

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 8 ماي 1945 قلمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

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



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité/Option : microbiologie appliquée

Thème : Intégration de l'aquaculture à l'agriculture : évaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de grossissements de poissons utilisées en irrigation dans la région de Guelma

Présenté par :

- Bouhallit Selma
- Amari Selma
- Amirouche Ines

Devant le jury composé de :

Président : M ^{me} . Benhalima Lamia	M.C.A	Université de Guelma
Examineur : M ^{me} . Boussadia Meriem Imen	M.C.B	Université de Guelma
Encadreur : Mr. Guettaf Mohamed	M.C.A	Université de Guelma
Co-encadreur : Mr. Geroui Yassine	M.C.A	Université de Guelma
Co-encadreur : Mme. Ouartsa Asmaa	Doctorant	Université de Guelma
Membre invité : Mme. Bouata Fouzia	chef service suivi et contrôle	DPA. Guelma

Juin 2023

Remerciement

En tout premier lieu, nous remercions le bon Dieu, le tout puissant et miséricordieux, de nous avoir donné la force pour continuer, ainsi que le courage pour dépasser toutes les difficultés.

On voudra remercier tous les membres du jury qui vont juger ce modeste travail et nous ont faits profiter de leurs connaissances et remarques constructives Mme benhalima qui nous a fait l'honneur de présider le jury;

Veillez accepter l'expression de notre sincère reconnaissance, Mme Boussadia qui a spontanément eu la volonté et l'honneur d'examiner ce travail. Nous tenons à exprimer nos profondes gratitude pour le temps précieux que vous consacrer pour juger ce travail. Leurs critiques et commentaires seront bénéfiques pour enrichir nos connaissances dans ce domaine.

Notre plus grande gratitude va à notre encadreur le Professeur Guettaf Mohamed pour sa grande disponibilité et pour la confiance qu'il nous a accordé tout au long de la réalisation de ce mémoire. Pour sa patience, sa gentillesse, et son esprit responsable, critique et rigoureux. Nous le remercions pour ses connaissances dont il nous a fait bénéficier.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à Mr Guerroui Yassin pour son aide pratique et son soutien moral ainsi que pour ses judicieux conseils.

Un grand merci à Mme ourtssi Asma qui nous accompagnés dans le laboratoire.

Nous tenons à remercier Mme Hassiba, et tous les techniciennes de laboratoire, pour nous aider à compléter nos recherches en fournissant tous les matériels nécessaires.

Nos profondes sincères remerciements pour Mme Amina Boussaha, Mr Djiradi, Mme Tourche et Mme Bouata Fouzia.

A toutes les personnes citées et les autres que nous aurions pu oublier Merci.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire en premier lieu à ceux qui m'ont donné la vie, qui m'ont été la source de l'amour, la tendresse, et du courage, qui m'ont soutenu durant 23ans.

A mes très chers parents : Slimane et Mounira.

Ma Mère a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon Père, J'espère être fier de moi où que vous soyez, papa Que Dieu vous bénisse, et nous avons recueilli dans le paradis suprême.

Ainsi qu'à mes sœurs Sara, Nada, Nessrine, à notre belle petite fille Amélia Céline, et ma fiancé Sami à celui qui m'a offert le soutien moral, qui a été toujours présent pour moi.

A toutes mes amis et collègues sans exception A tous ceux qui j'aime, et à ceux qui m'aiment.... De près ou de loin

Bouhallit Selma



Dédicaces

Je dédie ce travail à mes plus chers êtres au monde, mes parents pour leur soutien moral et matériel durant toutes mes études.

A mes frères Hicham, Ibrahim et Salim A ma sœurs Assia.

A mes neveux kossai, Aya et Oudaï.

A tous mes proches

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible...

Amari Selma



Dédicaces

Tout d'abord , louange à Allah qui m'avoit donné la capacité d'écrire et de réfléchir , la force d'y croire , la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur

Je dédie ce travail, fruit de recherche et d'étude:

A mes plus chers êtres au monde mon coeur : mon très chère père Ahmed et ma très chère mère Ghania qui ont toujours crus en moi et encouragée ; qui ont été toujours là pour moi ; qui m'ont nourri d'amour , enveloppé de confort et qui me donner le soutien moral et matériel durant toutes les étapes de ma vie

A mon chère frère: Raid

A mes adorable soeurs: Ikhlassa, Ritaj, Assil

A tous ceux qui j'aime , et à ceux qui m'aiment De près ou de loin.

Amirouche Jnes



Résumé

L'eau est un élément essentiel de la nature qui soutient la vie de nombreuses espèces animales et végétales ainsi que des micro-organismes. La présente étude porte essentiellement sur l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de trois bassins pilotes de grossissement de poissons. Quatre sorties ont été réalisées durant la période du 22/02/2023 au 12/04/2023. Les résultats de l'analyse chimique et physique obtenues ont montré une hausse notable de la conductivité électrique dans le site de Cheraifia était de l'ordre de 4077 $\mu\text{s}/\text{cm}$ n'est pas adaptée à l'irrigation. Le reste des autres valeurs sont adaptées à l'irrigation par rapport à la norme algérienne pour l'irrigation, Les données ont également été analysées et la plupart des informations ont été extraites par un programme entre la présence d'une forte concentration de chlorure dans l'eau de bouati bassin 9,4 mg/l et la présence observée de bicarbonates qui rendent l'eau impropre à l'irrigation. En plus, le diagramme de Richards a classé les eaux du site de Cheraifia dans les catégories (C4S1 - C4S2) et Bouati et ITMA entre (C3S1 et C3S2). Les résultats de l'analyse bactériologique ont également montré une charge élevée des germes et un pourcentage élevé de coliforme (CT), de coliformes fécaux (CF) et de streptocoques fécaux (SF) qui indiquent la présence d'une contamination. qui indiquent la présence de pollution, et pour une bonne gestion de l'eau et l'irrigation réduire le problème de la pollution.

Mots-clés : l'eau d'irrigation, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques et, bassins de grossissement. Normes algériennes.

الماء عنصر أساسي في الطبيعة يدعم حياة العديد من أنواع الحيوانات والنباتات وكذلك الكائنات الحية الدقيقة. تركز هذه الدراسة على تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه في ثلاثة أحواض استزراع أسماك تجريبية. تمت أربع خرجات خلال الفترة من 2023/02/22 لغاية 2023/04/12. أظهرت نتائج التحليل الكيميائي والفيزيائي التي تم الحصول عليها زيادة كبيرة في التوصيل الكهربائي في موقع الشرفية كانت بحدود 4077 ميكرو ثانية / سم غير مناسبة للري. باقي القيم الأخرى مناسبة للري مقارنة بالمعيار الجزائري للري. كما تم تحليل البيانات وتم استخلاص معظم المعلومات من خلال برنامج بين وجود تركيز عال من الكلوريد في مياه حوض بوعاتي 9.4 ملغ/ لتر ووجود بيكربونات مما يجعل المياه غير صالحة للري. إضافة صنف رسم البياني لرينتشارد مياه موقع شرايفية في فئات (C4S1 - C4S2) وبوعاتي والمعهد الفلاحي بين (C3S1 - C3S2). أظهرت نتائج التحليل البكتيري أيضاً وجود شحنة جرثومية مرتفعة ونسبة عالية من القولونيات (CT)، القولونيات البرازية (CF) والمكورات العقدية البرازية (SF) مما يشير إلى وجود تلوث. التي تدل على وجود تلوث، وإدارة المياه بشكل جيد للحد من مشكلة التلوث

الكلمات المفتاحية : مياه الري ، التحاليل الفيزيائية والكيميائية ، التحاليل البكتريولوجية، خزانات التسمين، المعايير الجزائرية.

Water is an essential element of nature that supports the life of many animal and plant species as well as micro-organisms. This study focuses on the evaluation of the physicochemical and bacteriological quality of water in three pilot fish grow-out ponds. Four trips were made during the period from 02/22/2023 to 12/04/2023. The results of the chemical and physical analysis obtained showed a significant increase in electrical conductivity in the site of Cheraifia was of the order of 4077 $\mu\text{s} / \text{cm}$ is not suitable for irrigation. The rest of the other values are suitable for irrigation compared to the Algerian standard for irrigation, The data was also analyzed and most of the information was extracted by a program between the presence of a high concentration of chloride in bouati basin water 9.4 mg/l and the observed presence of bicarbonates which make the water unsuitable for irrigation. In addition, the Richards diagram classified the waters of the Cheraifia site in the categories (C4S1 - C4S2) and Bouati and ITMA between (C3S1 and C3S2). The results of bacteriological analysis also showed a high germ load and a high percentage of coliform (CT), faecal coliform (CF) and faecal streptococci (SF) which indicate the presence of contamination. that indicate the presence of pollution, and for good water management and irrigation to reduce the problem of pollution.

Keywords: irrigation water, physico-chemical analyses, bacteriological analyzes and growout tanks. Algerian standards.

Liste d'abréviations

ASR	Anaérobie Sulfato – Réducteur
Bb	Bouati bassin
BCPL	Bouillon Lactosé au Bromocrésol Pourpre
BF	Bouati forage
Cb	Cheraifia bassin
CE	Conductivité électrique
CF	Cheraifia forage
CF	Coliforme fécaux
CT	Coliforme totaux
D/C	Double Concentration
EPA	Eau peptone alcaline concentrée
EVA	Bouillon Litsky (Ethyl-violet-Azide)
GN	Gélose Nutritive
GNAB	Gélose Nutritive Alcaline Biliée
GT	Germes totaux
Ib	ITMA bassin
IF	ITMA forage
ITMA	Instituts de Technologie Moyen Agricoles
NPP	Nombre le Plus Probable
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
S/C	Simple Concentration
SF	Streptocoques fécaux
UFC	Unité Formant Colonie
VF	Viande foie

Listes des tableaux

Liste des tableaux		
Tableau N°	Titre	page
Tableau 01	Évaluation de la qualité des eaux d'irrigation	29
Tableau 02	Le poids et le poids relatif de chacun des paramètres physico-chimiques utilisés pour la détermination de l'IQE	45
Tableau 03	Dénombrement des germes totaux	50
Tableau 04	Dénombrement des coliformes totaux	51
Tableau 05	Dénombrement des coliformes fécaux	52
Tableau 06	Dénombrement des streptocoque fécaux	53
Tableau 07	Dénombrement ASR	54

Listes des figures

Liste des figures		
Figure N°	Titre	page
Figure 01	Systèmes culturaux intégrés	08
Figure 02	Localisation des sites d'études	12
Figure 03	l'échantillon dans glacière	15
Figure 04	multi paramètre de type HANNA HI 9829	15
Figure 05	Préparation des dilutions	17
Figure 06	Recherche et dénombrement des germes totaux	18
Figure 07	Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux en milieu	20
Figure 08	Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	22
Figure 09	Recherche des Clostridium Sulfito-Réducteurs	24
Figure 10	Evolution spatio-temporelle de la température de l'eau	26
Figure 11	Evolution spatio-temporelle du pH de l'eau	27
Figure 12	Evolution spatio-temporelle de l'oxygène dissous dans l'eau	28
Figure 13	Evolution spatio-temporelle de la conductivité électrique de l'eau	29
Figure 14	Evolution spatio-temporelle du total des solides dissous TDS dans l'eau	30
Figure 15	Evolution spatio-temporelle de la salinité de l'eau	31
Figure 16	Evolution spatio-temporelle de la demande biologique en oxygène DBO ₅	32
Figure 17	Evolution spatio-temporelle de la teneur de nitrates dans l'eau	33
Figure 18	Evolution spatio-temporelle de la teneur de nitrites dans l'eau	34
Figure 19	Evolution spatio-temporelle de la teneur d'ammonium dans l'eau	35
Figure 20	Evolution spatio-temporelle de la teneur de phosphate dans l'eau	36
Figure 21	Interface de commande du logiciel Diagramme	37
Figure 22	Diagramme de Piper représentant toutes les catégories d'eau des trois sites d'études	38
Figure 23	Diagramme de Richards	40
Figure 24	Diagramme de Wilcox.	41
Figure 25	Classification des eaux d'irrigation des trois forages selon le taux d'adsorption de sodium SAR	42
Figure 26	Classification des eaux d'irrigation des trois bassins selon le taux d'adsorption de sodium SAR	43

Figure 27	Classification des eaux d'irrigation des trois forages selon le pourcentage de sodium soluble SSP	44
Figure 28	Classification des eaux d'irrigation des trois bassins selon le pourcentage de sodium soluble SSP	44
Figure 29	Classification des eaux d'irrigation des trois forages selon l'indice de qualité des eaux IQE	46
Figure30	Classification des eaux d'irrigation des trois bassins selon l'indice de qualité des eaux IQE	46
Figure 31	Boites à moustaches (SAR)	47
Figure 32	Boites à moustaches (% Na)	48
Figure33	Boites à moustaches (IQE)	49
Figure 34	résultats de la recherche des germes totaux	50
Figure 35	Résultats de la recherche des coliformes totaux	51
Figure 36	résultats de la recherche des coliformes fécaux	52
Figure 37	résultats de la recherche des streptocoque fécaux	53
Figure 38	résultats de la recherche des ASR	54

Table de matière

Remerciement

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des abréviations

Liste de tableaux

Liste des figures

Introduction générale 01

Chapitre I : synthèse bibliographique

1. Les eaux d'irrigations en Algérie	05
1.1. L'irrigation en Algérie	05
1.2. L'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité	05
2. Aquaculture en Algérie	06
2.1. Définition	06
2.2. Historique	06
2.3. Objectif de l'aquaculture	06
2.4. Au niveau de la région de Guelma	07
2.5. Potentialités	07
2.5.1. Potentiel hydrique	07
2.5.2. Potentiel biologique	08
2.5.3. Potentiel humain	08
3. Intégration de l'aquaculture en agriculture	08
3.1. Définition	08
3.2. Types de pisciculture intégré	09
3.2.1. La pisciculture intégrée à la production végétale	09
3.2.2. La pisciculture intégrée à la production Animale	09
3.3. Les avantages de la pisciculture intégrée à l'agriculture	09

Chapitre II : matériels et méthodes

1. Choix des sites d'étud	11
2. Description des sites d'études	11
2.1. Site ITMA	13
2.2. Site Cheraifia commune de Djebala lakhmissi	13

2.3. Site Bouati Mahmoud	13
3. Échantillonnage	14
3.1. Méthode de prélèvement	14
3.2. Enregistrement et étiquetage des échantillons	14
3.3. Transport et conservation	15
4. Mesure in-situ	15
5. Analyse au laboratoire	16
5.1. Analyse physico-chimique	16
5.1.1. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	16
5.1.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	16
5.1.3. Mesure de la dureté totale de l'eau (TH), Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , TAC (HCO ₃ ⁻)	16
5.1.4. Mesure des éléments nutritifs et des sulfates (NO ₂ , NO ₃ , NH ₄ , PO ₄ , SO ₄)	16
5.1.5. Mesure de sodium et potassium	16
6. Analyse bactériologique	17
6.1. Préparation des dilutions	17
6.2. Recherche et dénombrement des germes totaux	17
6.3. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale.....	18
6.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux	18
6.3.1.1. Test présomptif	19
6.3.1.2. Test confirmatif	19
6.4. Recherche et Dénombrement des streptocoque fécaux	21
6.4.1. Test de présomptif	21
6.4.2. Test confirmatif	21
6.5. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)	23

Chapitre III : résultats et discussions

1. Paramètres physico-chimiques	26
1.1. La température de l'eau	26
1.2. Le pH de l'eau	26
1.3. L'oxygène dissous	27
1.4. La conductivité électrique CE.....	28
1.5. Le total des solides dissous TDS	29
1.6. La salinité de l'eau	30
1.7. La demande biologique en oxygène DBO ₅	31

1.8. Les nitrates NO ₃	32
1.9. Les nitrites NO ₂	33
1.10. L'ammonium NH ₄	34
1.11. Le phosphate PO ₄	35
2. Analyse de données par logiciels	36
2.1. Diagramme de Pipere	37
2.2. Diagramme de Richards	38
2.3. Diagramme de Wilcox	40
3. Le sodium	41
3.1. Le ratio d'absorption du sodium (RAS)	42
3.2. Le pourcentage de sodium soluble SSP	43
4. L'indice de qualité des eaux d'irrigation IQEI (IWQI)	44
5. Analyse statistique des données	47
2. analyse bactériologique	49
2.1. Recherche et dénombrement des germes totaux	49
2.2. Recherche et dénombrement coliformes totaux et fécaux	50
2.2.1. Coliformes totaux	50
2.2.1. Coliformes fécaux	51
2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	52
2.4. Recherche et dénombrement des spores Anaérobies sulfito-réducteurs	53
Conclusion	55
Références bibliographiques	59
Annexe	

Introduction générale

L'intégration aquaculture-agriculture (IAA) est une technique qui permet aux pays de la région du Moyen Orient et Afrique du nord (MENA) de faire face à la rareté de l'eau et à la mauvaise qualité des sols, a indiqué l'Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) dans un rapport publié sur son site web. Les auteurs du rapport ont fait constater que cette technique a permis à certaines exploitations agro-aquicoles, qui l'utilisent, de réduire leur consommation d'eau de 90% par rapport aux exploitations agricoles traditionnelles. Cela constitue, selon eux, de très bonnes nouvelles pour le secteur de l'agriculture, qui à l'échelle de la planète, utilise environ 70% des réserves d'eau douce disponibles. Aussi, l'IAA constitue à leur yeux une réponse pour produire des légumes, des fruits et d'autres denrées alimentaires sur des terres inhospitalières ou inexploitable. C'est également un excellent moyen de procurer à la population de la région des denrées alimentaires produites localement qui lui fournissent les protéines et les minéraux dont elle a besoin, sans avoir toutefois recours à une utilisation intensive des ressources hydriques. Selon ce même rapport, l'Algérie a de nouvelles expériences à partager sur les systèmes de production IAA, tels que la production de crevettes adoptant une technologie qui a été couronnée de succès dans des zones rurales reculées et celles confrontées à des pénuries d'eau. « Voir que des crevettes peuvent être produites au milieu des déserts algériens, je n'arrive toujours pas à le croire, » a affirmé pour sa part la spécialiste des pêches de la FAO, Paula Anton.

L'installation dans la wilaya Guelma de direction de la pêche et des ressources halieutiques a pour objectif la favorisation de l'expansion de l'aquaculture et de la pêche continentale et constitue un maillon important dans la réalisation de la sécurité alimentaire dans la région. Quatre conventions-cadre portant sur l'aquaculture intégrée ont été signées, en marge d'une journée d'étude sur « les assurances et l'intégration de l'aquaculture à l'agriculture », entre la chambre inter-wilayas de la pêche et de l'aquaculture de Guelma et les chambres de l'agriculture de Guelma, Constantine, Souk Ahras et Oum El Bouaghi, Une opération de sensibilisation, a ainsi été menée par les directions de la pêche et le centre national de développement de la pêche et de l'aquaculture (CNDPA), pendant laquelle des alevins de poissons ont été distribués sur quelques agriculteurs à titre d'essai. Par ailleurs, les agriculteurs ont été appelés à exploiter les eaux des bassins d'élevage aquacole dans l'irrigation agricole dans le cadre de la pisciculture intégrée à l'agriculture.

C'est dans cette optique, que nous avons jugé important, cette étude vise à répondre aux Interrogations suivantes : - Quelles sont les réactions des agriculteurs vis à vis de l'intégration de l'aquaculture à L'agriculture dans la région de Guelma ? la réutilisation des eaux aquacoles peut être considérée comme l'une des solutions de nouvelles sources d'approvisionnement en eau d'irrigation ? Dans quelle mesure les eaux aquacoles peuvent servir à réduire la demande en éléments fertilisants du secteur agricole ? _ Est-ce que l'aquaculture peut trouver sa place à côté de l'agriculture dans la région de Guelma ? Comment convaincre les agriculteurs d'impliquer l'université et la recherche scientifique comme un acteur principal indispensable à contribuer à l'émergence d'une économie productive nationale et à la création et la préservation de l'emploi, mais également par son aptitude à participer à l'amélioration de la sécurité alimentaire du pays. Dans cette perspective, l'un des principaux objectifs de notre étude est de contribuer à la valorisation des eaux aquacoles dans l'amélioration et le rendement des cultures. Et donc Chercher à savoir dans quelle mesure l'activité aquacole pourrait telle contribuer au processus De développement local.

Le présent travail est hiérarchisé en trois chapitres comme suivant : Le premier chapitre, qui est une synthèse bibliographique, dans lequel nous avons évoqué un bref aperçu de l'irrigation et présenté l'aspect le plus important lié à l'aquaculture et à son intégration à l'agriculture. Le deuxième chapitre comprend matériel et méthodes, Alors que le troisième et dernier chapitre, considéré comme étant le cœur du mémoire, porte sur la discussion des résultats et se termine par une petite conclusion

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

1. Les eaux d'irrigation en Algérie

L'irrigation est l'application artificielle d'eau sur les plantes ou les cultures pour les aider à pousser. Ce processus implique l'apport contrôlé d'eau aux plantes par diverses méthodes, telles que les arroseurs, l'irrigation goutte à goutte ou l'irrigation par inondation. Le but principal de l'irrigation est de fournir la quantité d'eau nécessaire aux plantes ou aux cultures, en particulier dans les zones où les précipitations sont insuffisantes ou irrégulières. L'irrigation peut améliorer le rendement des cultures, améliorer la qualité des cultures et accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Il est largement utilisé dans l'agriculture, l'aménagement paysager et le jardinage. Cependant, une irrigation excessive ou inefficace peut entraîner le gaspillage de l'eau, l'érosion des sols, l'engorgement et la salinisation du sol. Des systèmes d'irrigation bien gérés peuvent aider à conserver les ressources en eau, à promouvoir une agriculture durable et à accroître la sécurité alimentaire.

1.1.L'irrigation en Algérie

L'Algérie compte 17 bassins versants. Les ressources en eau proviennent des masses d'eau eaux de surface et souterraines renouvelables et non renouvelables. Il convient de noter que Les ressources varient considérablement, en particulier celles provenant de risques climatiques. Dans l'ensemble, la superficie irriguée actuelle est de l'ordre de 420 000 hectares dont 100 000 hectares au Sahara 8 666 715 hectares de surface agricole utile, soit près de 5 % de la surface agricole utile. 320 000 hectares d'hectares irrigués dans Le nord du pays (soit 4,6% SAU) a été divisés en deux groupes, qui étaient significativement différents en taille les méthodes de développement et de gestion.

1.2.L'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité

L'irrigation des terres agricoles ne se fait pas toujours avec des eaux respectant les normes de qualité requises. Ces eaux de qualité physico-chimique médiocre peuvent provenir De plusieurs sources :

- Les eaux des nappes phréatiques ayant des teneurs élevées en sels.
- Les eaux de drainage chargées en sels et en nutriments.
- Les eaux usées brutes, domestiques ou industrielles ou les eaux usées mal traitées.

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation devient de plus en plus une pratique courante notamment dans les pays semi-arides et arides tels que l'Égypte, et la Tunisie. Cependant, cette réutilisation soulève différents problèmes d'ordre agronomique, environnemental et sanitaire. Sachant aussi que les eaux usées épurées sont riches en éléments majeurs azote, Phosphore, et potassium

2. L'Aquaculture en Algérie

2.1. Définition

On définit l'aquaculture comme étant "l'art de multiplier et d'élever les animaux et les plantes aquatiques" (**DPA, Guelma**). L'aquaculture, également connue sous le nom de pisciculture ou d'élevage aquatique, désigne la pratique de cultiver des organismes aquatiques tels que les poissons, les crustacés, les mollusques et les algues dans des environnements contrôlés. C'est une forme d'agriculture qui se déroule dans des écosystèmes aquatiques artificiels ou naturels, tels que des étangs, des réservoirs, des cages en mer ou des systèmes de recirculation de l'eau.

