenarios. *Appl. Energy* **293**, 116915.

- **Jabeen R., Ahmad A., Iqbal M., (2009).** Phytoremediation of heavy metals: physiological and molecular mechanisms. *Bot. Rev* **75**, 339–364.
- **Kalla M.I. (2021).** Introduction aux systèmes d'informations géographiques (SIG). Cours Polycopie. Université Batna 2, Batna.
- **Kayakutlu G., Daim T., Kunt M., Altay A., & Suharto Y. (2017).** Scenarios for regional waste management. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **74**, 1323-1335.
- **Kjeldsen P., Barlaz M.A., Rooker A.P., Baun A., Ledin A., Christensen T.H. (2002).** Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* **32(4)**, 297-336.
- **Lamari S., Makri F. (2017).** Elaboration d'un SIG pour la gestion des déchets solides de lamunicipalité de Msila –Algérie. (Mémoire de master). Université Mohamed Boudiaf- M'sila.
- **Larorest V., Bourgeois J et Hausler R. (2010).** Traitements physico-chimiques des déchets industriels liquides – Techniques de l'ingénieur.
- **Leblanc M., Daniel P., Anabelle D., Brett H. & Robert R. (1999).** The phytomining and environmental significance of hyperaccumulation of thallium by *Iberis intermedia* from southern France, *Econ. Geol* **94**, 109–114.
- **Lyseen A.K., Nøhr C., Sørensen E.M. (2014).** A review and framework for categorizing current research and development in health-related Geographical Information Systems (GIS) studies. *Yearb Med Inform* **9**,110–124.
- **Madon O.& Medail F. (1997).** The ecological significance of annuals on mediterranean grassland (Mt Ventoux, France). *Plant Ecology* **129**,189-199.
- **Mejraoua Z & Zine N.E. (2017).** Caractérisation Physico-chimique Du Lixiviat De la Décharge Non contrôlée De Meknès. *European Scientific Journal* November 2017 edition **13(33)**,13.
- **Miara M. D., Bendif H., Rebbas K., Rabah B., Hammou M. A. & Maggi F. (2019).** Medicinal plants and their traditional uses in the highland region of Bordj Bou Arreridj (Northeast Algeria). *Journal of Herbal Medicine* **16**, 100262.
- **Mor S., Ravindra K. (2023).** Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries Environmental impacts challenges and sustainable management practices. *Process Safety and Environmental Protection* **174**, 510-530.

- **Morsli F., Sekkal H. (2023).** Development of a waste management and environmental protection strategy from a corporate social responsibility perspective. *Advanced Research in Economics and Business Strategy Journal* **4(2)**, 41-55.
- **Naveen B.P., Mahapatra D.M., Sitharam T.G., Sivapullaiah P.V., Ramachandra T.V. (2017).** Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environ. Pollut* **220**, **12**.
- **Nejad Z.D., Jung M.C., Kim K.H., (2018).** Remediation of soils contaminated with heavy metals with an emphasis on immobilization technology. *Environ. Geochem. Health* **40**, 927–953.
- **Ngô C., Regent A. (2004).** Déchets et pollution : Impact sur l'environnement et la santé. Paris:Dunod
- **O'Dwyer J., Walshe D., Byrne K.A. (2018).** Wood waste decomposition in landfills: an assessment of current knowledge and implications for emissions reporting. *Waste Manage***73**, 181–188.
- **Okkacha Y., Abderrahmane Y., & Hassiba B. (2014).** Municipal Waste Management in the Algerian High Plateaus. *Energy Procedia* **50**, 662-669.
- **Ozeair A., Mohesn S., (2009).** Site selection of a hazardous waste landfill using GIS technique and priority processing, a power plant waste in Qazvin Province case example. *Environ. Sci* **4**, 121–134.
- **Papargyropoulou E., Colenbrander S., Sudmant A., Gouldson A., Lee C.T. (2015).** The economic case for low carbon waste management in rapidly growing cities in the developing world: the case of Palembang, Indonesia. *J Environ Manag* **163** ,11–19.
- **Postacchini L., Ciarapica F. E., Bevilacqua M. (2018).** Environmental assessment of a landfill leachate treatment plant: Impacts and research for more sustainable chemical alternatives. *Journal of Cleaner Production* **183**, 1021-1033.
- **Pyšek P., Chytrý M. & Jarošík V. (2009).** Habitat and Land Use as Determinants of Plant Invasions in the Temperate Zone of Europe. In: Perrings C., Mooney H. & Williamson M. (eds.), *Bioinvasions* (eds.), *Bioinvasions and Globalization: Ecology, Economics, Management, and Policy*: 66-79. New York, Oxford University Press.
- **Rajkumar M., Sandhya S., Prasad M.N.V., Freitas H. (2012).** Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnol. Adv* **30**, 1562–1574.

