

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et populaire.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université IBN KHALDOUN, Tiaret.

Faculté de Science de la Nature et de la Vie.



THESE de DOCTORAT en SCIENCES

Spécialité : Sciences de la Nature et de la Vie

Option : Sciences de l'Environnement et Ecologie

Présenté par

Mr NEGADI Mohamed

Thème :

**Bacillariophycées «Diatomées» De La Région
De Tiaret : Aspect Taxonomique Et Appliqué.**

Soutenu le : 11 /04/2019 devant le jury composé de :

Mr. DELLAL Abdelkader	Professeur	Université Tiaret	Président
Mr. BEGHALIA Mohammed	Professeur	Centre Universitaire Tissemsilt	Examineur
Mme. SOUIDI Zahira	Professeur	Université Mascara	Examineur
Mr BELKHODJA Moulay	Professeur	Université d'Oran	Examineur
Mr. HASSANI Abdelkrim	Professeur	Université Tiaret	Directeur De Thèse
Mr.AIT HAMMOU Mohamed	M.C. A	Université Tiaret	Co- Directeur De Thèse

Année universitaire : 2018 – 2019.

Résumé

Pendant trois années, on a parcouru presque la majorité des quatre importants réseaux hydriques de la région de Tiaret, Oued Mina, Oued Louhou, Nahr Ouassel et Chott Ech Chergui récoltant plus de 160 relevés, avec échantillonnage mensuel pendant deux saisons printemps et automne, montrant une diversité diatomique estimée à 122 espèces, dont les familles les plus représentées, sont Naviculaceae, Bacillariaceae, Cymbellaceae, et Sellaphorineae. Cette thèse décrit 13 nouveaux taxons observés pour la première fois en Algérie : *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Luticola kotschyi*, *Luticola nivalis*, *Neidium binodeforme*, *Neidium ampliatum*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria*, *Pinnularia obscura*, *Hippodonta capitata*, *Stauroneis gracilis* et *Surirella crumena*

Les résultats des indices de diversité dévoilent des moyens et élevée, duquel l'indice de Shannon H dans les différents sites de la zone d'étude varie de 2.01 à 4.33 durant les périodes d'automne et de printemps, l'indice d'équitable, durant les deux saisons d'Oued mina oscillé entre $E_P = 0.67- 0.89$ et $E_A = 0,82- 0,90$, pour l'Oued Louhou, elles sont de $E_P = 0,89$ à $0,81$ et $E_A = 0,70$ à $0,89$, pour Naher Ouassel varier entre $E = 0,62$ à $0,78$ et à Chott Ech Chergui on enregistre une équitabilité $E = 0.55$ à 0.75 . Dont ces résultats signifient l'existence d'un déséquilibre au sein de la structure du peuplement. Une différenciation écologique des espèces permettant d'associer leur présence avec les conditions environnementales des eaux des oueds et réaliser grâce à une analyse canonique CAA. Montrant une affinité de chaque groupe d'espèces aux variations des facteurs écologiques.

La richesse des espèces a été statistiquement corrélée avec la variation de la température pH, DBO, PO_4 et du SO_4 . Ces derniers ont montré que les diatomées peuvent être utilisées comme indicateurs écologiques pour la surveillance des conditions environnementales dans les deux oueds. Par ailleurs, l'étude des diatomées et l'application d'IPO nous ont permis d'appréhender trois classes de pollution organique : forte, modérée et faible. Alors que l'indice diatomique (IBD) fait ressortir quatre altérations : Eutrophisation très forte, Forte, Moyenne et Eutrophisation nulle à faible.

Mots clés Diatomées, Qualité d'Eau, analyse canonique de correspondance, pollution IPO, IBD, Tiaret.

ملخص

لمدة ثلاث سنوات ، تم تغطية معظم شبكات المياه الرئيسية الموجودة بمنطقة تيارت حيث تم جمع أكثر من 160 كشف ، مع أخذ عينات شهرية خلال فصلي الربيع والخريف. أثبت النتائج عن وجود تنوع في هذه الطائفة لدياتومات يقدر بـ 122 نوعًا أين كانت الأسر الأكثر تمثيلاً هي Naviculaceae ، Bacillariaceae ، cymbellaceae و Sellaphorine. تصف هذه المذكرة 13 نوع جديدًا تم رصده لأول مرة في الجزائر ، *Brachysira microcephala* ، *Eunotia cataractarum* ، *Luticola kotschyi* ، *Luticola nivalis* ، *Neidium binodeforme* ، *Neidium ampliatum* ، *Neidium dubium* ، *Nitzschia bita* ، *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria* ، *Pinnularia obscura* ، *Hippodonta capitata* ، *Stauroneis gracilis* et *Surirella crumena*

من جهة أخرى فقد أظهرت مؤشرات التنوع البيولوجي وجود نسب متوسط إلى عالية، و يختلف مؤشر شانون H في المواقع المختلفة لمنطقة الدراسة من 2.01 إلى 4.33 خلال فصلي الخريف والربيع ، تتذبذب درجة التوازن خلال الموسمين بوادي مينا بين 0.67- 0.89 E وبالنسبة لوادي لوهو ، فهي تتراوح بين 0.89 إلى 0.70 ونسجل بنهر واصل بين 0.62- 0.78 E. وسجل الشط الشرقي 0.55- 0.75 E مما يثبت على وجود خلل في التركيب النوعية لهذه الطائفة من الدياتوماتات

هذا التمايز البيئي للأنواع تسمح لنا بالربط بين وجودها و الظروف البيئية لمياه الوديان في مختلف أنحاء منطقة الدراسة و حقق ذلك عن طريق تحليل المراسلات الكنسي (CAA). أين لوحظ تقارب لكل مجموعة من الأنواع و تغيرات العوامل البيئية. من جهة أخرى كان الأنواع مرتببًا إحصائيًا بالتغيرات في درجات حرارة الأس الهيدروجيني ، و الـ BOD ، و PO4 ، و SO4 ، بالإضافة إلى ذلك ، سمحت لنا دراسة الدياتومات و تطبيق IPO لوجود ثلاثة فئات تمثل حدة التلوث العضوي وهي: قوي ، معتدل وضعيف. في حين مؤشر البيولوجي لدياتومات (IBD) سلط الضوء على أربعة تغييرات: تحويل قوي جدا ، قوي ، متوسط و تحويل منخفض إلى معدوم. بسبب تصريف مياه الصرف المنزلية ، الصناعية والزراعية . وقد أظهر ذلك أن الدياتومات يمكن استخدامها كمؤشرات إيكولوجية لرصد الظروف البيئية و نوعية المياه.

الكلمات المفتاحية : الدياتومات، جودة المياه، تحليل المراسلات الكنسي ، التلوث، IPO, IBD ، تيارت.

Abstract

After three years of work, we have explored most of the water systems of the west and South region of Tiaret areas; represented mainly by the Oued Mina, Oued Louhou, Nahr Ouassel and chott ech chergui . The study started with a sampling, executed successively during Autumn and Spring, with the aim to identify the diatomic flora on the first part; and to analyze the ecology of these diatoms on the other part, regarding the Environmental factors through canonical correspondence analysis in order to estimate the organic pollution index. Our results highlighted 122 inventoried species, distributed in 20 different families, with 13 new taxas as a new record in Algeria: *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Hippodonta capitata*, *Luticola kotschyi*, *Luticola nivalis* *Neidium binodeforme* *Neidium ampliatum*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *Tabellaria*. *Pinnularia obscura*, *Stauroneis gracili* and *Surirella crumena*.