Elle s'intéresse à plusieurs catégories de produits, principalement :

- **La conchyliculture**, concerne l'élevage des mollusques.
- **La pisciculture**, c'est-à-dire l'élevage des poissons.
- **L'astaciculture**, est l'élevage des écrevisses.
- **L'algoculture**, c'est la culture des algues.
- **L'échinoculture**, concerne l'élevage des oursins.
- **La carcinoculture**, qui est l'élevage des crustacés

2.2. Historique

L'Algérie a une vaste zone côtière et des ressources en eau douce, et il y a un grand potentiel pour le développement de l'aquaculture. Cependant, l'industrie aquacole est confrontée à de nombreux défis tels que le manque de financement, la faiblesse des infrastructures et la concurrence des produits importés. Pour encourager le développement de l'industrie aquacole, le gouvernement algérien a élaboré un programme de subventions pour les projets aquacoles et formulé une stratégie nationale de développement de l'aquaculture. Malgré ces efforts, l'aquaculture en Algérie reste un secteur relativement sous-développé qui a besoin de plus de soutien pour atteindre son plein potentiel.

2.3. L'objectif de l'aquaculture

L'objectif de l'aquaculture en Algérie est de développer une production aquacole durable pour répondre à la demande croissante en produits de la mer, tout en contribuant à la sécurité alimentaire et à la création d'emplois dans le secteur agricole. Les programmes de développement de l'aquaculture en Algérie visent à augmenter la production locale de poissons, de crevettes et de moules, ainsi qu'à réduire la dépendance aux imports

L'Algérie cherche également à développer une aquaculture respectueuse de l'environnement, en utilisant des pratiques de production durables qui minimisent les impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques. Cela inclut la mise en place de mesures pour prévenir la pollution et réduire les déchets, ainsi que l'utilisation de méthodes de production économes en eau.

L'objectif de l'aquaculture en Algérie est de créer de nouvelles opportunités économiques pour les communautés locales, en particulier dans les zones côtières et rurales, en favorisant le développement d'entreprises aquacoles à petite échelle et en créant des emplois dans la production, la transformation et la commercialisation des produits aqua.

2.4. Au niveau de la région de Guelma

Guelma est une direction régionale comprenant 5 wilayas : Oum El Bouaghi, Khenchela, Tébessa, Souk Ahras et Guelma. La Direction a réalisé plusieurs opérations agricoles au niveau des bassins d'irrigation pour plusieurs agriculteurs.

Quelques sites agricoles dans la province de Guelma :

- **2019** : Culture d'une barrière d'eau dans la commune de Willman - jeune carpe
- **20.02.2021** : Élevage de 30 unités d'étalons de carpe commune avec deux barrières d'eau servant à l'abreuvement, commune de Salawa Anouneh (Guelma).
- **14.07.2021** : Culture d'environ 1 500 jeunes tilapias rouges dans un abreuvoir agricole de 200 m³ chez un investisseur agricole dans le désert de Namamsha (Khenchela).
- **14.12.2022** : Souk Ahras, une visite de terrain pour accorder une licence pour investir dans la pisciculture intégrée et la culture d'un bassin d'abreuvement d'une capacité de 1000 m³ avec de jeunes carpes (120 poissons).
- **26.12.2022** : La première pisciculture de perche (14 poissons) (06 étalons de carpe commune) au niveau d'une barrière d'eau dans la ferme agricole de Bouati Mahmoud.

2.5. Potentialités

2.5.1. Potentiel hydrique

L'Algérie dispose d'un très grand potentiel de ressources en eau, la quasi-totalité encore peu développée. Les possibilités de développement du secteur des activités aquacoles sont En termes de ressources naturelles et humaines, l'Algérie dispose L'ensemble du territoire national (littoral et domestique) De plus, il y a environ 100 000 hectares de potentiel hydrique Naturelles ou artificielles à cheval sur les 1280 kilomètres de côtes que possède notre pays.

2.5.2. Potentiel biologique

L'Algérie dispose d'un potentiel biologique énorme et diversifié. Cependant, elle C'est encore l'un des rares pays de la région méditerranéenne à disposer de riches ressources halieutiques. Nous citerons : - Poissons précieux tels que : mérrou, dorade, thon rouge, espadon Crustacés tels que : crevettes, langoustine, homard. - Céphalopodes tels que : poulpe, seiche, calmar. - Algues (600 espèces), zooplancton.

2.5.3. Potentiel humain

L'aquaculture présente un potentiel humain important, offrant des opportunités d'emploi, de formation, d'entrepreneuriat et de recherche, investir dans le développement des compétences de connaissances des personnes travaillant dans ce domaine et essentiel pour maximiser les avantages de l'aquaculture en tant que source durable de produits alimentaires.

3. Intégration de l'aquaculture en agriculture

3.1. Définition

L'introduction de l'élevage de poissons dans un milieu qualifié pour l'exploitation agricole, et ce processus se traduit par le développement de ces deux activités (aquaculture/élevage) de manière parallèle et séquentielle en bénéficiant chacune des avantages de l'autre. La pisciculture intégrée est populaire dans les zones rurales, en particulier pour les investisseurs agricoles moyens et petits (**DPA, Guelma**).

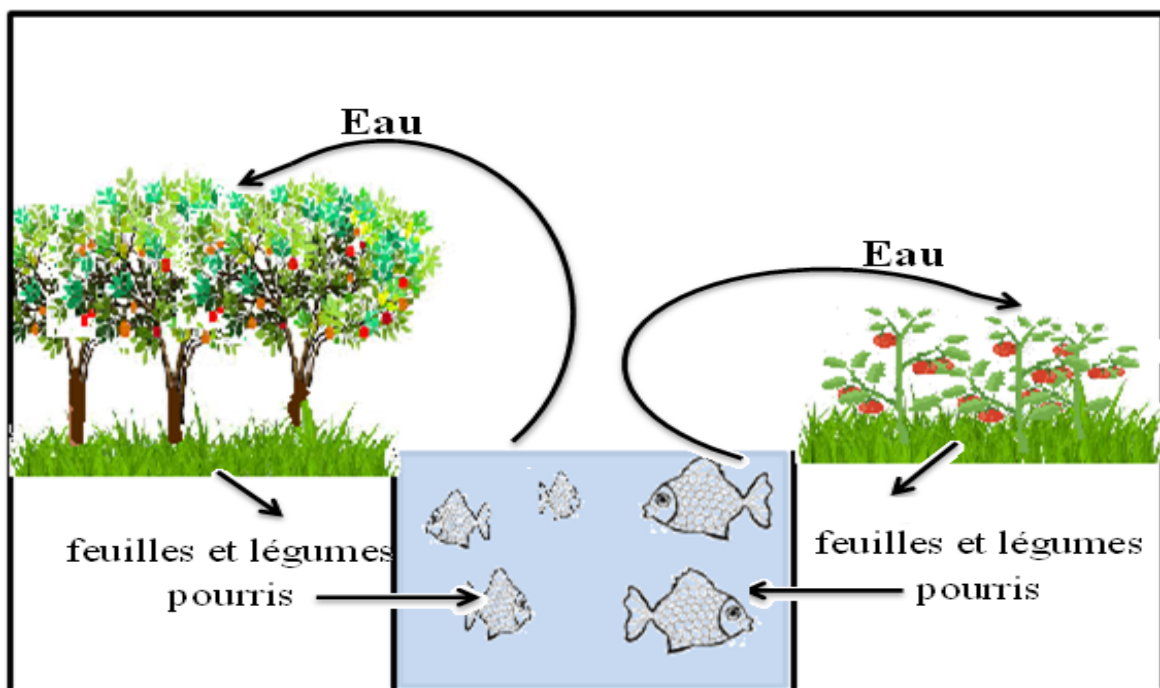


Figure 01 : Systèmes cultureux intégrés

3.2. Types de pisciculture intégrée

3.2.1. La pisciculture intégrée à la production végétale

Cette forme d'activité consiste généralement à élever les poissons dans des étangs ou les bassins, ces étendues sont destinées à l'irrigation en utilisant cette eau riche en éléments nutritifs pour irriguer les cultures agricoles et les poissons sont nourris des déchets et des résidus des cultures agricoles produites par l'exploitation (Zeghoud et Ghorab, 2022).

3.2.2. La pisciculture intégrée à la production animale

Consiste l'utilisation directe des déchets issus de la production de bétail et / ou la volaille dans l'alimentation des poissons. Ces déchets comprennent le fumier l'urine et les aliments impropres à la consommation humaine qui peuvent être utilisés directement comme des intrants frais ou être plus ou moins transformés l'utilisation permet l'obtention de produits bio (Zeghoud et Ghorab, 2022).

3.3. Les avantages de la pisciculture intégrée à l'agriculture

Les avantages de la pisciculture intégrée à l'agriculture :

- Garantir une source supplémentaire de protéines.
- Diminuer l'utilisation des engrais chimiques.
- Diminuer la malnutrition grâce à un approvisionnement en nourriture à haute valeur nutritionnelle.
- Réduire le coût de revient du poisson pour l'agriculteur et sa famille.
- Accroître les rendements agricoles de l'exploitation.
- Développer une agriculture bio et durable.
- Offrir la diversification des revenus de l'exploitation agricole.
- Forte production halieutique.
- La production pourra être plus importante quand les deux systèmes sont fusionnés.
- Les différentes activités sont unifiées si les résidus d'une activité sont employés pour la production d'un autre produit végétal ou animal.
- Diminuer la malnutrition grâce à un approvisionnement en nourriture à haute valeur nutritionnelle.
- Valoriser l'utilisation des plans d'eau naturelle et artificielle (Abbani et Benzid, 2022).

Chapitre II

Matériel et méthode

1. Choix des sites d'étude

Etant donné que le grand projet de pisciculture à l'intérieur des étangs dans le cadre de l'intégration de l'aquaculture à l'agriculture IAA n'a vu le jour que très récemment dans la région de Guelma, et par conséquent le nombre des étangs est très restreint, c'est la raison pour laquelle aucun critère de choix des sites n'a été fixé à l'avance. Nous avons dû, alors, étudier les trois étangs pilotes qui sont opérationnels pour le moment, et qui seront décrits ci-dessous.

2. Description des sites d'études

Parmi les trois sites pilotes agréées par la direction de la pêche et l'aquaculture. Celui de l'ITMA est situé dans l'ex-ferme école. Quant au deuxième bassin, nommé Cheraifia, il est situé dans la commune de Djebala Lakhmissi au centre-est de la wilaya de Guelma. Alors que le troisième bassin, il est situé à la commune de Bouati Mahmoud au nord de la wilaya, dans la zone limitrophe avec la wilaya de Skikda.

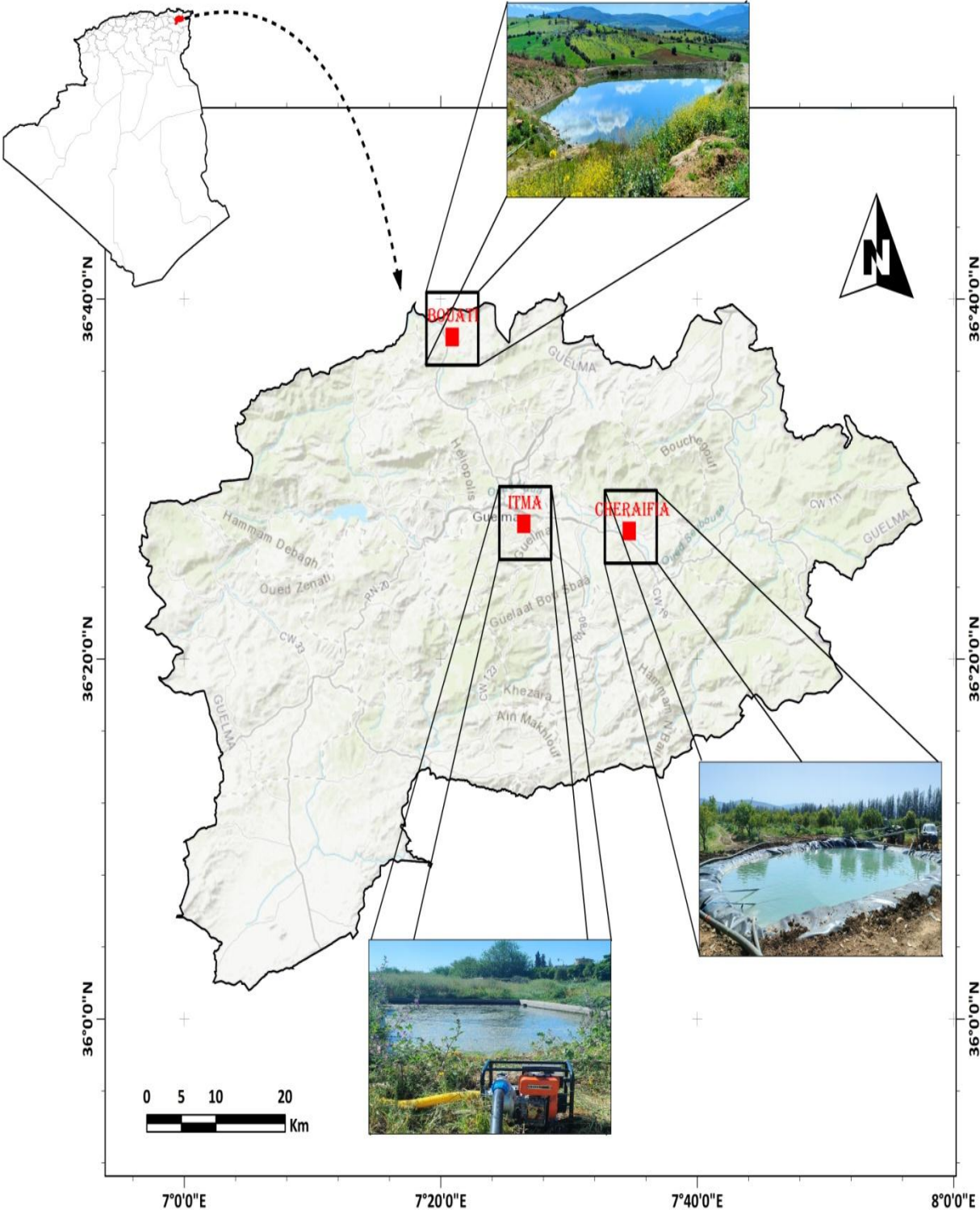


Figure 02 : Localisation des sires d'études

2.1. Site ITMA

D'environ 15 mètres de longueur, 8 mètres de largeur et d'une profondeur de 2 mètres (figure 01), l'étang de l'institut agricole ITMA est localisé entre 36 27 516 nord et 007 26 478 à une altitude de 'environs 270.93 m. alimenté par les eaux du forage qui n'est qu'à environ 300 mètres de là. Selon les informations recueillées de la direction de la pêche et l'aquaculture de la wilaya de Guelma, Le premier ensemencement par les alevins de Tilapia (2000 alevins) a eu lieu le 25 juin 2022.

2.2. Site Cheraifia commune de Djebala lakhmissi

D'environ 8 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et d'une profondeur de 3 mètres (figure 01), l'étang de la ferme Cheraifia de Jebala makhmissi est localisé, à 10 km à l'est de la ville de Guelma, entre 36 27 116 nord et 007 34 698 à une altitude de 'environs 154.137 m. alimenté par les eaux de deux forages justes à quelques mètres de l'étang. Selon les informations recueillées de la direction de la pêche et l'aquaculture de la wilaya de Guelma, Le premier ensemencement par 3000 alevins de Tilapia rouge a eu lieu le 25 juin 2022.

2.3. Site Bouati Mahmoud

D'environ 30 mètres de longueur, 12 mètres de largeur et d'une profondeur de 17 mètres (figure 01), l'étang de la commune de Bouati Mahmoud est localisé, à 25 km à nord de la ville de Guelma et à 5 km de la localité de Bouati Mahmoud, entre 36 14 467 nord et 007 18 593 à une altitude de 'environs 593.75 m. Alimenté par les eaux du forage et par fois les eaux de l'oued zit el anba. Selon les informations recueillées de la direction de la pêche et l'aquaculture de la wilaya de Guelma, Le premier ensemencement par 90 géniteurs d'espèces de carpe commune et de barbeau a eu lieu le 14 février 2022 tandis que le deuxième ensemencement par 14 géniteurs de perche et 6 géniteurs de carpe commune a eu lieu me 22 décembre 2022.

3. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate qui doit être effectuée avec beaucoup de soin car elle conditionne les résultats de l'analyse et leur interprétation qui en sera donnée (**Benaouira, 2017**).

Dans chacune des cinq sorties que nous avons effectuées au cours de cette étude, nous prélevions à chaque fois un échantillon du bassin d'élevage de poisson et un échantillon du forage qui l'alimente pour analyse physicochimique. Quant aux analyses bactériologiques. Nous prélevions des échantillons d'eau une fois toutes les deux sorties, soit seulement trois fois pendant la période d'étude. La date de prélèvement Dans l'annexe 14.

3.1. Méthode de prélèvement

Pour les analyses physico chimique on a utilisé des bouteilles en plastique d'un litre et demi qui doivent être propres et préalablement rincées par l'eau à prélever (figure 03), alors que le prélèvement pour les analyses bactériologique nécessite des flacons stériles en verre d'une contenance égale à 250 ml (figure 03).

L'échantillon destiné à l'analyse bactériologique doit être prélevé dans des conditions d'asepsies rigoureuses et doit être le plus représentatif possible du milieu d'où il provient (**derwich et al, 2008**). Le flacon est débouché et immergé complètement à une profondeur de 30 cm en position oblique renversée en le tenant par le fond et dans le sens contraire du courant (**Guiraud, 1998**). Les flacons sont ouverts sous l'eau et sont remplis jusqu'aux bords, ensuite les bouchons sont également placés sous l'eau de telle façon qu'il n'y est aucune bulle d'air (**Boucherit et al., 2009**)

3.2. Enregistrement et étiquetage des échantillons

Les échantillons prélevés soit clairement étiquetés en notant avec précision ; la date, l'heure, les conditions météorologiques, un numéro et toutes circonstances anormales (**Light Food, 2002**).

3.3. Transport et conservation

Pendant le transport, la surcroissance de micro-organismes ou au contraire, la destruction de l'échantillon doit être évitée. Pour cela, l'échantillon doit être protégé de la température et de la lumière, par une glacière contenant des sacs de glace. Le degré de conservation de l'échantillon est inférieur ou égal à +4°C (**Merzoug, 2009**).



Figure 03 : l'échantillon dans glacière

4. Mesure in-situ

Nombre de réactions étant excessivement rapides, des modifications significatives peuvent se produire en quelques minutes, l'analyse sur site devant être effectuée dans les 5 minutes qui suivent le prélèvement (**Rodier, 2009**).

Pour chaque point de prélèvement on a noté les mesures de pH, la salinité, l'oxygène dissous, le TDS, la température et la conductivité à l'aide de multi-paramètre de type HANNA HI 9829. (figure 04).



Figure 04: multi-paramètre de type HANNA HI 9829.

5. Analyse au laboratoire

5.1. Analyse physico-chimique

5.1.1. Demande biochimique en oxygène (DBO5)

C'est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour oxyder (dégrader) la matière organique biodégradable présente dans les eaux. La DBO5 est déterminé en faisant l'incubation pendant 5 jours à 20°C d'un échantillon d'eau conservé à l'abri de l'air (Djehaichia, 2020). La DBO5 a été mesuré au moyen d'un DBO mètre de type Oxytope WTW dont le mode opératoire est mentionné en annexe 1.

5.1.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène est la quantité de dioxygène consommée par les matières oxydables dans des conditions réactionnelles spécifiques, est l'un des paramètres utilisés pour quantifier la pollution organique d'une eau (Djehaichia, 2020). Ce paramètre est mesuré par un DCO mètre de laboratoire, le mode opératoire et le type de l'appareil sont mentionnés en annexe 2

5.1.3. Mesure de la dureté totale de l'eau (TH), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , TAC (HCO_3^-).

La dureté totale de l'eau (TH), les ions calcium, magnésium, bicarbonates et chlorures sont dosés par la méthode volumétrique par titrimétrie selon Rodier 2009. Le mode opératoire et le mode de calcul pour chaque paramètres sont notés dans les annexes 3,4,5 et 6.

5.1.4. Mesure des éléments nutritifs et des sulfates (NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4 , SO_4)

L'instrument de mesure utilisé pour doser les sulfates SO_4^{2-} et nitrates NO_3^- c'est un spectrophotomètre de marque photolab-Spektral-WTW. Le mode opératoire, les Réactifs utilisés et les expression des résultats sont cités en (annexe 7 et 8).

- De même les nitrites (NO_2^-), L'ammonium (NH_4^+), phosphates (PO_4^{1-}) et fluor tous sont mesurés par le même appareil spectrophotomètre UV visible, seulement la méthode diffère un petit peu, Ainsi le mode opératoire, les Réactifs utilisés et les expression des résultats sont cités en (annexe 9 et 10).

5.1.5. Mesure de sodium et potassium

- Le sodium Na^+ et le potassium K^+ sont mesurés avec un spectrophotomètre à flamme de type JENWAY PFP comme décrite dans (annexe 13).

6. Analyse bactériologique

Les analyses bactériologiques ont été réalisées dans les laboratoires de microbiologie à l'université de Guelma. Les méthodes d'analyse bactériologique visent à étudier la variation de la population bactérienne globale, le dénombrement et la recherche des bactéries d'origine fécale et la recherche des bactéries pathogènes (Hadji, 2020).

6.1. Préparation des dilutions

Prélèver 1ml du flacon contenant l'eau à analyser et on les place dans un tube à essai contenant 9ml d'eau distillée, la première dilution est marquée du chiffre 10^{-1} et déplacer le tube légèrement pour le faire homogénéiser. Puis prélever 1ml du dernier tube et les placer dans un second tube contenant également 9 ml d'eau distillée, la seconde dilution est marquée du chiffre 10^{-2} . Quant à la troisième dilution, elle se fait en plaçant 1ml du dernier tube (10^{-2}) et en le plaçant dans 9ml d'eau distillée et en le marquant avec le numéro 10^{-3} (Figure 05).

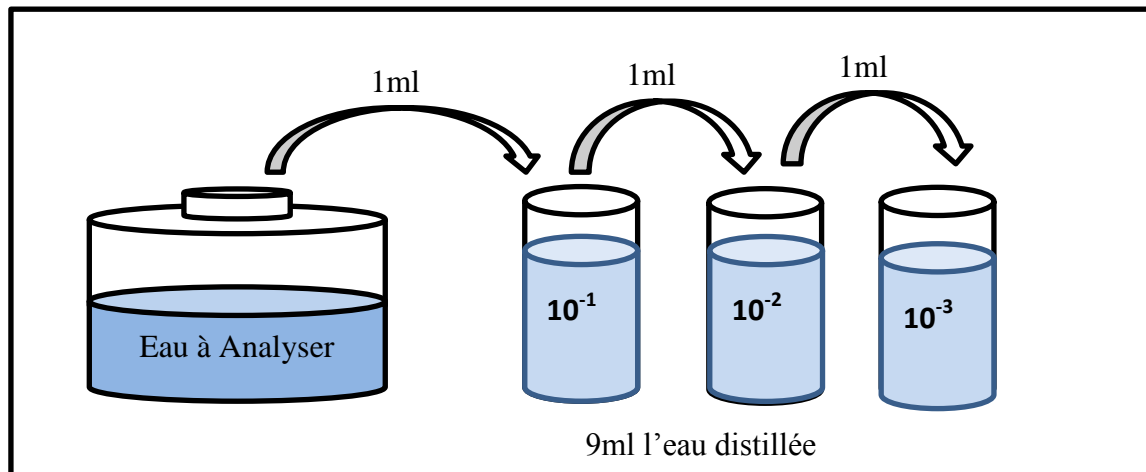


Figure 05: Préparation des dilutions

6.2. Recherche et dénombrement des germes totaux

Ce sont des bactéries qui se développent dans des conditions aérobies et aéanaérobies et sont capables de former des colonies de différentes tailles et formes dans un milieu nutritif gélosé après incubation (Amirat et Neciri, 2017).