- **Ramade F. (1994).** Éléments d'écologie. Écologie fondamentale 2. *Ediscience international*, Paris, 579 .
- **Ravindra K., Kaur K., Mor S. (2016).** Occupational exposure to the municipal solid waste workers in Chandigarh, India. *Waste Manag. Res* **34 (11)**, 1192–1195.
- **Rawat M., Singh U.K. (2008).** Methane Emission and Heavy Metals Quantification from Selected Landfill Areas in India, 67–74.
- **Rene M. (2009).** Le traitement des déchets », Paris : Edition Tec et Toc, p.183.
- **Saoud W., Meddahi M. (2022).** Analytical study of waste management in Abu Dhabi during the period 2012-2019. *Ibn Khaldûn Journal of Innovation and Development* **4(1)**, 11.
- **Sandjakdine F. M. (2011).** *Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux* (thèse doctorat). Alger : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme école doctorale en Sciences – Technique – Santé, 243.
- **Seddiki I., Zaoui A. (2020).** Etude ethnobotanique de quelques plantes médicinales de la région de Bordj Bou Arreridj. Mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.
- **Slim S., Ben Aziez F. E., Majdoub B., Dhane-Fitouri S., & Karmous C. (2015).** Phytoremédiation par les cultures de vétiver et du colza (*Chrysopogon zizanioides* L.) et du colza (*Brassica napus* L.) des sols miniers pollués en Tunisie. *Journal for New Generation Sciences*, 1014-1021.
- **Staub, M. (2010).** *Approche multi-échelle du comportement biomécanique d'un déchet non dangereux* (Thèse doctorat). Université de Grenoble.305.
- **Susarla S., Medina V.F., McCutcheon S.C. (2002).** Phytoremediation, an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecol. Eng* **18**, 647–658.
- **Swati T.I., Vijay V.K., Ghosh P. (2018).** Scenario of landfilling in India: problems, challenges, and recommendations. In: Handbook of Environmental Materials Management. *Springer, Cham*, 1–16.
- **Tansel B., Inanloo B. (2019).** Odor impact zones around landfills: Delineation based on atmospheric conditions and land use characteristics. *Waste Management* **88**, 39-47.
- **Van Impe W. F., & Bouazza A. (1996).** Barrières d'étanchéité dans les sites de décharges : développements récents. *Revue Française de Géotechnique*, (74), 3-18.

- **Vidal E. (1998).** Organisation des phytocénoses en milieu insulaire méditerranéen perturbé : Analyse des interrelations entre les colonies du Goéland leucophaé et la végétation des îles de Marseille. Thèse de Doctorat, Université de Droit et d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille.
- **Vishnoi S.R., Srivastava P.N. (2008).** Phytoremediation-green for environmental clean. In: *The 12th World Lake Conf.* pp. 1016–1021.
- **Wang Z., Geng L. (2015).** Carbon emissions calculation from municipal solid waste and the influencing factors analysis in China. *J. Clean. Prod* **104**, 177–184.
- **Warith M. A. (2003).** SOLID WASTE MANAGEMENT: NEW TRENDS IN LANDFILL DESIGN. *Emirates Journal for Engineering Research* **8(1)**, 61-70.
- **Zhang H., Li J., Liu Q., Lin S., Huete A., Liu L., & Yu W. (2022).** A novel red-edge spectral index for retrieving the leaf chlorophyll content. *Methods in Ecology and Evolution* **13(12)**, 2771-2787.
- **Zhu Y., Ma Z., Han M., Li Y., Xing L., Lu E., & Gao H. (2022).** Quantitative damage detection of direct maize kernel harvest based on image processing and BP neural network. *Food Science and Technology* **42**, e54322.