Otherwise, the calculation of the Organic Pollution Index OPI along the describing stations shows a degraded condition of the quality of water in Oued Mina allowed us to apprehend three classes of organic pollution: strong, moderate and weak. While the diatomic index (IBD) highlights four alterations: Eutrophication Very Strong, Strong, Medium and Eutrophication Nil to Low, due to the discharge of domestic and industrial waste water from agglomerations. From this proceeding diatoms can be used as ecological indicators for monitoring environmental conditions in both wadis.

Key words: Diatoms; ecological factors; canonical correspondence analysis; Organic Pollution Index OPI; pollution.

DEDICACES

A MES PARENTS

A MA FEMME

A MES ANGE YUCEF ET SOUDJOU

A MES FRÈRES

A MES AMIS

REMERCIEMENTS

De prime abord, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements à mon professeur *HASSANI Abed El Karim* pour avoir encadré patiemment ce travail, pour leurs précieuses remarques constructives et son suivi pour mener à terme ce travail.

Mes vifs remerciements aussi à Monsieur *AIT Hammou mohamed*, Maître de conférence à l'université de Ibn Khaldoun Tiaret ; qui est l'un des professeurs que j'aime et que je respecte beaucoup ; pour avoir encadré et qui m'a permis de découvrir le monde fabuleux des diatomées et de me donner l'opportunité de travailler sur un sujet passionnant

Je remercie chaleureusement Monsieur le professeur *DELLAL Abed el Kader*, pour avoir accepté de présider la soutenance, tout le plaisir est pour moi ; je la remercie aussi pour sa grande gentillesse et sa disponibilité.

Je ne pourrais remercier jamais assez Monsieur le professeur *Beghalia Mohamed*, me faire l'honneur de siéger dans le jury, Je le remercie très vivement et le prie de trouver ici un témoignage de mes sentiments respectueux.

Je suis également très honoré que Madame *Souidi zahira* ait accepté de juger et de siéger dans le jury de ma thèse. Qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance et de ma respectueuse gratitude.

Mes sincères remerciements s'adressent à monsieur *Miara djamel* Maître de conférences à l'université d'Ibn Khaldoun Tiaret pour sa collaboration dans l'identification des espèces et sa gentillesse.

J'aimerais adresser un remerciement particulier à Monsieur *Dahmani walid* Maître assistant à l'université d'Ibn Khaldoun Tiaret, pour son aide, sa gentillesse et son soutien tout au long de ces années.

J'ai pu travailler dans un cadre particulièrement agréable, grâce à l'ensemble des membres des Enseignants De L'université De Tiaret.

Je pense particulièrement à Islam, Liela, Samir, Maamar ainsi qu'à Omar Aoued Hamza et à Hallouz Merci à tous pour votre bonne humeur, pour toutes ces séances de rires et de sourires, et pour toutes ces discussions autour d'un café où, comme il se doit, nous avons refait le monde...

Ces remerciements ne seraient pas complets sans une pensée pour mes deuxièmes frère Walid, Madjid, Houari, Hallouz et Redouane Merci de m'avoir aidé et encouragé, et pour m'avoir changé les idées quand j'en avais besoin.

Mes dernières pensées iront vers ma famille, et surtout mes parents, qui m'auront permis de poursuivre mes études jusqu'à aujourd'hui.

Table Des Matières

Introduction générale

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre I: Généralités sur les Diatomées

1. Caractéristiques et fonctionnement biologique -----	1
2. Biologie des diatomées -----	1
2.1 . Structure cellulaire -----	1
2.2 Caractéristiques générales des diatomées pennées -----	3
3. Cycle de vie des diatomées -----	4
3.1 Multiplication végétative -----	4
3.2 Reproduction sexuée -----	4
4. Diversité taxonomique -----	5
5. Classification des diatomées -----	8
5.1 La problématique de l'identification et de la classification des diatomées -----	9
6. Écologie et habitats des diatomées -----	9
6.1 Mode de vie en milieu aquatique: -----	9
6.1.1 Les Diatomées planctoniques -----	9
6.1.2 Les Diatomées benthiques : -----	11
6.1.3 Les Diatomées périphytiques (benthiques) -----	11
7. Les facteurs physiques et chimiques -----	11
7.1 L e pH -----	12
7.2 L'intensité de la lumière -----	12
7.3 La Température -----	13
7.4 Les sels dissouts -----	13
7.5 La teneur en silice -----	14
7.6 Substrat -----	14
7.7 Vitesse de courant -----	15
7.8 Les variations du niveau de l'eau -----	15
7.9 Le broutage -----	15
7.10 Les autres nutriments -----	16
7.11 La pollution organique -----	16
8. Mode de vie des diatomées -----	17
9. Place des diatomées dans l'écosystème -----	18
10. Utilisation des diatomées -----	18

Chapitre II La Pollution Des Eaux

1 Introduction -----	20
2 Sources de pollution des eaux et Les principaux polluants -----	20
2.1.1 Pollution d'origine urbaine -----	20
2.1.2 Pollution d'origine agricole -----	21
2.2 Pollution d'origine industrielle -----	22
3 Nature et suivi de la pollution organique -----	23
4 Les ressources en eau et la en Algérie -----	23
4.1 Stratégie Et Contrôle De La Pollution en Algérie -----	25
5 Les Diatomées en Algérie -----	27
6 Les Diatomées : Indicateurs de pollution.....	29

Partie II partie expérimentales

Chapitre I Cadre Biogéographie De La Zone D'études

1	Introduction	33
2	Hydrogéologie De La Wilaya	34
3	Les Différents Aquifères De La Région	35
3.1	La nappe de l'ensemble du barrémien	35
3.2	La nappe des dolomies Kimméridgiens	35
3.3	Les nappes du mio-plio-quaternaire	35
3.4	La nappe de l'ensemble marno- gréseux attribuée au miocène :	35
4	Le Réseau Hydrographique :	36
5	Utilisation Des Eaux Du Barrage :	37
5.1	Les ressources souterraines et superficielles en Eau	38
5.1.1	Les ressources souterraines :	38
5.1.2	Les ressources superficielles	38
5.1.3	Les nappes aquifères	38
6	La Zone D'étude Et Localisation Des Sites	39
6.1	Partie Nord	40
6.1.1	Situation géographique	41
6.1.2	La végétation	41
6.1.3	Climatologie	42
6.1.3.1	Précipitations	42
6.1.3.2	Températures	42
6.1.3.3	Diagramme Ombrothermique de Gaussen	43
6.2	Partie Sud	44
6.2.1	Situation géographique	44
6.2.2	Le Cadre climatique	46
6.2.2.1	Les Précipitations	47
6.2.2.2	Les Températures	48
6.2.2.3	L'humidité	49
6.2.3	La Synthèse climatique	49
6.2.3.1	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	49
6.2.3.2	L'indice de continentalité simple de Rivas-Martines 2002	50
6.2.3.3	Le Quotient pluviométrique d'Emberger	51
Chapitre II Méthodologie de travail		
1	Introduction	52
2	Échantillonnage	52
3	Prétraitement de bio-film	52
3.1	Élimination de la matière organique	52
3.2	Préparation de la lame	53
3.2.1	L'identification et le comptage	53
4	Les paramètres d'eau analysés	54
4.1	Les paramètres physiques	54
4.1.1	La température	54
4.1.2	Le pH	54
4.1.3	La conductivité électrique (C.E)	54
4.1.4	La salinité	54
4.2	Les paramètres chimiques	54
4.2.1	Détermination des chlorures (Cl ⁻)	54
4.2.2	Détermination des nitrites (NO ₂ ⁻)	55
4.2.3	Détermination des nitrates (NO ₃ ⁻)	55
4.3	Analyse des données	55

