



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt



Institut des sciences de la nature et de la vie
Département des Sciences agronomiques de foresterie et de l'environnement

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master académique en

Domaine: Science de la nature et de la vie

Filière: Ecologie et Environnement

Spécialité: Protection des écosystèmes

Présentée par : OULD RABAH Merina

Thème

*Etude de l'influence des eaux d'irrigation du barrage de bougara sur le développement racinaire de (*Allium cepa*)*

Soutenu le : 24/06/2026

Devant le Jury :

<i>Mr. TALEB Med Amine</i>	<i>Encadreur</i>	<i>MCA</i>	<i>U. Tissemsilt</i>
<i>Mr. OUABEL Habib</i>	<i>Co- Encadreur</i>	<i>MCA</i>	<i>U. Tissemsilt</i>
<i>Mr. BOUKHALOUT Saleh</i>	<i>Examineur</i>	<i>MCB</i>	<i>U. Tissemsilt</i>
<i>Mr. DERMANE Abdelkader</i>	<i>Président</i>	<i>MCA</i>	<i>U. Tissemsilt</i>

Année universitaire : 2025-2026

Remerciements

Avant tout, je remercie le Bon Dieu Tout-Puissant de m'avoir accordé la force, le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail de recherche.

Je tiens à exprimer ma vive reconnaissance à mon encadreur, Dr. **TALEB Mohamed Lamine**, pour sa précieuse direction, sa rigueur scientifique et sa disponibilité tout au long de ce parcours. Mes remerciements s'adressent également à mon Co-encadreur, **M OUABEL Habib**, pour ses conseils avisés et sa bienveillance constante.

Je salue respectueusement les membres du jury qui ont accepté de siéger à ma soutenance et d'évaluer ce travail :

- Président : **DERMANE Abdelkader**, M.C.A Univ-Tissemsilt
- Examineur : **BOUKHALOUT Saleh**, M.C.B. Univ-Tissemsilt

Ma gratitude s'adresse aussi à l'ensemble des ingénieurs de laboratoire pour leur accueil, leur assistance technique et leur soutien précieux durant mes expérimentations. J'associe à ces remerciements tous les enseignants qui ont bien voulu me guider et me fournir les informations nécessaires à mes recherches.

Enfin, les mots me manquent pour remercier mes parents et ma famille. Ce mémoire est le fruit de leurs sacrifices, de leur amour inconditionnel et de leurs prières quotidiennes.

Dédicace

C'est avec une immense joie et une profonde gratitude que je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents, les piliers de ma vie.

À mon cher père, pour son soutien inconditionnel, ses sacrifices et ses prières qui m'ont éclairé le chemin de la réussite.

À ma tendre mère, la source de ma force, de ma patience et de mon courage. Ce succès est avant tout le vôtre, que Dieu vous garde à mes côtés.

À mes chères sœurs, pour leur amour, leur complicité et leur présence de chaque instant.

À mes fidèles amies : **Zineb, Chourouk, Selina et Soundousse**. Merci d'avoir toujours été là pour moi, pour votre soutien précieux, vos encouragements et pour tous les moments partagés durant ce parcours.

À tous **les ingénieurs de laboratoire**, qui m'ont ouvert leurs portes, guidée avec bienveillance et apporté une aide technique indispensable à la réalisation de mes expérimentations.

À mes honorables enseignants, pour leur transmission du savoir, leurs précieux conseils et leur encadrement tout au long de mon cursus universitaire.

À tous ceux qui m'aiment, me connaissent et ont cru en moi, de près ou de loin.



Merina

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction : 1

Chapitre I : Les eaux des barrages

I.1. Les barrages et le contexte d'étude 4

I.1.1. Les barrages 4

I.1.1.1. Définition 4

I.1.1.2. Présentation générale des barrages en Algérie 4

I.1.1.3. Les barrages à Tissemsilt 4

I.1.2. L'origine des eaux de barrage 5

I.1.2.1. Généralité sur l'eau 5

I.1.2.2. Les ressources en eau 5

I.1.2.2.1. Les eaux souterraines 5

I.1.2.2.2. Eaux de surface 6

I.1.3. Rôle et utilisations des eaux des barrages 8

I.1.3.1. Usage agricole 8

I.1.3.2. Usage domestique 9

I.1.3.3. Usage industriel 9

I.2. Pollution métallique et impacts biologiques 10

I.2.4. Les métaux lourds 10

I.2.4.1. Définition des métaux lourds 10

I.2.4.2. Sources de pollution par les métaux lourds 11

I.2.4.2.1. Origine naturelle 11

I.2.4.2.2. Origine anthropique 11

I.2.5. Transfert de contamination et toxicité 12

I.2.5.1. Les transferts de contamination dans le milieu marin 12

I.2.5.1.1. La bioaccumulation 12

I.2.5.1.2. La bioconcentration 12

I.2.5.1.3. La bioamplification 13

I.2.5.2. Effets des métaux lourds sur les plantes et toxicité	13
I.2.5.3. Réponse des plantes à la toxicité des métaux	14

Chapitre II : Division Cellulaire et Déformations Génétique chez les Plantes

II.1. Organisation et cycle cellulaire chez les plantes	16
II.1.1. Le cycle cellulaire (Interphase et phase M)	16
II.1.1.1. Découverte du cycle cellulaire	16
II.1.1.2. Les évènements du cycle cellulaire	16
II.2. La mitose chez les cellules végétales	17
II.2.1. Les différentes étapes de la mitose dans la cellule végétale	17
II.3. Les mutations	18
II.3.1. Types de mutations génétiques	18
II.3.1.1. Les mutations chromosomiques	18
II.3.1.3. Les mutations germinales / somatiques	19
II.4. Mécanisme de réparation	19
II.4.1. Réparation des cassures double brin	19
II.4.1.1. Réparation directe des bases (sans intervention de polymérase)	19
II.4.1.2. Réparation des cassures double brin causées par :	19
II.4.1.3. Réparation par excision de bases (BER, Base Excision Repair) :	20
II.4.1.4. Réparation des cassures simple brin	20
II.4.1.4.1. Réparation par excision de nucléotides (NER, Nucleotide Excision Repair)	20
II.4.1.4.1. Réparation des mésappariements (MMR, Mismatch Repair)	20

Chapitre III : Présentation la zone d'étude

III.1. Présentation du Barrage de Bougara :	22
III.1.1. Dossier technique du barrage de Bougara :	23
III.1.2. Paramètres édaphiques :	23
III.2. Synthèse climatique :	23
III.2.1. Température :	24
III.2.2. Pluviométrie :	24
III.2.3. Le vent :	24
III.2.4. Gelée :	25
III.2.5. Neige :	25
III.2.6. Indice d'aridité de De Martonne (I)	25
III.2.7. Synthèse du bioclimat (Quotient d'Emberger)	25
III.3. Caractéristiques écologiques de la retenue	27
III.3.1. Qualité de l'eau :	27

III.3.2. Flore :	27
III.3.3. Faune :	28

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Matériels et Réactifs.....	30
IV.1.1. Matériel de laboratoire	30
IV.1.1.1. Matériel d'observation :.....	30
IV.1.1.2. Équipements thermiques et de conservation :.....	31
IV.1.1.3. Matériel de précision et verrerie :	32
IV.1.2. Réactifs et solutions chimiques.....	33
IV.1.2.1. Solutions de fixation :	33
IV.1.2.2. Agents d'hydrolyse et de coloration :.....	34
IV.1.2.3. Solvants :	34
IV.2. Protocole expérimental	34
IV.3. Evaluation du développement racinaire :.....	35
IV.4. Évaluation de la cytotoxicité et de la génotoxicité	35
IV.4.1. Préparation et fixation des racines	35
IV.4.2. Coloration des tissus racinaires.....	36
IV.4.3. Préparation des lames et observation microscopique	38

Chapitre V :Résultats et discussion

V.1. Étude macroscopique : Effet des eaux du barrage	40
V.2. Étude microscopique : Effet sur le matériel génétique et la division cellulaire	43
V.2.1. Évaluation de l'Index Mitotique (IM).....	44
Conclusion	46
Références Bibliographiques	49

Résumé :

Abstract:

ملخص:

Liste des abréviations

IM : Indice Mitotique

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ARN : Acide Ribonucléique

CO₂ : Dioxyde de Carbone

PPB : Bande de Préprophase (Pre-Prophase Band)

MTOC : Centre Organisateur de Microtubules (Microtubule Organizing Center)

BCF : Facteur de Bioconcentration (Bioconcentration Factor)

NHEJ : Non-Homologous End Joining

RH : Recombinaison Homologue

BER : Base Excision Repair

NER : Nucleotide Excision Repair

MMR : Mismatch Repair

UV : Rayons Ultraviolets

G1 : Phase Gap 1 (Première phase de croissance du cycle cellulaire)

S : Phase de Synthèse (Réplication de l'ADN)

G2 : Phase Gap 2 (Deuxième phase de croissance du cycle cellulaire)

M : Phase M (Mitose ou Méiose)

G0 : Phase Gap 0 (Phase de repos cellulaire)

m³ : Mètre cube

m³/an : Mètre cube par an

g/cm³ : Gramme par centimètre cube

Liste des figures

Figure 1: Structure des nappes souterraines (El bir et Medar, 2020).....	6
Figure 2 : Coupe schématique d'un barrage. (Boutahraoui, 2017).....	8
Figure 2 : Schéma descriptif des différentes étapes de la mitose chez une cellule végétale. (Beaux et al, 2013).....	18
Figure 4 : cartographie de Barrage de Bougara (Laalili et al, 2017).....	22
Figure 5 : Climagramme d'Emberger. (Rebhi, 2019).	27
Figure 6 : Microscope optique binoculaire (Modèle OPTIKA) utilisé pour l'observation des échantillons.....	31
Figure 7 : Bain-marie thermostaté à affichage numérique utilisé lors des manipulations.	31
Figure 8 : Armoire de congélation basse température utilisée pour la conservation des échantillons.....	32
Figure 9 : Matériel de laboratoire et dispositifs expérimentaux utilisés pour la préparation des échantillons.....	33
Figure 10 : Localisation des points de prélèvements	35
Figure 11 : les racines dans la solution de Carnoy (p.p)	36
Figure 12 : Hydrolyse acide des apex racinaires dans de l'HCl (1N) (p.p)	37
Figure 13 : Les racines dans le Fuchsine basique. (p.p).....	37
Figure 14 : Les racines sur lame en verre. (p.p).....	38
Figure 15 : Développement racinaire après 24h.....	40
Figure 16 : Développement racinaire après 48h.....	41
Figure 17 : Développement racinaire après 72h.....	41
Figure 18 : Développement racinaire après 96h.....	42
Figure 19 : Évolution de la longueur des racines en fonction du temps	43
Figure 20 : Les phases de la division cellulaire observées.....	44

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1: Répartition des métaux lourds de densité supérieure à 5 selon les blocs s, p, d et f. (Boulaha et Fernane, 2023).</i>	10
<i>Tableau 2: Température de la zone d'étude. (Rebhi, 2019 ; Abderrahim, 2016)</i>	24
<i>Tableau 3: La pluviométrie de la zone d'étude (Rebhi, 2019)</i>	24
<i>Tableau 4: Résultat de l'ANOVA à un facteur entre le développement racinaire des trois groupes</i>	43

Introduction

Introduction :

L'eau est le constituant fondamental qui recouvre la majeure partie de la surface terrestre. Au niveau cellulaire, elle représente le composant prédominant de tous les êtres vivants, offrant à la matière biologique la fluidité indispensable au bon déroulement des échanges métaboliques et des mouvements internes (**Laalili et al., 2017**). Face aux contraintes climatiques actuelles, la gestion et la rétention de cette ressource vitale sont devenues non négligeable. Les barrages se définissent comme des ouvrages édifiés transversalement à une vallée, permettant de métamorphoser un site topographique approprié en un réservoir hydrique (**Bouchehed, 2017**). Selon les critères techniques, les structures de grande envergure qualifiées de « grands barrages » remplissent deux fonctions majeures : d'une part, elles stockent la ressource afin de satisfaire les impératifs anthropiques et économiques ; d'autre part, elles sécurisent les territoires contre les aléas hydrologiques en régulant les crues ou en retenant les sédiments (**Bouchehed, 2017 ; Serifeg et Lessaad, 2020**). Toutefois, à l'échelle mondiale, l'irrigation agricole demeure la raison d'être première de ces constructions (**Derdous, 2016**).

En Algérie, cette dépendance vis-à-vis des eaux de surface pour l'arrosage des cultures est d'autant plus marquée dans les régions semi-arides, soumises à une forte variabilité thermique et pluviométrique. C'est le cas de la zone agricole de la wilaya de Tissemsilt, classée précisément dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver frais (**Rebhi, 2019**). Pour répondre aux besoins hydriques de cette région où la céréaliculture domine sur des sols à texture sableuse et limoneuse (**Rebhi, 2019**), le barrage Colonel Bougara a été implanté sur l'Oued Nahr Ouassel Cet ouvrage groupé intègre une digue et une structure en béton assurant une capacité de rétention utile (**Laalili et al., 2017 ; Bettah et al., 2020**).

Malheureusement, l'intégrité écologique et sanitaire de cette infrastructure vitale est aujourd'hui compromise. Les investigations environnementales révèlent que les eaux du barrage Bougara affichent une contamination préoccupante qui restreint leur qualité pour un usage agricole optimal (**Laalili et al., 2017**). De surcroît, le réservoir subit une forte pression anthropique caractérisée par le déversement direct et continu d'eaux usées urbaines mal traitées dans les oueds de son bassin versant, particulièrement en aval de l'agglomération de Tissemsilt (**Laalili et al., 2017 ; Bettah et al., 2020**).

L'utilisation de ces eaux polluées pour l'irrigation expose les cultures à un stress chimique majeur. Absorbés par les racines, ces contaminants subissent des phénomènes de bioaccumulation ou de bioconcentration au sein des organismes végétaux (**Cherifi et Mekhissi, 2022**). Ils provoquent des effets cytotoxiques directs tels que le ralentissement de la croissance

racinaire, l'apparition de chloroses ou de nécroses, et perturbent gravement le métabolisme **cellulaire (Boumissa et Chelouche, 2016)**. Plus redoutable encore, ces xénobiotiques pénètrent jusqu'au noyau des cellules méristématiques où ils provoquent des mutations chromosomiques ou ponctuelles aléatoires **(Yahiaoui et al., 2022)**. Bien que les plantes déploient des systèmes de réparation enzymatique de l'ADN ou des stratégies de séquestration vacuolaire **(Boumissa et Chelouche, 2016 ; Yahiaoui et al., 2022)**, la persistance d'une forte charge polluante sature ces mécanismes de défense, induisant des altérations irréversibles de la division cellulaire.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact cytotoxique et génotoxique des eaux d'irrigation du barrage de Bougara en utilisant le modèle biologique végétal standardisé *Allium cepa* (l'oignon) comme bioindicateur environnemental.