❖ Mode opératoire

• Après la préparation de dilution

- A partir des dilutions, on porte 1 ml dans deux boîtes de pétri vide (Figure 06).
- Compléter avec environ 19 ml de gélose GN fondue. Fait des mouvements en forme de (8) pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose.
- Laisser solidifier les boîtes sur la paillasse.
- L'incubation se fait à 37°C pendant 72 heures.

❖ Lecture

- Une première lecture à 24 heures.
- Une deuxième lecture à 48 heures.
- une troisième lecture à 72 heures.

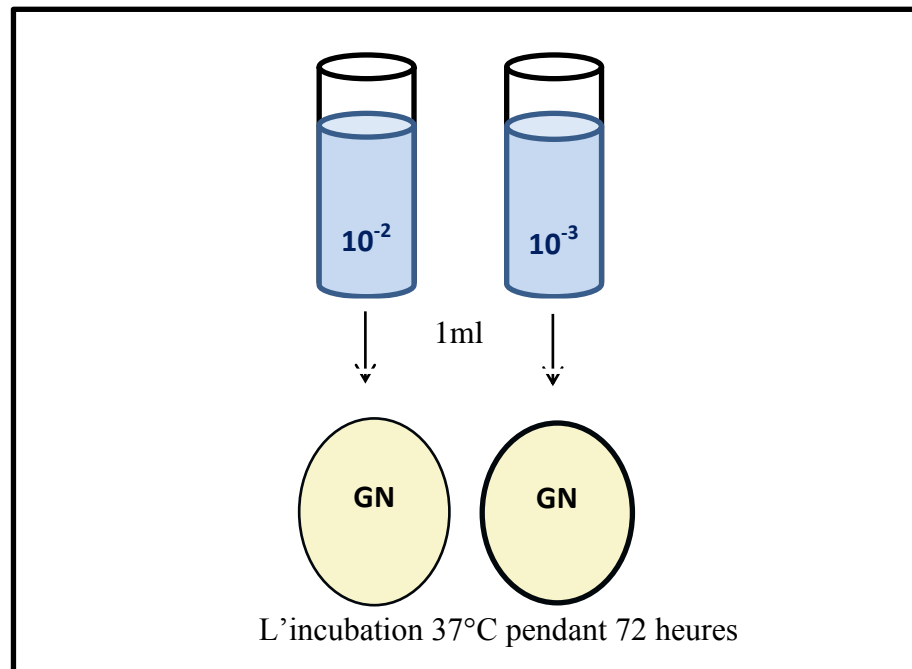


Figure 06 : Recherche et dénombrement des germes totaux

6.3. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale

La recherche et le dénombrement des CF et des SF ont été effectués selon la méthode de dénombrement en milieu liquide par détermination du nombre le plus probable (NPP). Les résultats de dénombrement sont déterminés à partir de la table de MAC Grady (**rodier, 2009**).

6.3.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

Les coliformes totaux sont des bacilles à gram (-), non sporulé, oxydase (-), aérobies et anaérobies facultatifs. Ils se multiplient à 37°C pendant 24h (**Rodier, 2009**).

- La recherche présomptive des coliformes totaux sur milieu bouillon lactosé au pourpre de bromocrésolé (BCPL).

Le terme de “coliformes fécaux” ou de “coliformes thermotolérants” correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés que les coliformes totaux après incubation à la température de 44°C (**Rodier, 2009**).

- La recherche confirmative des coliformes fécaux sur milieu Schubert muni d'une cloche de durham.

6.3.1.1. Test présomptif

❖ Mode opératoire

Test présomptif pour les coliformes totaux. A partir de l'eau à analyser dans les trois stations avec six échantillons :

- Trois tubes de 9ml de BCPL à double concentration munis d'une cloche de durham avec 10 ml l'eau analyser.
- Trois tubes de 9ml de BCPL à simple concentration munis d'une cloche de durham avec 1ml (20 gouttes) l'eau analyser.
- Trois tubes de 9 ml de BCPL à simple concentration munis d'une cloche de durham avec 0.1 ml (2 gouttes) l'eau analyser.

On agite pour homogénéiser et vider l'air dans les cloches et placer les tubes dans une étuve à 37°C pendant 24 à 48 heures.

❖ Lecture

Après incubations, les tubes considérés comme positifs présentent :

- un trouble dans toute la masse liquide, avec virage du violet au jaune.
- un dégagement de gaz dans la cloche (supérieure au 1/10^{ème} de la hauteur de la cloche)

Noter le nombre final des tubes positifs dans chaque série et on reporte à la table du mac Grady (NPP) (Annexe 15) pour obtenir le nombre de coliforme présent dans 100ml d'eau à analyser.

6.3.1.2. Test confirmatif

❖ Mode opérations

Test confirmatif pour les coliformes fécaux.

Repiquer chaque tube de BCPL trouvé positif pour la recherche de coliformes totaux, ensemencer 2 à 3 gouttes dans un tube de milieu indole mannitol (milieu de Schubert) muni d'une cloche durham.

Chassez le gaz présent éventuellement dans les cloches et bien mélanger le milieu.

Incuber à 44°C pendant 24 heure, puis ajouter 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs aux tubes contenant le bouillon de Schubert avec la cloche de durham positif (figure 07).

❖ Lecture

Un trouble dans toute la masse liquide des tubes présentant un dégagement de gaz (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) et une réaction indole positive (anneau rouge en surface) sont considérés comme positifs.

La lecture finale se fait selon les prescriptions de la table de mac Grady (NPP) (Annexe 15).

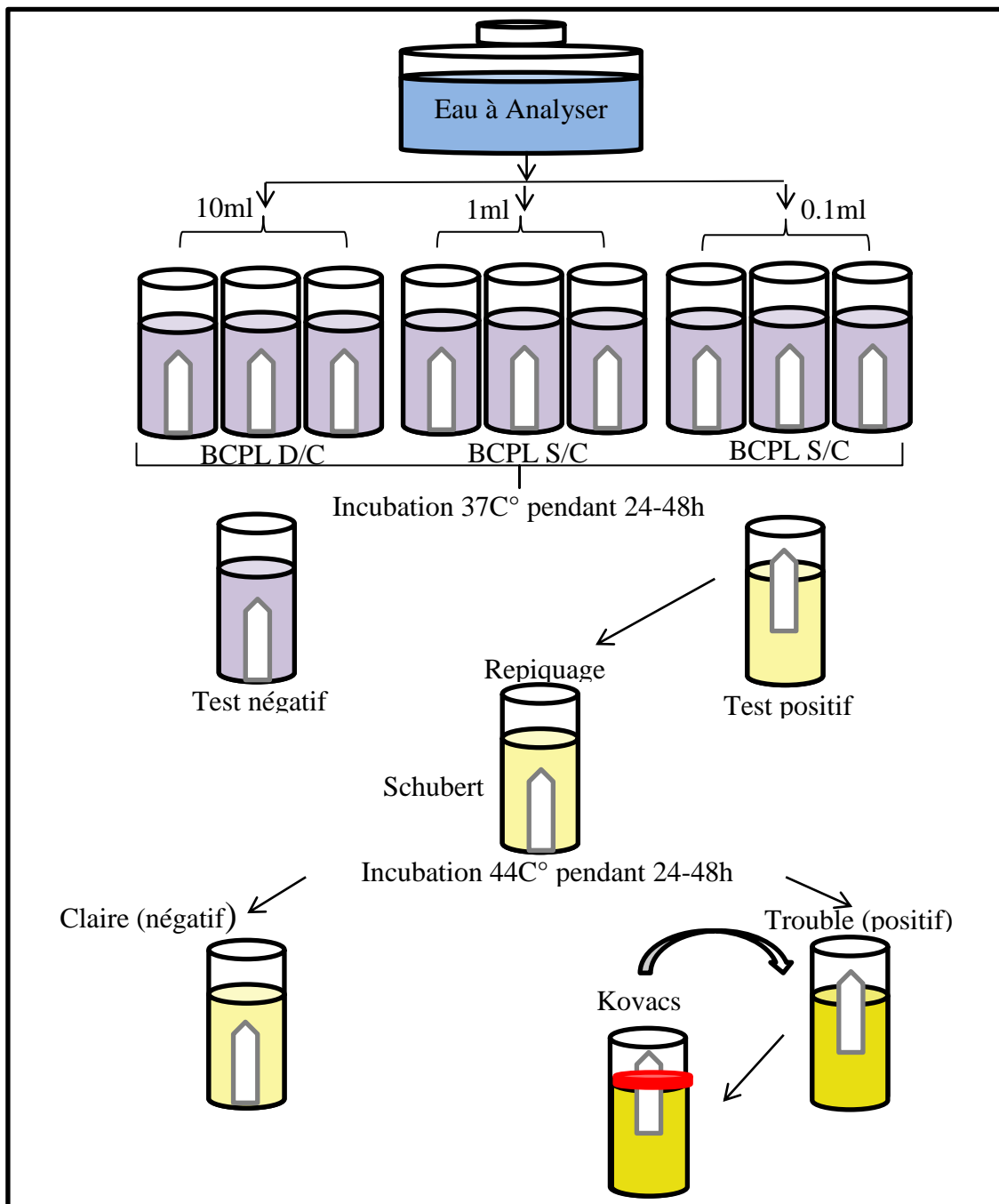


Figure07 : Recherche et dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux en milieu

6.4. Recherche et Dénombrement des streptocoque fécaux

Les streptocoques fécaux ou streptocoques du groupe « D » de la classification de Lance Field, ou encore les entérocoques intestinaux, sont des bactéries qui se présentent sous forme de Cocci à Gram positive, sphériques ou ovoïdes formant des chainettes, ne possédant pas de catalase mais possédant l'antigène du groupe D. Ils sont Capables de se développer en 24 à 48 heures à 37°C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus hydrolysent l'esculine en 2 heures à 44°C.

❖ Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des streptocoques du groupe (D) Dans les eaux, en milieu liquide par la technique de NPP, se Fait aussi en deux étapes consécutives :

- Le test présomptif : réservé à la recherche des streptocoques.
- Le test confirmatif : réservé à la confirmation réelle des Streptocoques du groupe (D).

6.4.1. Test de présomptif

Leur recherche est effectuée sur le milieu Rothe, suivant le même procédé décrits pour les coliformes totaux et l'incubation 37°C pendant 24 h.

6.4.2. Test confirmatif

À partir des tubes de Rothe trouvés positifs,ensemencer 2 ou 3 gouttes dans un tube contenant le milieu LITSKY EVA. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

❖ Lecture

Seront considérés comme positifs, les tubes présentant à la fois :

- Un trouble microbien.
- Une pastille violette (blanchâtre) au fond des tubes.

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du (NPP) (Annexe 15).

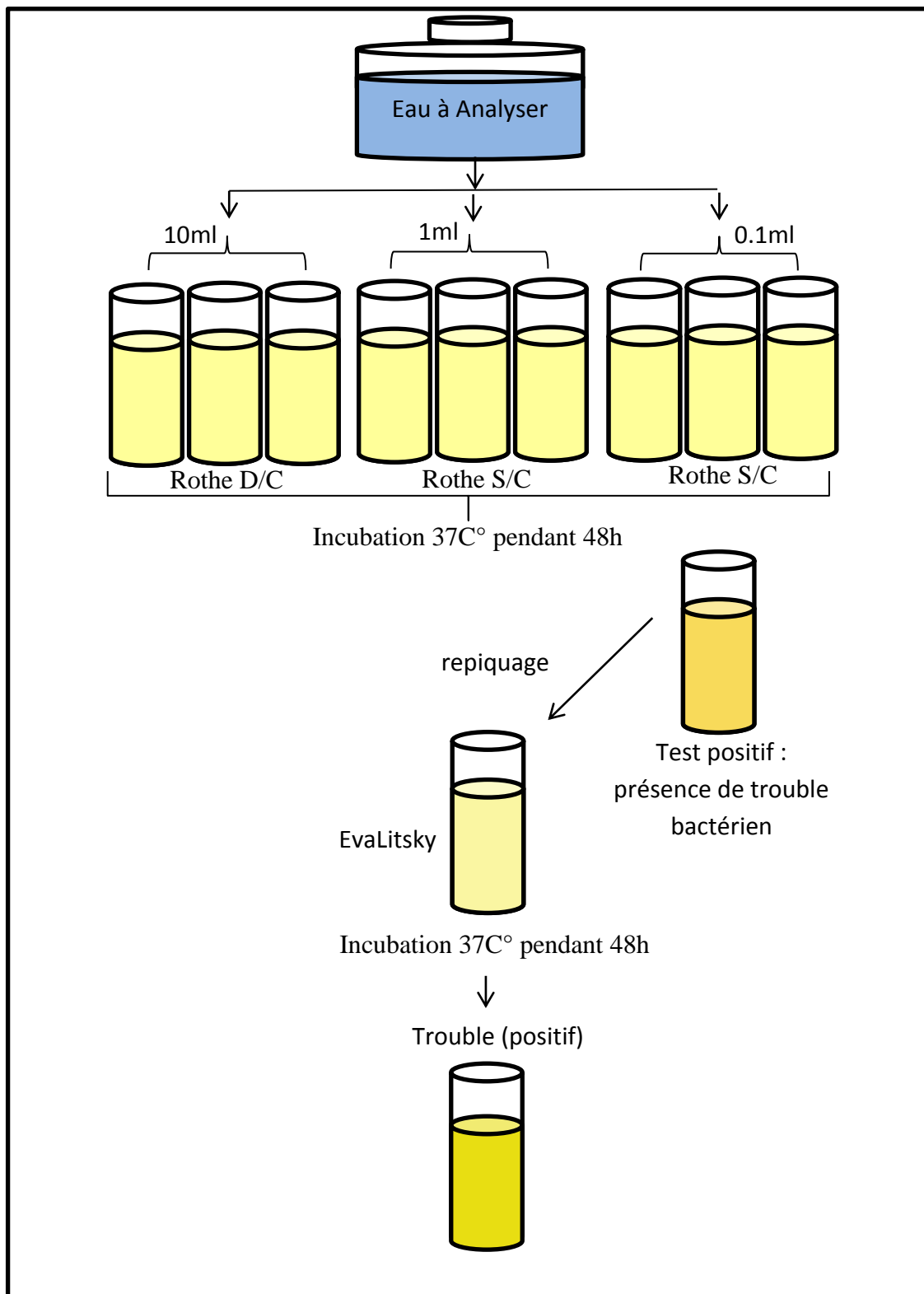


Figure 08 : Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

6.5. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont des bacilles Gram positifs, en chaînettes ou isolées, catalase positive, anaérobies stricts, mobiles, réduisent le sulfite de sodium en sulfure (Slama, 2021).

❖ Milieu de culture :

Gélose viande de foie.

Solution de sulfite de sodium.

Solution d'alun de fer.

❖ Mode opératoire :

- ✓ Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un bain marie à 100 °C pendant 5 minutes.
- ✓ Refroidit, réparti a raison de 5ml par tube dans 4 tubes (pour garder seulement la forme sporulée des bactéries Sulfito Réducteurs).
- ✓ Ajouter 15 ml de gélose Viande Foie, additionnée
- ✓ Alun de fer 2 gouttes et sulfites de sodium 10 gouttes (mélanger avec précaution).
- ✓ Laisser solidifier sur paillasse, puis incuber à 37 °C pendant 24h puis 48h et 72h (figure 09).

❖ Lecture

Dénombrer toutes les colonies entourées d'un halo noir, rapporter le nombre total des colonies.

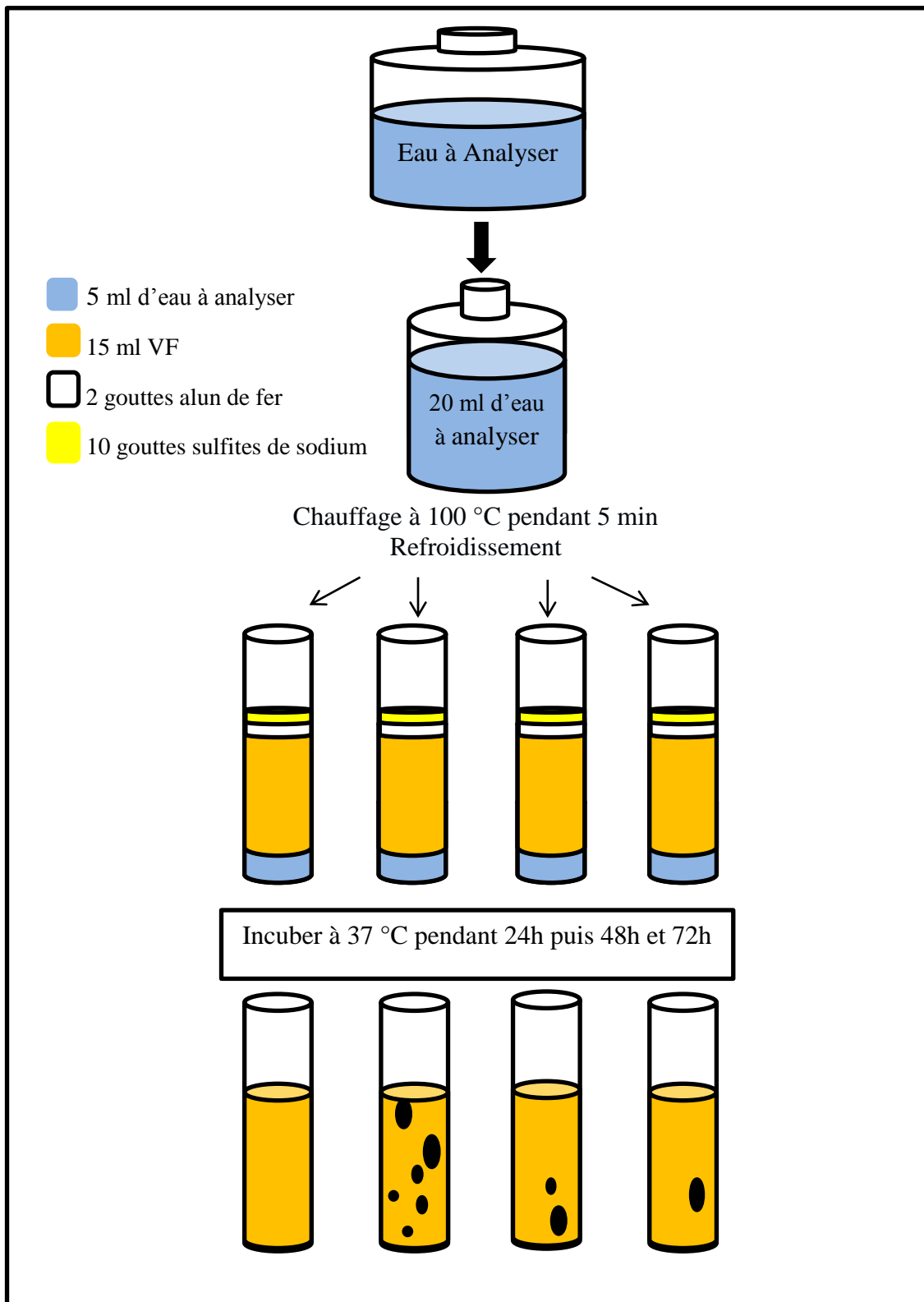


Figure 09 : Recherche des Clostridium Sulfito-Réducteurs

Chapitre III
Résultats et discussion

1. Paramètres physico-chimiques

1.1. La température de l'eau

La température de l'eau d'un étang évolue selon les saisons et les localisations géographiques de 2 à 30 °C. La température de l'eau détermine la santé et la qualité des rivières et des lacs (Williams, 1968), par son influence sur leur oxygénation (Truesdale et al., 1955), la solubilité des gaz (Labroue et al., 1995), la plupart des réactions chimiques. Elle conditionne le fonctionnement anatomique des organismes aquatiques (Angelier, 2000).

Les résultats obtenus révèlent que la température moyenne pendant la période d'étude était de $18.55 \pm 2^\circ\text{C}$, avec un écartype de 2.51°C , les minimas s'observent au niveau du bassin de Bouati (15.11°C) tandis que les maximas ont été enregistrées à Cheraifia forage (23.7°C), on note alors une différence de température plus au moins importante entre les deux sites mais en général les valeurs demeurent en dessous de la norme prescrite pour les eaux d'irrigation qui est de l'ordre de 35°C .

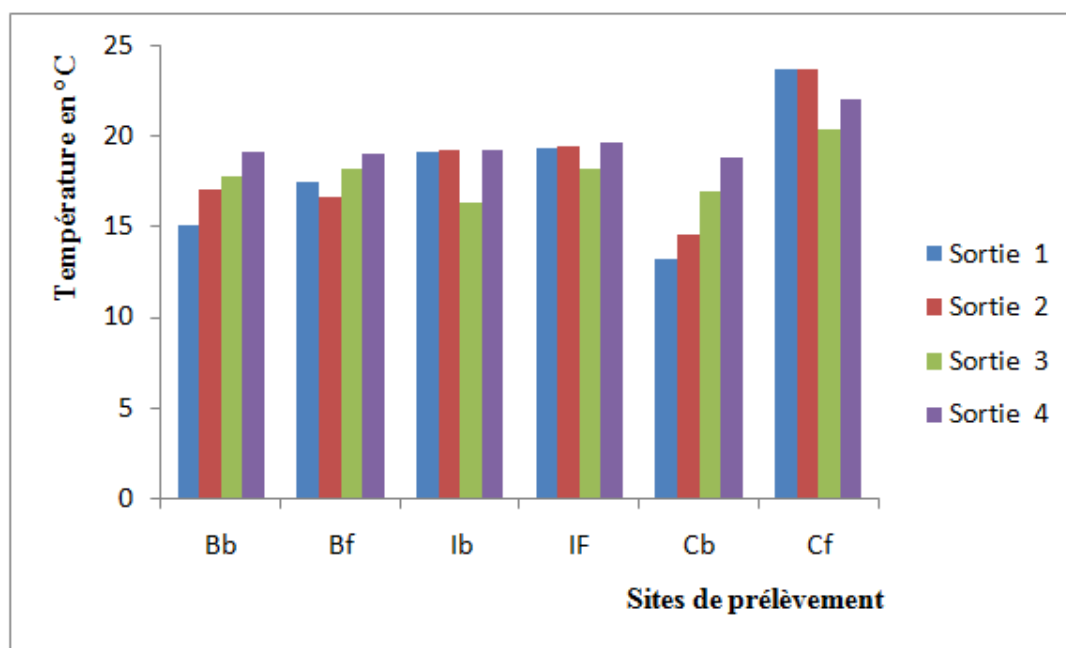


Figure 10 : Evolution spatio-temporelle de la température de l'eau

1.2. Le pH de l'eau

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ion H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Les valeurs du pH enregistrées pour les six catégories d'eau

oscillent entre un minimum de 6.92 mesurée au niveau de l'ITMA forage et un maximum de 9.93 au niveau de Bouati bassin avec un écartype de 0.59. La valeur moyenne était de l'ordre de 7.59 se situe donc à l'intérieur de la gamme du pH recommandée pour l'irrigation (6.5-8.5).