Les sites web

- **Site 1 :** <https://www.esri.com/fr-fr/industries/conservation/overview>. Consulté le : 04/06/2024.
- **Site 2 :** <https://www.sfpt.fr/>. Consulté le : 04/06/2024.
- **Site3 :** <https://fr.weatherspark.com/y/50132/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Bordj-Bou-Argeridj-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>. Consulté 04/06/2024.

Annexe

- Annexe 1 : Le système d'information géographique

Définition d'un SIG

La société française de photogrammétrie et télédétection, (1989) définit un SIG comme un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace (**site 2**).

Composants de base d'un SIG :

D'après **Fekir, (2022)**, un SIG est constitué de cinq principaux éléments (**Figure 2**) :

- **Les matériels** : Ils constituent tous les équipements informatiques et non-informatiques où fonctionne un SIG. Il peut contenir entre autres les ordinateurs, les stations de travail, les imprimantes, les instruments de saisie ... etc.
- **Les logiciels** : La partie logicielle d'un SIG correspond aux différentes applications et outils soft qui assurent les fonctions permettant d'importer, stocker, analyser et visualiser les données géographiques.
- **Les données** : Ils sont le noyau des SIG et représentent les composantes les plus importantes. Ces données peuvent être acquises de sources internes (digitalisation, classification des images...) ou externes (statistiques, inventaires ...).
- **Les utilisateurs** : Les utilisateurs d'un SIG désignent les personnes ayant la possibilité d'exploiter les données grâce aux outils qui lui ont offert. Ils peuvent être une très grande communauté depuis les créateurs et les gestionnaires du système jusqu'aux personnes utilisant ses produits finaux.
- **Les méthodes** : Comme pour tout système d'informations, un SIG ne peut être mis en œuvre sans la définition de certaines méthodes et procédures qui lui sont propres. En effet, un SIG peut intégrer divers métiers envisagés par un savoir-faire fourni par une ou plusieurs personnes. A titre d'exemple, un SIG peut mobiliser des compétences en géodésie, en analyse des données, en modélisation de données, en cartographie ou en traitement d'images.



Figure 26 : Les composants d'un SIG (Fekir, 2022)

Fonctionnement d'un SIG

Les SIG sont créés pour répondre à différentes demandes et comme le système commun n'existe pas, il faut les ajuster selon les objectifs établis. Néanmoins, selon **Kalla, (2021)**, il faut dire qu'il y a cinq fonctionnalités que tous les SIG doivent assurer :

- **Abstraire** : Concevoir un modèle qui arrange les données par constituants géométriques et par attributs descriptifs, et qui permet aussi d'établir des relations entre les objets.
- **Acquérir** : Le logiciel doit posséder des fonctionnalités de digitalisation et d'importation de données.
- **Archiver** : Le logiciel doit avoir une grande capacité de stockage des données.
- **Analyser** : Le logiciel doit avoir la capacité d'analyser les données géographiques (méthodes quantitatives et statistiques, opérateurs topologiques, etc.).
- **Afficher** : Le logiciel doit avoir la capacité d'affichage de l'information géographique sous forme des cartes, tables, graphes...etc.

Principales méthodes d'acquisition de données :

La collecte des données est une tâche cruciale qui constitue le travail de recherche. Une analyse appropriée nécessite des données pertinentes, ce qui permet de tirer des conclusions

adéquates. Il est nécessaire de transférer des informations de différentes sortes et de différents formats dans le dossier SIG (Haripavan et Dey, 2023).