4.3.1	Indices de la diversité floristique -----	55
4.3.2	Calcul de l'indice de Shannon-Weaver (Shannon and Weaver, 1949)-----	55
4.3.3	Indice de pollution organique (IPO, Leclercq et Maquet, 1987)-----	56
4.3.4	Indice Biologique Diatomique -----	56
Chapitre III Résultats et Discussion		
1	Taxonomie des espèces -----	58
1.1	Introduction-----	58
1.2	Interprétation des résultats de la Diversité des diatomées dans la région d'étude---	58
1.3	Interprétation des relevés de la Partie Nord-----	61
1.3.1	Les Cas de Oued Mina et de Oued Louhou -----	61
1.3.1.1	Diversité des familles -----	61
1.3.1.2	Diversité des espèces -----	61
1.3.2	Cas de Nahr Ouassel-----	66
1.3.2.1	Diversité des familles -----	66
1.3.2.2	Diversité des espèces -----	67
1.3.3	Cas de chott chergui -----	69
1.3.3.1	Diversité des familles -----	69
1.4	Interprétation des relevés de la Partie sud-----	70
1.4.1	Le Cas de Chott Ech Chergui -----	70
1.4.1.1	Diversité de familles -----	70
1.4.1.2	Diversité des espèces -----	70
1.5	Interprétation des relevés pour la Taxonomie des espèces observées pour la première fois en Algérie -----	74
1.5.1	Description des espèces recensées pour la première fois en Algérie -----	74
1.6	Conclusion-----	76
2	Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées recensées et sur qualité de l'eau dans la région d'étude.-----	78
2.1	Introduction-----	78
2.2	Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées des Oueds Mina et Louhou -----	93
2.2.1	Analyse statistique des paramètres physicochimiques au niveau du sous bassin de la mina -----	84
2.3	Interprétation Des Résultats Et Discussion Sur L'Ecologie des diatomées de Nahr 93	
2.3.1	Analyse des paramètres physico-chimiques et les indices de bioindication au niveau de Nahr Ouassel -----	98
2.3.2	Analyse de la distribution des diatomées et les paramètres physico-chimiques de Nahr Ouassel-----	99
2.4	Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées de Chott Chergui -----	101
2.4.1	Analyse des paramètres physico-chimiques et les indices de bioindication au niveau de Chott Ech Chergui -----	107
2.4.2	Analyse de la distribution des diatomées et les paramètres physico-chimiques à Chott Ech Chergui -----	108
2.5.	Conclusion -----	109

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexe

Liste des tableaux

Tableau 1	Diversité des taxons des différents types d'algues. (Adrien, 2015)-----	6
Tableau 2	Classification des diatomées (Round <i>et al.</i> , 2007). -----	8
Tableau 3	Classification des diatomées selon leur gradient optimal de pH -----	12
Tableau 4	Classification des diatomées selon leur gradient optimal de température-----	13
Tableau 5	La ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques en Algérie (2012).---	24
Tableau 6	Classification des diatomées selon la saprobie -----	29
Tableau 7	Alimentation en eau potable des centres urbains de la région de Tiaret -----	37
Tableau 8	Localisation des sites de prélèvement des échantillons dans la partie Nord-----	40
Tableau 9	Localisation des sites de prélèvement des échantillons dans la partie sud-----	46
Tableau 10	Moyenne des précipitations annuelles station de Saida 1984-2015. -----	47
Tableau 11	Températures moyennes entre les années (1984-2015) station de Saida. -----	48
Tableau 12	Classification des paramètres selon les cinq classes (Leclercq et Maquet, 1987). -----	56
Tableau 13	Les genres utilisés pour le calcul de l'indice diatomique. -----	57
Tableau 14	Classes de qualité biologique -----	57
Tableau 15	Indice de diversité des diatomées dans la région d'étude Oued Mina -----	62
Tableau 16	Abondance relative des diatomées dans Oued Mina et Oued Louhou. -----	63
Tableau 17	Indice de diversité des diatomées dans la région d'étude Nahr Ouassel-----	68
Tableau 18	l'abondance relative des diatomées dans Nahr Ouassel-----	69
Tableau 19	Nombre de taxon indice de diversité et équitabilité -----	72
Tableau 20	Abondance relative des diatomées dans la partie sud : Chott Chergui. -----	73
Tableau 21	Taxonomie et mesure biométriques des espèces (grossissement 1000×).-----	74
Tableau 22	Résultats de l'indice de pollution organique -----	83
Tableau 23	Résultats de l'indice biologique diatomées. -----	84
Tableau 24	Corrélation entre les variables physico-chimiques et les indices bioindicateur (les corrélations présentées sont significatives à $p < 0,05$). -----	85
Tableau 25	Analyse en composantes principales des variables physico-chimiques de l'eau des sites étudiés (corrélation significative au seuil de $p < 0,05$). -----	86
Tableau 26	Corrélation de rang de Spearman entre les indices de dissimilarité et la séparation de gradient avec différentes méthodes de transformation de données -----	87
Tableau 27	Ajustement des facteurs environnementaux sur une ordination -----	88
Tableau. 28	Les groupes fonctionnels diatomées en fonction des propriétés écologiques des -----	91
Tableau 29	Résultats de l'indice de pollution organique a Nahr Ouassel -----	97
Tableau 30	Résultats de l'indice biologique diatomique a Nahr Ouassel -----	97
Tableau 31	Corrélation entre les variables physico-chimiques et les indices bioindicateurs (les corrélations présentées sont significatives à $p < 0,05$). -----	98
Tableau 32	Intervalle des classes pour les éléments de pollution a Chott Ech Chergui ----	105
Tableau 33	Résultats de l'indice biologique diatomique Chott Ech Chergui. -----	106
Tableau 34	Corrélation entre les variables physico-chimiques et les indices bioindicateurs dans l'écosystème hydrique Chott Ech Chergui (les corrélations présentées sont significatives à $p < 0,05$).-----	107