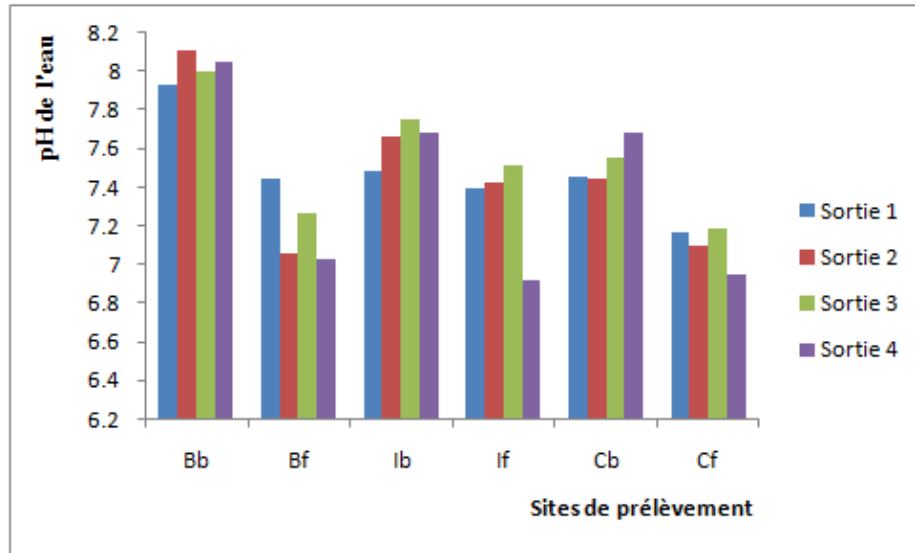


Figure 11 : Evolution spatio-temporelle du pH de l'eau

1.3. L'oxygène dissous

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies. Elle permet également le processus d'oxydation des matières organiques, mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène. L'oxygénation de l'eau provient d'abord du contact de sa surface avec l'atmosphère. Elle est favorisée par les remous, les cascades et surtout la température car plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble. Des apports en dioxygène dans les eaux sont : La dissolution du dioxygène de l'air, la photosynthèse des algues vivant dans l'eau. Les résultats obtenus pour ces paramètres fluctuent clairement d'un point à l'autre entre un minimum de 1.35 mg/l à Cheraifia forage et un maximum de 27.42 mg/l à Bouati bassin. La valeur moyenne est autour de 5.85 mg/l et l'écartype = 5.99 mg/l. D'après la **figure12**, les eaux les plus oxygénées sont celles du Bouati bassin qui dépassent la valeur recommandée pour une meilleure vie aquatique soit 7 mg/l.

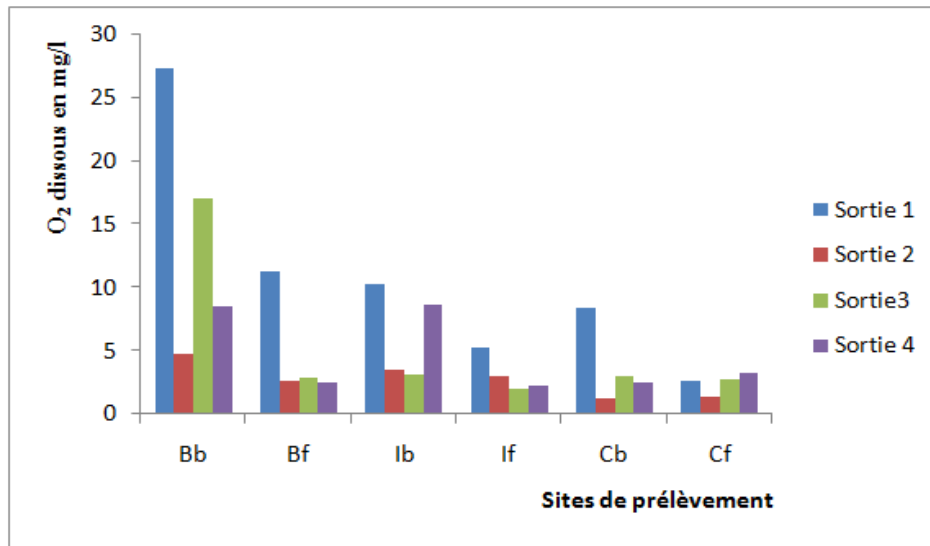


Figure 12 : Evolution spatio-temporelle de l'oxygène dissous dans l'eau

1.4. La conductivité électrique CE

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est importante lorsque la température augmente. La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou milli Siemens par centimètre (mS/cm). Les eaux d'irrigation des différents sites (figure 13) présentent une conductivité électrique de $888 \mu\text{S}/\text{cm}$ comme minimum au niveau de Bouati bassin et un maximum de $4077 \mu\text{S}/\text{cm}$ au niveau de Chaeraifia forage, la moyenne était autour de $2179.83 \mu\text{S}/\text{cm}$ avec un écartype de $1019.41 \mu\text{S}/\text{cm}$. L'évaluation de la qualité des eaux utilisées pour l'irrigation des sols, dans l'échelle proposée par Durand (1958) tableau 01. Pour les sols irrigables de l'Algérie, montre que, particulièrement, les eaux du site de Cheraifia présentent une forte salinité.

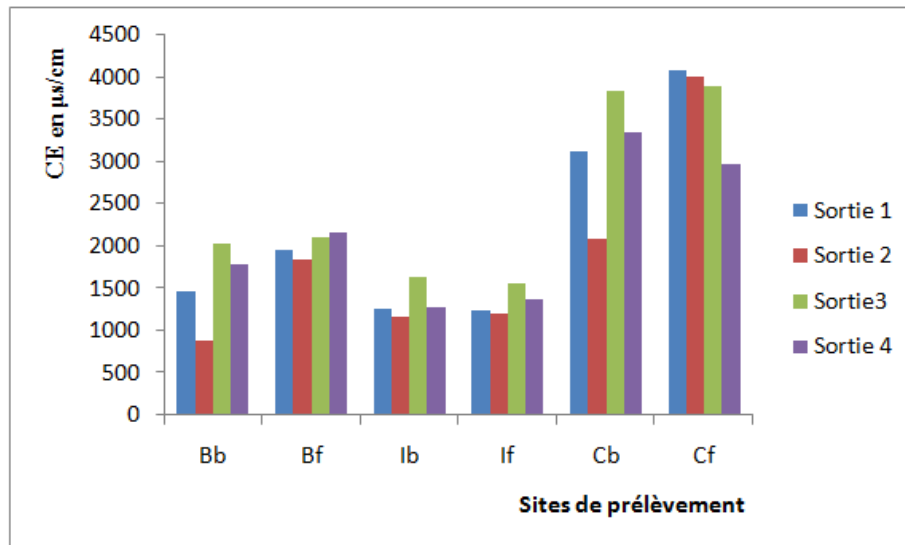


Figure 13 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité électrique de l'eau

Tableau 01 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation (Durand, 1958)

Conductivité électrique (dS/m)	Concentration (g/l)	Evaluation américaine	Evaluation russe	Evaluation de DURAND pour l'Algérie
CE < 0.25	< 0.2	Faible salé	Faible qualité	Non saline
0.25 < CE < 0.75	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité
0.75 < CE < 2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	moyenne
2.25 < CE < 5	1.5-3	T. fortement salée		Forte salinité
5 < CE < 20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Très forte salinité
				Salinité excessive

1.5. Le total des solides dissous TDS

Les TDS rendent compte de la quantité de substance minérale dans l'eau et donc de la pureté de l'eau. La concentration des TDS dans l'eau varie considérablement dans différentes régions géologiques à cause de la différence de solubilité des minéraux (OMS, 2006). D'après la figure 14, la valeur min des solides totaux dissous est enregistrée au niveau de l'ITMA forage (619 mg/l), par contre les valeurs les plus élevées ont été mesurées au niveau de

Cheraifia forage avec un maximum de (2493 mg/l). La valeur moyenne égale à 1246.79 mg/l avec un écartype de 545.53. Lorsque les niveaux de TDS dépassent 1000 mg/l, comme c'est le cas, il est généralement considéré comme **impropre à la consommation** humaine. Un niveau élevé de TDS est un **indicateur de problèmes** potentiels, et justifie une enquête plus approfondie. Le plus souvent, des niveaux élevés de TDS sont causés par la présence de potassium, de chlorure et de sodium. Ces ions n'ont que peu ou pas d'effets à court terme, mais des **ions toxiques** (arsenic, plomb, cadmium, nitrates et autres) peuvent également être dissous dans l'eau.

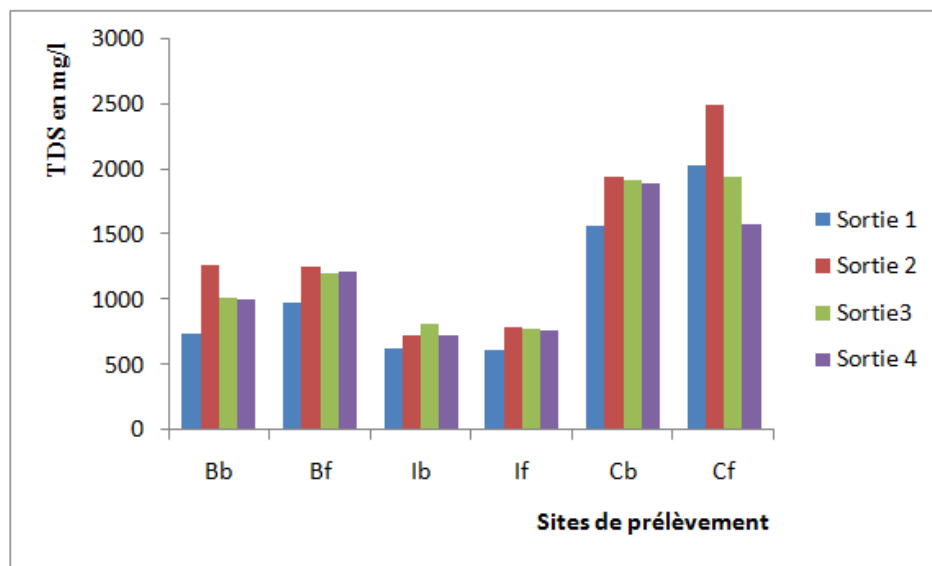


Figure 14 : Evolution spatio-temporelle du total des solides dissous TDS dans l'eau

1.6. La salinité de l'eau

La **salinité** est la mesure de la quantité de sels dissouts dans un volume donné d'eau. Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires. Les valeurs de la salinité représentées sur la figure 15 diffèrent clairement d'un site à l'autre notamment celles des forages. Les minimas sont enregistrées au niveau de Bouati basin (0.2 psu), alors que les maximas ont été mesurées au forage de Cheraifia (2.16 psu). La moyenne était de l'ordre de 1.14 psu et l'écartype égal à 0.59 psu.

On constate que ces valeurs très élevées à Cheraifia, après l'irrigation, elles deviennent excessives dans la solution du sol, et par conséquent, les déséquilibres entre les éléments minéraux s'accroissent. Les déséquilibres ioniques peuvent alors induire des blocages d'assimilations et ralentir encore le développement des plantes.

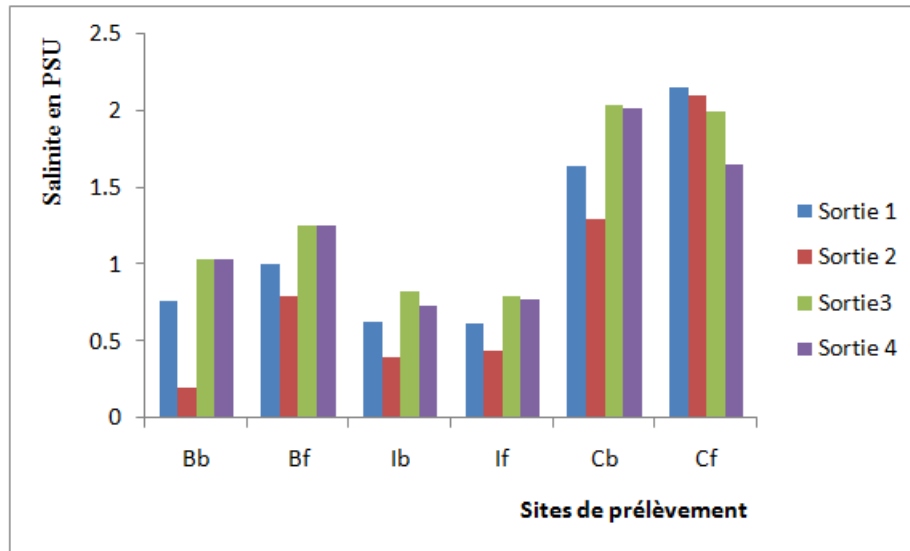


Figure 15 : Evolution spatio-temporelle de la salinité de l'eau

1.7. La demande biologique en oxygène DBO₅

La demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO₅), représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique biodégradable présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours. La mesure de la DBO₅ est utilisée pour surveiller, particulièrement, les rejets. Une DBO élevée indique que les concentrations en oxygène dissous seront réduites, ce qui peut représenter une menace pour certaines espèces de poissons, dont particulièrement les salmonidés (ombles et truites). Selon la figure 16, la valeur maximale de la DBO₅ (75 mg/l) est observée au niveau du bassin de Cheraifia, Cela peut être attribué à la quantité de matières organiques contenues dans les aliments fournis au poisson chaque jour. La même chose que nous constatons dans le bassin de Bouati, mais à un degré moins (36 mg/l), et cela peut être dû à la présence importante de matières organiques naturelles, telles que les résidus de feuilles de plantes et des débris d'insectes. Si non le reste des valeurs de la DBO₅ fluctuent entre 3 mg/l et 24 mg/l autour d'une moyenne de 11.78 mg/l et un écartype de 15.53 mg/l.

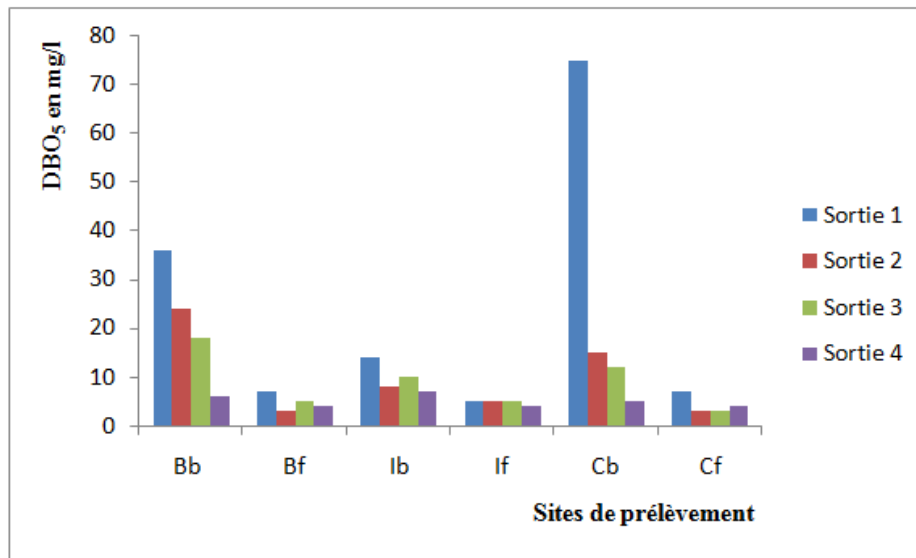


Figure 16 : Evolution spatio-temporelle de la demande biologique en oxygène DBO₅

1.8. Les nitrates NO₃

Les nitrates (NO₃⁻) résultent de l'oxydation de l'azote organique provenant du lessivage des engrais et des rejets urbains et industriels et sont donc présents à l'état naturel dans les sols et dans les eaux. Les nitrates sont l'un des éléments nutritifs majeurs des végétaux. Leur présence associée aux autres éléments nutritifs, stimule le développement de la flore aquatique.

Les nitrates aident les plantes à pousser surtout les algues. Or les algues ont besoin d'oxygène pour vivre. Lorsqu'elles se développent trop, elles provoquent une situation d'anoxie (absence d'oxygène) dans l'eau. Dans ces conditions, les poissons et les invertébrés du milieu meurent en grand nombre. Les nitrates en eux-mêmes ne présentent pas de danger particulier pour la santé, c'est leur transformation en nitrites dans l'estomac qui peut être toxique. Les teneurs les plus élevées de nitrates sont enregistrées au niveau du site de l'ITMA, soit 7 mg/l pour les eaux du bassin et 8.34 mg/l dans les eaux de forage. Selon toujours la figure 17.

Les valeurs oscillent entre un minima de 0.227 mg/l et un maxima de 8.34 mg/l alors que la teneur moyenne enregistrée est de 2.50 mg/l très faible et très inférieure à 50 mg/l fixées par l'OMS en matière de potabilité de l'eau. Des niveaux élevés de nitrate dans l'eau peuvent indiquer la présence de déchets biologiques aux étapes finales de la stabilisation ou un écoulement provenant de champs fortement fertilisés. Les effluents riches en nitrates

rejetés dans les plans d'eau récepteurs peuvent dégrader la qualité de l'eau en encourageant une croissance excessive d'algues.

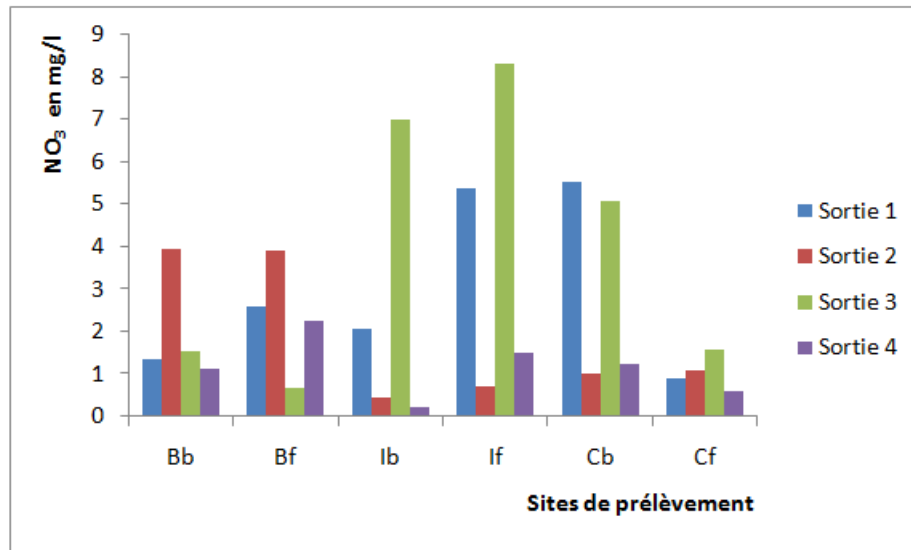


Figure 17 : Evolution spatio-temporelle de la teneur de nitrates dans l'eau

1.9. Les nitrites NO_2

Les nitrites, (NO_2), comme les nitrates, sont présents à l'état naturel dans les sols, les eaux et les plantes, mais généralement en faible quantité. Plus une eau est riche en nitrates, plus le risque est important de consommer des nitrites, car les nitrates se transforment en nitrites par le phénomène chimique de la réduction (élimination d'oxygène). Une trop forte concentration de nitrites dans l'organisme peut provoquer des maladies graves (des cyanoses notamment). Il est clair pour nous à travers la figure18, Ci-dessous que les teneurs de nitrite fluctuent entre 1,98 mg/l minimum et 4,28 mg/l maximum, mais les valeurs les plus élevées caractérisent particulièrement les trois forages et également le Bassin de l'ITMA. La valeur moyenne est de 1.57 mg/l avec un écartype de 1.31 mg/l dépassent largement 0,1 mg/L fixées par l'OMS en matière de l'eau potable (OMS, 1996). Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation des nitrites et de nitrosamines responsables de deux phénomènes potentiellement pathogènes, la méthémoglobinémie et un risque de cancer. Les nitrites ont donc la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus.

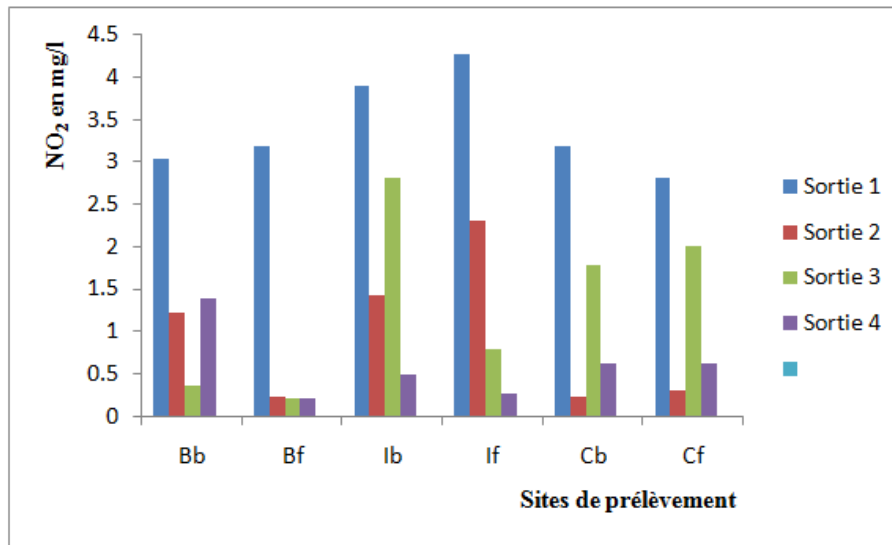


Figure 18 : Evolution spatio-temporelle de la teneur de nitrites dans l'eau

1.10. L'ammonium NH_4

La présence d'ammoniaque en quantité importante est l'indice d'une contamination par des rejets d'origine domestique ou industrielle. Les urines humaines ou animales contiennent en effet de grandes quantités d'urée qui se transforment rapidement en ammoniaque. Ce paramètre est souvent utilisé comme traceur des eaux usées domestiques. L'ammoniaque présente une forte toxicité pour tous les organismes d'eau douce sous sa forme non ionisée (NH_3). La proportion de NH_3 augmente en fonction croissante du pH et de la température. Suivant la figure 19, les teneurs d'ammonium dans les eaux des sites étudiés s'échelonnent entre un minimum de 0.209 mg/l et un maximum de 10.33 mg/l au niveau de l'ITMA forage. Le reste des valeurs tournent autour d'une moyenne de 2.70 mg/l avec un écartype de 2.19 mg/l. Grosso modo, les valeurs d'ammonium dépassent sensiblement la valeurs prescrite par l'OMS pour les eaux potable qui est de l'ordre de 0.5 mg/l.