Pour atteindre cet objectif, notre démarche s'articule autour de deux axes complémentaires :

- Une approche macroscopique : Consistant à suivre la cinétique d'élongation racinaire des bulbes d'*Allium cepa* soumis à l'action des eaux prélevées au niveau de deux stations distinctes sur une période continue, en comparaison avec un témoin élevé sur eau distillée.
- Une approche microscopique (cytogénétique) : Visant à analyser l'organisation et le déroulement du cycle cellulaire au niveau des tissus méristématiques apicaux. Cette analyse quantitative et qualitative permettra de calculer l'Indice Mitotique (IM) afin de mesurer l'inhibition de la division cellulaire.

À travers cette double investigation, notre travail relate d'apporter un diagnostic quant à l'innocuité ou la toxicité de ces eaux d'irrigation, un enjeu fondamental pour la préservation des écosystèmes agricoles et la sécurité sanitaire dans la région de Tissemsilt

Chapitre I

Les eaux des barrages

I. Les eaux des barrages

I.1. Les barrages et le contexte d'étude

I.1.1. Les barrages

I.1.1.1. Définition

Un barrage est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau naturel afin d'en arrêter l'écoulement. Son principe consiste à retenir l'eau pour permettre son accumulation. Cette retenue peut répondre à plusieurs objectifs. En effet, un barrage permet la régulation du débit des rivières à travers la gestion des crues et des étiages. Il assure également l'irrigation des terres agricoles, l'alimentation en eau potable, la protection des zones exposées aux inondations, ainsi que la production d'énergie hydroélectrique. (Douis et Bedjouti, 2017).

I.1.1.2. Présentation générale des barrages en Algérie

En Algérie, l'eau de surface constitue une ressource stratégique en raison de sa rareté, de la limitation des ressources disponibles et de l'irrégularité de son cycle naturel. La pression sur les ressources hydriques est accentuée par la forte concentration de la population dans la région septentrionale, qui regroupe près de 60 % des habitants sur seulement 10 % du territoire national. La disponibilité théorique en eau par habitant a connu une diminution continue, passant de 1500 m³/an en 1962 à environ 500 m³/an actuellement, traduisant une situation de stress hydrique croissant. Les ressources en eau de surface sont estimées à environ 12,4 milliards de m³ par an et se caractérisent par une forte variabilité saisonnière, alors que les besoins en eau, notamment pour l'irrigation, l'alimentation en eau potable et le tourisme, atteignent leur maximum durant les périodes de faibles apports. Dans ce contexte, les barrages représentent un outil essentiel de mobilisation et de régulation des eaux superficielles. Bien que les barrages algériens soient généralement de capacité moyenne, ils jouent un rôle fondamental dans la sécurisation de l'approvisionnement en eau. À ce jour, l'Algérie dispose de plus de 110 barrages en exploitation, dont une partie significative permet de régulariser annuellement près de 1,75 milliard de m³ d'eau, soit environ 40 % du potentiel mobilisable, contribuant ainsi de manière déterminante à la gestion durable des ressources hydriques du pays. (Messai, 2017).

I.1.1.3. Les barrages à Tissemsilt

La topographie de la wilaya de Tissemsilt est marquée par la dominance du massif de l'Ouarsenis, conférant à la région un aspect accidenté. Cette configuration géographique favorise

une érosion intense, particulièrement sur les versants nord où les pentes excèdent les 20 %.(Ziani, 2021).

Sur le plan hydrologique, le régime des cours d'eau est étroitement lié aux contraintes climatiques locales. Si l'évapotranspiration élevée et la faiblesse des précipitations durant la période estivale rendent le débit des oueds presque insignifiant, les crues hivernales génèrent, en revanche, des apports d'eau considérables. Pour mobiliser ces ressources, la wilaya dispose d'un réseau de barrages stratégiques, à savoir :

- Le barrage de Koudiet Errosfa ; commune de **Bordj Bou Naama**
- Le barrage de Bougara ; commune de **Tissemsilt**
- Le barrage de Tamellaht ; commune de **Lardjem** (Ziani, 2021).

I.1.2. L'origine des eaux de barrage

I.1.2.1. Généralité sur l'eau

L'eau couvre environ 72 % de la surface du globe et constitue une réserve totale estimée à près de 1 350 milliards de m³ au sein de la biosphère. Cette ressource se caractérise toutefois par un recyclage permanent dans le cadre du cycle hydrologique. L'eau douce ne représente qu'environ 2,5 % du volume total des eaux présentes sur la planète. Parmi cette fraction, près des deux tiers sont stockés sous forme de glaciers et de couvertures neigeuses, tandis qu'environ un tiers est contenu dans les nappes souterraines, souvent difficiles d'accès. La part restante, estimée à seulement 0,3 % de l'eau douce, soit environ 0,007 % de la totalité de l'eau terrestre, se trouve dans les rivières, les ruisseaux, les lacs et les réservoirs. Cette faible proportion constitue néanmoins la principale source d'eau directement disponible pour les usages humains et se renouvelle relativement rapidement, avec un temps moyen de renouvellement d'environ 16 jours pour les rivières et 17 ans pour les lacs. (Boutahraoui, 2017).

I.1.2.2. Les ressources en eau

I.1.2.2.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent l'ensemble des réserves d'eau situées dans le sous-sol. Elles sont contenues dans des zones appelées aquifères, formées de roches poreuses ou fissurées. L'eau peut s'accumuler dans ces espaces vides et former des nappes, qui occupent totalement ou partiellement l'aquifère. La profondeur de ces nappes varie : certaines se trouvent à plusieurs

centaines de mètres sous la surface, tandis que les nappes phréatiques, proches de la surface, sont plus accessibles et facilement exploitées par les activités humaines. (El bir et Medar, 2020).

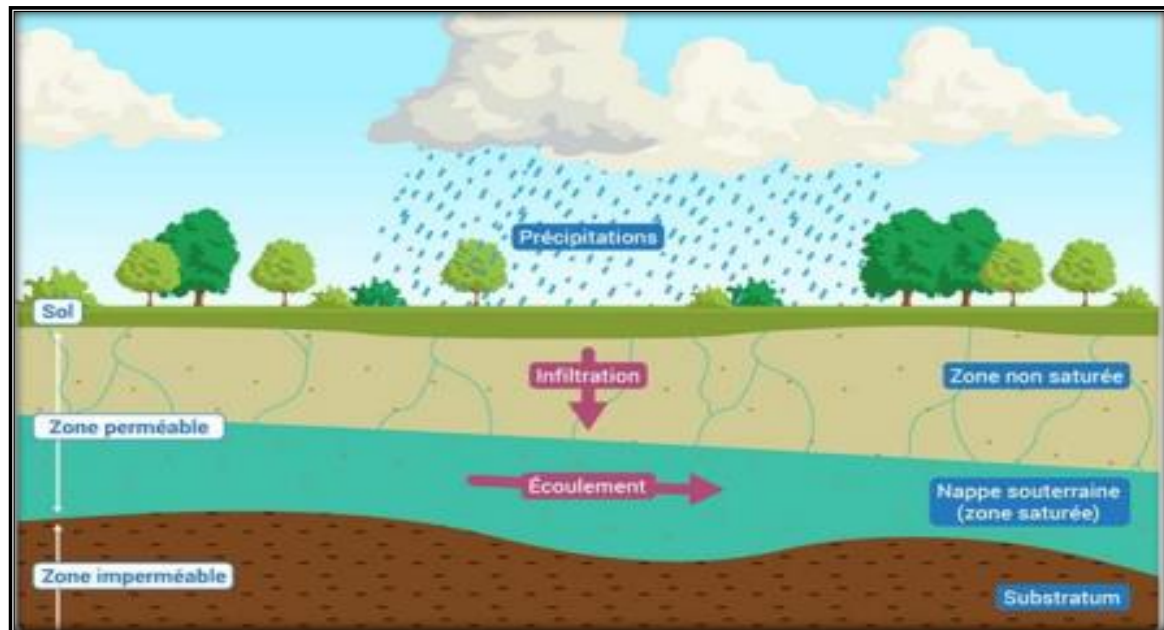


Figure 1: Structure des nappes souterraines (El bir et Medar, 2020).

De nombreux termes permettent de caractériser la nature et l'étendue des ressources en eau souterraine. Le niveau en dessous duquel tous les interstices du sol ou de la roche sont remplis d'eau est appelé la surface de saturation. Au-dessus de cette surface se situe la zone d'aération, où les pores contiennent à la fois de l'air et de l'eau. L'eau présente dans cette zone est appelée humidité du sol. Toute la région située sous la surface de saturation constitue la zone de saturation, et l'eau qu'elle contient correspond à l'eau souterraine.

I.1.2.2.2. Eaux de surface

Les eaux de surface proviennent soit de nappes souterraines dont l'émergence constitue des sources, soit du ruissellement des précipitations. Elles se rassemblent ensuite en cours d'eau, qui présentent une vitesse de circulation appréciable, et peuvent être stockées dans des réservoirs naturels, comme les lacs, ou artificiels, tels que les retenues de barrages. La composition chimique de ces eaux dépend de la nature des terrains traversés au sein des bassins versants. En chemin, l'eau dissout divers éléments du sol, ce qui la rend généralement riche en gaz dissous, en matières en suspension, en matière organique et en plancton. (Boutahraoui, 2017 ; El bir et Medar, 2020).

Les eaux de surface sont exposées à différents types de pollution, incluant les matières en suspension, les micro-organismes du sol et les déchets domestiques ou industriels. On peut les classer selon leur situation géographique et leur type :

- **Eaux de rivières** : La partie amont, souvent en zones montagneuses, est caractérisée par des températures basses, une faible contamination bactérienne mais une turbidité élevée due à la présence de matières en suspension. La partie aval, située dans des zones à forte densité de population et activité agricole, présente une contamination bactérienne et une pollution organique et inorganique plus importantes.
- **Eaux de lacs** : Les lacs agissent comme des bassins de décantation naturelle, avec une turbidité faible et une contamination limitée. Les variations des caractéristiques des eaux sont lentes au cours de l'année, excepté au printemps et à l'automne, où des renversements thermiques peuvent provoquer une augmentation brusque de la turbidité.
- **Eaux de barrages** : Les retenues d'eau présentent une composition influencée par la géologie du bassin versant, le fond du réservoir, le vent, les précipitations et la température. La stratification thermique typique se compose de trois zones :
 - **Épilimnion** : zone superficielle, aérée, éclairée et réchauffée en été, abritant une vie intense, où les algues consomment le CO₂ et libèrent de l'oxygène.
 - **Mésolimnion** : zone de transition où la teneur en oxygène décroît avec la profondeur, entraînant la disparition progressive des espèces aérobies au profit de celles moins exigeantes ou anaérobies.
 - **Hypolimnion** : zone profonde dépourvue d'oxygène, siège de fermentations anaérobies qui produisent notamment du méthane et de l'hydrogène sulfuré, et contribuent à la solubilisation des minéraux du fond.

Ainsi, la qualité et les caractéristiques des eaux de surface varient selon leur origine, leur parcours et leur situation dans les bassins hydrologiques. (Boutahraoui, 2017).

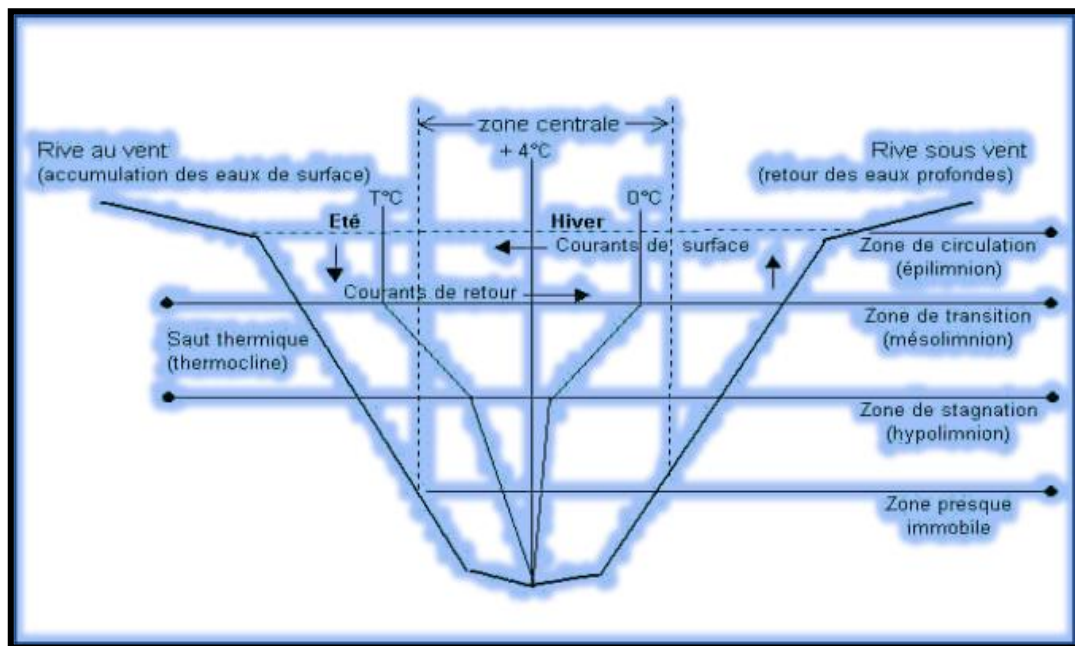


Figure 2 : Coupe schématique d'un barrage. (Boutahraoui, 2017).

I.1.3. Rôle et utilisations des eaux des barrages

Les barrages remplissent principalement deux fonctions essentielles. D'une part, ils permettent de stocker l'eau pour répondre aux besoins vitaux et économiques des populations, tels que l'eau potable, l'irrigation, la production d'énergie ou la navigation. D'autre part, ils servent à protéger contre les effets destructeurs de l'eau, notamment en maîtrisant les crues, en retenant les sédiments ou en limitant les risques liés aux avalanches. (Serifeg et Lessaad, 2020).