Types de données dans un SIG :

D'après Boukli et Rabah, (2020), les Systèmes d'Information Géographique permettent de traiter les données suivantes :

- **Données spatiales :** Elles déterminent les caractéristiques spatiales d'une entité géographique où sont représentés et identifiés tous les éléments graphiques (La localisation, la forme, la taille, point, ligne, - polygone).
- **Données associées :** Les données associées aux entités géographiques permettent de compléter la représentation géométrique de l'entité spatiale. Chaque élément de l'espace reçoit un code d'identification qui peut être numérique ou littéral. Ce code constitue en quelque sorte une étiquette caractérisant le point, la ligne ou le polygone.

Modes des données dans les SIG :

Les données géographiques sont des données localisées auxquelles on associe une forme et des paramètres d'affichage (couleur, épaisseur du trait...). Elles peuvent être en :

- **Mode vecteur :** Les données « vecteur » représentent les objets spatiaux par des points, des lignes, ou des polygones. Chaque objet spatial est doté d'un identifiant permettant de le relier à la table attributaire.
- **Mode raster :** Les données « raster » sont des images numériques où chaque pixel à une valeur associée qui permet de le caractériser d'une couleur ou d'une valeur (altitude par exemple) (Hazil ,2021).

- Annexe 2 : Protocoles des analyses physico-chimiques du sol

- **Mesure du pH :** le pH est mesuré selon la méthode normalisée (NF ISO 10390) qui consiste de mettre en suspension le sol préparé avec de l'eau distillée en utilisant le rapport sol/liquide = 1/5 puis en agitant pendant 5 minutes. La suspension est ensuite laissée au repos pendant 2 heures pour enfin effectuée la mesure à l'aide d'un pH-mètre.
- **Mesure de la conductivité électrique (CE) :** Elle est effectuée selon la méthode INRA, à l'aide d'un conductimètre sur une suspension de 5g de sol et 25ml d'eau distillée, agitée pendant 1 heure puis laissée au repos pendant 2 heures.
- **Mesure de l'humidité (H%) :** Elle est déterminée par la méthode normalisée (AFNOR NF U 44-171), qui consiste à mettre à l'étuve l'échantillon de sol à 105°C pendant 24 heures.

- **Mesure de la matière organique (MO)** : Elle est obtenue par calcination de l'échantillon séché à 480°C pendant quatre heures dans un four à moufle selon la méthode normalisée (**NF EN 13039, AFNOR 2000**).



Figure 27 : Méthode pour la détermination de la teneur en matière organique

- **Analyse granulométrique** : Elle est mesurée par la méthode « **Robinson** » qui conforme aux normes (**NEN5357**) et (**ISO/DIS 11277**). Après suppression des substances organiques (par attaque à l'eau oxygénée à 30 volumes, d'abord à froid, puis à chaud), et des carbonates (par attaque à l'acide chlorhydrique à froid, puis à chaud), le sol est ensuite dispersé par agitation rotative dans des flacons de 1000ml après adjonction d'hexamétaphosphate de sodium (1g/litre de suspension). La méthode « **Robinson** » est basée sur la différence de

vitesse de sédimentation entre les particules légères et les plus grosses. La sédimentation des particules résulte des deux forces opposées : gravité et friction entraînant un mouvement dans un milieu fluide. L'échantillon est alors pipeté à différentes périodes et à différentes profondeurs de la suspension du prélèvement dans une éprouvette. La durée et la profondeur sont déterminées à l'aide de la « loi de Stokes ». La suspension pipetée est condensée, séchée puis pesée pour déterminer le ratio de masse de la fraction pipetée.