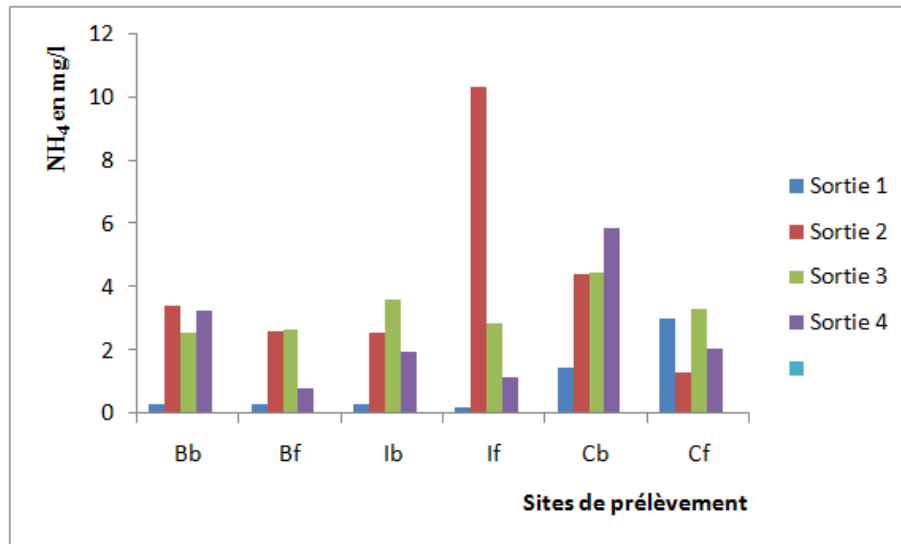


Figure 19 : Evolution spatio-temporelle de la teneur d'ammonium dans l'eau

1.11. Le phosphate PO_4

D'origine naturelle, urbaine (composant des détergents) ou agricole (lessivage d'engrais), les ortho phosphates sont comme les nitrates un nutriment majeur des végétaux et peuvent entraîner leur prolifération. On considère généralement que les phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation. Selon la figure 20, les teneurs des ortho phosphates enregistrées pendant la quatrième sortie semblent les plus élevées au niveau de tous les sites de prélèvement, cependant les deux valeurs pic sont enregistrées particulièrement à Bouati bassin 4.9 mg/l et à ITMA forage 4.60 mg/l. Le reste des valeurs fluctuent entre un minimum de 0.49 mg/l à Cheraifia forage et un maximum de 4.9 mg/l à Bouati bassin. La moyenne était de l'ordre de 2.06 mg/l et un écartype assez important aussi égale 1.14 mg/l. Du fait que ces milieux sont très perturbés par les activités humaines, agricoles notamment, les teneurs pourraient atteindre plusieurs milligrammes de phosphore par litre comme c'est le cas. Ces fortes concentrations peuvent être libérées par la minéralisation de la matière organique morte présente en énormes quantité ces l'eau.

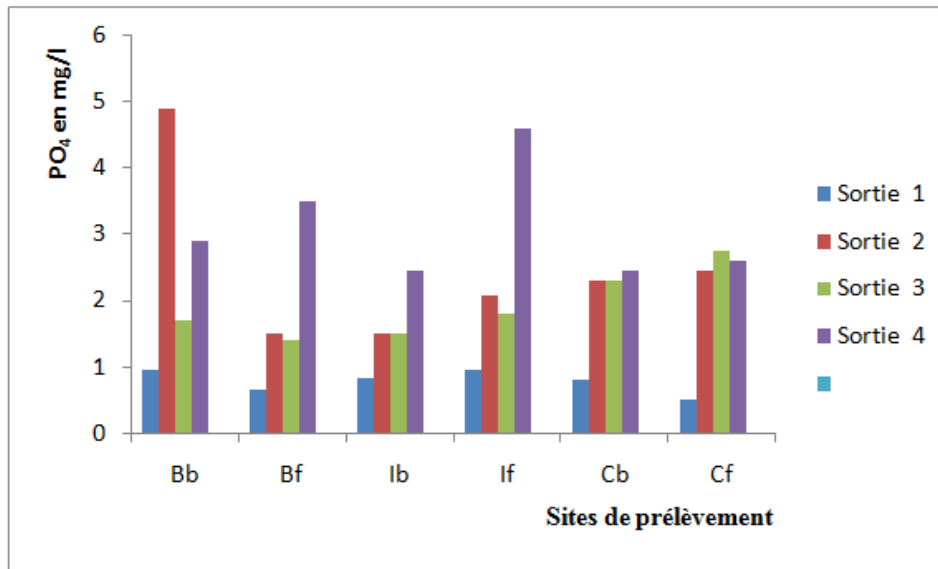


Figure 20 : Evolution spatio-temporelle de la teneur de phosphate dans l'eau

2. Analyse de données par logiciels

Pour pouvoir analyser ces données et en ressortir le plus d'information en peu de temps, il a fallu utiliser des outils et méthodes efficaces et rapides. Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMMES (Figure 21) créé par Roland SIMLER du Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation d'analyse d'eau. Ces fonctions sont variées et complètes, en voici quelques-unes:

- Les diagrammes : - Piper -Stiff - Schoeller-Berkalov - Binaire - Korjinski - Rose des vents
 - Les paramètres calculés : - balances ionique - teneurs en cations - dureté - teneurs en anions
- indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse) Toutes les fonctionnalités n'ont pas été utilisées, mais ce logiciel s'avère être simple d'utilisation. De ce fait les diagrammes de PIPER, WILCOX et de RICHARDS ont été établis grâce à ce logiciel. Pour finir l'aspect concernant les variations de pH ainsi que le calcul des équilibres calco-carboniques que nous verrons plus tard, ont pu être étudiés grâce à ce logiciel.

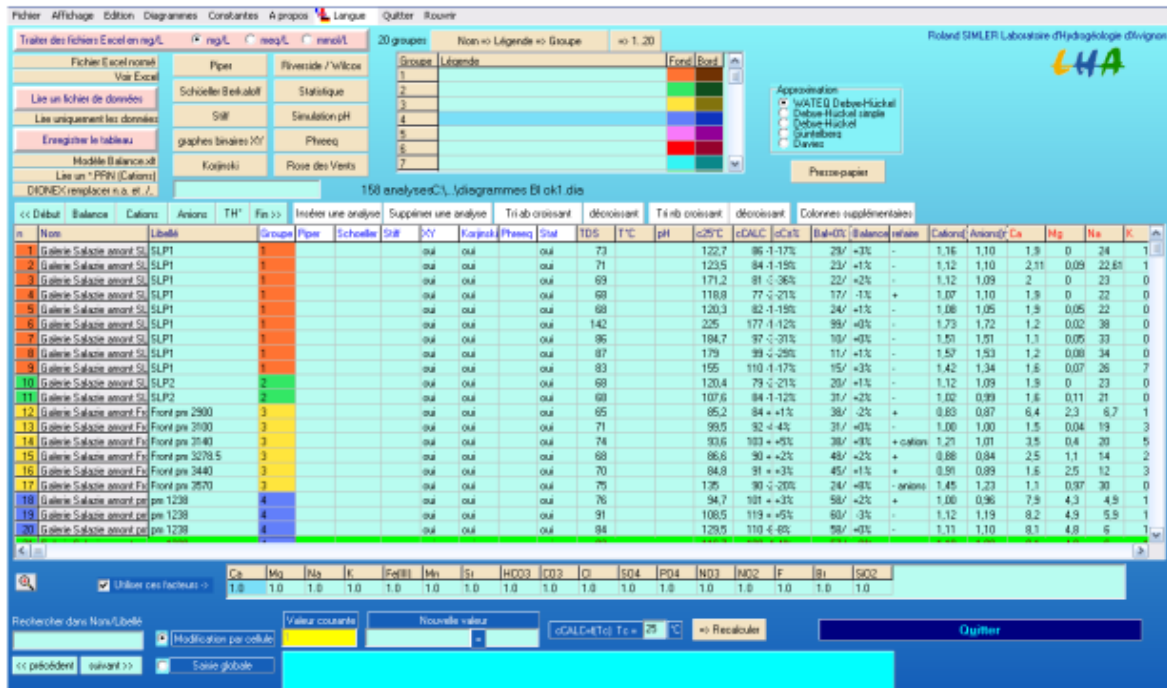


Figure 21 : Interface de commande du logiciel Diagramme

2.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (Figure 22) permet de représenter le faciès chimique d'un ensemble d'échantillons d'eau. Il est composé de deux triangles permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique et d'un losange synthétisant le faciès global.

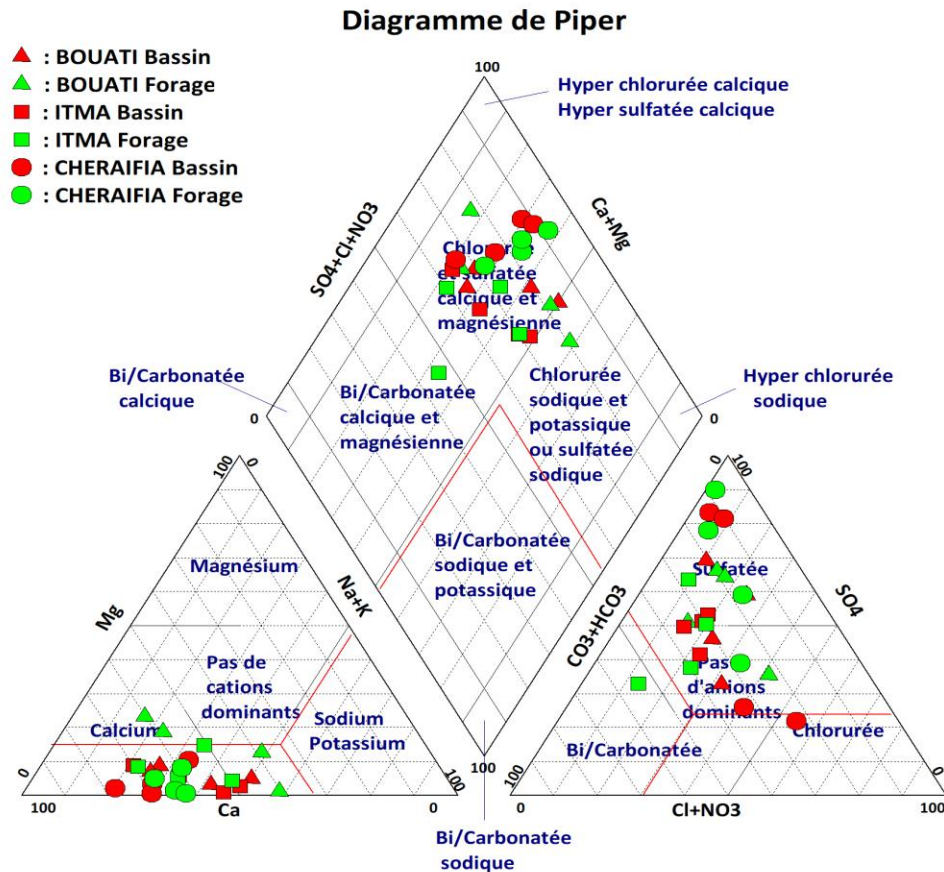


Figure 22 : Diagramme de Piper représentant toutes les catégories d'eau des trois sites d'études

Ce diagramme de Piper met en évidence les faciès des deux grandes catégories d'eau de l'étude.

1. Les eaux de forages
2. Les eaux de bassins d'élevage

On observe que les eaux de forages sont principalement de faciès Chlorurée et sulfatée mixte. Les eaux de bassins présentent elles aussi globalement un faciès de type Chlorurée et sulfatée mixte, avec parfois quelques points très proches du pôle purement sodique.

2.2. Diagramme de Richards

Richards (1954) a élaboré une classification en se basant sur les deux paramètres à savoir (SAR et conductivité électrique). Les classes de potabilité des eaux (C1S1,...C4S4) correspondent, dans le diagramme de Richards (Fig.23) au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche)

est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C4S4 (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum.

Trois classes apparaissent – admissible, médiocre et mauvaise – chacune présentant ses propres caractéristiques

□ Admissible (C3S2).

En général, il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. Cependant, l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

□ Médiocre (C4S2).

L'eau est fortement minéralisée et est susceptible de convenir à l'irrigation de certaines espèces (concombre...) bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.

□ Mauvaise (C4S4).

Cette eau ne convient généralement pas à l'irrigation, mais peut être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes très tolérantes au sel (choux, betterave...).

Les eaux de Bouati bassin, Bouati forage, ITMA bassin et ITMA forage appartiennent aux classes C3S1 et C3S2 en revanche, les eaux de Cheraifia forage et Cheraifia bassin se situent entre la classe C4S1 et C4S2. En général, ces eaux conviennent à l'irrigation cependant un contrôle de l'évolution de la salinité est nécessaire. Si l'eau d'irrigation est chargée en sodium, le nombre d'ions Na⁺ combinés avec le sol augmente. On assiste à une dégradation de structure, avec un gonflement des argiles à l'origine de l'imperméabilité du milieu. Le processus de dessalement et de drainage risque alors d'être complètement stoppé. Généralement, les plantes supportent mal les sols saturés en sodium.

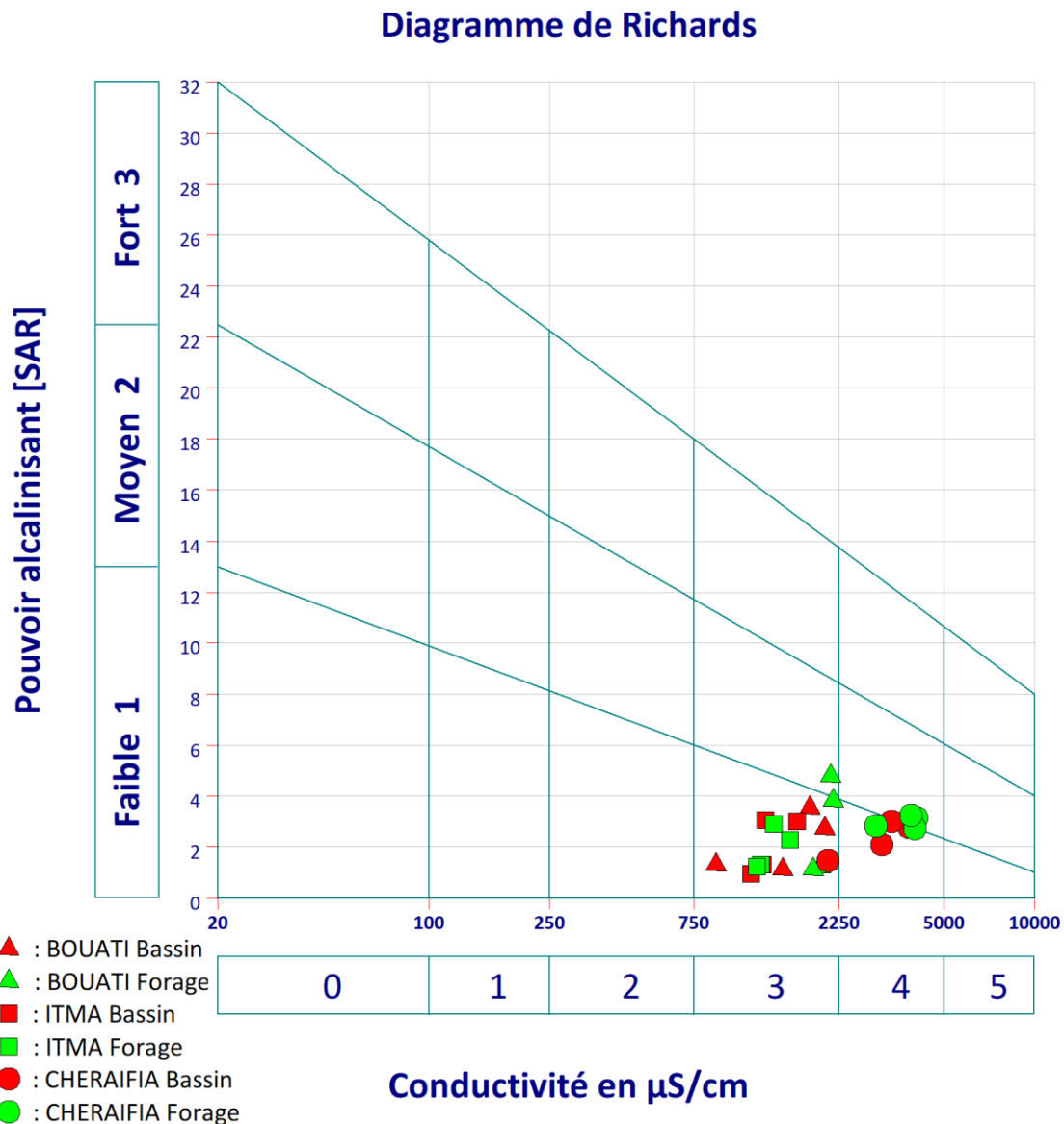


Figure 23 : Diagramme de Richards

2.3. Diagramme de Wilcox

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de Na^+ , elle s'écrit par la formule suivante : $\text{Na}\% = (\text{Na} / \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{k}) * 100$. La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définie cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise. Les eaux de Bouati bassin, ITMA bassin et ITMA forage appartiennent à la classe admissible, tan disque les eaux de Bouati forage appartiennent aux classes admissible et médiocre, alors qu'on voie clairement que les eaux de Cheraifia forage et Cheraifia bassin sont totalement dans la classe mauvaise.

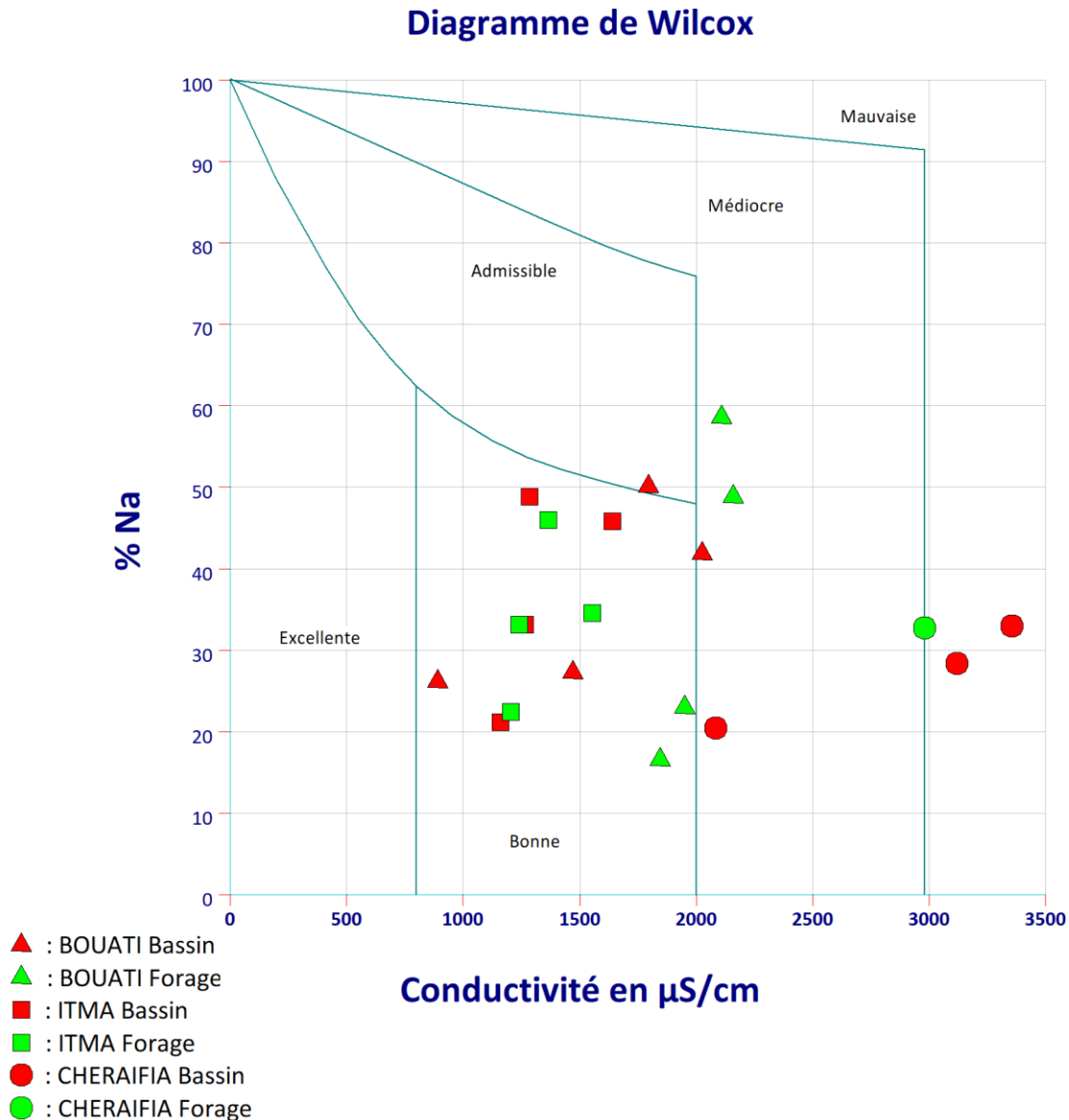


Figure 24 : Diagramme de Wilcox.

3. Le sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation. Le problème principal avec une grande quantité de sodium est son effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau. La perméabilité des sols sableux peut ne pas se détériorer aussi vite que les sols plus lourds lorsque irrigués avec

une eau de forte teneur en sodium, cependant un problème potentiel existe. Le sodium contribue aussi directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour des cultures sensibles comme les carottes, les haricots, les fraises, les framboises, les oignons, pour en nommer quelques-unes. De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé. Si l'eau passe par un système d'aspersion et que le calcium et le magnésium sont bas, des teneurs moyennes à élevées de sodium peuvent défolier les plantes sensibles.

3.1. Le ratio d'absorption du sodium (RAS)

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par le ratio d'absorption du sodium (RAS). Le RAS décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium, qui eux, peuvent être tolérés en relativement grande quantité dans l'eau d'irrigation.

Voici la façon dont on calcule le RAS (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimé en meq/L) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

(Raghunath (1987); meq L⁻¹)

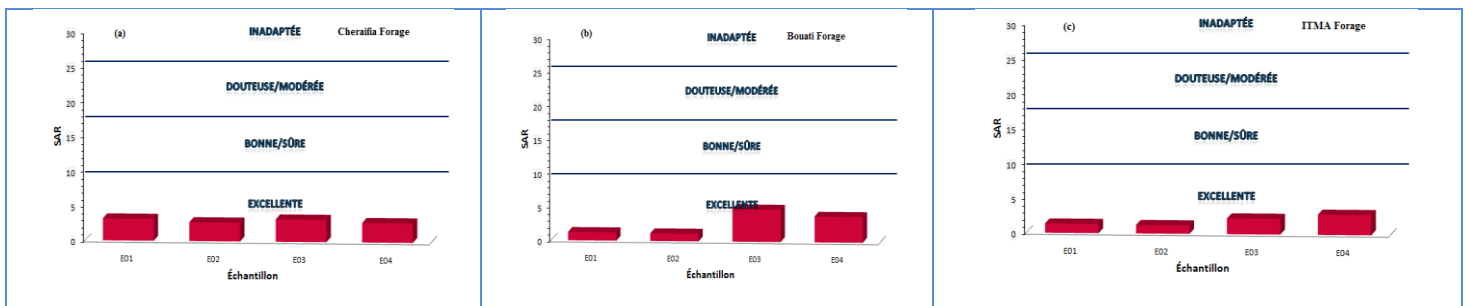


Figure 25 : Classification des eaux d'irrigation des trois forages selon le taux d'adsorption de sodium SAR

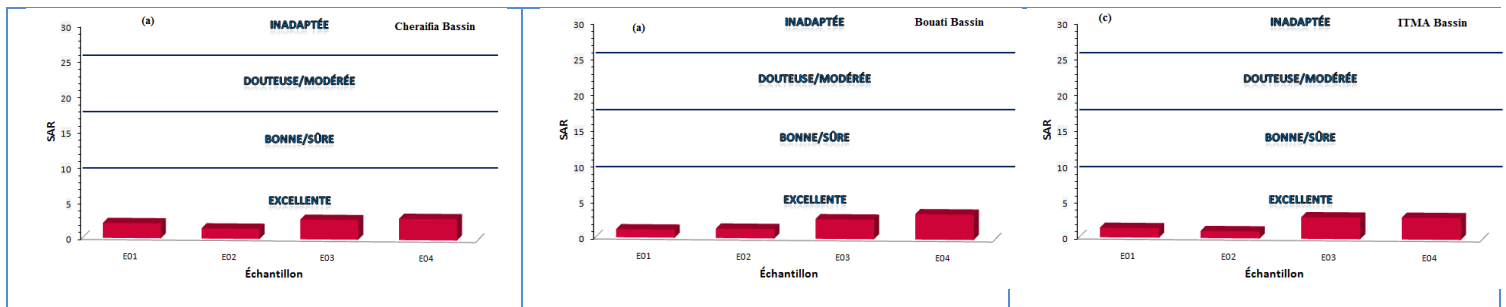


Figure 26 : Classification des eaux d'irrigation des trois bassins selon le taux d'adsorption de sodium SAR

L'eau aussi bien des forages que des bassins avec un RAS se situant entre 0 et 5 peut généralement être utilisée sur tout type de sol avec peu de problème d'accumulation de sodium. Quand le RAS se situe entre 6 et 9, les risques de problème reliés avec la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être échantillonné tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol. Lorsque l'eau d'irrigation est saline, une valeur de RAS encore plus basse devrait être utilisée. Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm avec un RAS au-dessus de 4 doivent être utilisé avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols.