À l'origine, les barrages étaient construits surtout pour assurer l'approvisionnement en eau et faciliter l'irrigation. Avec le temps et le développement des sociétés, leurs fonctions se sont diversifiées pour inclure le contrôle des crues, la navigation, la qualité de l'eau, la gestion des sédiments et la production d'électricité. Certains barrages sont ainsi conçus pour un usage spécifique, tandis que d'autres sont polyvalents et combinent plusieurs fonctions. Selon les dernières données du Registre mondial des Grands Barrages, l'irrigation reste le principal motif de construction des barrages : parmi ceux à usage unique, 48 % sont destinés à l'irrigation, 17 % à l'hydroélectricité, 13 % à l'approvisionnement en eau, 10 % au contrôle des crues, 5 % aux loisirs et moins de 1 % à la navigation ou à la pisciculture. (Derdous, 2016).

I.1.3.1. Usage agricole

La majorité des agriculteurs s'appuie principalement sur les sources d'eau naturelles locales plutôt que sur les systèmes publics de distribution. Dans le monde, la plus grande partie des prélèvements d'eau est destinée à l'irrigation, une pratique très ancienne connue depuis

l'Antiquité. Aujourd'hui, environ 15 % des terres arables mondiales sont irriguées, avec des proportions beaucoup plus élevées dans certains pays comme le Pakistan (plus de trois quarts) et l'Égypte. L'irrigation permet d'augmenter le rendement des terres tout en réduisant, voire en supprimant, les aléas liés aux variations climatiques et à d'autres contraintes naturelles. Cependant, l'eau utilisée pour l'irrigation ne peut pas être facilement réaffectée à d'autres usages. Les plantes utilisent l'eau non seulement pour le développement de leurs tissus via la photosynthèse, mais aussi pour réguler leur température. En absorbant l'eau du sol et en la transférant vers les feuilles, elles permettent son évaporation dans l'atmosphère. Ainsi, la quantité d'eau utilisée par les plantes dépend du type de culture, de la disponibilité en eau du sol et de la capacité de l'atmosphère à extraire l'eau des plantes et du sol. **(Berranem, 2012).**

I.1.3.2. Usage domestique

L'usage domestique de l'eau englobe principalement la consommation d'eau potable, les bains, la cuisine, les installations sanitaires et le jardinage. À l'échelle mondiale, cette consommation représente environ 8 à 10 % de la consommation totale d'eau. **(Berranem, 2012).**

I.1.3.3. Usage industriel

Les industries de transformation sont généralement les plus grandes consommatrices d'eau. La majeure partie de l'eau utilisée par l'industrie provient de réserves naturelles, comme les rivières, et 80 à 90 % de cette eau sert principalement au refroidissement, dont 90 % est ensuite restituée au milieu naturel. Les besoins spécifiques varient selon le type d'industrie : par exemple, 6 à 10 m³ d'eau par tonne d'acier, 0,3 m³ par tonne de pétrole raffiné, 40 à 80 m³ par tonne de papier, et dans l'industrie chimique, 450 m³ par tonne d'acide acétique et 900 m³ par tonne de sulfate d'ammonium.

La part de la consommation industrielle par rapport à l'usage domestique dépend fortement des conditions régionales. Dans les zones urbaines fortement développées, l'industrie peut représenter de 10 à 50 % de la consommation totale d'eau, tandis que les zones portuaires utilisent souvent davantage d'eau brute pour leurs activités industrielles. **(Berranem, 2012 ; Masschelein, 1996).**

I.2. Pollution métallique et impacts biologiques

I.2.4. Les métaux lourds

I.2.4.1. Définition des métaux lourds

On désigne par métaux lourds l'ensemble des éléments métalliques naturels dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm³. Ces éléments sont généralement présents dans l'environnement à l'état de traces, tels que le mercure, le plomb, le cadmium, le cuivre, l'arsenic, le nickel, le zinc, le cobalt ou encore le manganèse.

Du point de vue chimique, les métaux correspondent aux éléments de la classification périodique capables de former des cations en solution. Les métaux lourds, présentés dans le tableau I.1, se retrouvent dans l'ensemble des compartiments de l'environnement, le plus souvent à de très faibles concentrations. Ils regroupent principalement les éléments de transition possédant une orbitale **D** partiellement remplie, incluant les lanthanides et les actinides (blocs **D** et **F** de la classification de Mendeleïev), à l'exception du scandium, du titane et de l'yttrium. S'ajoutent également à cette catégorie certains éléments intermédiaires peu électronégatifs du bloc **P**, tels que le plomb et l'étain. (Boulaha et Fernane, 2023).

Tableau 1: Répartition des métaux lourds de densité supérieure à 5 selon les blocs s, p, d et f.
(Boulaha et Fernane, 2023).

Bloc S												Bloc p					
H		Métaux lourds de densité > 5															He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Bloc d					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Ti	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Bloc f														
Lanthanides			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
Transuraniens			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr	

I.2.4.2. Sources de pollution par les métaux lourds

L'extraction annuelle de millions de tonnes de métaux lourds entraîne une dispersion massive de ces éléments au sein de la biosphère. L'expansion urbaine galopante et l'intensification industrielle constituent aujourd'hui des facteurs déterminants de la dégradation environnementale. Cette interaction complexe entre le milieu urbain (zones industrielles, rejets d'eaux usées) et l'écosystème impacte directement la santé humaine. On distingue généralement deux origines principales à cette pollution : les sources naturelles et les sources anthropiques. **(Denideni et Maghnem, 2017 ; Leygoniel, 1993).**

I.2.4.2.1. Origine naturelle

Les métaux lourds sont naturellement présents dans l'ensemble des écosystèmes, où ils sont introduits à de très faibles concentrations par le biais des processus géologiques et des cycles biologiques. Les roches-mères constituent la principale source naturelle de ces éléments.

Au cours des processus d'altération, ces roches relâchent progressivement les métaux lourds, contribuant ainsi à l'établissement du fond géochimique naturel.

La concentration naturelle des métaux lourds dans les sols varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment la nature lithologique de la roche, sa position géographique et son ancienneté. Ces éléments peuvent être apportés aux écosystèmes par différents phénomènes naturels tels que l'activité volcanique, les processus d'altération de la croûte terrestre ainsi que les incendies de forêts. **(Boukhanfouf, 2023 ; Meer et al, 2020).**

I.2.4.2.2. Origine anthropique

La contamination par les métaux lourds est majoritairement attribuée aux activités humaines, certaines zones présentant des concentrations largement supérieures aux niveaux correspondant au fond naturel. Ces enrichissements anormaux résultent de diverses pratiques anthropiques, notamment les activités agricoles, industrielles, pétrochimiques, minières et métallurgiques, ainsi que le transport et l'incinération des déchets.

Les métaux issus des apports anthropiques se caractérisent par des formes chimiques généralement plus réactives, ce qui les rend potentiellement plus dangereux que ceux d'origine naturelle, lesquels sont le plus souvent piégés sous des formes relativement stables et peu mobiles.

L'accumulation de ces métaux dans les sols constitue une menace sérieuse pour la sécurité alimentaire et la santé humaine, tout en engendrant des impacts négatifs sur les écosystèmes terrestres et aquatiques. La solubilité des métaux lourds joue un rôle déterminant dans leur mobilité, leur biodisponibilité et leur toxicité, ces deux derniers paramètres étant étroitement liés à leur spéciation chimique. (Boukhanfouf, 2023 ; Tarekegn et al , 2020).

I.2.5. Transfert de contamination et toxicité

I.2.5.1. Les transferts de contamination dans le milieu marin

De nombreux organismes marins ont la capacité d'accumuler les contaminants dans leurs différents organes à des concentrations parfois très élevées. Ces phénomènes résultent de mécanismes d'accumulation qui dépendent principalement des taux d'absorption, d'excrétion et de stockage propres à chaque élément.

I.2.5.1.1. La bioaccumulation

La bioaccumulation correspond au processus par lequel un organisme vivant assimile une substance à un rythme supérieur à celui de son élimination ou de sa transformation métabolique. Elle englobe l'ensemble des voies d'absorption, qu'elles soient directes à partir du milieu environnant ou indirectes via l'alimentation, chez les espèces aquatiques et terrestres

Les organismes absorbent ainsi les contaminants présents dans leur environnement. Les composés hydrophobes, en raison de leur affinité pour les lipides, se concentrent préférentiellement dans les tissus adipeux où ils tendent à persister et à s'accumuler. Lorsque ces substances sont lentement métabolisées, leur concentration peut augmenter progressivement à chaque transfert trophique entre proie et prédateur. (Cherifi et Mekhissi, 2022).

I.2.5.1.2. La bioconcentration

La bioconcentration constitue un cas particulier de la bioaccumulation. Elle se définit comme le processus par lequel une substance atteint, au sein d'un organisme vivant, une concentration supérieure à celle observée dans le milieu environnant. Il s'agit donc de l'augmentation directe de la concentration d'un contaminant lors de son passage de l'eau vers un organisme aquatique.

Le facteur de bioconcentration (BCF) correspond au rapport entre la concentration du composé chimique dans l'organisme et celle mesurée dans l'eau, lorsque l'état d'équilibre est atteint. (Cherifi et Mekhissi, 2022).

I.2.5.1.3. La bioamplification

La bioamplification désigne l'augmentation progressive de la concentration d'un toxique le long de la chaîne trophique. Ce phénomène se produit lorsque des organismes de grande taille consomment des organismes plus petits déjà contaminés. Si la substance toxique n'est ni dégradée ni éliminée efficacement, elle s'accumule d'un niveau trophique à l'autre, entraînant une concentration de plus en plus élevée chez les prédateurs situés au sommet de la chaîne alimentaire. **(Cherifi et Mekhissi, 2022).**

I.2.5.2. Effets des métaux lourds sur les plantes et toxicité

Les métaux lourds constituent une menace importante pour l'environnement en raison de leur persistance et de leur caractère non biodégradable. Ils s'intègrent aux cycles minéraux et biologiques où ils ont tendance à s'accumuler progressivement. Leur transfert à travers la chaîne alimentaire favorise leur entrée dans les organismes vivants, ce qui peut engendrer divers effets toxiques.

La toxicité des métaux lourds chez les végétaux est étroitement liée à leur mobilité au niveau de l'interface sol-plante ainsi qu'à leur redistribution au sein des tissus végétaux. Cette mobilité conditionne la concentration interne (endogène) du métal dans la plante. **(Boumissa et Chelouche, 2016).**

Les effets les plus fréquemment observés se traduisent par :

- Une diminution de la croissance des différents organes de la plante ;
- L'apparition d'une chlorose, résultant d'une réduction de la teneur en chlorophylle, d'une augmentation relative des caroténoïdes et d'une carence en fer ;
- La formation de taches nécrotiques sur les tissus végétaux ;
- Une baisse de l'activité photosynthétique ;
- Une compétition avec d'autres cations pour les sites de fixation situés au niveau de la paroi pecto-cellulosique des cellules racinaires ;
- Une perturbation de l'absorption des cations, pouvant se manifester par une inhibition ou, dans certains cas, une stimulation, et entraînant ainsi des modifications notables du métabolisme cellulaire.

I.2.5.3. Réponse des plantes à la toxicité des métaux

Face aux effets néfastes des métaux lourds, les plantes développent divers mécanismes adaptatifs leur permettant de limiter la toxicité et d'assurer leur survie. Ces mécanismes de défense participent soit à la détoxification, soit à l'acquisition d'une certaine tolérance vis-à-vis des métaux. **(Boumissa et Chelouche, 2016).**

Parmi les principales stratégies mises en œuvre, on peut citer :

- La limitation du déplacement des métaux grâce à l'association avec les mycorhizes ;
- La fixation des métaux au niveau de la membrane cellulaire ou leur liaison aux exsudats racinaires ;
- La diminution de l'entrée des ions métalliques à travers la membrane plasmique, accompagnée d'un efflux actif depuis l'apoplaste ;
- La synthèse et la présence de composés chélateurs dans le cytosol ;
- La réparation active de la membrane plasmique en situation de stress ;
- Le transport des complexes métal–ligand (tels que les phytochelatines) vers les vacuoles ;
- La compartimentation et l'accumulation des métaux à l'intérieur des vacuoles. **(Boumissa et Chelouche, 2016).**

Chapitre II

Division Cellulaire et Déformations Génétique chez les Plantes

II. Division Cellulaire et Déformations Génétique chez les Plantes

II.1. Organisation et cycle cellulaire chez les plantes

II.1.1. Le cycle cellulaire (Interphase et phase M)

II.1.1.1. Découverte du cycle cellulaire

Le terme **MITOSE** provient du mot grec **MITOS**, signifiant « filament », en référence à l'aspect filamenteux des chromosomes observé au cours de cette phase. En revanche, l'interphase, longtemps appelée « phase de repos », désignait la période durant laquelle la cellule ne présentait pas de signes visibles de division, ce qui donnait l'impression d'une absence d'activité. (Djeghout, 2013)

À partir de la seconde moitié du XX^e siècle, les avancées en biologie cellulaire ont permis de préciser l'organisation du cycle cellulaire. Celui-ci est désormais subdivisé en quatre phases successives : la phase G1, la phase S, la phase G2 et la phase M (mitose ou méiose). Chez la majorité des cellules eucaryotes, la durée du cycle cellulaire varie généralement entre 10 et 30 heures, bien que cette durée puisse différer selon le type cellulaire et le stade de développement considéré. (Djeghout, 2013).

II.1.1.2. Les événements du cycle cellulaire

La division cellulaire est le processus fondamental permettant la production de nouvelles cellules et la transmission de l'information génétique. Son étude a été réalisée grâce à différents modèles expérimentaux, tels que les levures, les ovocytes de *Xenopus laevis* et les embryons de *Drosophila melanogaster* (Djeghout, 2013).

Le cycle cellulaire comprend plusieurs phases organisées afin d'assurer la duplication puis la répartition correcte des chromosomes. La phase S est consacrée à la réplication de l'ADN, ce qui conduit à la formation de chromatides sœurs identiques. La phase M, ou mitose, permet ensuite leur séparation et leur distribution équitable entre les deux cellules filles grâce au fuseau mitotique (Djeghout, 2013).