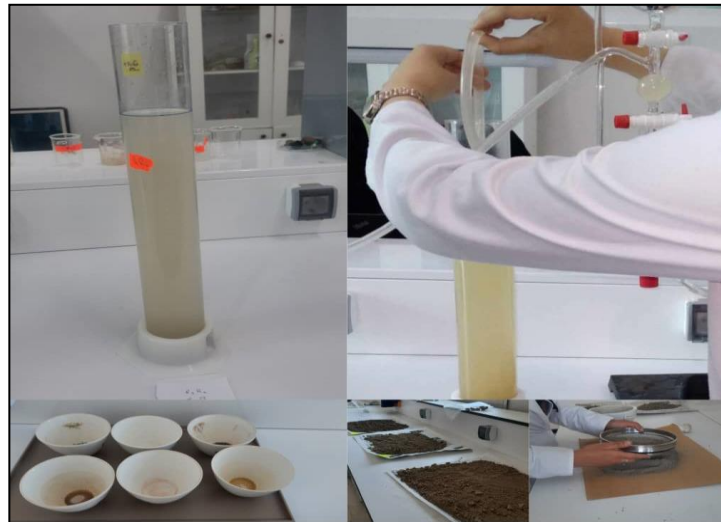


Figure 28 : Analyse granulométrique des échantillons de sol

- **Mesure du calcaire actif** : Il est mesuré selon la méthode « **Drouineau-Galet** ». On utilise la propriété du calcium à se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble. L'excès de solution d'oxalate est ensuite dosé (oxalate d'ammonium) par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.



Figure 29 : Titration par permanganate de potassium

- **Mesure du calcaire totale** : Il est mesuré selon la méthode volumétrique du calcimètre de Bernard. Ce calcimètre est constitué d'une colonne graduée contenant une solution saturée de NaCl, pour éviter toute diffusion du CO₂ dégagé dans l'eau, et colorée afin de faciliter la lecture. On procède d'abord à un étalonnage du calcimètre avec une quantité de CaCO₃ pur, on détermine le volume du CO₂ dégagé, ensuite on évalue le volume du CO₂ dégagé par l'échantillon de sol à analyser. Enfin, on détermine la quantité de CaCO₃ contenue dans l'échantillon par correspondance.



Figure 30 : Calcimètre de Bernard

-Mesure de la porosité :

La porosité est le volume du sol qui n'est pas occupé par la matière solide. Elle se calcule selon la formule suivante : $P = \frac{D - D'}{D} \times 100$ où : **P** : est la porosité ; **D** : la densité réelle ; **D'** : la densité apparente.

- Annexe 3 : protocoles des analyses biochimiques des plantes sélectionnées :

- Dosage des pigments chlorophylliens :

Les teneurs moyennes en chlorophylle a et b sont déterminées par la méthode de « **Rao et le blanc (1965)** ». Ci-dessous le protocole à suivre :

- Coupez les feuilles de façon grossière avec une paire de ciseaux ;
- Peser 0.5g à l'aide d'une balance ;
- Placez les feuilles coupées dans un mortier ;
- Ajouter 20 ml d'acétone 80% ;
- Broyer avec du **carbonate de calcium** plusieurs fois jusqu'à ce que le solvant prenne une teinte verte marquée ;

- Filtrer le broyat sur papier filtre à l'aide d'un entonnoir sur les tubes à essais ;
- Faire la lecture avec un spectrophotomètre dans la longueur d'onde 645 nm et 663 nm. ;
- Calculer les qualités de chlorophylles obtenues par les formules suivantes :

Chlorophylle a : 12,07 (DO 663) – 02,69 (DO 645)

Chlorophylle b : 22,09 (DO 645) – 04,86 (DO 663)