3.2. Le pourcentage de sodium soluble SSP

Le pourcentage de sodium soluble a été calculé pour vérifier l'état de l'irrigation des sources d'eau, parce que le pourcentage élevé de sodium dans l'eau à des fins d'irrigation peut retarder la croissance de la plante et réduire la perméabilité du sol (Joshi et al., 2009).

Le pourcentage de sodium soluble (SSP) est calculé selon la formule proposé par Todd (1995)

$$\%Na = \frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} \times 100 \quad \text{(Todd (1995); meq L}^{-1}\text{)}$$

On analysant la représentation graphique du SSP on constat que seul les valeurs de SSP des eaux de Bouati forage atteignent les 60 % (la mauvaise classe) , les valeurs de SSP des eaux

de ITMA forage, Bouat bassin et ITMA bassin se rapprochent sensiblement du 60 % alors que le reste des valeurs se trouvent entre 20 et 40% donc inférieurs à 50% (la bonne classe) indiquant que la majorité des échantillons sont admissibles donc appropriés pour l'irrigation.

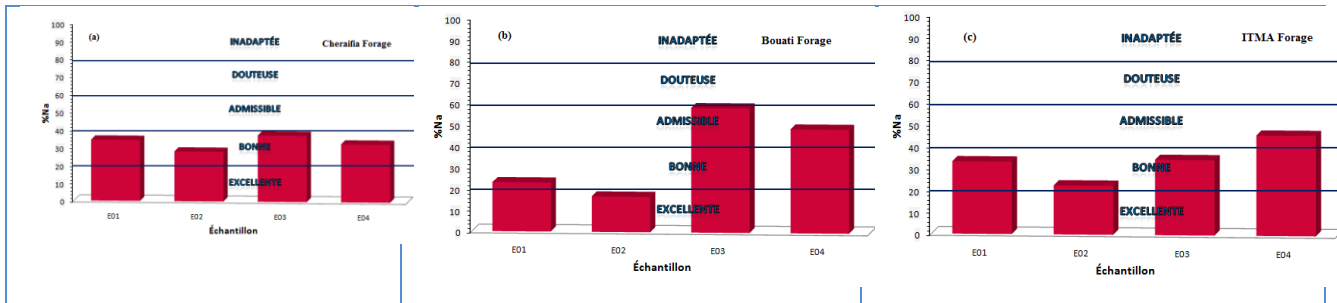


Figure 27 : Classification des eaux d'irrigation des trois forages selon le pourcentage de sodium soluble SSP

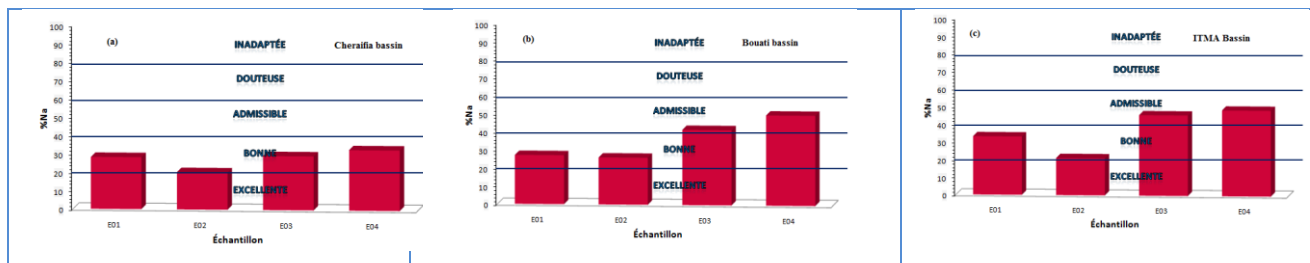


Figure 28 : Classification des eaux d'irrigation des trois bassins selon le pourcentage de sodium soluble SSP

4. L'indice de qualité des eaux d'irrigation IQEI (IWQI)

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une méthode parmi d'autres utilisées pour évaluer la portabilité de l'eau. La connaissance de cet indice facilite la communication de l'état global de la qualité de l'eau dans une zone donnée et informe la population et l'administration (Bordalo et al. 2006 ; Gold et al. 2003 ; Nives 1999). L'IQE est basé sur une relation mathématique qui transforme plusieurs paramètres physico-chimiques des eaux en un seul chiffre, qui, à son tour, représente le niveau de qualité de l'eau.

Dans cette étude, 12 paramètres ont été choisis pour calculer l'IQE en utilisant les normes de l'OMS pour l'eau d'irrigation. Cet indice permet de connaître la pertinence de l'eau pour l'irrigation des cultures traditionnelles humaine (Sahu et Skidar 2008). Le calcul de l'indice WQI a suivi 3 étapes (Sahu et Sikdar 2008).

a) - le poids w_i est affecté à chacun des paramètres chimiques en fonction de ses effets sur la santé et de son importance dans la qualité globale de l'eau potable. Le poids minimum 2 est attribué aux paramètres considérés comme non dangereux : Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ . Les paramètres qui ont les effets les plus importants sur la qualité de l'eau ont le poids de hauteur 5 (tableau 02).

Tableau 02 : Le poids et le poids relatif de chacun des paramètres physico-chimiques utilisés pour la détermination de l'IQE

Paramètres	Limite souhaitable de l'OMS (2004)	Poids(w_i)	Poids relatif (W_i)
pH	8.5	3	0.058
EC	2.000	3	0.058
TDS	1.000	5	0.098
TH	300	3	0.062
Calcium	200	2	0.039
Magnésium	50	2	0.039
Sodium	200	3	0.058
Potassium	12	2	0.039
Chlorure	250	3	0.058
Sulfate	250	3	0.058
Nitrate	50	5	0.098
Ammonium	1.5	5	0.098

b) - Le poids relatif (W_i) de chaque paramètre est calculé à l'aide de l'équation. 1, et les résultats sont présentés dans le tableau 02.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{n=1}^n w_i} \quad (1)$$

c)- Le calcul de l'échelle d'évaluation q_i pour chaque paramètre est obtenu en divisant la concentration par ses normes respectives selon les directives des normes de l'OMS dans chaque échantillon d'eau. Les résultats sont multipliés par 100 (Eq. 2)

$$q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) * 100 \tag{2}$$

Avant de calculer le WQI, le sous-indice de qualité de l'eau (SI) est déterminé pour chaque paramètre chimique avec l'Eq. 3

$$SI = W_i q_i \tag{3}$$

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i \tag{4}$$

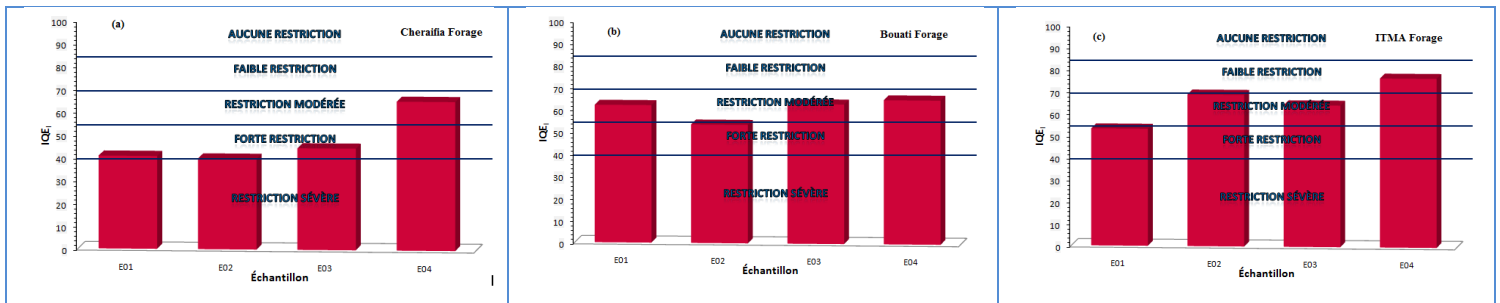


Figure 29 : Classification des eaux d'irrigation des trois forages selon l'indice de qualité des eaux IQE

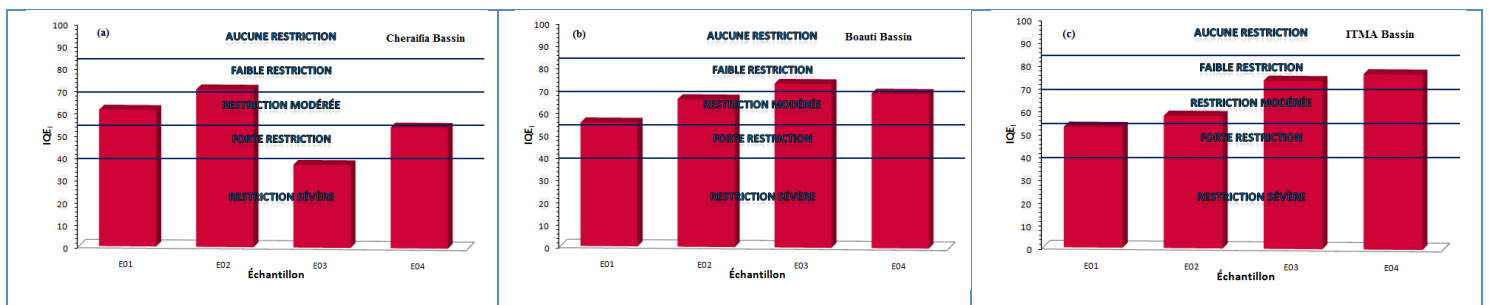


Figure 30 : Classification des eaux d'irrigation des trois bassins selon l'indice de qualité des eaux IQE

L'analyse des graphiques ci-dessus montre que les eaux du forage de Cheraiifa se situent, durant toute la période d'étude presque, entre 40 et 55 (forte restriction), en revanche les eaux du forage de Bouati se trouvent dans la gamme de 55- 70 (restriction modérée) et de même les eaux du forage de l'ITMA. Selon la figure30, la majorité des histogrammes pour les trois bassins d'élevage se situent entre 60 et 80 (faible restriction). Donc, il est évident que

la qualité de l'eau au niveau des trois bassins a évolué au mieux, ce qui peut expliquer que les excréments des poissons aient donné de très bons résultats et transformé l'eau des forages en eau riche en nutriments, et donc beaucoup plus utilisable. Pour l'irrigation de cultures.

5. Analyse statistique des données

Dans le présent travail, notre série statistique est représentée par des diagrammes appelé « boîte à moustache ». Aussi appelé « diagramme en boîte », « boîte à pattes » ou encore « diagramme de Tukey » du nom de son concepteur. Lorsqu'on utilise une calculatrice ce diagramme porte le nom de « Box Plot ». Les boîtes à moustaches sont un moyen simple et rapide pour comparer un même caractère sur plusieurs séries statistiques.

Afin d'interpréter une boîte à moustache, on doit regarder les valeurs numériques des trois quartiles qui représentent respectivement 25 %, 50 %, et 75 % de l'échantillon, on doit regarder également la forme globale de la boîte et des moustaches pour obtenir des indications sur la symétrie ou l'asymétrie et les valeurs atypiques (aberrantes). On peut aussi mesurer la dispersion de notre échantillon en calculant l'étendue d'une série statistique est égale à la différence entre la plus grande et la plus petite des données de la série ou encore on calcul l'écart interquartile est égal à la différence $Q3 - Q1$ qui nous renseigne sur l'homogénéité de notre série de données plus que l'écart est réduit plus que l'échantillon est homogène.

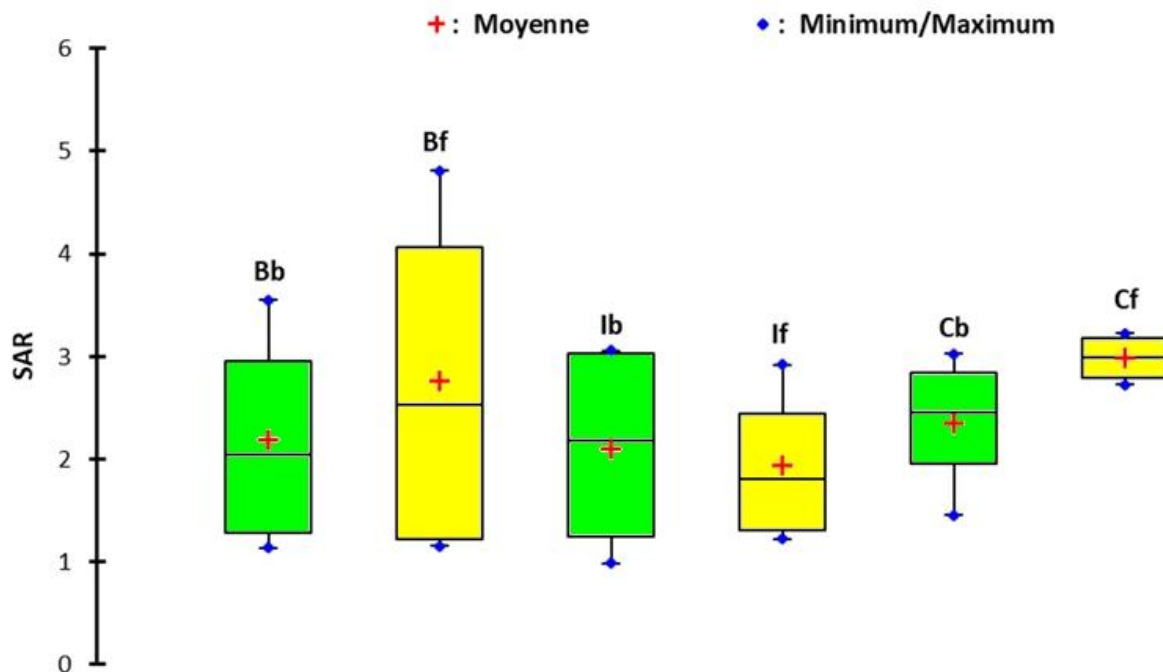


Figure 31 : Boîtes à moustaches (SAR)

D'après l'analyse de la figure 31, on constate que le groupe de données le plus homogène est celui qui se situe le plus à droite de couleur jaune (Cheraifia forage) du fait de son écart interquartile (Q3-Q1) très réduit, aussi on note que la moyenne superpose la médiane. Plus on avance vers la gauche, l'hétérogénéité de la dispersion augmente c'est à dire l'écart entre la valeur minimale et la valeur maximale augmente notamment le groupe de Bouati forage

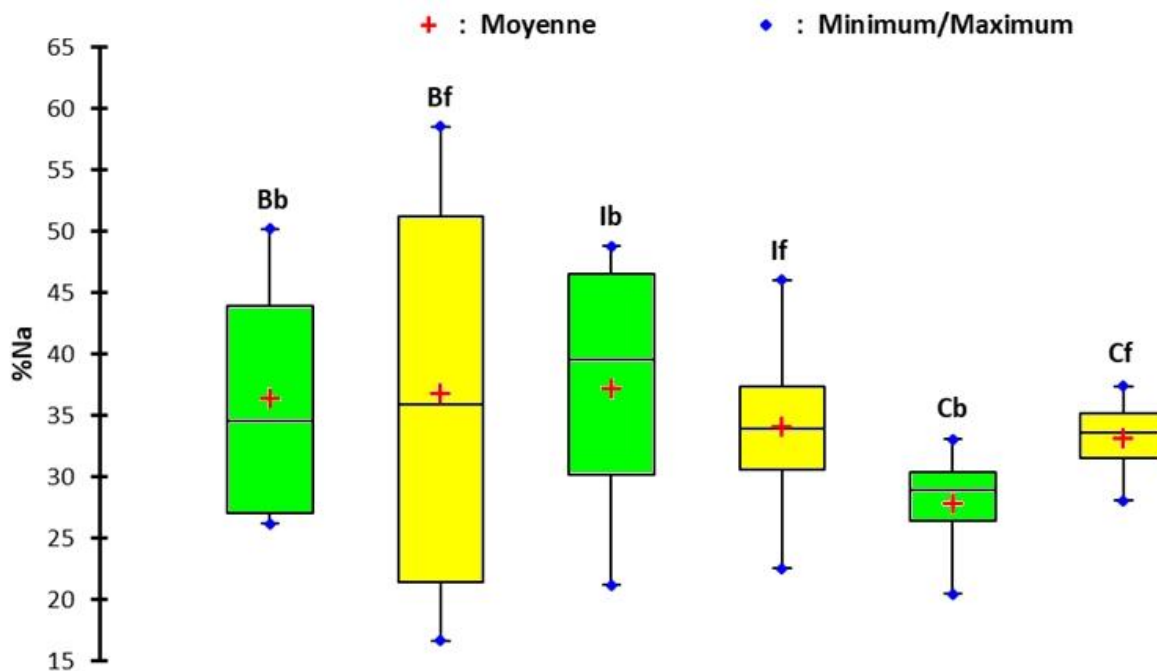


Figure 32 : Boîtes à moustaches (% Na)

Il semble d'après la figure 32 que la distribution des valeurs est caractérisée par une assez grande homogénéité, et elle concerne les trois groupes qui se trouvent à droite de la figure (If, Cb et Cf), où l'on remarque que l'intervalle interquartile (Q3-Q1) est très faible, et aussi la moyenne superpose presque la médiane. Alors que ce que l'on remarque à gauche de la figure est presque l'inverse de ce qui a été dit, la différence est assez importante entre les valeurs minimales et maximales, et bien sûr l'intervalle interquartile. On note également que 50 % des données se situent à l'intérieur de la boîte entre les deux valeurs 20-50 pour le groupe de Bouati forage (Bf).

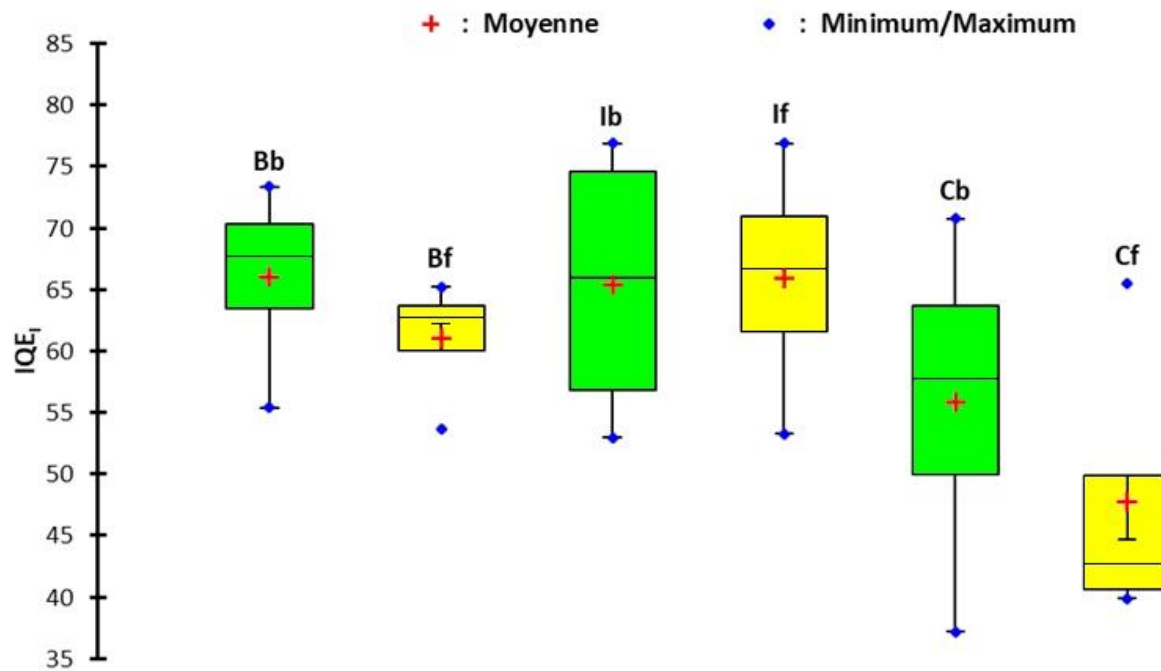


Figure 33 : Boîtes à moustaches (IQE)

La figure 33 montre que les deux groupes Bb et If sont les plus homogènes, tandis que les deux groupes Ib et Cb présentent une dispersion très hétérogène. Le groupe Cf se situe en dessous de la valeur 50 ce qui signifie une très mauvaise qualité d'eau. Alors que pour les groupes Bb, Bf, Ib et If, la dispersion des données fluctue entre 50 et 75, cela donc confirme la bonne qualité des eaux de ces groupes.

2. analyse bactériologique

L'analyse microbiologique est parmi les indicateurs qui permettent la classification de la qualité des eaux, présentant les différentes variations des paramètres indicateurs de la pollution, soit :

- Les germes totaux.
- Les coliformes totaux et fécaux.
- Les streptocoques fécaux.
- Les anaérobies sulfite-réducteurs.

2.1. Recherche et dénombrement des germes totaux

Les résultats de dénombrement des germes totaux sont illustrés dans le tableau 03 et la figure 34. Les résultats varient entre un minimum de 1636 UFC/ml noté au mois d'avril dans (IF), et un maximum de 68818 UFC/ml enregistré au mois de Mars dans le site (CF) avec une moyenne de 17615,8 et écartype 19588,27. Ces résultats révèlent une charge microbienne

très élevée dans les eaux des bassins dégrossissement qui peuvent probablement dus au fait que les sites sont exposés à diverses sources de contamination qui diffèrent d'un endroit à l'autre.