La mitose est suivie par la cytokinèse, étape au cours de laquelle le cytoplasme est divisé pour former deux cellules distinctes. Entre les phases S et M se trouvent les phases G1 et G2, qui assurent principalement la croissance cellulaire et la préparation aux étapes suivantes. La phase G1 constitue également un point de décision où la cellule peut poursuivre le cycle ou entrer en phase de repos G0 (Djeghout, 2013).

Des points de contrôle situés à la fin des phases G1 et G2 vérifient le bon déroulement des événements cellulaires avant la progression du cycle. Par ailleurs, les constituants cytoplasmiques, tels que les protéines et les ARN, sont synthétisés tout au long du cycle puis répartis entre les cellules filles lors de la division (**Djeghout, 2013**).

II.2. La mitose chez les cellules végétales

La mitose correspond à une division cellulaire fidèle qui permet la formation de deux cellules filles possédant la même information génétique que la cellule mère. Au sens strict, elle se déroule durant la phase M du cycle cellulaire et correspond principalement à la division du noyau. Chez les cellules végétales, ce mécanisme présente certaines particularités liées notamment à l'absence de centrioles et à la présence d'une paroi cellulaire rigide, ce qui le distingue du processus observé chez les cellules animales. Au cours de cette division, l'ensemble du matériel génétique – qu'il soit nucléaire, mitochondrial, chloroplastique ou cytoplasmique – est distribué de manière équivalente entre les deux cellules filles. (**Beaux et al, 2013**).

II.2.1. Les différentes étapes de la mitose dans la cellule végétale

La mitose chez les végétaux se déroule à travers plusieurs phases successives (Figure3) :

- **La prophase** : vers la fin de la phase G2, une structure appelée bande de préprophase (PPB) apparaît. Elle est constituée de microtubules associés à des filaments d'actine situés au niveau du cortex cellulaire. Au fur et à mesure de la prophase, cette bande devient progressivement plus condensée.
- **La métaphase** : le fuseau mitotique se met en place à partir de deux centres organisateurs de microtubules (MTOC). Les chromosomes s'alignent alors au niveau du plan équatorial de la cellule, correspondant à la position occupée précédemment par la PPB.
- **L'anaphase** : durant cette phase, les microtubules kinétochoriens tirent les chromatides sœurs vers les centres organisateurs situés aux pôles opposés de la cellule.
- **La télophase** : au début de cette étape apparaît une structure caractéristique des cellules végétales appelée phragmoplaste. Cette organisation complexe, composée de microtubules, de filaments d'actine et de diverses protéines, s'étend progressivement de manière centrifuge, contrairement à l'anneau contractile observé chez les cellules animales.
- **La cytodierèse** : au cours de sa progression, le phragmoplaste participe à la formation des nouvelles membranes cellulaires ainsi qu'à la mise en place de la paroi qui séparera les deux cellules filles. Il contribue également à la formation des plasmodesmes, structures assurant

la communication et la continuité entre les cellules nouvellement formées (Beaux *et al*, 2013).

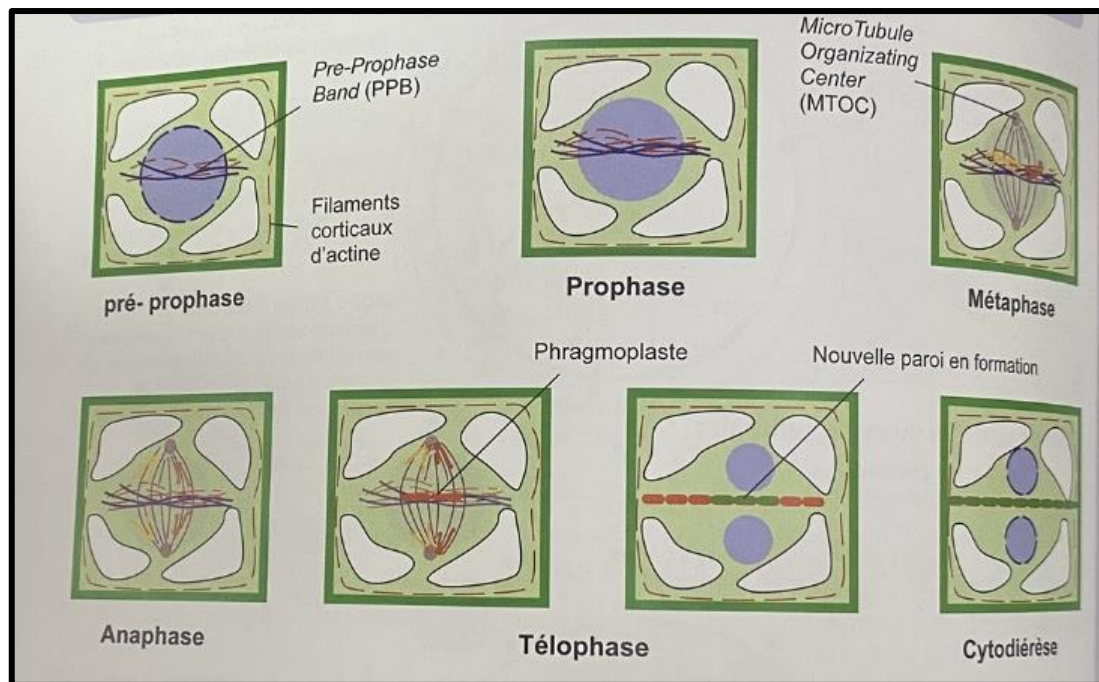


Figure 3 : Schéma descriptif des différentes étapes de la mitose chez une cellule végétale.
(Beaux *et al*, 2013).

II.3. Les mutations

Les mutations correspondent à des modifications qui surviennent dans l'information génétique d'une cellule, c'est-à-dire dans son génotype. Lorsqu'une mutation apparaît, elle peut être transmise aux cellules descendantes. Ces événements sont généralement très rares et se produisent de manière aléatoire. En effet, une mutation peut affecter n'importe quel gène, dans n'importe quelle cellule et à n'importe quel moment. (Yahiaoui *et al*, 2022).

II.3.1. Types de mutations génétiques

II.3.1.1. Les mutations chromosomiques

Les mutations chromosomiques correspondent à des modifications qui affectent un grand nombre de nucléotides dans l'ADN. En raison de leur ampleur, ces altérations peuvent être observées lors de la réalisation d'un caryotype. Elles peuvent se présenter sous différentes formes telles que la translocation, la duplication, l'inversion, l'insertion et la délétion.

II.3.1.2..Les mutations ponctuelles

- Une mutation ponctuelle correspond à une modification qui touche un ou plusieurs nucléotides au niveau d'un seul gène. Parmi les principaux types de mutations ponctuelles, on distingue :
- **La mutation non-sens** : dans ce cas, un codon qui code normalement pour un acide aminé est transformé en codon-stop.
- **La mutation faux-sens** : elle se produit lorsqu'un nucléotide est remplacé par un autre. Cette substitution peut, selon la situation, provoquer un changement de l'acide aminé codé. (Yahiaoui et al, 2022).

La mutation silencieuse se produit en raison de la redondance du code génétique. Dans ce cas, malgré la modification au niveau des nucléotides, la séquence de la protéine reste inchangée, ce qui explique l'appellation « silencieuse ».

II.3.1.3. Les mutations germinales / somatiques

- **Mutation somatique** : elle concerne les cellules non reproductrices. Par conséquent, cette altération génétique n'est pas transmise aux générations suivantes.
- **Mutation germinale** : dans ce cas, la mutation affecte les cellules impliquées dans la reproduction, ce qui permet sa transmission à la descendance. (Yahiaoui et al, 2022).

II.4. Mécanisme de réparation

II.4.1. Réparation des cassures double brin

II.4.1.1. Réparation directe des bases (sans intervention de polymérase)

Ce mécanisme concerne certaines modifications très spécifiques des bases, telles que :

- Les dimères de thymine.
- Certaines alkylations.

Ces types de réparation restent limités à un nombre restreint d'altérations précises.

II.4.1.2. Réparation des cassures double brin causées par :

- Les rayonnements.
- Les agents anti-tumoraux.
- Les radicaux libres.

Les principales voies de réparation incluent :

- **NHEJ (Non-Homologous End Joining) ou RH (Recombinaison Homologue) :**
ligation directe des brins ou recombinaison homologue.

II.4.1.3. Réparation par excision de bases (BER, Base Excision Repair) :

- Protection contre les effets secondaires du métabolisme cellulaire.
- Réparation de lésions simples des bases, telles que :
 - Oxydations
 - Alkylations
 - Désaminations
- Sites apyrimidiques ou apurinique.

II.4.1.4. Réparation des cassures simple brin

II.4.1.4.1. Réparation par excision de nucléotides (NER, Nucleotide Excision Repair)

- Permet de réparer des lésions volumineuses provoquant une déformation de l'ADN.
- Dimères de thymine (UV).
- Adduits intra-brins (par exemple cis-platine).

Dans ce mécanisme, un segment entier d'ADN est retiré par une double incision.

II.4.1.4.1. Réparation des mésappariements (MMR, Mismatch Repair)

- Concerne des paires de nucléotides non complémentaires.
- Les erreurs peuvent être dues à :
 - Des erreurs de polymérase, survenant juste après la réplication.

Des tautomères de bases, apparus en cours de réplication (Yahiaoui et *al*, 2022).

Chapitre III

Présentation la zone d'étude

III. Présentation la zone d'étude

III.1. Présentation du Barrage de Bougara :

Le Barrage de Bougara est localisé sur l'Oued Nahr Ouassel à 2km du hameau portant le même nom. Ce barrage a été élaboré dans le but d'irriguer les plaines situées au sud de la wilaya de Tissemsilt qui connaît des précipitations faibles et irrégulières.

Effectivement, la capacité utile de $11 \times 10^6 \text{ m}^3$ de la retenue assure une régularisation interannuelle d'un volume de $5,0 \times 10^6 \text{ m}^3$, prévu pour l'irrigation d'une superficie de 1000 ha (Laalili et al, 2017). Le barrage réalisé inclut :

Une digue uniforme avec un drainage par fossé. - Une structure en béton unique, qui remplit plusieurs fonctions telles que l'évacuation des crues, la prise d'eau et le vidange de fond, d'où l'appellation d'ouvrage groupé. Les travaux de construction ont débuté en 1987 et se sont achevés en 1990. L'acceptation provisoire du barrage a été déclarée en mai 1991 (Laalili et al, 2017).

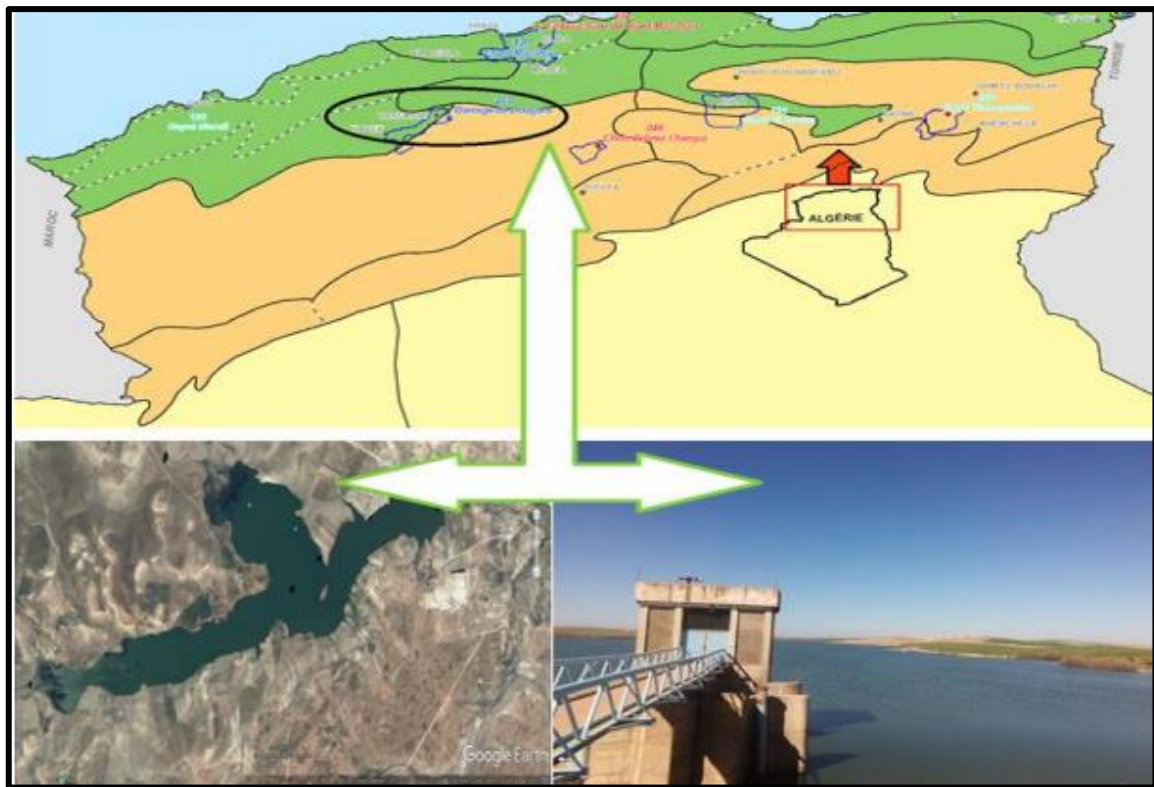


Figure 4 : cartographie de Barrage de Bougara (Laalili et al, 2017).

III.1.1. Dossier technique du barrage de Bougara :

- **Région** : Tiaret et Tlissemsilt
- **Municipalité** : Colonel Bougara
- **Oued** : Fleuve Nahr Oussel
- **Type** : Sol homogène avec drainage par canalisation.
- **Déversoir** : Côté latéral.
- **Démarrage des travaux** : Septembre 1987
- **Achèvement des travaux** : Mai 1991
- **Capacité de départ** : 13,00 Hm³
- **Apport moyen par an** : $9 \times 10^6 \text{ m}^3$
- **Moyenne annuelle des précipitations** : 355 mm
- **Sédimentation annuelle** : 0,030 Hm³
- **Volume ajusté** : 5, 5 Hm³
- **Niveau de retenue standard** : 809,50 m
- **Aire de la surface aquatique à la RN** : 510,16 m
- **But** : Mise en place d'un système d'irrigation pour la zone de Bougara (1000 hectares)
- **Superficie du bassin versant** : 454 km² (Bettah et al, 2020).