Liste Des Figures

Figure 1 Ornementations particulières des diatomées -----	2
Figure 2 Détail du frustule d'Amphora acutiuscula en vue cingulaire, microscopie électronique à balayage.-----	2
Figure 3 Photos de diatomées en microscopie électronique à balayage (enhaut) et en microscopie optique (en bas).-----	3
Figure 4 Caractéristiques du frustule d'une espèce de diatomées de forme pennées.-----	3
Figure 5 (a) Reproduction végétative : (b) Réduction progressive de la taille de l'espèce. ----	5
Figure 6 présente les différentes structures des clés de détermination des diatomées -----	7
Figure 7 Diagramme représentant les strates du biofilm sur la surface d'une roche : -----	10
Figure 8 Représentation schématique de l'évolution saisonnière des peuplements algaux. ---	17
Figure 9 Les bassins versants en Algérie, (les chiffres représentent les bassins et leurs noms géographiques). -----	24
Figure 10 Carte administrative de la wilaya de Tiaret. -----	33
Figure 11 Carte du réseau hydrique dans la wilaya de Tiaret.-----	36
Figure 12 Schéma synoptique du circuit ferme des eaux d'A.E.P et eaux usées de la région de Tiaret -----	38
Figure 13 Localisations géologiques et hydrologiques de la zone d'étude et les différents sites. -----	39
Figure 14 Evolution des précipitations mensuelles moyennes de la wilaya de Tiaret -----	42
Figure 15 Evolution des températures mensuelles moyennes de la wilaya de Tiaret -----	43
Figure 16 Le diagramme Ombrothermique de la période sèche (1986-2015) -----	43
Figure 17 situation géographique de Chott Ech Chergui. -----	45
Figure 18 Localisation des sites dans la partie sud Chott Ech Chergui. -----	46
Figure 19 Régime mensuel des précipitations dans la région d'étude -----	47
Figure 20 Régime pluviométrique saisonnier. -----	48
Figure 21 Evolution mensuelle des températures moyennes de la wilaya de Saida -----	48
Figure 22 Diagramme Ombrothermique de Gaussen.-----	50
Figure 23 Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger.-----	51
Figure 24 Balayage d'une lamelle de microscope-----	53
Figure 25 Répartition des familles de diatomées dans la zone d'étude.-----	59
Figure 26 Différentes formes de diatomées dans la zone d'étude-----	60
Figure 27 La richesse spécifique dans la région d'études -----	60
Figure 28 Abondance relative des familles cas Oued Mina et Oued Louhou. -----	61
Figure 29 Répartition des taxons pendant les deux saisons a travers les différents stations de oued mina et louhou. -----	62
Figure 30 Pourcentages des familles au niveau de Nahr Ouassel. -----	67
Figure 31 Répartition des espèces a travers les sites de Nahr Ouassel durant la saison de printemps et d'automne -----	68
Figure 32 Répartition des familles dans la partie sud (Chott Ech-Chergui). -----	70
Figure 33 Répartition des espèces à travers les sites de Chott Ech Chergui durant les saisons de printemps et d'automne. -----	71
Figure 34 Photos des 13 espèces recensées pour la première fois en Algérie -----	76
Figure 35 Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques d'Oued Mina et Oued Louhou en Automne. -----	79
Figure 36 Variation spatiotemporelles des NO ₂ , NH ₄ et PO ₄ d'Oued Mina d'automne. -----	79
Figure 37 Variation spatiotemporelles des NO ₂ , NH ₄ et PO ₄ d'Oued Mina au printemps ----	79
Figure 38 Variation spatio- temporelles des paramètres physicochimiques d'oued louhou au printemps.-----	80

Figure 39 Variations spatiotemporelles des PO ₄ NH ₄ et NO ₂ d'Oued Louhou période d'automne. -----	80
Figure 40 Variations spatiotemporelles des PO ₄ NH ₄ et NO ₂ d'Oued Louhou au printemps	80
Figure 41 Distribution des diatomées selon leur affinité pour la matière organique en Automne.-----	81
Figure 42 Distribution des diatomées selon leur affinité pour la matière organique au printemps.-----	81
Figure 43 Stress par rapport au diagramme d'écran du nombre de dimensions.-----	86
Figure 44 Surface lissante pour certains facteurs écologiques dans le diagramme d'ordination.-----	89
Figure 45 Usage des critères Calinsky-Harabasz (index C-H) pour trouver la meilleure partition de la communauté végétale.-----	90
Figure 46 Analyse des clusters communautaires de végétation (méthode Ward, distance Euclide). A, B, C, D – grappes (groupes fonctionnels).-----	90
Figure 47 Répartition des espèces et configuration des clusters dans l'espace-----	92
Figure 48 Distribution des diatomées en fonction de leur affinité pour la matière organique dans les divers sites de Nahr Ouassel pendant le Printemps.-----	94
Figure 49 Distribution des diatomées en fonction de leur affinité pour la matière organique dans les divers sites de Nahr Ouassel pendant l'Automne.-----	94
Figure 50 Les variations des paramètres physicochimiques de Nahr Ouassel durant les deux périodes -----	95
Figure 51 Variations des NO ⁻² NH ⁺⁴ et PO ⁻³ durant les deux périodes -----	95
Figure 52 L'affinité des diatomées vis à vis la trophie à Nahr Ouassel-----	96
Figure 53 Analyse canonique des taxons à Nahr Ouassel.-----	100
Figure 54 Les variations des teneurs des paramètres physicochimiques à l'Automne.-----	102
Figure 55 Les variations des teneurs des paramètres physicochimiques au printemps.-----	102
Figure 56 Les variations d'ammonium, nitrates et nitrites.-----	103
Figure 57 L'affinité de la communauté diatomique aux paramètres physicochimiques (Printemps).-----	103
Figure 58 L'affinité de la communauté diatomique aux paramètres physicochimiques (Automne).-----	104
Figure 59 L'affinité des diatomées vis à vis la trophie-----	106
Figure 60 Analyse canonique de correspondance des taxons de Chott Ech Chergui.-----	108

Liste des abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

AEA : Alimentation En Eau Pour L'agriculture

AEI : Alimentation En Eau Pour Industrie

AEP : Alimentation En Eau Potable

ASMIDAL : Groupe Industriel Engrais et Produits Phytosanitaires dénommé

CEE : indice européen

CFT : Conservation Des Forets Tiaret

Cond : Conductivité

IBD : Indice Biologique Des Diatomées

IDAP : Indice Assemblage De Diatomées Pour La Pollution Organique

IPO : Indice De Pollution Organique

IPS : Indice De Polluosensibilité

MOF : Les matières organiques fermentescibles

NMDS : Echelle multidimensionnelle non-métrique

ONM : Office National de la Météorologie

ORELAIT : Office National Du Lait

ST : Station

Turbi : Turbidité

Liste Des Annexes

Annexe 1 Les caractéristiques physicochimiques de la partie Nord cas Naher Ouassel.

Annexe 2 Les caractéristiques physicochimiques de la partie Nord cas oued mina et oued louhou

Annexe3 Les caractéristiques physicochimiques de la partie Sud de la zone d'étude

Annexe 4 Photos De Quelques Espèces De Diatomées Observées Sous Microscope

Annexe 5 Quelques Photos Des Différents Sites De La Zone D'étude

Figure 1 Station Tagdemt TT (Oued Mina).

Figure2 Station Sidi Ouadh (Oued Mina).

Figure 3 Station Melakou MU

Figure 4 station Tousnina MA (Oued Mina).

Figure 5 Station Daheit El Khadra DK1 (Chott Ech Chergui).

Figure 5 Station Daheit El Khadra DK1 (Chott Ech Chergui).

Figure 7 Irrigations des champs de pomme de terre (cas station sidi ouadh).

Figure 8 Station Sebain 1OS1 (Nahr Ouassel).

Figure 9 Station Bougara 2 BG2 (Nahr Oussel).

Introduction générale

Dans les eaux continentales, qui ne constituent que 2% des eaux du globe terrestre, les diatomées ou (Bacillariophycées) constituent la base de la chaîne trophique. Ce groupe d'algues appartenant à l'embranchement des Chromophytes d'algues brunes (Chromophycophytes), englobe l'ensemble des micro-organismes végétaux en suspension dans l'eau, capables d'élaborer par photosynthèse leur propre substance organique, à partir de l'énergie solaire, de l'eau, de l'oxygène et des sels nutritifs. En outre, ces algues, sont limités dans les couches superficielles éclairées des étendues d'eau, jusqu'à 50 à 100 m de profondeur et le Périphyton forme la biomasse algale dominante des milieux aquatiques. Par ailleurs, la totalité des espèces d'algues poussent attachées à un substrat dans un habitat submergé et leur abondance est généralement plus élevée au printemps et à l'automne se qui conduit à une composition des périphytons très variée.