Tableau 03 : Dénombrement des germes totaux

GT	Bb	BF	Ib	IF	Cb	CF
Fév	2727	3727	2181	5000	9000	23000
Mar	8181	48181	7000	26454	41454	68818
Avr	3818	3090	18818	1636	4272	38000

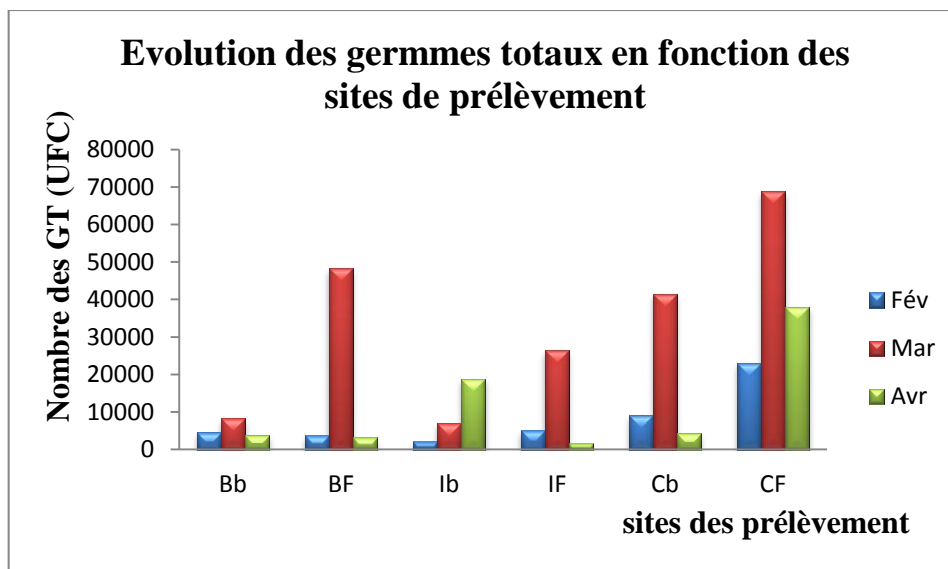


Figure 34 : résultats de la recherche des germes totaux

2.2. Recherche et dénombrement coliformes totaux et fécaux

2.2.1. Coliformes totaux

La variation du nombre des bactéries dans les différents sites de prélèvement est illustrée dans le (tableau 04) et la figure (figure 35).

D'après ces résultats, la valeur la plus élevée a été enregistrée durant le mois de mars dans le site (IF), avec une valeur de 1100CT/100ml. Ainsi, la valeur minimale a été enregistrée durant le mois d'avril dans les sites (Bb, Cb) avec une valeur de 4 CT/100ml. En contre partie, une absence totale des coliformes a été notée dans les sites (Bf, If, Cf), avec une moyenne de 116,611 et écart type 2099. Ces valeurs sont élevées et dépassent les normes internationales

pour les eaux d'irrigation (1000 CT/100 ml) (**SEQ eau irrigation**). Les eaux d'irrigation à concentrations élevées. En effet, cette forte concentration peut être attribuée à l'influence des rejets domestiques (**White et al., 1986**).

Tableau 04 : dénombrement des coliformes totaux

C Totaux	Bb	BF	Ib	IF	Cb	CF
Fév	45	150	95	0	150	7
Mar	200	15	150	1100	4	150
Avr	4	0	25	0	4	0

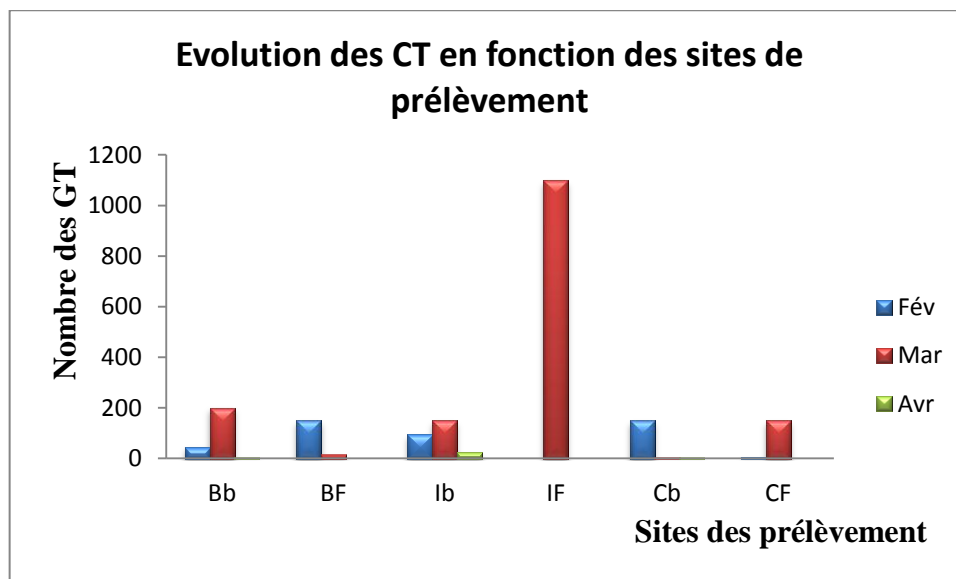


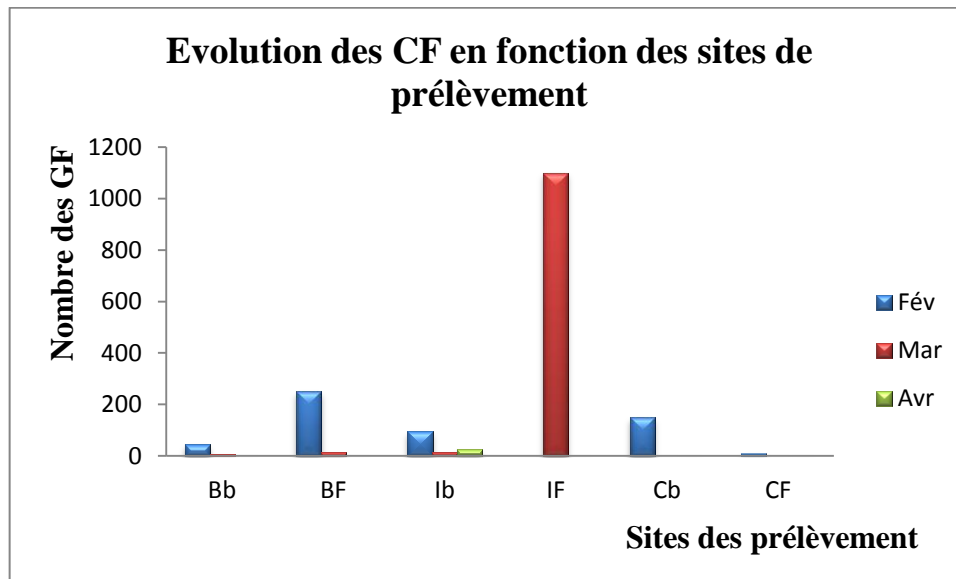
Figure 35 : résultats de la recherche des coliformes totaux

2.2.1. Coliformes fécaux

Les résultats nous montrent que la valeur élevée (figure36), a été enregistrée durant le mois de mars dans le site (If), avec une valeur enregistrée 1100 CF/100ml, et la valeur minimale a été enregistrée durant le mois d'avril dans le site (Ib) de 25 CF/100ml, avec une moyenne 95 et écart type de 1710 Ces valeurs sont faibles en comparaison avec la norme internationale pour les eaux d'irrigations (100 CF/100ml) (**SEQ eau irrigation**). La présence des coliformes fécale indique une pollution ou une contamination fécale dépendant des différentes activités agricoles et anthropogéniques.

Tableau 05 : dénombrement des coliformes fécaux

C Fécaux	Bb	BF	Ib	IF	Cb	CF
Fév	45	250	95	0	150	9
Mar	7	15	14	1100	0	0
Avr	0	0	25	0	0	0

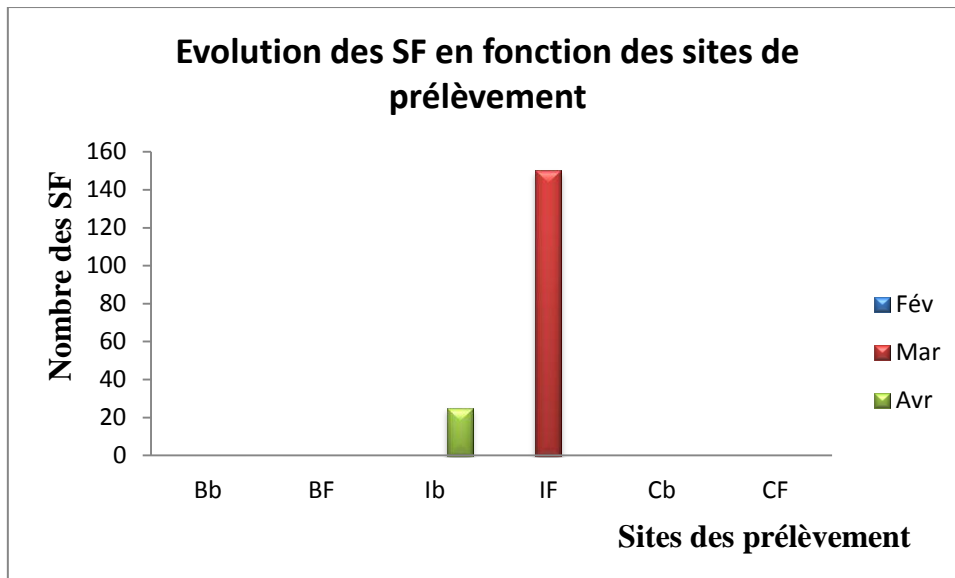
**Figure 36** : résultats de la recherche des coliformes fécaux

2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Le streptocoque fécal est considéré comme contamination fécale. Ils se reproduisent rarement dans l'environnement et sont conditions défavorables pour les bactéries coliformes. Les résultats de dénombrement des streptocoques fécaux sont illustrés dans la figure 37, les résultats varient entre un minimum de 0UFC/ml noté ou moins de février dans les sites (Bb), (BF), (Cb), (CF), et un maximum de 150 UFC/ml noté au mois de mars avec une moyenne de 9,72 et écart type de 35,499. En effet, les sites d'étude semblent avoir été contaminés, cette contamination peut avoir été causés par la pollution environnante : un grand nombre de lessivage des terres agricoles, le fumier, la présence de fosses septiques, l'élevage et les activités humaines.

Tableau 06 : dénombrement des streptocoque fécaux

S Fécaux	Bb	BF	Ib	IF	Cb	CF
Fév	0	0	0	0	0	0
Mar	0	0	0	150	0	0
Avr	0	0	25	0	0	0

**Figure 37** : résultats de la recherche des streptocoque fécaux

2.4. Recherche et dénombrement des spores Anaérobies sulfito- réducteurs

Les spores des ASR sont considérées comme des indices de contamination ancienne. Les résultats obtenus révèlent (Figure 38) que les ASR moyenne pendant la période d'étude était de 9.16 ASR/20ml, avec un écart type de 21,14 ASR/20ml, les minimas s'observent au niveau des du bassin ITMA (Avril) et Cheraifia (février/mars) et au niveau du forage dans Bouati Mahmoud (Février/ Mars), IITMA (Fév/Mars) et en Cheraifia (Avril) par valeur de 0 ASR/20ml tandis que les maximas ont été enregistrées à ITMA bassin (84 ASR/20ml). La présence de ces bactéries est une contamination déjà ancienne.

Tableau 07 : Dénombrement ASR

ASR	Bb	BF	Ib	IF	Cb	CF
Fév	5 g/20ml	0 g/20ml	11 g/20ml	0 g/20ml	0 g/20ml	1 g/20ml
Mar	4 g/20ml	0 g/20ml	84 g/20ml	10 g/20ml	0 g/20ml	42 g/20ml
Avr	5 g/20ml	1 g/20ml	0 g/20ml	0 g/20ml	2 g/20ml	0 g/20ml

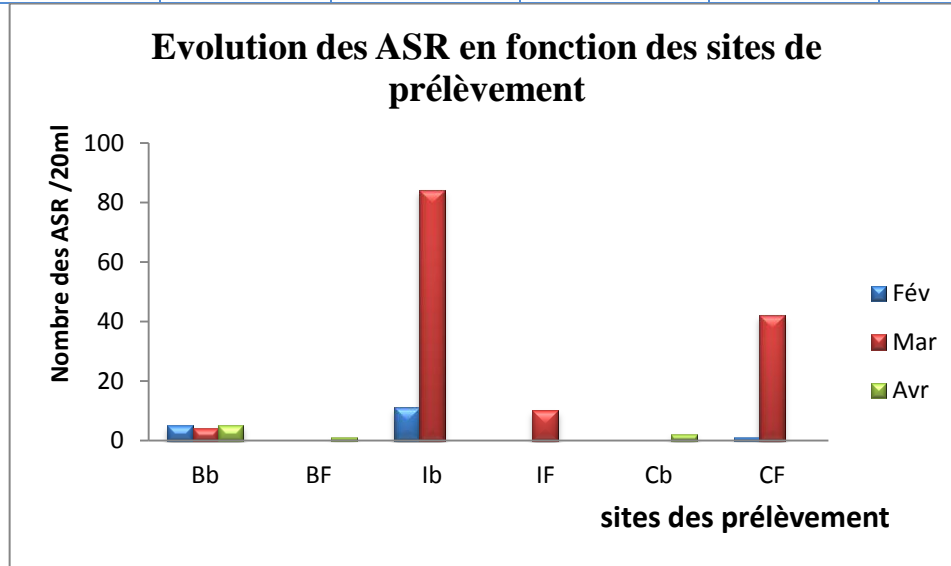


Figure 38 : résultats de la recherche des ASR

Conclusion

Conclusion

Les valeurs de la température de l'eau, des différents sites étudiés, enregistrées durant toute la période de l'étude fluctuent entre 15 et 23 °C. Cette plage de température est considérée comme favorable pour l'irrigation. Il y a lieu à noter que des températures plus basses peuvent ralentir la croissance des plantes, tandis que des températures plus élevées peuvent augmenter les besoins en eau des plantes et favoriser le développement de certaines maladies.

Une plage de pH entre 6 et 9, comme c'est le cas, est généralement considérée acceptable pour l'irrigation. En revanche, des valeurs extrêmes de pH en dehors de cette gamme peuvent affecter la disponibilité des nutriments dans le sol et influencer la salinité des plantes.

La conductivité électrique est liée directement à la concentration en sels dissous. La gamme de la conductivité ainsi enregistrée durant la période d'étude notamment à Cheraifia est assez large supérieure à 3000 micro siemens donc peuvent indiquer une concentration élevée en sels dans ces eaux, ce qui est préoccupant pour l'irrigation dans la ferme de Cheraifia. De même elle peut entraîner une salinité du sol accrue et une réduction de la disponibilité de l'eau pour les plantes.

Pour en ce qui concerne la salinité des eaux, élément primordial pour l'irrigation, on constate que la plage de variation est relativement faible (0.2-2.16 psu), ce qui est généralement considérée comme appropriée pour l'irrigation, cependant les valeurs plus ou moins élevées à Cheraifia peuvent être préjudiciables à la santé de la plante.

Les valeurs fournies pour les nitrates (0.227- 8.34 mg/l) se situe dans la plage générale admissible qui varie de 0.1 à 50 mg/l et donc peuvent être considérées comme appropriées pour l'irrigation. Cependant des concentrations élevées en nitrates peuvent poser des problèmes de pollution de l'eau destinée à l'irrigation et doivent donc être surveillée attentivement

Les valeurs obtenues pour les nitrites, forme intermédiaire d'azote qui peut être toxique pour la plante et pour l'animale à des concentration élevées, s'échelonnent entre 1.98 et 4.28 mg/l et sont donc relativement élevées et peuvent contaminer et dégrader les eaux d'irrigation qui doivent normalement être maintenues aussi basses que possible souvent inférieures à 1 mg/l.

Les teneurs d'ammonium, forme d'azote qui peut être utilisée par les plantes, oscillent entre 0.209 et 10.33 mg/l se situe donc dans la plage de concentration recommandée pour l'irrigation pour ce paramètre qui varie entre 0.1 et 10 mg/l. Seulement il faut rappeler que des concentrations élevées en ammonium dans l'eau peuvent être préoccupantes pour certaines

Conclusion

cultures , comme elles peuvent être tolérées par d'autres types de cultures, en conclusion, les recommandations spécifiques dépendent des besoins de cultures qu'on souhaite irriguer.

Les concentrations des phosphates PO_4^{3-} , source de phosphate essentiel pour la croissance de la plante, dans les eaux d'irrigation varient généralement entre 0.1 et 10 mg/l. Les valeurs enregistrées sur les différents sites d'études (0.49-4.9 mg/l) se situent dans cette plage et peuvent être considérées comme appropriées pour l'irrigation.

En conclusion, il est important de noter que les valeurs optimales peuvent varier en fonction des cultures spécifiques et des conditions locales. Il est recommandé de consulter des recommandations spécifiques à la région de l'étude et aux cultures pour obtenir des informations plus précises sur les valeurs idéales pour l'irrigation.

Sur le diagramme de Piper, le faciès chimique représenté est un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien . Cela signifie que la composition chimique de l'eau des différents sites étudiés est caractérisée par une prédominance des cations de calcium et de magnésium, ainsi que des ions chlorure et de sulfate. Donc le faciès chloruré indique une concentration élevée de chlorure dans l'eau, ce qui peut être dû à une variété de facteurs tels que la présence de formations géologiques riches en chlorure ou la contamination par des sources industrielles et agricoles.

Sur le diagramme de Richards, les eaux qui appartiennent aux catégories C4S1 (sulfate-bicarbonate) et C4S2 (bicarbonate-sulfate) sont caractérisées par la présence notable de sulfates et bicarbonates qui peuvent contribuer à l'alcalinité de ces eaux, ce qui peut avoir des conséquences sur la solubilité des minéraux et le pH du sol. Ainsi des niveaux élevés de bicarbonates peuvent rendre l'eau moins appropriée pour l'irrigation, en particulier dans le sol déjà alcalin.

Les eaux de Bouati forage appartiennent à la classe médiocre sur le diagramme de Wilcox, cela signifie que ces eaux ont une teneur en sodium et un SAR relativement élevés. Cela peut s'expliquer par une forte concentration de sodium dans l'eau ou à un rapport élevé de sodium par rapport au calcium et au magnésium. Les eaux de cette classe peuvent présenter des risques de dégradation du sol de détérioration de la structure du sol. Elles peuvent provoquer une accumulation de sodium dans le sol ce qui peut entraîner une faible infiltration de l'eau, une mauvaise rétention d'humidité et une diminution de la fertilité du sol.

Conclusion

Les eaux de Cheraifia, appartenant à la classe mauvaise, ont une teneur en sodium et un SAR encore plus élevés que celles de la classe médiocre. Les eaux de cette classe sont considérées comme inappropriées pour l'irrigation, car elles peuvent entraîner des problèmes graves de salinité du sol et une dégradation de la qualité du sol. L'accumulation excessive de sodium dans le sol peut causer des phénomènes de " croute-saline", ou la surface du sol devient compacte et imperméable, affectant la croissance des plantes. Il est donc important de noter que la classification sur le diagramme de Wilcox est basée sur les niveaux de sodium et le SAR, mais d'autres facteurs tels que la salinité totale, la présence de substance toxiques et les besoins spécifiques de cultures doivent également pris en compte lors de l'évaluation de l'aptitude d'une eau à l'irrigation. Une analyse approfondie de la composition chimique de l'eau et des besoins des cultures est recommandée pour une évaluation plus précise de sa qualité pour l'irrigation.

L'analyse microbiologique effectuée des différents échantillons au cours des différentes campagnes nous a révélée une contamination variable dans les bassins de grossissement. Les résultats de dénombrement des germes totaux révèlent une charge microbienne globale très élevée à cheraifia (forage) au moins de mars. Ainsi, une charge élevée en coliformes et Streptocoques fécaux pour le site ITMA (forage) au mois de mars, la présence des bactéries indique une pollution ou une contamination fécale dépendant des différentes activités agricoles et anthropogéniques. Concernant les spores des bactéries anaérobies sulfite-réductrices, considérées élevées ont été enregistrées au mois de mars dans le site ITMA (bassin). Ces résultats montrent que les eaux du bassins de site chraifia sont « inaptes » quant à leur réutilisation pour l'irrigation.

Référence Bibliographique

Référence Bibliographique

Abbani. S, Benzid. K, (2022). Contribution à l'étude de l'intégration de l'aquaculture à l'agriculture dans la région de Ouargla (Sud-d'Algérie), Mémoire de Master université kasdi merbah (ouargla), p:9.

Amirat. A, et Neciri. S, (2017). Etude de la qualité bactériologique de l'eau de citerne vendue dans la ville d'Ouargla. Mémoire de Master en Microbiologie appliquée université kasdi Merbah (Ouargla). P : 7.

Angelier. E, (2000). Ecologie des eaux courantes. Paris, Techniques et Documentation, 199 p.

Benaouira. F, (2017). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées épurées destinées à l'irrigation (Cas de la station d'épuration de M'silla). Mémoire de Master Académique. P: 27.

Bordalo. A, Teixeira. R, Wiebe JW (2006) A water quality index applied to an international shared river basin: the case of the Douro River. Environ Manage 38: 910–920.

Bouras, Z., Sekfali, S., (2013). Evaluation de la qualité physico-chimiques et bactériologie des eaux superficielles "cas d'oued zénati" (Nord-Est Algérien). Mémoire de Master Université 8 Mai 1945 Guelma. P :26.

Chadou, O., et Ahmim, A., (2020). Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation dans la région d'el oued, Mémoire de Master Université el chahid Hamma El-oued. P:8.

Direction de la pêche maritime et de l'aquaculture, province de Guelma.

Djehaichia. R, Chebata. B, (2020). Suivi de fonctionnement de la station d'épuration de la ville de Guelma. Mémoire de Master en Microbiologie Appliquée en Université 8 Mai 1945 Guelma. P :13 -14.

Durand, J.H., (1958).- Les sols irrigables. Etude pédologique, Impr, Imbert, Alger, p191.

Gold ZG, Glushchenko LA, Morozova SP, Shulepina SP, Shadrin I (2003) A water quality assessment based on chemical and biological characteristics: an example of classification of characteristics for the Cheremushnyi Creek-Yenisey River water system. Russia Water Resour 30:304–314.

Joshi D.M., Kumar A. & Agrawal N., 2009: "Assessment of the irrigation water quality of River Ganga in Haridwar District India". J. Chem., 2, pp: 285-292.

Référence Bibliographique

Kaimoussi A., (2002): Etude de la pollution au niveau du littoral de la région d'El Jadida. Thèse de Doctorat En sciences physiques. Univ. Chouaib Doukkali. Fac. Sci El Jadida, pp: 72-73.

Labroue, L., Capblanc J., Dauta A., 1995, « Cycle des nutriments : l'azote et le phosphore » in Pourriot R., Meybeck M., dir., Limnologie Générale, Paris, Masson, p. 727-764.

Merzoug, S., (2009). Etude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'écosystème lacustre Garaet Hadj-Taher Benazzouz, (Skikda). Mémoire de Magister en Hydro-écologie université 8 Mai 1945 Guelma. p:27.

Nives, SG., (1999). Water quality evaluation by index in Dalmatia. Croatia Water Res 33: 3423–3440.

Rodier J., (2009). Analyse de l'eau. 9ème édition, Dunod, Paris 1526 p.

Sahu, P., Sikdar, PK., (2008) Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata Wetlands. West Bengal India Environ Geol 55:823–835.

Slama, I., Himri, A., Rahdoun, K., (2021). Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau des sources de la région de Guelma. Mémoire de de Magister en Hydro-écologie université 8 Mai 1945 Guelma. P:17.

Truesdale G.A., Downing A.L., Lowden G.F., 1955 « The solubility of oxygen in pure water and sea-water » Journal of Applied Chemistry, 5 : 53-62.

Williams O.O., 1968, « Reservoir effect on downstream water temperatures in the upper Delaware river basin » United States Geological Survey professional Paper, n° 600B : 195-199.