III.1.2. Paramètres édaphiques :

Le périmètre du barrage de Bougara est constitué principalement de terres présentant une bonne valeur agricole. Ces sols se caractérisent généralement par une texture sableuse à limono-sableuse, avec des limons fins de couleur sombre. La principale activité agricole pratiquée dans cette zone est la céréaliculture, qui représente l'utilisation dominante de ces terres et permet d'obtenir des rendements pouvant atteindre 25 qx/ha (Rebhi, 2019).

Cependant, certaines zones situées au sud du barrage sont caractérisées par des terres à faible productivité agricole. Ces terrains présentent un relief accidenté et un aspect rocheux ou rocaillieux, ce qui limite leur exploitation agricole (Rebhi, 2019).

III.2. Synthèse climatique :

Les conditions climatiques de la région du barrage de Bougara sont étroitement liées à sa position géographique, aux modes de circulation atmosphérique, ainsi qu'aux caractéristiques du relief local (Rebhi, 2019 ; Ladjal, 2013).

III.2.1. Température :

L'analyse des températures mesurées entre 1998 et 2005 révèle que la température moyenne minimale de 1,47°C correspond au mois de janvier, considéré comme le mois le plus froid. Le mois de juillet est le plus chaud avec une température moyenne maximale de 36,64°C. (Tableau 2). (Rebhi, 2019)

Tableau 2: Température de la zone d'étude. (Rebhi, 2019 ; Abderrahim, 2016)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Jul.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Tmin	1.47	2.03	4.76	5.75	9.51	14.64	17.68	17.87	14.23	10.93	5.41	2.34
Tmax	11.64	12.34	15.91	20.24	25.55	32.63	36.64	35.88	29.34	24.37	16.14	11.97
Tmoy	6.35	6.91	10.33	12.99	17.45	23.66	27.19	26.88	21.78	17.65	10.77	7.15

III.2.2. Pluviométrie :

La pluviométrie constitue un facteur déterminant dans la caractérisation du climat d'une région et exerce une influence directe sur la répartition et le développement de la végétation. Dans la zone d'étude, le climat se distingue par l'existence de deux saisons principales : une saison pluvieuse correspondant généralement à la période froide, et une saison sèche qui coïncide avec la période chaude.

À l'instar de l'ensemble des régions du bassin méditerranéen, les précipitations se caractérisent par une répartition irrégulière au cours de l'année, tant sur le plan temporel que quantitatif. (Tableau 3) . (Rebhi, 2019)

Tableau 3: La pluviométrie de la zone d'étude (Rebhi, 2019)

Mois	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Jul.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
P (mm)	54.41	54.38	51.06	38.15	32.02	10.85	1.85	8.61	24.5	32.34	51.51	47.44

III.2.3. Le vent :

La connaissance de l'intensité et de la direction du vent, qui est l'un des composants les plus distinctifs du climat, se révèle essentielle. Dans la zone d'étude, la direction principale du vent est nord-ouest. Le sirocco est un phénomène caractéristique de la saison estivale. (Rebhi, 2019)

III.2.4. Gelée :

La présence de la gelée est dictée par l'altitude et l'orientation de la région. On la remarque dès le mois de décembre. L'une des principales raisons de la perte des cultures est les gelées tardives qui peuvent persister jusqu'en avril (**Rebhi, 2019**).

III.2.5. Neige :

Dans la zone agricole de Tissemsilt, la neige constitue une ressource en eau importante pour le sol et les plantes. Elle survient principalement en hiver, avec une moyenne de 06 jours par an. (**Rebhi, 2019**)

III.2.6. Indice d'aridité de De Martonne (I)

Cet indice permet de définir le degré d'aridité d'une région. Il est calculé selon la formule suivante :

$$I = \frac{p}{T+10}$$

D'après nos calculs

$$P = 407,11 \text{ mm}$$

$$T = 15,76 \text{ °C}$$

$$I = 15,80$$

Interprétation : La valeur obtenue ($10 < I < 20$) classe notre zone d'étude dans l'étage semi-aride.

III.2.7. Synthèse du bioclimat (Quotient d'Emberger)

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2) représente l'un des descripteurs climatiques les plus pertinents pour le bassin méditerranéen. Il permet d'intégrer les précipitations et les amplitudes thermiques afin de définir avec précision l'étage bioclimatique de la zone d'étude.

Selon la classification de **Emberger (1955)**, le domaine méditerranéen se subdivise en cinq étages principaux (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien), nuancés par quatre variantes thermiques définies selon la température minimale moyenne du mois le plus froid (m) :

- **Hiver froid** : $m < 0 \text{ °C}$.
- **Hiver frais** : $0 \text{ °C} < m < 3 \text{ °C}$.
- **Hiver doux (ou tempéré)** : $3 \text{ °C} < m < 7 \text{ °C}$.
- **Hiver chaud** : $m > 7 \text{ °C}$.

Pour déterminer la position de notre région sur le climagramme d'Emberger, nous utilisons le quotient calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

D'où :

- **Q_2** : quotient pluviométrique ;
- **P** : Précipitation annuelle en mm ;
- **M** : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en °K ;
- **m** : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en °K ;
- **°K = °C + 273** (Valeur simplifiée utilisée pour la conversion)

Sur la base des données climatologiques récoltées (Rebhi, 2019), les calculs aboutissent aux résultats suivants :

- **P** = 407,12 mm
- **M** = 36,64 + 273 = 309,64 °K
- **m** = 1,47 + 273 = 274,47 °K

L'application de ces valeurs donne un quotient **Q_2 égal à 39,64**.

Interprétation et synthèse :

Le report de cette valeur ($Q_2 = 39,6$) ainsi que de la température minimale du mois le plus froid ($m = 1,47$ °C) sur le climagramme d'Emberger permet de classer la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride.

Compte tenu de la valeur de m (située dans l'intervalle $0 < m < 3$), la région se caractérise par une variante thermique à hiver frais. Cette position bioclimatique explique la nature de la végétation steppique ou forestière dégradée rencontrée sur le terrain, ainsi que les contraintes hydriques marquées durant la saison estivale (**Figure5**).

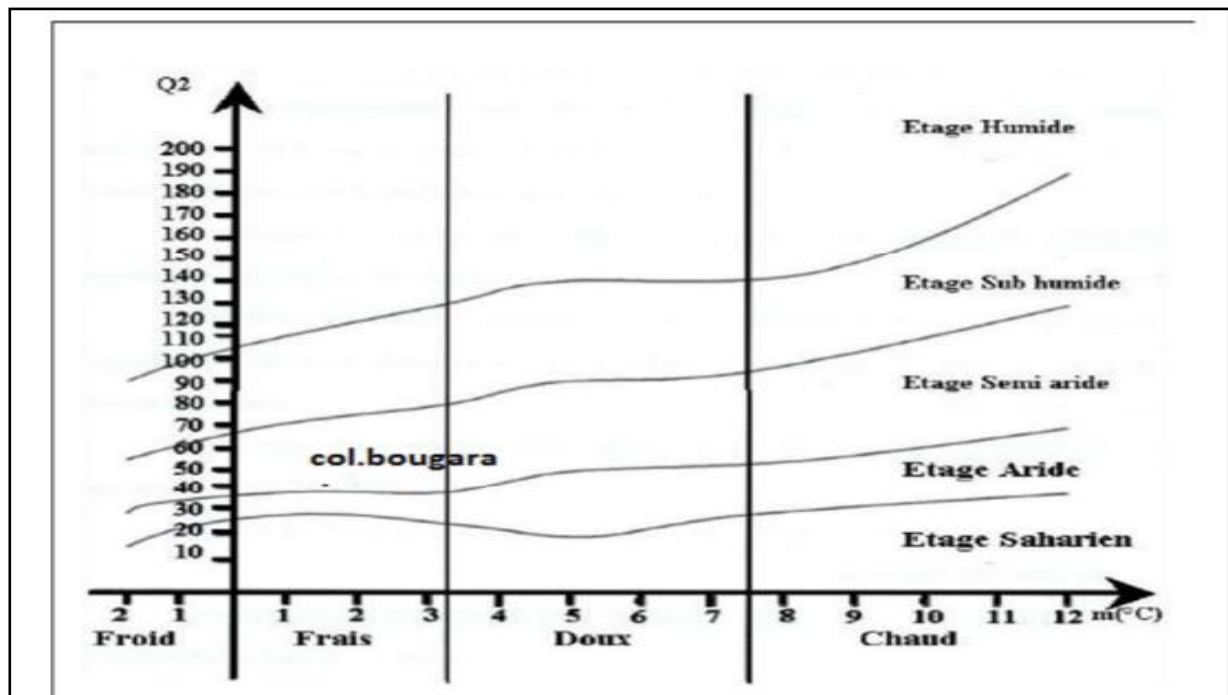


Figure 5 : Climagramme d'Emberger. (Rebhi, 2019).

III.3. Caractéristiques écologiques de la retenue

III.3.1. Qualité de l'eau :

L'eau de la retenue Colonel Bougara présente une qualité inférieure (avec un à deux grammes de sels dissous par litre), et cela devrait être considéré en cas destinée à l'irrigation. En plus de cela, nous avons observé le rejet des eaux usées urbaines dans les oueds du bassin versant, notamment en aval de la ville de Tissemsilt.

Ces rejets sont dispersés lors des périodes de crue et se volatilisent et s'infiltrent durant l'été. Les dépôts accumulés dans le lit des oueds à la fin de l'été sont emportés par les premières inondations d'automne (Laalili et al, 2017).

III.3.2. Flore :

L'inventaire du site de Barrage Bougara réalisé en mai 2009 met en évidence la diversité floristique de la zone humide. 19 espèces appartenant à 16 familles botaniques dans la zone humide autour du barrage de Bougara ont été recensées, classée en tant que végétation annuelle riveraine (roseau commun, picidé, chardon à feuilles épineuses, chardon lancéolé, Alysse) (Laalili et al, 2017).

III.3.3. Faune :

Le barrage Bougara abrite une biodiversité riche et variée. On y trouve principalement des mammifères tels que le Chacal doré, la Mangouste et le Chat sauvage, ainsi que divers reptiles et amphibiens comme la Cistude d'Europe, la Tortue mauresque et la Rainette verte. De plus, le site est également peuplé de poissons comme la Carpe herbivore, la Carpe royale et le Barbeau. Et d'oiseaux tels que le Flamant rose, l'Echasse blanche et l'Avocette élégante, entre autres (**Laalili et al, 2017**).

Chapitre IV

Matériels et méthodes

IV. Matériels et méthodes

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des eaux du barrage de Bougara sur la croissance et le développement racinaire d'*Allium cepa* (oignon), en utilisant des observations réalisées à la fois à l'échelle macroscopique et microscopique.

Sur le plan macroscopique, l'expérience consiste à suivre l'évolution de la croissance des racines d'*Allium cepa* irriguées par les eaux du barrage et à la comparer à celle d'un lot témoin cultivé dans une eau distillée. La longueur des racines est mesurée toutes les 24 heures pendant cinq jours afin d'apprécier l'effet de l'eau testée sur la vitesse de croissance et le développement du système racinaire.

Sur le plan microscopique, l'étude porte sur l'analyse de l'activité mitotique au niveau des tissus méristématiques situés à l'extrémité des racines. L'observation des cellules en division permet d'évaluer l'impact potentiel des eaux du barrage sur le cycle cellulaire, notamment à travers la détermination de l'indice mitotique et l'identification d'éventuelles anomalies chromosomiques ou perturbations de la division cellulaire.

Ainsi, cette étude vise à mettre en évidence les effets éventuels des eaux du barrage de Bougara sur la croissance racinaire et sur le fonctionnement cellulaire d'*Allium cepa*, espèce largement utilisée comme bioindicateur dans les tests de phytotoxicité et de génotoxicité environnementale.

IV.1. Matériels et Réactifs

Cette section décrit l'ensemble des équipements techniques et des substances chimiques utilisés pour mener à bien l'étude de la génotoxicité (Test *Allium cepa*) sur les eaux du barrage Colonel de Bougara.

IV.1.1. Matériel de laboratoire

L'expérimentation a nécessité l'utilisation du matériel suivant :

IV.1.1.1. Matériel d'observation :

- **Microscope optique** : Un microscope est un outil qui permet d'observer des éléments qui ne sont pas visibles à l'oeil nu. La plupart des microscopes optiques utilisés permettent un grossissement allant de 40X à 1000X. utilisé pour l'examen cytologique des racines, l'identification des phases de la mitose et le dénombrement des aberrations chromosomiques (Figure6).



Figure 6 : Microscope optique binoculaire (Modèle OPTIKA) utilisé pour l'observation des échantillons.

IV.1.1.2. Équipements thermiques et de conservation :

- **Bain-marie** : utilisé pour l'étape d'hydrolyse acide des apex racinaires(Figure7).

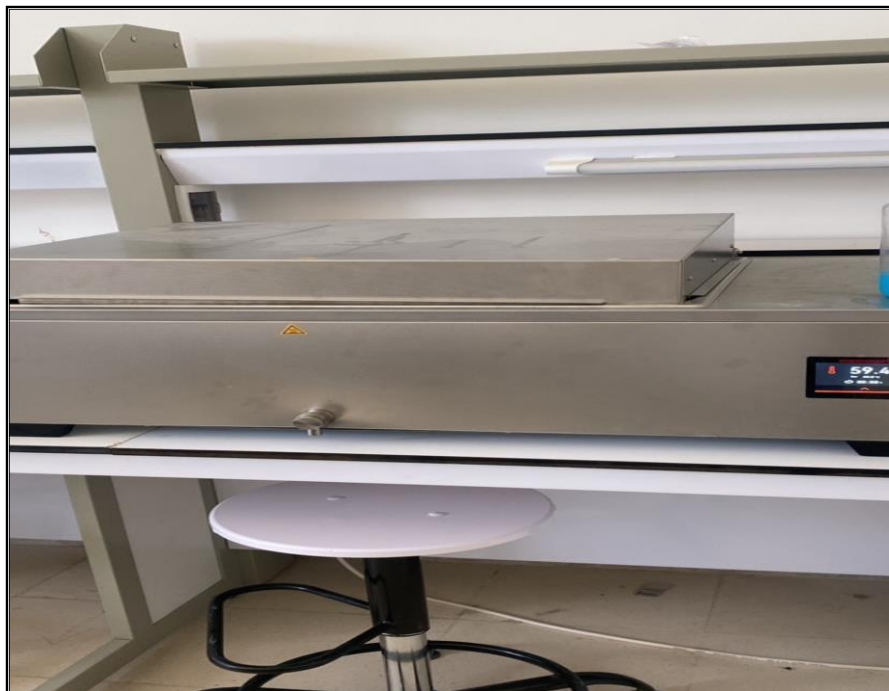


Figure 7 : Bain-marie thermostaté à affichage numérique utilisé lors des manipulations.