D'autre part, la communauté des diatomées joue un rôle clé dans la biodiversité de l'écosystème aquatique et par conséquent, dans la qualité des eaux qui est révélé par leur présence et leur densité qui varie selon la pollution du milieu car ils présentent une sensibilité envers une multitude de polluants. Ainsi, le cycle de vie rapide et leur immobilité, permettent aux diatomées d'être d'excellents indicateurs biologiques du niveau d'eutrophisation des cours d'eau. Par ailleurs, les Diatomées se présentent en fossiles qui intéresse les paléontologistes pour les embellissements paléo-environnementales et paléocéanographiques.

Enfin, en aquaculture, la mytiliculture, l'ostréiculture et les écloseries (de diverses espèces d'intérêt commercial tel que bivalves, ormeaux, holothuries, crevettes et crabes) utilisent les diatomées comme source de nourriture. En biotechnologie et industrie pharmaceutique : certaines espèces de diatomées sont utilisées pour produire des substances à activités antibiotiques, anti tumorales...et des acides gras essentiels.

Depuis plus d'une vingtaine d'années les diatomées sont étudiées de façon intensive pour décrire les niveaux de qualité écologique des cours d'eau dans le monde alors qu'en Algérie qui présente une richesse floristique importante des plantes vasculaires et qui sont largement étudiée et connu dans ses grandes lignes, accuse une vrai carence concernant la flore cryptogamique. En effet, les travaux réalisés dans ce domaine affichent encore des

lacunes sur les connaissances taxonomiques malgré que ces dernières années, certains chercheurs ont entrepris d'étudier et d'enrichir l'inventaire des diatomées en Algérie,

Toutefois, les études sur les diatomées benthiques d'Algérie restent vraiment rares alors que les recherches les concernant, en Algérie, ont commencé il y a plus d'un siècle par Montagne en 1846 et Ehrenberg 1854, repris récemment par Baudrimont 1974 qui a concouru à l'enrichissement de l'inventaire des diatomées des eaux douces d'Algérie.

Dans cette optique et pour contribuer modestement à l'enrichissement des connaissances sur l'écologie des diatomées des eaux douces, ce travail porte sur l'étude de l'influence des facteurs environnementaux sur la flore diatomique dans le but d'estimer les indices diatomiques afin d'évaluer la qualité d'eau de la région de Tiaret. A cet effet, le présent travail est axé autour de deux objectifs spécifiques. Le premier étant une évaluation de la biodiversité diatomique à travers les cours d'eau de la région de Tiaret et le second une évaluation de la qualité de l'eau.

Enfin, pour pouvoir aborder l'ensemble des aspects relatifs à ce thème, la démarche adoptée à travers cinq étapes principales est la suivante :

- Faire des relevés indicateurs de la flore diatomique du site d'étude;
- Observer la répartition des espèces diatomiques selon leurs gradients écologiques (les facteurs environnementaux);
- Etablir la relation entre les disciplines de biologie de la communauté diatomique et de biostatistique, dans un but de développement des pratiques de bioindication par les assemblages de diatomées des cours d'eau;
- Calculer l'indice diatomique pour déterminer l'état actuel de la qualité de l'eau;

Dans ce manuscrit de notre thèse, nous nous attacherons à décrire, dans une première partie, le cadre général de l'étude avec deux chapitres dont le premier concerne "les généralités et la taxonomie des diatomées" et le deuxième concerne "la pollution des eaux et le rôle des diatomées comme des bioindicateurs".

Ensuite une deuxième partie expérimentale qui comporte trois chapitres dont le premier traite du "cadre géographique des sites à étudier", un deuxième chapitre qui résume "le matériel et la méthodologie utilisés" et enfin, un troisième chapitre qui résume "les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations".

Enfin, les « Conclusions Générales » de cette thèse où nous faisons ressortir certaines recommandation a considérer pour la conservation des eaux du réseau hydrique dans la région de Tiaret qui seront suivis par la "liste des références bibliographiques" et "Les annexes" mentionnées au cours des différents chapitres de la thèse.

Il est à noter qu'une grande partie des études développées au sein du chapitre II de la deuxième partie ont fait l'objet d'une publication acceptée et publiée dans une revue classée en catégorie "B" et qui s'intitule "Ukrainian Journal of Ecology", dont le titre de l'article est "Diversity Of Diatoms Epilithons And Quality Of Water From The Sub Basin Of Oued Mina (District Of Tiaret, Algeria)" avec l'auteur principal "M. Negadi" et les Co-auteurs " A. Hassani, M. Ait Hammou, W. Dahmani1, M.D. Miara, M. Kharytonov et O. Zhukov" en date de 2018.8(1),

Chapitre I: Généralités sur les Diatomées

1. Caractéristiques et fonctionnement biologique

Les diatomées constituent un important groupe de microalgues unicellulaires dont la taille varie entre 1µm et 2mm et elles sont faciles à reconnaître, en raison de leur structure cellulaire unique silicatée très ornementée. Très abondantes, on les trouve dans les océans, les lacs, les rivières, les marais, les fagnes et tourbières et aussi bien sur les mousses humides et parois rocheuses et même parfois sur les plumes de certains oiseaux plongeurs. Ces microalgues, vivent en suspension dans l'eau ou attachées au fond des rivières, des lacs et des océans. La majorité des diatomées fixent le carbone par photosynthèse. Elles sont des producteurs primaires qui jouent un rôle majeur à la base des écosystèmes aquatiques. Elles contribuent à environ le quart de la production primaire globale de la planète et a 43 % de la production primaire des océans (**Treguer et al., 1995**).

Certaines taxons de diatomées sont très sensibles et ne tolèrent aucune pollution alors que d'autres sont très tolérantes et prolifèrent dans les milieux eutrophiques ou dans les cours d'eau affectés par une forte conductivité. Elles sont utilisées dans un nombre grandissant de pays pour effectuer le suivi de la qualité de l'eau des rivières par l'utilisation d'indices biologiques bases sur les diatomées benthiques (**Lavoie et al, 2008**). En effet, certains organismes hydroponiques adoptent parfaitement les transformations de la qualité de l'eau sur les intervalles plus ou moins longues. Alors, ils se révèlent d'excellents bio-indicateurs car ils permettent de connaître l'impact de la pollution sur le milieu vivant alors que les analyses physico-chimiques éclaireissent sur les paramètres responsables de cet impact et ne donnent qu'une image momentanée ou instantanée de la qualité de l'eau. Les mesures en continu de tous les polluants envisageables sont extrêmement couteuses.

2. Biologie des diatomées

2.1 . Structure cellulaire

Une caractéristique importante des diatomées est de posséder un frustule qui est un exosquelette siliceux composé de deux valves, l'épivalve et l'hypovalve. L'hypovalve, possédant une taille légèrement inférieure, est imbriquée dans l'épivalve. L'ensemble tient au moyen d'un ensemble de ceintures connectives qui forment le cingulum. Les valves siliceuses peuvent être ponctuées par des aréoles (**Gastineau, 2011**). Ce frustule présente des formes et

des ornementsations variées, notamment des pores permettant aux cellules d'excréter des polymères (Fig.1).

C'est à partir de l'observation de ces ornementsations que s'est construit la classification des diatomées et la reconnaissance des différentes espèces. (**Bottin, 2012**).