Zeghoud. S, et Ghorab. Z, (2022). Impact de la pisciculture intégrée à l'agriculture sur l'amélioration de la qualité du sol, Mémoire de Master en Ecologie des milieux naturels Université Larbi Ben Mhidi Oum El Bouaghi. P:7.

Référence Bibliographique

Sites Internet

[1]: OMS. Rapport sur la santé dans le monde, résumé d'orientation.

URL:<http://www.oms.ch/whr/1998/exum98f.htm>, 1996

[2]: [Qualité de l'eau d'irrigation \(chambre-agriculture.fr\)](http://chambre-agriculture.fr)

Les Annexes

Annexe n° 1: La demande biochimique en oxygène DBO5

❖ Mode opératoire

- Rincer le flacon avec de l'échantillon. Remplir avec précaution.

Mesurer exactement la quantité souhaitée d'échantillon saturé en oxygène.

- Mettre le barreau magnétique dans le flacon.
- Insérer le godet caoutchouc dans le goulot du flacon.
- Mettre 2 pastilles de soude dans le godet caoutchouc à l'aide d'une pince.
- Visser l'OxyTop directement sur le flacon échantillon.
- Lancer la mesure: appuyer sur M et S simultanément (2 secondes) jusqu'à ce que l'afficheur indique 00.
- Maintenir le flacon de mesure avec l'OxyTop à 20C pendant 5 jours. Dès que la température de mesure est atteinte. L'OxyTop lance automatiquement la mesure de la consommation en oxygène.
- L'échantillon est agité en continu pendant 5 jours. L'OxyTop mémorise automatiquement une valeur toutes les 24 heures sur 5 jours. Pour connaître la valeur courante, appuyer sur la touche M.
- Affichage de la valeur mesurée courante: presser M jusqu'à ce que la valeur mesurée s'affiche (1seconde).
- Lecture des valeurs mémorisées à la fin des 5 jours.



Figure 39: L'OxyTop

Les Annexes

Annexe n° 2: Demande chimique en oxygène DCO

❖ Mode opératoire

- Le réacteur DCO a été mis en marche et préchauffé à 150 C. Le bouclier de sécurité était placé devant le réacteur. Les bouchons d'un flacon de réactif de digestion DCO ont été retirés pour la plage appropriée. Le flacon a été maintenu à un angle de 45°, 2,0 ml de l'échantillon ont été pipetés dans le flacon. Le flacon était hermétiquement fermé et l'extérieur du flacon de DCO était rincé et essuyé avec une serviette en papier. Le flacon a été doucement inversé plusieurs fois pour mélanger le contenu et le flacon a été placé dans le réacteur de DCO préchauffé.

- Le flacon a été chauffé pendant 2 heures. Le réacteur a été arrêté et a attendu environ 20 minutes pour refroidir le flacon à 120 °C. Chacun des flacons a été inversé plusieurs fois alors qu'il était encore chaud. Le flacon a été placé dans un portoir et refroidi à la température ambiante.

- L'oxygène de mesure requis pour oxyder la matière organique biodégradable et non biodégradable dans l'eau est connu sous le nom de demande chimique en oxygène (DCO). Dans ce test de qualité de l'eau, un agent oxydant puissant comme le dichromate de potassium ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) a été utilisé pour oxyder la matière organique dans l'échantillon de L'acide (acide sulfurique) est nécessaire et a servi de catalyseur pour achever la réaction. Le test DCO ne prend que quelques heures pour obtenir le résultat. Après que l'échantillon (2 ml) et les réactifs aient été placés à l'intérieur du flacon, la solution a été préchauffée dans le réacteur DCO pendant deux heures pour augmenter la vitesse de la réaction. Comme tout le réactif s'est bien mélangé à l'échantillon, le flacon est devenu chaud car la réaction exothermique a eu lieu. Sur la base de l'observation, un précipité blanc s'est formé dans chaque flacon et la solution devient brun clair incolore.

- Après 2 heures, la matière organique a été oxydée et la couleur de la solution a été changée de couleur marron clair à vert clair ce qui signifie que le $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$ a été réduit en Cr^{+3} .

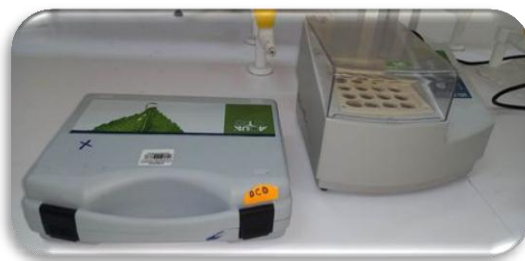


Figure 40: Réacteur à droite et photomètre de mesure à gauche

Les Annexes

Annexe n°3: la dureté totale (TH)

❖ Principe

On utilise un dosage complexométrique par l'EDTA (acide **E**thylène **D**iamine **T**étra-**A**cétique). Les titrages complexométriques sont des méthodes titrimétriques basées sur la formation de complexes. Ces complexes sont constitués d'un ion central et de particules (chargées ou neutres) appelées ligands ou coordinats. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'EDTA.

❖ Réactifs

- Indicateur coloré: noir d'Eriochrome T (N.E.T).
- Solution d'EDTA (0,2 N).
- Solution tampon: (250 ml solution d'ammoniac à 1 mol/l + 250 ml d'une solution de chlorure d'ammonium à 1 mol/l).

❖ Mode opératoire

Il faut procéder dans des conditions opératoires précises:

- La réaction se produit dans une solution de pH très voisin de 10.
- L'équivalence n'est pas directement repérable par un changement d'aspect du milieu (les réactifs ainsi que les produits formés sont incolores); le virage d'un indicateur coloré du rose au bleu 'pur' indiquera la fin des réactions de dosage.

❖ Mesure de la dureté totale

Pour 50 ml d'eau à analyser, on va ajouter 4 ml de solution tampon (pH=9,5-10) et quelques grains d'indicateur coloré, puis on verse la solution d'EDTA jusqu'au virage du rose au bleu. Ainsi, on note V_1 le volume de solution d'EDTA versé.

❖ Expression des résultats

$$TH = 1000 \times \frac{C \times V_1}{V_2} \quad (\text{még/l})$$

Où :

C (concentration d'EDTA) = 0,013

V_1 : Volume d'EDTA versé

V_2 : Volume d'échantillon = 50 ml.

Les Annexes

Annexe n° 4: Alcalinité (TA-TAC)

On distingue deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC).

Le TA ne mesure que les ions OH^- et la moitié des ions CO_3^{2-} . Lorsque le pH de l'eau est inférieur à 8,3, le TA est nul, et l'eau ne contient que du bicarbonate. Le TAC peut inclure les ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .

❖ Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence d'un indicateur coloré.

❖ Réactifs

- Acide chlorhydrique 0,02 N.
- Indicateur coloré.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5%, qui vire à pH 8,3 mesure le TA.
- Solution de méthylorange à 0,5%, qui vire à pH 4,5 mesure TAC.

❖ Mode opératoire

a. Titre Alcalimétrique simple (TA)

Après le prélèvement de 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajout 02 à 03 gouttes de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors apparaître, dans le contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le $\text{pH} < 8,3$.

On verse ensuite doucement le HCl à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH}=8,3$). On note V_{TA} le volume versé.

b. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Après le prélèvement de 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer, on ajout 02 gouttes de méthylorange. Puis on titre par l'acide chlorhydrique 0,02 N jusqu'au virage rouge orange ($\text{pH}=4$). On note V_{TAC} le volume versé.

On retranche 0,5 ml, quantité d'acide nécessaire pour le virage de l'indicateur, qui est un peu plus faible que le pH de neutralisation exacte de l'hydrogénocarbonate.

❖ Expression des résultats

$$\text{TA} = V_{\text{TA}} \text{ (ml)}$$

$$\text{TAC} = V_{\text{TAC}} \text{ (ml)} - 0,5$$

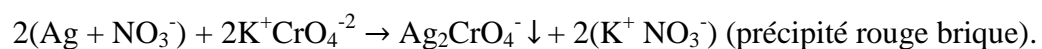
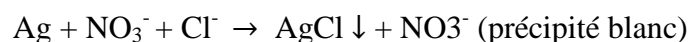
Les Annexes

Annexe n° 5: Chlorures (Cl⁻)

❖ Principe

Les ions chlorures réagissent avec les ions argent pour former un précipité blanc de chlorure d'argent. L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium K_2CrO_4 qui donne avec l'excès d'ions argent, en milieu neutre, un précipité rouge brique de chromate d'argent. On peut considérer avec une très bonne précision, que le précipité de chromate d'argent commence à apparaître uniquement lorsque les ions chlorure ont réagi.

Les réactions mises en jeu dans ce dosage sont:



❖ Réactifs

- Solution de chromate de potassium à 10%.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.

❖ Mode opératoire

- On introduit un volume de 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer.
- On Ajoute 2 à 3 gouttes de solution de chromate de potassium K_2CrO_4 .
- On titre à l'aide de la solution de nitrate d'argent (0,1 N) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min.

❖ Expression des résultats

$$Cl^- = V \times 10 \times 3.55$$

Où :

V : Volume d'AgNO₃ versé

Les Annexes

Annexe n° 6: Ions calcium Ca^{+2}

❖ Principe

On utilise comme solution titrante, une solution d'acide Ethylène Diammine Tétracétique (EDTA). Ce titrage se fait en présence d'indicateur coloré de fin de réaction et d'une solution tampon permettant de maintenir le Ph de la solution entre 9 et 10.

❖ Réactifs

- Murexide.
- Solution d'EDTA (0,02N).
- Solution de NaOH (2N)

❖ Mode opératoire

On introduit 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer. On ajoute ensuite 2 ml de solution de NaOH et quelques grains de Murexide. La solution doit se colorer en rose. On titre immédiatement avec l'EDTA jusqu'au virage du rose au violet. On note V_{EDTA} , le volume qui a permis le virage de couleur.

❖ Expression des résultats

$$\text{Ca}^{+2} = \frac{N \times V_1 \times \text{Eg Ca}^{+2} \times 1000}{V_2} \text{ (mg/l)}$$

Où :

N (normalité d'EDTA) = 0,02

V₁: Volume d'EDTA versé

Eg Ca^{+2} = 20.

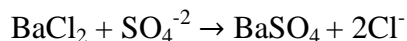
V₂ : Volume d'échantillon = 50 ml.

Les Annexes

Annexe n° 7 : Sulfates (SO_4^{-2})

❖ Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.



❖ Réactifs

Solution mère de sulfates de sodium à 1000 mg/L: On pèse 1,47 g de Na_2SO_4 pour 1L d'eau distillée.

Solution stabilisante: 60 ml d'acide chlorhydrique - 200 ml d'éthanol - 150 g du chlorure de sodium - Eau distillée q.s.p 1000 ml.

Solution de chlorure de baryum: 150 g du chlorure de baryum - 5 ml d'acide chlorhydrique - Eau distillée q.s.p 1000 ml.

❖ Matériel

L'instrument de mesure utilisé est un spectrophotomètre de marque PhotoLab Spektral-WTW.

❖ Etablissement de la courbe d'étalonnage

Tableau 08 : Solutions étalons pour SO_4^{-2}

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV
Solution mère à 1g/l	0	1	2	3	5
Q.S.P(ml)	100	100	100	100	100
Solution stabilisante (ml)	5	5	5	5	5
Solution de chlorure de baryum	2	2	2	2	2
Agitation pendant 1 minute					
Correspondance en mg/l de SO_4^{-2}	0	10	20	30	50

L'enregistrement de la gamme dans le spectrophotomètre est à la longueur d'onde $\lambda = 420 \text{ nm}$.

❖ Mode opératoire

On prend 20ml d'eau à analyser puis en complète à 100 ml d'eau distillée. On ajoute 5 ml de la solution stabilisante, et 2 ml de chlorure de baryum; en agite énergiquement pendant 1 min. Enfin, on lit l'absorbance au spectrophotomètre à $\lambda = 420 \text{ nm}$.

❖ Expression des résultats

La courbe donne directement la teneur des sulfates exprimée en milligramme de SO_4^{-2} par litre d'eau.

Les Annexes

Annexe n° 8: Nitrates NO₃⁻

❖ Principe

La méthode au salicylate de sodium permet le dosage des nitrates. Ces derniers donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune susceptible qui est un dosage colorimétrique.

❖ Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (à renouveler tous les 24 h).
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 30 %.
- Acide sulfurique (H₂SO₄) concentré.
- Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium, préparé comme suit: On pèse 400 g de NaOH et 60 g de tartrate double de sodium et de potassium pour 1 L d'eau distillée et on Laisse refroidir avant de compléter à 1 L. La solution est conservée dans un flacon de polyéthylène.
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/L. On pèse 0,722 g de KNO₃ pour 1 L d'eau distillée. on ajoute 1 ml de chloroforme.
- Solution fille d'azote nitrique à 0,005 mg/L. On prélève 1ml de la solution mère qu'on amène à 50 ml d'eau distillée.

❖ Etablissement de la courbe d'étalonnage

Tableau 09 : Préparation des solutions étalons pour NO₃⁻

Numéro de standard	T	I	II	III	IV
Solution fille d'azote nitrique à (0,005 mg/l (ml)	0	1	2	5	10
eau distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de Na (ml)	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5

❖ Mode opératoire

- On prend 10 ml de l'échantillon à analyser. Puis on ajoute 2 à 3 goutte de NaOH à 30 % et 1 ml de salicylate de sodium.
- On évapore à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88 °C. (Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) et on laisse refroidir.
- Dans une deuxième étape, on reprend le résidu avec 2 ml H₂SO₄ on laisse reposer 10 min.
- Puis en ajoute 15 ml d'eau distillée et 15 ml de la solution d'Hydroxyde de sodium et le tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune.
- Enfin, la solution est dosée au spectrophotomètre à 415 nm.

❖ Expression des résultats

En se référant à la courbe d'étalonnage, on exprime les concentration des NO₃⁻ des échantillons en milligramme par litre d'eau.

Les Annexes

Annexe n° 9: Nitrites (NO_2^-)

❖ Mode opératoire

- Echantillon préparé 5ml Pipetter dans une éprouvette ..
- Ajouter Réactif NO_2^- 1 microcuiller bleue arasée, et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif .Le pH doit être compris entre 2,0 et 2,5 .
- Ajuster le pH si nécessaire avec de l'hydroxyde de sodium en solution ou de l'acide sulfurique .
- Laisser reposer 10 minutes (temps de réaction) ,puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.

❖ Expression des résultats

$$\text{NO}_2^- = \text{NO}_2\text{-N} \times 3.3$$

Annexe n° 10: L'Ammonium (NH_4^+)

❖ Mode opératoire

- Échantillon préparé 5 ml pipetter dans une éprouvette.
- Ajouter à la pipette le réactif (NH_4^+) 0.60 ml et mélanger.
- Ajouter le réactif (NH_4^{2-}) 1 micro cuiller bleue arasée (dans le bouchon du flacon NH_4^{2-} et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif.
- Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction A). Ajouter 4 gouttes de réactif NH_4^{3-} et mélanger.
- Laisser reposer 5 minutes (temps de réactif B). Puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.

❖ Expression des résultats

$$\text{NH}_4^+ = \text{NH}_4\text{-N} \times 1.3$$

Annexe n° 11: Phosphates

❖ Mode opératoire

- Echantillon préparé 5 ml Pipetter dans une éprouvette.
- Ajouter Réactif PO_4^{-1} :5 gouttes et mélanger.
- Ajouter Réactif PO_4^{-2} :1 micro cuiller bleue arasée
- Ajouter et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif.
- Laisser reposer 5 min (temps de réaction), puis introduire l'échantillon dans la cuve et mesurer dans le photomètre.

❖ Expression des résultats

$$\text{PO}_4^- = \text{PO}_4\text{-P} \times 3.07$$

Les Annexes

Annexe n° 12: Fluor

❖ Mode opératoire

- Pipetter dans une éprouvette 2 ml de réactif F-1.
- Ajouter à la pipette 5 ml d'échantillon préparé et mélanger.
- Ajouter 1 microcuiller arasée (dans le bouchon du flacon F-2) de réactif F-2 et agiter vigoureusement jusqu'à dissolution totale du réactif.
- Laisser reposer 5 minutes (temps de réaction), puis introduire l'échantillon dans la cuve mesurer dans le photomètre.

Annexe 13: Cations alcalins (ion de sodium Na^+ et potassium K^+)

❖ Principe:

La photométrie à flamme repose sur le fait que les composés des métaux alcalins et alcalino-terreux peuvent être dissociés thermiquement dans une flamme et que la plupart des atomes produits sont excités à un haut niveau d'énergie. Lorsque ces atomes retournent à l'état initial, ils émettent des radiations dans le spectre visible. Chaque atome émet une radiation à une longueur d'onde spécifique de cet élément (jenway PFP7).

❖ Matériel

L'appareil utilisé est un photomètre à flamme d'émission de marque PFP7 à lecture digitale directe, (Figure 41).



Figure 41: Photomètre à flamme PFP

❖ Réactifs

- Solution étalon chlorure de sodium

0,634 g de chlorure de sodium NaCl de qualité analytique a été pesé, puis dissout avec l'eau distillé dans une fiole jaugée de 500 mL.

- Solution étalon chlorure de potassium

Nous avons opéré de la même façon qui pour le sodium en utilisant 0,477 g de chlorure de potassium KCl au lieu de NaCl .

Les Annexes

❖ Mode opératoire:

Les instructions du constructeur ont été suivies pour la mise en œuvre de l'appareil:

Le détail des opérations de démarrage (débits de gaz et conditions de flamme), la stabilisation de l'appareillage, les conditions de mesure, de rinçage (système aspiration/nébulisation) et arrêt (jenway PFP7).

Le dosage des éléments Na^+ et K^+ se fait comme suit:

- La sélection de la longueur d'onde propre à l'élément (589 nm pour le sodium et 766 nm pour le potassium) ;
- Ajustement de la largeur de fente et de la gamme de sensibilité ;
- Réglage des pressions et des débits des gaz ;
- Mesure les intensités d'émission en aspirant les différents étalons suivis des échantillons.

REMARQUES:

Si l'échantillon contient des matières en suspension, un filtrage est nécessaire pour éviter l'encrassement capillaire et du brûleur. Pour le stockage des solutions :

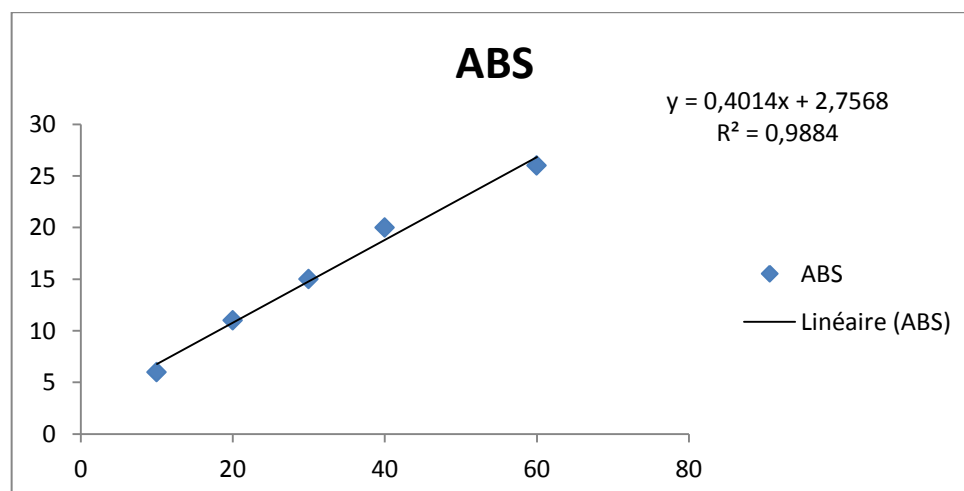
- On évite la lumière.
- Les solutions sont gardées à une température à 25 °C.
- Les flacons en verre sont à éviter.

❖ Etablissement des courbes d'étalonnage:

1) Elément Sodium:

Tableau 10 : Préparation des solutions étalons pour le dosage du sodium

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de Na^+ à 500mg/l	0	2	4	6	8	12
Eau distillée (ml) q.s.p	100	100	100	100	100	100
Correspondance en (mg/l) de Na^+	0	10	20	30	40	60



Les Annexes

Figure 42: Courbe d'étalonnage de l'élément sodium

2) Elément Potassium

Tableau 11 : Préparation des solutions étalons pour le dosage du potassium

Numéro des fioles	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de K^+ à 500mg/L	0	1	2	3	4	5
Eau distillée (mL) q.s.p	100	100	100	100	100	100
Correspondance en (mg/l) de K^+	0	5	10	15	20	25

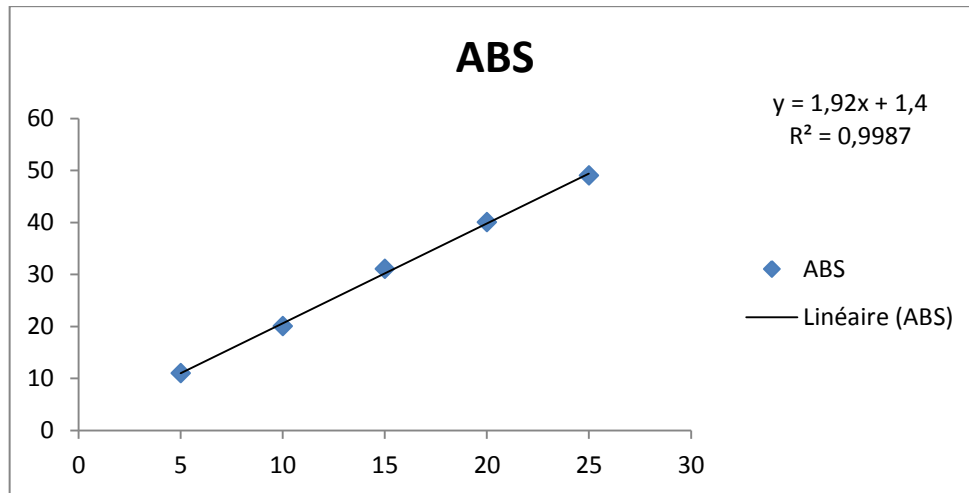


Figure 43: Courbe d'étalonnage de l'élément potassium

❖ Expression des résultats:

La courbe donne directement les teneurs de sodium et de potassium exprimée en milligramme de chaque ion Na^+ et K^+ par litre d'eau.

Annexe n° 14 : La date de prélèvement

Sortie	La date	Analyse
1ère	22/02/2023	Physico-chimique + bactériologique
2 éme	08/03/2023	Physico-chimique
3 éme	22/03/2023	Physico-chimique + bactériologique
4éme	12/04/2023	Physico-chimique
5éme	27/04/2023	bactériologique

Les Annexes

Annexe n° 15 : Tableaux Mac Grady

Nombre caractéristique			Nombre de cellules NPP dans 100 ml
3 tube de 10 ml	3 tube de 1 ml	3 tube de 0.1 ml	
0	0	1	3
0	1	0	3
0	1	1	6
0	2	0	6
1	0	0	4
1	0	1	7
1	0	2	11
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
1	2	1	15
1	3	0	16
2	0	0	9
2	0	1	14
2	0	2	20
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	2	30
2	2	0	20
2	2	1	30
2	2	2	35
2	2	3	40
2	3	0	30
2	3	1	35
2	3	2	40
3	0	0	25
3	0	1	40
3	0	2	65
3	1	0	45
3	1	1	75
3	1	2	115
3	1	3	160
3	2	0	95
3	2	1	150
3	2	2	200
3	2	3	300
3	3	0	250
3	3	1	450
3	3	2	1100
3	3	3	1400