- **Réfrigérateur** : utilisé pour la conservation des échantillons d'eau et des racines fixées dans le Carnoy (Figure8).



Figure 8 : Armoire de congélation basse température utilisée pour la conservation des échantillons.

IV.1.1.3. Matériel de précision et verrerie :

- **Pipettes** : pour le prélèvement précis des réactifs et des volumes d'eau.
- **Lames et lamelles** : supports nécessaires pour la préparation des frottis cellulaires (squash).
- **Verrerie de laboratoire** : comprend des béchers, des flacons pour les 9 échantillons d'eau, et des éprouvettes graduées. (Figure8).



Figure 9 : Matériel de laboratoire et dispositifs expérimentaux utilisés pour la préparation des échantillons.

IV.1.2. Réactifs et solutions chimiques

Pour la fixation et la coloration des structures cellulaires, les produits suivants ont été employés :

IV.1.2.1. Solutions de fixation :

- **Éthanol (Absolu et 70%)** : utilisé comme base pour le fixateur et pour le nettoyage.
- **Acide acétique glacial** : utilisé pur ou dilué à 45% pour le ramollissement des tissus.
- **Solution de Carnoy** : préparée au laboratoire en mélangeant 3 volumes d'éthanol absolu et 1 volume d'acide acétique glacial (3:1, v/v).

IV.1.2.2. Agents d'hydrolyse et de coloration :

- **Acide chlorhydrique (HCl 1N) :** utilisé pour l'hydrolyse acide permettant la séparation des cellules racinaires.
- **Le Fuchsin basique :** colorant spécifique utilisé pour colorer la chromatine et rendre les chromosomes visibles sous microscope.

IV.1.2.3. Solvants :

- **Eau distillée :** utilisée pour les rinçages successifs des racines et la préparation des dilutions.

IV.2. Protocole expérimental

Le test porte sur des bulbes d'oignon (*Allium cepa*, L 2n =16), sein, de taille moyenne. Les bulbes soigneusement nettoyés des écailles externes et du reste des vieilles racines sont cultivés dans des gobelets contenant de l'eau distillée (comme témoin) et des eaux du barrage (le plateau racinaire est uniquement en contact avec l'eau) à l'obscurité, à une température ambiante de 25° C pendant 96 heures. Pour l'évaluation de la toxicité,

Les traitements appliqués dans cette expérimentation sont constitués de deux échantillons d'eau prélevés dans des zones distinctes du barrage de Bougara, susceptibles de présenter des caractéristiques physicochimiques différentes en raison de leur localisation.

Le premier échantillon a été prélevé à proximité du déversoir de la station d'épuration de Tissemsilt, zone potentiellement influencée par les rejets traités provenant des activités urbaines. Le second échantillon provient d'une zone située à proximité de l'oued Nhar Ouassel, qui constitue l'un des principaux affluents alimentant le barrage (Figure 10).

Afin d'évaluer l'impact de ces eaux sur la croissance racinaire et l'activité mitotique d'*Allium cepa*, les résultats obtenus pour chacun des deux traitements sont comparés à ceux d'un témoin négatif constitué d'eau distillée. Ce traitement témoin, considéré comme exempt de contaminants susceptibles d'affecter la croissance ou la division cellulaire, sert de référence pour mettre en évidence les éventuels effets phytotoxiques ou génotoxiques des eaux prélevées dans le barrage (Boukhellout, 2025).

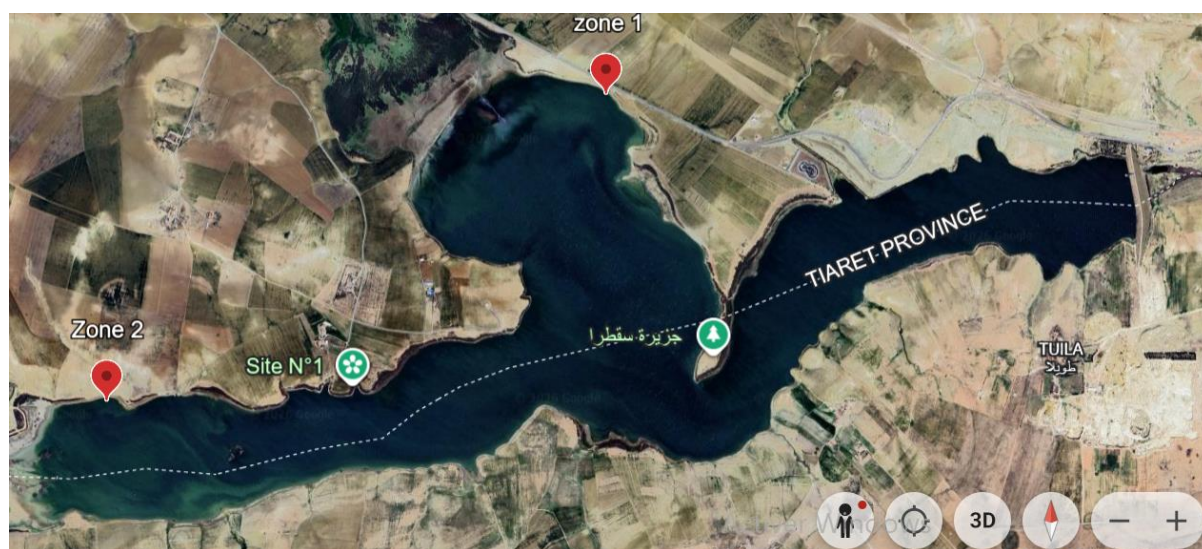


Figure 10 : Localisation des points de prélèvements

IV.3. Evaluation du développement racinaire :

Les bulbes *d'Allium cepa* placés dans les gobelets contenant les différents traitements ont fait l'objet d'un suivi régulier de la croissance racinaire. La longueur des racines a été mesurée toutes les 24 heures pendant une période totale de 96 heures pour chacun des traitements étudiés : le témoin négatif (eau distillée), l'eau prélevée dans la zone 1 et l'eau prélevée dans la zone 2 du barrage de Bougara.

Les mesures obtenues à chaque intervalle de temps ont permis de suivre la dynamique de croissance des racines et d'évaluer l'effet des différentes eaux testées sur le développement racinaire. Les résultats enregistrés ont ensuite été comparés entre les différents traitements afin de mettre en évidence d'éventuelles variations de croissance, qu'il s'agisse d'une stimulation ou d'une inhibition du développement des racines.

IV.4. Évaluation de la cytotoxicité et de la génotoxicité

IV.4.1. Préparation et fixation des racines

À l'issue des 96 heures de culture, les racines formées sur les bulbes sont prélevées délicatement. Les extrémités racinaires sont immédiatement fixées dans une solution de Carnoy préparée avec trois volumes d'éthanol absolu et un volume d'acide acétique glacial. La fixation est maintenue pendant 24 heures afin de préserver les structures cellulaires.

Après cette étape, les racines sont retirées du fixateur (puis rincées à l'éthanol afin d'éliminer les résidus de la solution de Carnoy (Figure 11). Elles sont ensuite conservées dans de l'éthanol à 70

% jusqu'aux observations microscopiques. Les échantillons sont maintenus au réfrigérateur et protégés de la lumière pour éviter toute altération. (Boukhellout, 2025).

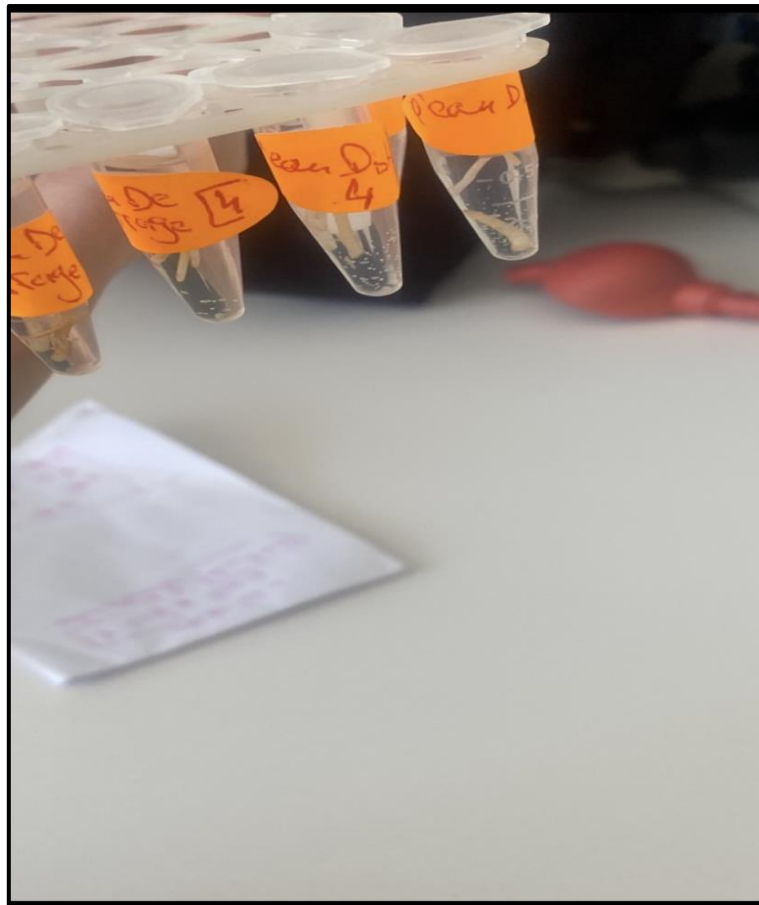


Figure 11 : les racines dans la solution de Carnoy (p.p)

IV.4.2. Coloration des tissus racinaires

Avant l'observation microscopique, les racines conservées dans l'éthanol sont sorties puis soumises à une hydrolyse acide dans une solution d'acide chlorhydrique (HCl) pendant environ 10 minutes à 60 °C (Figure 12). Cette étape facilite la pénétration du colorant dans les cellules.

Les racines sont ensuite rincées plusieurs fois à l'eau distillée pendant une quinzaine de minutes afin d'éliminer complètement l'acide. Après lavage, les extrémités racinaires sont colorées avec une solution de le Fuchsine basique. (Figure 13) dans un verre de montre durant 30 minutes à l'abri de la lumière, avant la préparation des lames. (Boukhellout, 2025).



Figure 12 : Hydrolyse acide des apex racinaires dans de l'HCl (1N) (p.p)



Figure 13 : Les racines dans le Fuchsine basique. (p.p)

IV.4.3. Préparation des lames et observation microscopique

Après l'étape de coloration, les extrémités racinaires sont transférées dans de l'eau distillée pendant environ 2 minutes afin d'éliminer l'excès de colorant. Les portions méristématiques situées près de la coiffe, reconnaissables par leur coloration rosée, sont ensuite déposées sur une lame propre. (Figure 14).

Une goutte d'acide acétique à 45 % est ajoutée sur les fragments racinaires avant la pose délicate d'une lamelle. Les tissus sont ensuite légèrement écrasés afin d'obtenir une fine couche cellulaire facilitant l'observation des cellules au microscope optique et l'identification des éventuelles anomalies cytogénétiques à un agrandissement X40. (Boukhellout, 2025).



Figure 14 : Les racines sur lame en verre. (p.p)

Chapitre V

Résultats et discussion

V. Résultats et discussion

V.1. Étude macroscopique : Effet des eaux du barrage

Afin d'évaluer la cytotoxicité globale des eaux prélevées au niveau du barrage Colonel Bougara, nous avons suivi la cinétique d'élongation racinaire d'*Allium cepa* sur une période continue de 96 heures. Les résultats de la croissance moyenne des racines, exprimés en millimètres (mm), ont été mesurés à des intervalles de 24h, 48h, 72h et 96h pour le témoin (Eau distillée) et les deux stations d'étude (Zone 1 et Zone 2).

D'après la figure 15, la meilleure croissance racinaire a été observée chez les bulbes cultivés dans l'eau distillée (témoin). Parmi les eaux testées, la zone 2 a présenté un développement racinaire plus important que la zone 1. Cette différence pourrait être liée à son éloignement du déversoir des eaux usées épurées. En revanche, les racines exposées à l'eau de la zone 1 ont montré la croissance la plus faible, avec des longueurs proches de la moitié de celles du témoin. Ces résultats suggèrent un effet inhibiteur plus marqué de l'eau prélevée à proximité du point de rejet sur le développement racinaire d'*Allium cepa*.

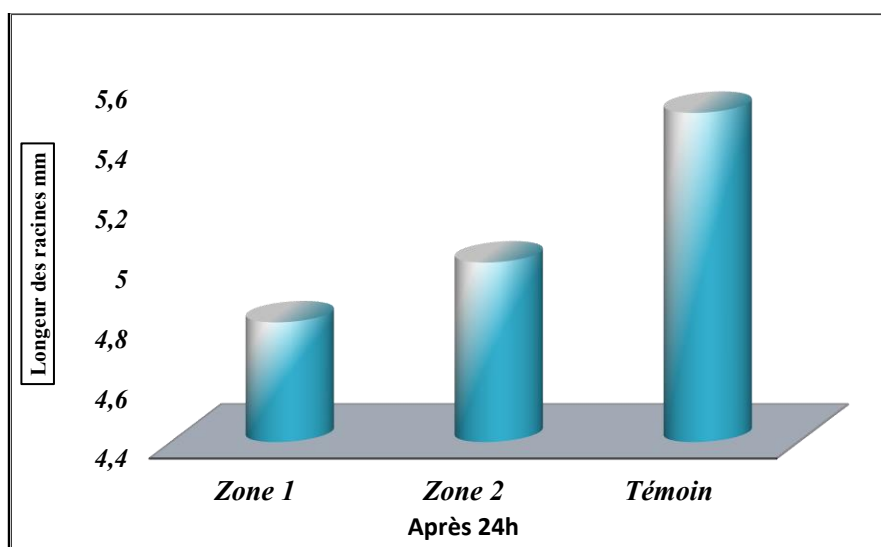


Figure 15 : Développement racinaire après 24h

Au cours de la période 24-48 heures, les racines des bulbes cultivés dans l'eau distillée ont présenté la croissance la plus importante, avec un allongement supérieur à 8 mm. Les racines exposées à l'eau de la zone 2 ont montré une croissance intermédiaire d'environ 6 mm. En revanche, la croissance observée dans l'eau de la zone 1 a été très faible, ne dépassant pas 0,2mm. Cette forte inhibition de la croissance racinaire suggère que l'eau prélevée à proximité du déversoir des eaux usées épurées contient des facteurs susceptibles d'affecter négativement le développement d'*Allium cepa* (Figure 16).