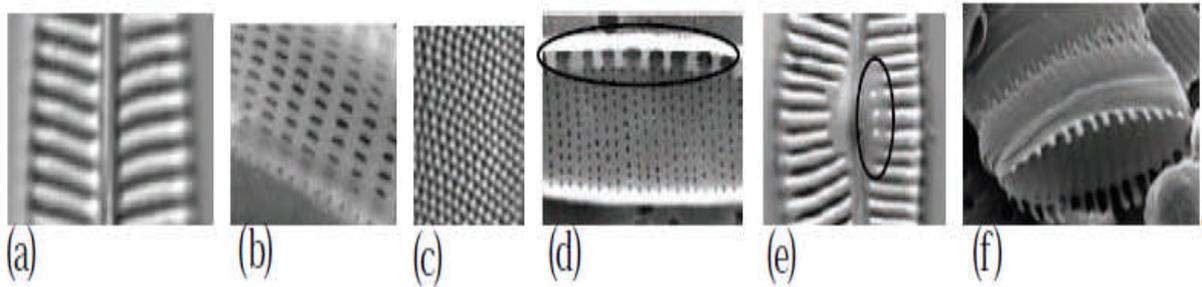


Figure 1 Ornementsations particulières des diatomées : (a) Stries (b-c) Ponctuations (d) Fibules (e) Stigma (f) Epines. (**Lavoie et al., 2008**).

En effet, le frustule ornementé présente des pores dont la taille, la forme et la disposition sont caractéristiques des genres et des espèces. (**Thi Le Nhung, 2008**), (Fig.2)..

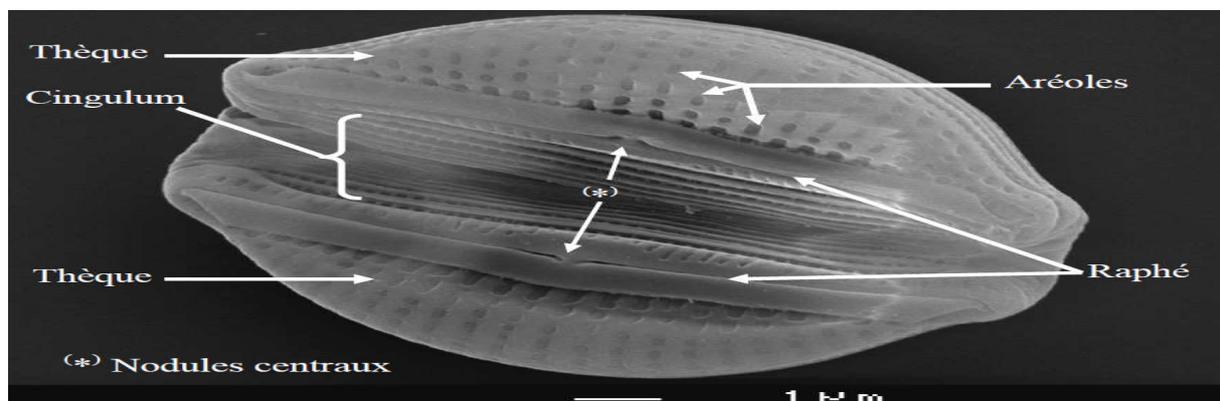
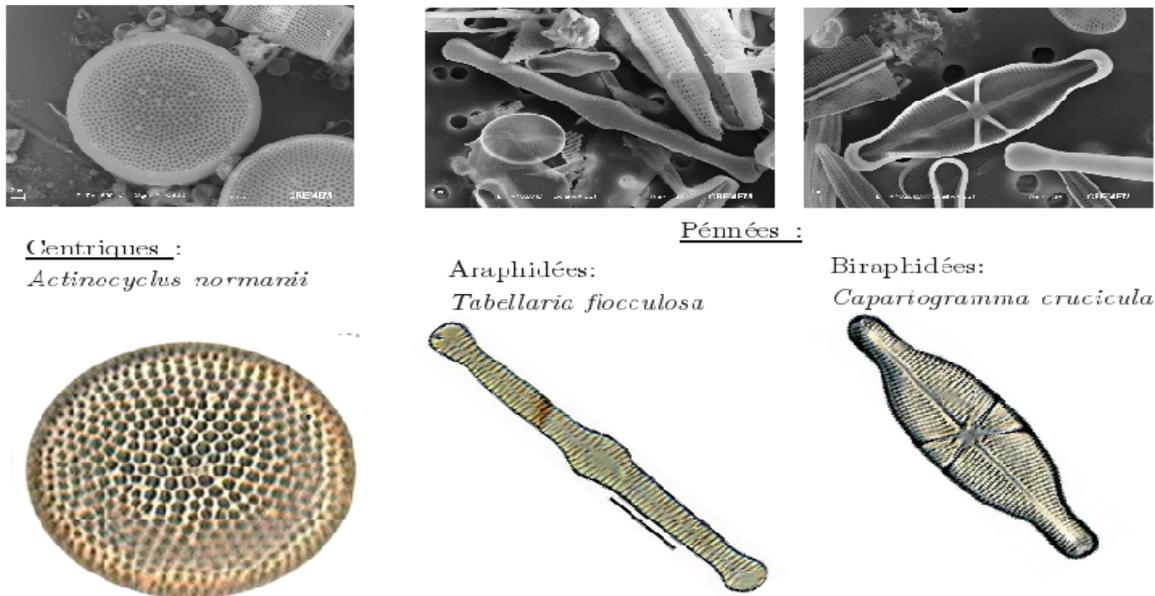


Figure 2 Détail du frustule d'*Amphora acutiuscula* en vue cingulaire, (microscopie électronique à balayage: (**Thi Le Nhung, 2008**).

En fonction de la forme du frustule, on distingue deux types de diatomées: Centrales ou centriques à symétrie radiale et pennales ou pennées, à symétrie bilatérale. Ces critères morphologiques sont utilisés pour l'identification des espèces. Le frustule est composé de deux parties appelées thèques qui s'emboîtent l'une dans l'autre. La thèque supérieure dénommée l'épithèque recouvre la thèque inférieure ou l'hypothèque. Des bandes ou ceintures (cingulum) lient les deux valves à la périphérie, (Fig.2).

Cette partie peut être réduite à une seule bande siliceuse ou être plus complexe et comporter plusieurs bandes. Chaque espèce de diatomée possède une ornementation (stries, fibules, punctuations, stigma, épines, etc.) particulière qui permet l'identification (fig. 1; 4).



Centriques :

Actinocyclus normanii

Pennées :

Araphidées:

Tabellaria flocculosa

Biraphidées:

Capriogramma crucicula

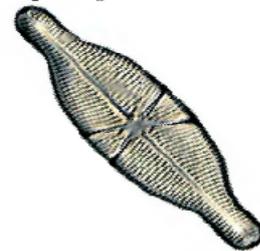
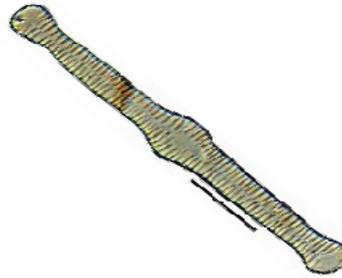
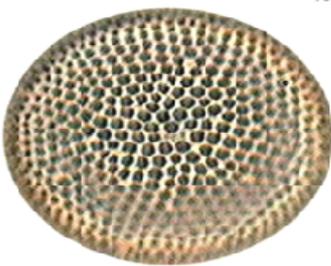


Figure 3 Photos de diatomées en microscopie électronique à balayage (en haut) et en microscopie optique (en bas). (Bottin, 2012).