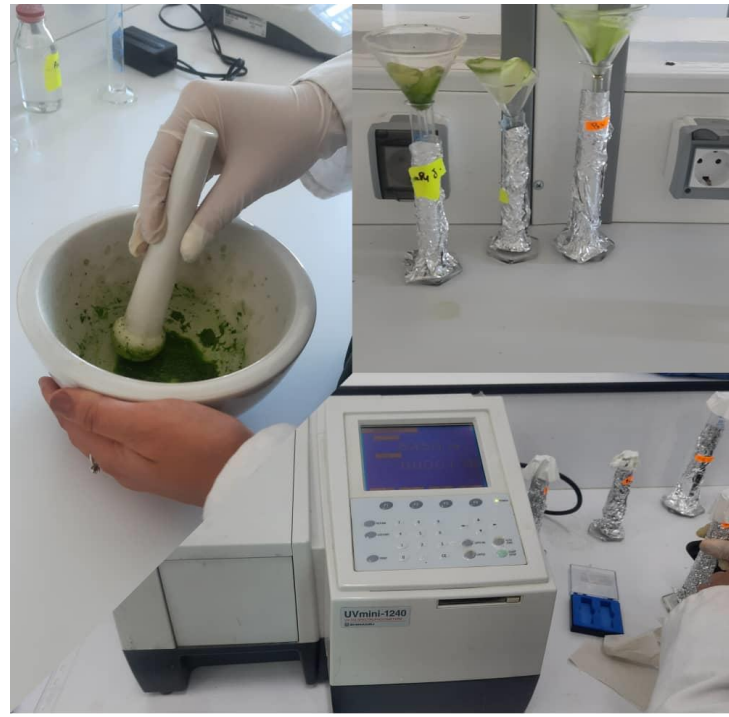


Figure 31 : Dosage des pigments chlorophylliens

-Mesure de la Teneur Relative en Eau (TRE%)

La teneur relative en eau de la feuille est déterminée par la méthode décrite par **Barrs, (1968)**. Selon cette méthode, des tubes à vis remplis d'eau distillée (un poids connu), sont préparés à l'avance. Les feuilles sont coupées à la base du limbe par un sécateur, Elles sont mises par la suite dans les tubes préparés et placés à l'obscurité dans un endroit frais. Après 24 heures, les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, puis pesées à nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80C° et pesés pour avoir leurs poids sec (PS). La teneur relative en eau est ensuite calculée par la formule suivante :

$$\text{TRE (\%)} = [(PF - PS) / (PT - PS) \times 100]$$

- Annexe 4 : Liste des espèces recensée dans le site d'étude

Espèces	Fréquence absolue
<i>Sinapis arvensis</i> L.	12
<i>Moricandia arvensis</i> (L.) DC.	11
<i>Erodium malacoides</i> (L.) L'Hér.	7
<i>Anisantha madritensis</i> (L.) Nevski	7
<i>Hordeum murinum</i> L.	7
<i>Avena sterilis</i> L.	6
<i>Anthemis arvensis</i> L.	6
<i>Guenthera amplexicaulis</i> (Desf.) G	5
<i>Reseda alba</i> L.	5
<i>Melilotus indicus</i> (L.) ALL	4
<i>Crepis vesicaria</i> L.	4
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	4
<i>Phalaris brachystachys</i> Link	4
<i>Calendula arvensis</i> L.	4
<i>Papaver hybridum</i> L.	4
<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn	4
<i>Glaucium corniculaum</i> (L.) Rudolph	3
<i>Astragalus sesameus</i> L.	3
<i>Malva sylvestris</i> L.	3
<i>Beta vulgaris</i> L.	3
<i>Anchusa azurea</i> Mill.	2
<i>Brachypodium distachyon</i> (L.) P.Beauv.	2
<i>Reichardia picroides</i> (L.) Roth	2
<i>Hyoseris radiata</i> L.	2
<i>Papaver rhoeas</i> L.	2
<i>Erodium moschatum</i> (L.) L'Hér	2
<i>Vicia sativa</i> L.	2

<i>Onopordum macracanthum</i> Schousb.	2
<i>Carthamus pinnatus</i> Desf.	1
<i>Ononis natix</i> L.	1
<i>Ononis biflora</i> Desf.	1
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	1
<i>Ornithogalum umbellatum</i> L.	1
<i>Fumaria parviflora</i> L.	1
<i>Echinops bovei</i> Boiss.	1
<i>Pallenis spinosa</i> (L.) Cass.	1
<i>Lepidium draba</i> L.	1
<i>Galactites tomentosus</i> Moench	1
<i>Medicago minima</i> (L.) L.	1
<i>Lysimachia arvensis</i> (L.) U. Manns & Anderb.	1
<i>Poa bulbosa</i> L.	1
<i>Suaeda</i> sp	1
<i>Eruca vesicaria</i> (L.) Cav.	1
<i>Ecballium elaterium</i> (L.) A.Rich	1
<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf	1
<i>Chenopodium album</i> L.	1