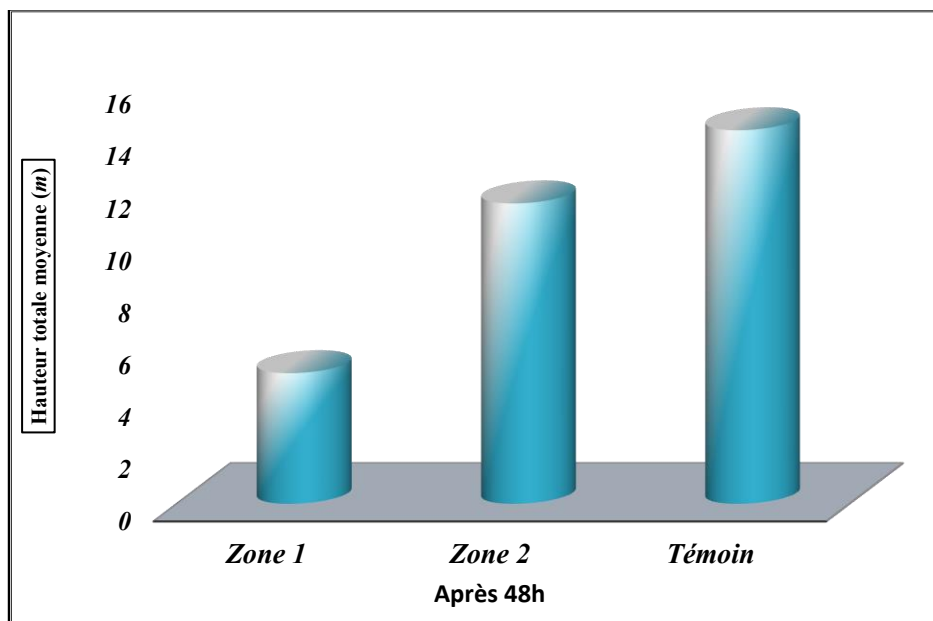


Figure 16 : Développement racinaire après 48h

Durant la période comprise entre 48 h et 72 h, la zone 1 a continué à présenter la croissance racinaire la plus faible, avec un allongement d'environ 0,2 mm seulement. Ce résultat confirme l'effet inhibiteur des eaux prélevées à proximité du déversoir sur le développement des racines. À l'inverse, les eaux de la zone 2 ont favorisé une croissance importante des racines, avec un allongement de 10 mm en 24 heures, la longueur moyenne passant de 11,5 mm à 21,5 mm. Cette croissance a même dépassé celle observée chez le témoin, dont les racines ne se sont allongées que de 4 mm durant la même période. Ces résultats suggèrent que l'influence des rejets diminue avec l'éloignement du point de déversement et que les zones les plus éloignées du déversoir ne semblent pas subir d'effets inhibiteurs significatifs sur le développement racinaire (Figure 17).

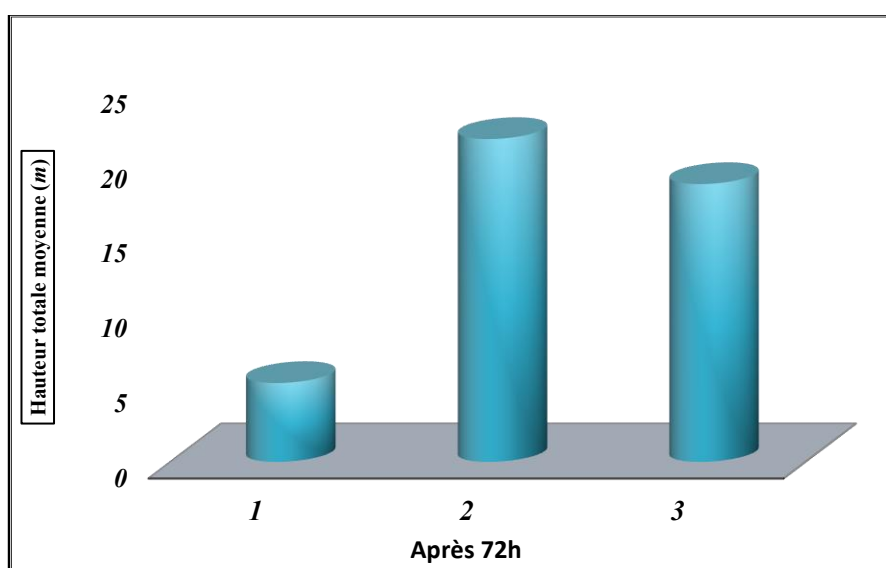


Figure 17 : Développement racinaire après 72h

Au cours des dernières 24 heures de l'expérimentation (Figure 18), les tendances observées précédemment se sont maintenues. La zone 2 a enregistré la croissance racinaire la plus importante, avec un allongement de 11 mm, soit près du double de celui observé chez le témoin (6 mm). Ce résultat suggère que les eaux prélevées à distance du déversoir présentent une qualité favorable au développement racinaire, probablement grâce à la présence de matières organiques et de nutriments en concentrations non toxiques. En revanche, les racines exposées à l'eau de la zone 1 n'ont montré aucune croissance durant cette période, traduisant un arrêt total du développement racinaire. Cette inhibition confirme l'influence négative des rejets issus de la station d'épuration sur la croissance des racines à proximité du point de déversement.

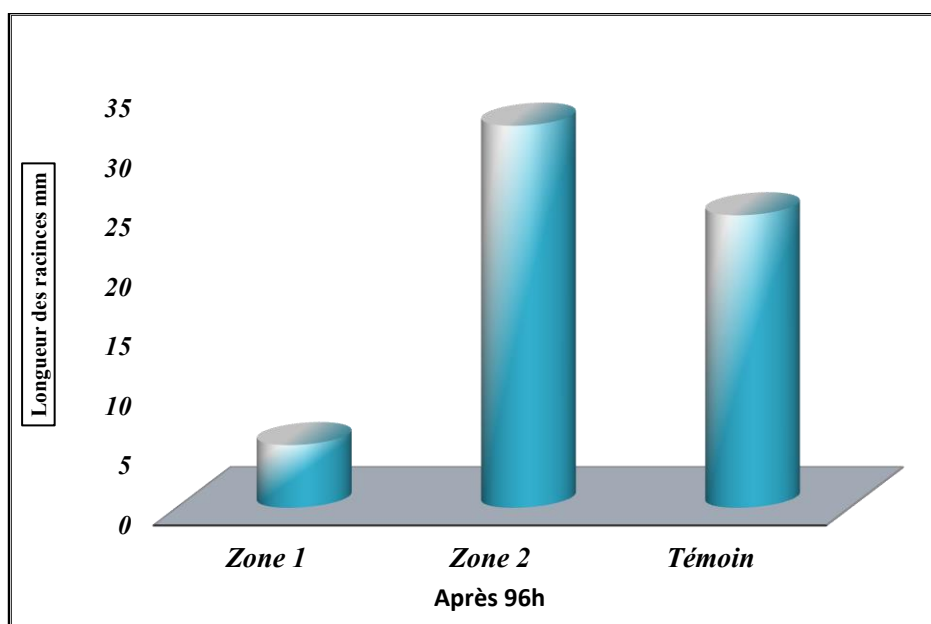


Figure 18 : Développement racinaire après 96h

Les courbes des trois expérimentations relatives au développement racinaire d'*Allium cepa* (Figure 19) montrent que la croissance racinaire dans la zone 1 (proche du déversoir) est quasiment inexistante. En revanche, dans la zone 2, une croissance rapide est observée après environ 72 heures, période à partir de laquelle la plante commence à absorber partiellement les nutriments à travers ses racines. Ce comportement suggère une meilleure disponibilité en matière organique dans cette zone ainsi que de faibles concentrations en éléments inhibiteurs.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par **Boukhellout (2025)**. Cette divergence pourrait s'expliquer par les conditions climatiques de l'année 2026, marquée par des précipitations particulièrement importantes après une longue période de sécheresse sévère (dépassant cinq ans). En effet, il a été observé que le niveau des eaux du barrage de Bougara est passé de moins de 50 % à plus de 90 % entre décembre 2025 et avril 2026. Cette amélioration hydrologique pourrait

expliquer l'augmentation de la qualité des eaux, notamment dans les zones proches de Nhar Ouassel et éloignées du déversoir.

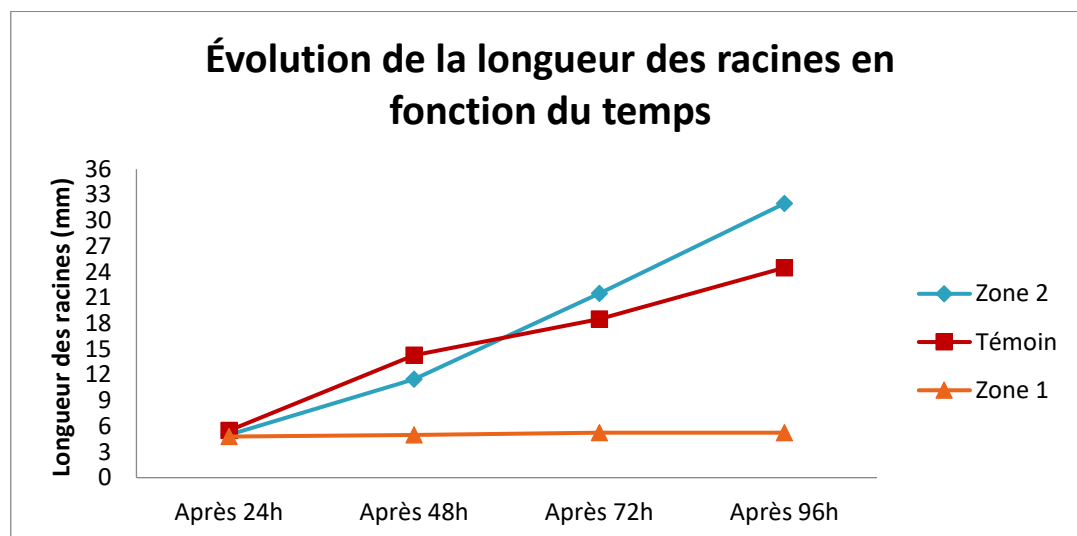


Figure 19 : Évolution de la longueur des racines en fonction du temps

L'analyse de la variance à un facteur met en évidence une différence hautement significative entre les trois groupes (Tableau 4). Ce résultat confirme l'inhibition du développement racinaire dans la zone 1, ainsi qu'un élargissement et une stimulation marquée de la croissance racinaire dans la zone 2 après le troisième jour d'expérimentation. Ces observations suggèrent que, même au sein d'un même barrage et dans des conditions climatiques similaires, la qualité de l'eau peut varier spatialement d'une zone à une autre, influençant directement la dynamique de croissance racinaire.

Tableau 4: Résultat de l'ANOVA à un facteur entre le développement racinaire des trois groupes

	P	F value	Pr (>F)
IF	0,00019	10,399	8,086 S***

S : Significatif

V.2. Étude microscopique : Effet sur le matériel génétique et la division cellulaire

Cette étude s'est limitée à l'analyse des cellules méristématiques de la zone 2 ainsi que du témoin. La zone 1 n'a pas été prise en compte en raison du développement racinaire très faible, rendant les échantillons difficiles à manipuler et empêchant la localisation précise de la zone méristématique.

V.2.1. Évaluation de l'Index Mitotique (IM)

Pour l'indice mitotique, 1000 cellules ont fait l'objet de comptage avec indication des cellules bloqué en division soit prophase (p), métaphase (M), anaphase (A) ou télophase (T) sont calculées. L'index mitotique est exprimé comme étant le nombre des cellules en division par toutes les cellules. (Boudalia et Labadla, 2015). Selon la formule:

$$MI = \frac{P + M + A + T}{\text{nombre total des cellules}}$$

L'observation microscopique des cellules de la zone 2 et du témoin (Figure 20) montre que la majorité des cellules en division se retrouvent bloquées en anaphase et en télophase. Par ailleurs, bien que les résultats de Boukhellout (2025) aient montré un indice mitotique plus élevé pour les eaux de barrage en comparaison avec le témoin négatif, nos résultats présentent une tendance inverse. En effet, le témoin négatif (eau distillée) présente un indice mitotique légèrement supérieur (1,4 %) à celui de la zone 2 (1,2 %). Cette différence pourrait expliquer le développement racinaire important observé après le troisième jour.