2.2 Caractéristiques générales des diatomées pennées

Comme la majorité des Diatomées, leur frustule est un squelette ou coquille siliceuse formée de deux valves qui s'emboîtent l'une dans l'autre (fig. 3) en forme de petites boîtes de verre microscopiques. La plus grande partie du frustule est l'épivalve et la partie petite est l'hypovalve avec des bandes intercalaires (ceintures connectives) qui relient les deux valves.

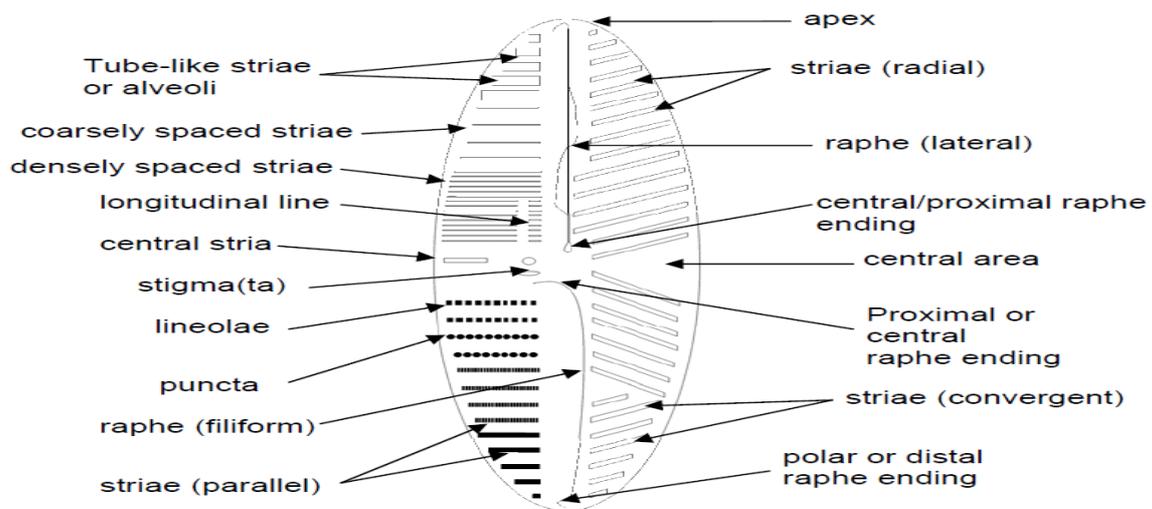


Figure 4 Caractéristiques du frustule d'une espèce de diatomées de forme pennée (Round et al., 1990).

3. Cycle de vie des diatomées

Comme de nombreux organismes phytoplanctoniques, le cycle de vie des diatomées comprend 2 stades principaux : un stade végétatif, où la diatomée est diploïde et se reproduit par mitose, (reproduction asexuée) et un stade relativement court de reproduction sexuée. Les cellules se multiplient habituellement par division cellulaire et plus rarement par voie sexuée.

3.1 Multiplication végétative

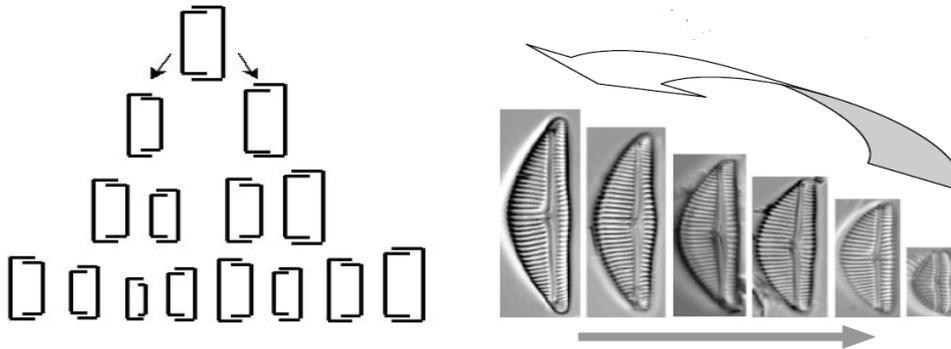
Chaque cellule se divise pour donner deux cellules filles dont chacune garde une thèque provenant de la cellule mère comme épithèque et synthétise une nouvelle hypothèque. Cette division cellulaire induit une réduction progressive de la taille moyenne des cellules des générations suivantes. Dans la plupart des cas, la réduction de taille des cellules est très faible mais après plusieurs générations, l'effet devient significatif. Quand les cellules atteignent une taille minimale (environ de 30 à 40 % de la taille maximale), elles entrent dans une phase de reproduction sexuée par auxosporulation qui restaure la taille cellulaire originale (**Round et al., 1990**). Cette taille limite est connue sous le nom de point cardinal et les cellules sont alors prêtes à former les gamètes. D'autres facteurs peuvent participer dans le déclenchement de ce processus tel la température, la lumière, la présence de nutriments, de métaux, de facteurs de croissance et l'osmolarité du milieu (**Edlund et Stoermer, 1997**).

Chez les diatomées centriques, les cellules se transforment en gamètes; alors que chez les pennées, l'adhésion de deux cellules a lieu avant que la formation des gamètes ne soit mise en place. Dans les deux cas, la méiose a lieu avant la formation des gamètes qui fusionnent ensuite pour former une auxospore. Celle-ci grossit considérablement avant de fabriquer un frustule de grande taille (**Loir, 2004**).

3.2 Reproduction sexuée

Les diatomées présentent un cycle monogénétique diplontique avec la méiose qui survient lors de la formation du gamète. Chez les diatomées, la reproduction sexuée se caractérise par la production d'un auxospore qui donne naissance à une nouvelle diatomée (**Gayral, 1975**) (fig. 5). Les modalités de la reproduction sexuée diffèrent entre les diatomées centriques et les diatomées pennées. Chez les premières, les cellules végétatives font office de gamétocystes, une partie d'entre elles produisant 1 ou 2 oosphères immobiles et d'autres de petites cellules uniflagellées (**Round et al., 1990; Quéguiner, 2007**). Dans ce cas présent, la

reproduction sexuée s'apparente à une oogamie, qui induit la formation d'une auxospore dont la division produit une diatomée de taille maximale (**Reviers 1953; Raven et al., 2000**).



a) Reproduction végétative (mitose)

Reproduction sexuée
(Production d'auxospores)

Figure 5 (a) Reproduction végétative : chaque division conserve une cellule de même taille que la cellule-mère et produit une cellule plus petite. (b) Réduction progressive de la taille de l'espèce. Une reproduction sexuée, par la production d'auxospores, permet de rétablir la taille maximale de l'espèce. (**Lavoie et al., 2008**).

4. Diversité taxonomique

L'analyse de la diversité des espèces d'algues révèle que les algues chromophytes représentent le groupe le plus important en termes d'abondance et de diversité (tab. 1). A l'intérieur de ce grand groupe taxonomique comprenant les Haptophytes, les Dinoflagellés et les Glaucophytes, on remarque que les Bacillariophycées, c'est-à-dire les diatomées, représentent le groupe taxonomique le plus divers (**Adrien, 2015**).