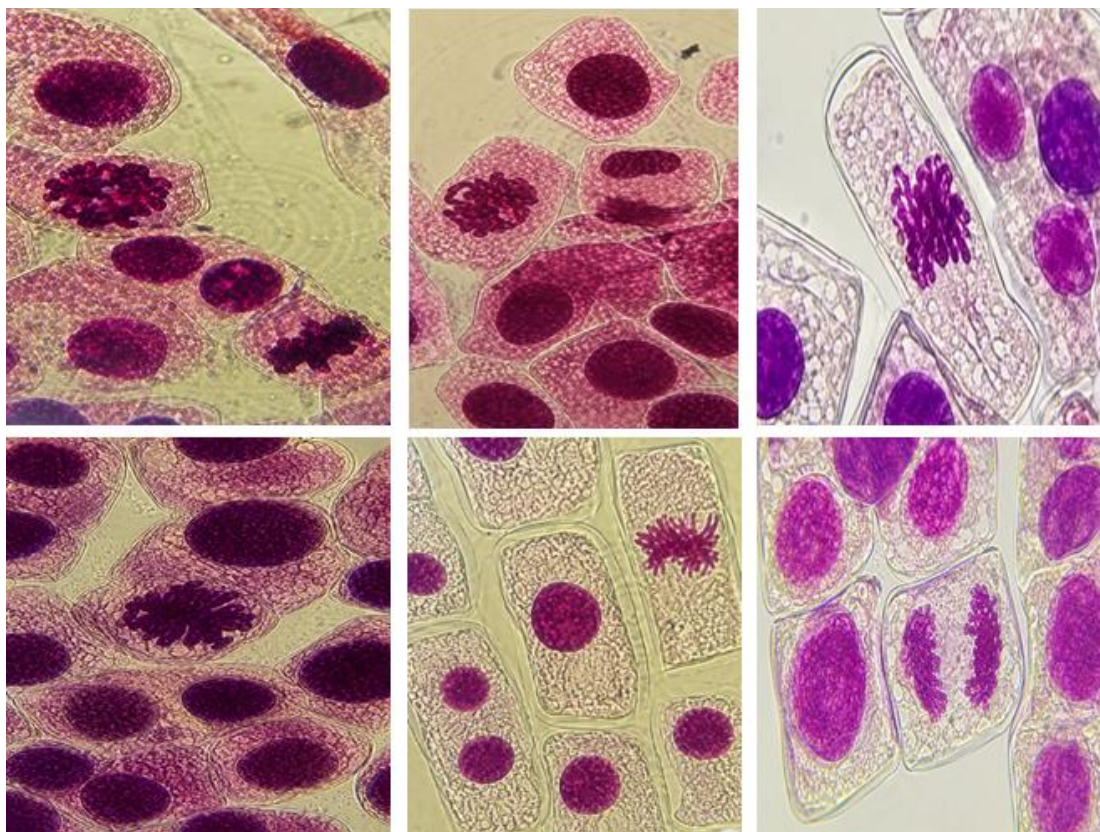


Figure 20 : Les phases de la division cellulaire observées.(p.p)

Conclusion

Conclusion :

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'impact cytotoxique des eaux d'irrigation du barrage de Bougara sur le développement végétal, en utilisant *Allium cepa* (oignon) comme bioindicateur de la qualité.

La zone d'étude, le barrage de Bougara, est située dans une région soumise à un climat semi-aride, caractérisé par de faibles précipitations (environ 355 mm/an), une forte irrégularité pluviométrique et une évaporation élevée accentuée par l'effet du sirocco. Dans ce contexte de stress hydrique chronique, le barrage constitue une ressource hydrique essentielle, assurant l'irrigation d'un périmètre agricole d'environ 1000 hectares.

Afin d'évaluer la qualité biologique de ces eaux, une expérimentation a été menée en suivant la cinétique d'élongation racinaire de bulbes d'oignon sur une période de 96 heures, complétée par une analyse cytologique de la zone méristématique permettant l'observation des différentes phases de la division cellulaire au microscope optique ($\times 40$).

Les résultats obtenus montrent :

Au niveau macroscopique, le témoin (eau distillée) a présenté une croissance racinaire régulière et la plus performante sur l'ensemble de la période expérimentale, atteignant les valeurs maximales d'élongation dès les 48 premières heures. En revanche, la zone 1 a induit une inhibition sévère de la croissance racinaire, caractérisée par une quasi-stagnation du développement ($\approx 0,2$ mm par intervalle sur 72 h), traduisant une forte phytotoxicité liée à la proximité du point de rejet des eaux usées et à une charge polluante élevée.

La zone 2 a présenté une réponse dynamique biphasique : une phase initiale comparable au témoin (24–48 h), suivie d'une reprise significative de la croissance entre 72 et 96 heures, dépassant les valeurs du témoin. Ce comportement suggère une atténuation progressive de la toxicité par dilution, ainsi qu'un possible apport de matière organique et de nutriments favorisant partiellement la croissance racinaire.

Au niveau microscopique, l'analyse a été réalisée sur le témoin et la zone 2, le développement insuffisant des racines en zone 1 n'ayant pas permis une observation cytologique exploitable. L'observation de 1000 cellules en division a mis en évidence une prédominance des phases bloquées en anaphase et télophase, indiquant une perturbation du déroulement normal de la mitose. L'indice mitotique était légèrement plus élevé dans le témoin (1,4 %) que dans la zone 2 (1,2 %), suggérant une division cellulaire meilleure dans les cellules exposées à l'eau de la zone 2.

Conclusion

qui portes des eaux à faible polluant à cause de l'importance des précipitations qu'a connu cette année.

Enfin, afin d'assurer une évaluation environnementale fiable, il est nécessaire de mettre en place un suivi temporel régulier et à long terme de la qualité des eaux du barrage, intégrant des approches biologiques et cytogénétiques, afin de garantir durablement la sécurité des systèmes agricoles irrigués.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- Abderrahim, A. (2016). *Contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation en eaux usées épurées du barrage BOUGARRA sur le rendement de l'orge (Saïda 183) dans le périmètre agricole de Tissemsilt* (Mémoire de Master). Université Ibn Khaldoun Tiaret, Algérie.
- Beaux, J.-F., Beaux, G., & Boutin, V. (2013). *Biologie : Tout pour réussir en LI*. Vuibert.
- BERRANEM, A. (2012). *Impact de l'irrigation par les eaux de la Moyenne Seybouse sur les sols et les rendements des cultures* (Mémoire de Magister). Université Badji-Mokhtar Annaba, Algérie.
- Bettah, L., & Si Bachir, B. (2020). *Influence des apports hydriques exogènes sur la quality des eaux de barrage Bougara* (Mémoire de Master). Centre Universitaire El-Wancharissi de Tissemsilt, Algérie.
- Boudalia, F., & Labadla, S. (2015). *Etude de la génotoxicité du pesticide zoom in vivo - Allium Cepa Teste* - (Mémoire de Master). Université 8 Mai 1945 de Guelma, Algérie.
- Boukhellout, S. (2025). *Évaluation des enjeux sanitaires et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine : Cas du barrage de Dahmouni (Tiaret, Algérie)* (Thèse de Doctorat). Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie.
- Boukhanfouf, A. A. (2023). *Impact du plomb sur la réponse antioxydante d'Aspergillus sp.* (Mémoire de Master). Université Frères Mentouri Constantine 1, Algérie.
- Boulaha, B., & Fernane, L. (2023). *Étude de l'élimination des polluants métalliques par adsorption* (Mémoire de Master). Université de Guelma, Algérie.
- Boumissa, Z., & Chelouche, S. (2016). *Lens culinaris est-elle une plante modèle pour la phytoremédiation ? Détermination du niveau d'accumulation du Zn et du statut oxydatif de la plante* (Mémoire de Master). Université Frères Mentouri Constantine, Algérie.
- Boutahraoui, I. (2017). *Étude physico-chimique et biologique des eaux du barrage de Boukourdane (Tipaza)* (Mémoire de Master II). Université de Blida 1, Algérie.
- Cherifi, A., & Mekhissi, M. E. M. (2022). *Contribution à l'évaluation de la pollution marine par les métaux lourds chez les algues : cas de Bouzadger (Wilaya d'Ain Témouchent)* (Mémoire de Master). Université d'Aïn Témouchent, Algérie.
- Denideni, Y., & Maghnem, H. (2017). *Étude de l'adsorption des ions manganèse et chrome sur la biomasse Pleurotus mutilu* (Mémoire de Fin d'Études d'Ingénieur d'État). École Nationale Polytechnique (ENP), Alger, Algérie.
- Derdous, O. (2016). *Conditions d'écoulement à l'aval d'un barrage en cas de rupture de la digue – Application aux cas algériens* (Thèse de Doctorat). Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

- Djeghout, B. (2013). *Mémoire de Master en Biologie Moléculaire et Cellulaire, option Biologie Moléculaire des Procaryotes* (Mémoire de Master). Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie. <https://e-biblio.univ-mosta.dz/server/api/core/bitstreams/16de0d96-9045-450a-885f-58ac1126c57b/content>
- Douis, M. T., & Bedjouti, M. (2017). *Étude des infiltrations des eaux par les berges et le fond des barrages réservoirs en régions arides : cas du barrage Fontaine des Gazelles (Biskra)* (Mémoire de Master). Université d'El-Oued, Algérie.
- El Bir, A., & Medar, H. (2020). *Élimination du sulfure d'hydrogène dans les eaux souterraines: Cas de l'eau de forage « Lougmane » (Région de M'sila)* (Mémoire de Master). Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie.
- Laalili, C., Rabia, O., & Semghoune, G. (2017). *Contribution à l'évaluation de la pollution de l'eau du barrage de Bougara* (Mémoire de Master). Université Ibn Khaldoun – Tiaret, Algérie.
- Ladjal, R. (2013). *Problématique de la mobilisation et de la préservation des ressources hydrique dans le Sersou* (Mémoire de Magister). Université de Tlemcen, Algérie.
- Leygoniel, R. (1993). Les métaux lourds dans l'air, Sources d'émissions, Mesures, Effets. *Pollution Atmosphérique*, 63–70.
- Masschelein, W. J. (1996). *Processus unitaire du traitement de l'eau potable*. Édition CEBEDOC.
- Meer, B. B., Dishan, E. E., Ikima, D., & Ateh, G. O. (2020). Ecological implications of environmental contaminants on biodiversity and ecosystem services: The Nigerian experience. *Basic Research Journal of Soil and Environmental Science*, 2(1), 1–9.
- Messai, I. (2017). *La qualité des eaux de barrages en Algérie* (Mémoire de Master). École Nationale Polytechnique (ENP), Alger, Algérie.
- Rebhi, M. (2019). *Contribution à l'étude de la qualité de l'eau du barrage Bougara pour l'utilisation en irrigation* (Mémoire de Master). Centre Universitaire El Wancharissi de Tissemsilt, Algérie.
- Serifeg, F., & Lessaad, K. (2020). *Étude du bilan hydrologique du barrage Ain Zada – Bordj Bou Arreridj* (Mémoire de Master). Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi – Bordj Bou Arreridj, Algérie.
- Tarekegn, M. M., Salilih, F. Z., Ishetu, A. I., & Yildiz, F. (2020). Microbes used as a tool for bioremediation of heavy metal from the environment. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), Article 1783011.

Références Bibliographiques

- Yahiaoui, R., Saaidia, N., Haddad, Y., & Atailia, A. (2022). *Extraction de l'ADN plasmidique de bactéries pathogènes isolées à partir de lait de vache cru* (Mémoire de Master). Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie.
- Ziani, A. (2021). *Contribution à la cartographie du couvert végétal de la région de Tiaret-Tissemsilt* (Mémoire de Master). Université de Tlemcen, Algérie.

Résumé :

Cette étude évalue l'impact cytotoxique et génotoxique des eaux d'irrigation du barrage Colonel Bougara (Tissemsilt) via le bioindicateur végétal *Allium cepa*. L'évaluation repose sur le suivi macroscopique de l'élongation racinaire (96 h) et l'analyse microscopique de l'Indice Mitotique (IM) des tissus méristématiques.

Les résultats révèlent une forte variabilité spatiale : Zone 1 (proche de la STEP) : Forte phytotoxicité due aux rejets urbains, entraînant une inhibition sévère et une quasi-stagnation de la croissance racinaire ($\approx 0,2$ mm). , Zone 2 (proche de l'Oued Nahr Ouassel) : Stimulation de la croissance après 72 h (dépassant le témoin), expliquée par un apport en matière organique suite à l'amélioration hydrologique de 2026 (remplissage du barrage de 50 % à 90 %).

Sur le plan microscopique, des blocages cellulaires en anaphase et télophase ont été observés, avec un IM légèrement inférieur en Zone 2 (1,2 %) par rapport au témoin (1,4 %). Ces conclusions mettent en évidence la nécessité d'un suivi écologique régulier pour sécuriser l'agriculture régionale.

Mots-clés : Cytotoxicité, Génotoxicité, Eaux d'irrigation, Barrage Colonel Bougara, Bioindicateur, *Allium cepa*, Indice mitotique, Suivi écologique.

Abstract:

This study evaluates the cytotoxic and genotoxic impacts of irrigation water from the Colonel Bougara Dam (Tissemsilt) using the *Allium cepa* plant bioindicator. The evaluation is based on macroscopic monitoring of root elongation (96 h) and microscopic analysis of the Mitotic Index (MI) in meristematic tissues.

The results reveal high spatial variability: Zone 1 (near the WWTP): High phytotoxicity due to urban discharges, causing severe inhibition and near-stagnation of root growth (≈ 0.2 mm) , Zone 2 (near Oued Nahr Ouassel): Stimulation of growth after 72 h (exceeding the control), explained by an influx of organic matter following the 2026 hydrological improvement (dam filling from 50% to 90%).

At the microscopic level, cellular arrests in anaphase and telophase were observed, with a slightly lower MI in Zone 2 (1.2%) compared to the control (1.4%). These findings highlight the necessity of regular ecological monitoring to secure regional agriculture.

Keywords: Cytotoxicity, Genotoxicity, *Allium cepa*, Colonel Bougara Dam, Mitotic Index, Ecological monitoring

ملخص :

تقيم هذه الدراسة التأثير السام خلويًا والسام وراثيًا لمياه الري بسد العقيد بوقرة (تيسمسيلت) باستخدام المؤشر الحيوي النباتي *Allium cepa*. يعتمد التقويم على المتابعة العيانية لاستطالة الجذور (96 ساعة) والتحليل المجهرى لمؤشر الانقسام الفتيلي (IM) للأنسجة المرستيمية. أظهرت النتائج تبايناً مكانياً كبيراً: المنطقة 1 (بالقرب من محطة التصفية): سمية نباتية عالية ناتجة عن المخلفات الحضرية، أدت إلى تثبيط شديد وشبه ركود في نمو الجذور (≈ 0.2 ملم)، المنطقة 2 (بالقرب من وادي نهر واصل): تحفيز نمو الجذور بعد 72 ساعة (متجاوزاً عينة المقارنة)، ويُعزى ذلك إلى تدفق المادة العضوية إثر التحسن الهيدرولوجي لعام 2026 (ارتفاع منسوب السد من 50% إلى 90%).

على المستوى المجهرى، لوحظ احتباس في الانقسام الخلوي عند الطورين الانفصالي والنهائي، مع تسجيل مؤشر انقسام فتيلي أقل نسبياً في المنطقة 2 (1.2%) مقارنة بعينة التحكم (1.4%). تؤكد هذه الخلاصات على ضرورة إجراء مراقبة بيئية دورية لتأمين الزراعة الإقليمية.

الكلمات المفتاحية: السمية الخلوية، السمية الوراثية، *Allium cepa*، سد العقيد بوقرة، مؤشر الانقسام الفتيلي، المراقبة البيئية.