La classification des diatomées repose essentiellement sur des critères morphologiques, fait assez rare parmi les micro-organismes. Aujourd'hui celle-ci est largement bouleversée par l'emploi de techniques de plus en plus avancées, à la fois en microscopie et en biologie moléculaire (**Mann et al., 2010**). Une classification rigoureuse devrait être composée exclusivement de groupes monophylétiques, c'est à dire de groupes comprenant un ancêtre commun, tous ses descendants, et uniquement ses descendants.

Il ne semble pas que ce soit le cas pour nombre de classifications proposées pour les diatomées (**Williams et Kociolek, 2007**), car la recherche du sens évolutif des classifications semble être assez récente pour ces organismes (**Julius et Theriot, 2010**). De plus en plus d'études cherchent à conduire des analyses phylogénétiques grâce à des données de biologie

moléculaire tel que **Bruder et Medlin, (2007) et Medlin, (2010)**. Malheureusement, ces études ne montrent que rarement des résultats concordant avec la classification plus « classique » des diatomées (**Cox, 2009**). Il ne semble pas que les incertitudes quant à la classification puissent être résolues rapidement par l'application des méthodes moléculaires, car ces méthodes présentent elles aussi des difficultés et ne donnent pas de résultats incontestables (**Medlin, 2010**). De plus, la diversité des diatomées ne permet pas pour l'instant une analyse exhaustive des différents marqueurs moléculaires utilisables pour un nombre suffisant d'espèces.

Tableau 1 Diversité des taxons des différents types d'algues (**Adrien, 2015**).

Groupes	Taxons	Nombre d'espèce reconnue	Nombre d'espèce estimée
Algue rouge	Rhodophyceae	4 000-6 000	5 500-20 000
Algue verte	Prasinophyceae	140	500
	Ulvophyceae	1 100	3 000
	Chlorophyceae	2 600	10000-100000
	Conjugatophyceae	10 000-12 000	20 000
	Charophyceae	350	500
Algue chromophyte	Bacillariophyceae	10 000-12 000	100000-1000 0000
	Bicosoecophyceae	< 50	1 000
	Chlorarchniophyceae	3-10	20
	Chrysophyceae	1 200	2 400
	Dictyochophyceae	10	15
	Eustigmatophyceae	12	1 000-10 000
	Phaeophyceae	1 500	2 000
	Prymnesiophyceae	500	2 000
	Raphidophyceae	15	100
	Synurophyceae	135-250	1 000
	Xanthophyceae	600	2 000
	Dinoflagellates	2 500-4 000	3 500-11 000
	Euglenophytes	900	2 000
	Cryptophytes		1 200
	Glaucophytes	13	50

Elles font partie du phylum de Chrysophycophyta (ou algues jaunes et brunes) et de la classe des Bacillariophycées (ou Diatomophycées). Au moins 12 000 espèces de diatomées ont été décrites mais leur nombre serait nettement supérieur (**Graham et Wilcox, 2000**).

Elles vivent dans l'eau, isolées ou en colonies, soit en suspension (pélagiques), soit sur le fond (benthique) ou encore fixées à des supports divers (Loir, 2004).

Il existe un grand nombre de classifications des Diatomées plus ou moins empiriques. L'une d'elles, par exemple, se fonde sur la disposition fixe de l'endochrome et sur son rapport avec la forme des valves; les Diatomées y forment deux grands groupes: les Placochromaticées à endochrome lamelleux et les Coccochromaticées à endochrome granuleux. Une autre classification repose sur l'ornementation qui peut être radiale ou à symétrie bilatérale; dans le premier cas, on parle de Centriques ou Bidulphiales, dans le second de Pennées ou Bacillariales. On distingue deux ordres:

- ◆ Les *Pennatophycideae* (Pennées), unicellulaires ou à l'état de colonies non filamenteuses (genres *Asterionella*, *Diatoma*, *Navicula*, *Nitzschia* par exemple);
- ◆ les *Centrophyccideae* (Centriques), unicellulaires qui se présentent en colonies filamenteuses (genres *Cyclotella* et *Melosira* en particulier). Au sein de la sous-classe des pennées, on différencie les espèces selon la présence et le nombre de raphés (fig. 6) :
 - les araphidées, sans raphé
 - les biraphidées, avec un raphé sur chaque valve
 - les monoraphidées, où seule une valve possède un raphé, l'autre valve ne présentant au plus qu'une ligne médiane appelée **pseudo raphé**.

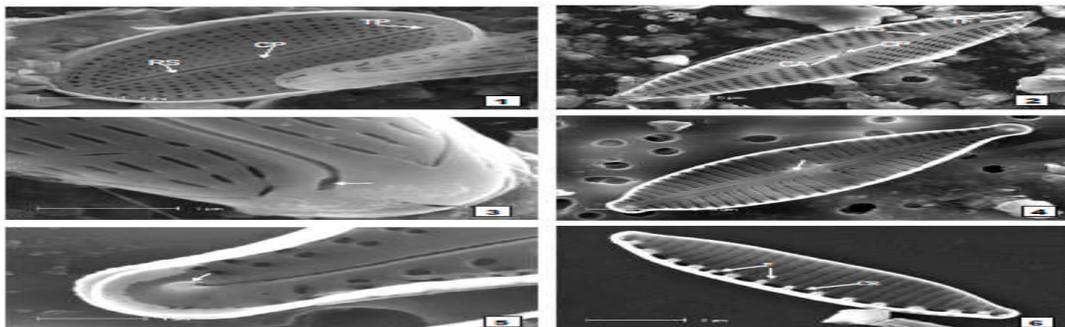


Figure 6 Photos représentant les différentes structures des clés de détermination des diatomées (Adrien, 2015).

- 1: *Cocconeis pediculus*, showing the most simple form of median raphe - round central (CP) and distal pores (TP) delimit the raphe slit (RS) proximally and distally.
- 2: *Navicula cryptotonella* showing the elements of a median raphe, the central area (CA), raphe slit (RS), central pore (CP) and terminal fissure (TF).
- 3: *Navicula* sp. showing round distal broadening of the terminal fissure (arrow).
- 4: *Gomphonema parvulum* showing the internal dorsal deflection of the raphe slit (arrow) in the central area.
- 5: Apical pole of *Gomphonema parvulum* showing the terminal nodule with lip-like process the helictoglossa (arrow).
- 6: Canal raphe system of *Nitzschia* sp. showing the principal elements, raphe slit (CR) and fibulae (F).

5. Classification des diatomées

On compte entre 5000 et 12000 espèces. Le tableau 2 donne une vision plus élargie de cette sous-classe, en la divisant en trois sous-classes. Aux Bacillariophycées, s'ajoutent ainsi les sous classes des Coscinodiscophycées et des Fragilariophycées :

Tableau 2 Classification des diatomées (**Round *et al.*, 2007**).

Classe	Ordre
Bacillariophycées	Achnanthes
	Bacillariales (Bacillaria)
	Centrales
	Cymbellales
	Eunotiales
	Mastogloiales
	Naviculales
	Pennales
	Rhopalodiales
	Surirellales
	Thalassiophysales
Coscinodiscophycées	Anaulales
	Arachnoidiscales
	Astérolamprales
	Aulacoséirales
	Biddulphiales
	Chaétocérotales
	Coréthrales
	Coscinodiscales
	Cymatosirales
	Ethmodiscales
	Hemiaulales
	Leptocylindrales
	Lithodesmiales
	Melosirales
	Paraliales
	Rhizosolénciales
	Thalassiosirales
	Tricératiales
Fragilariophycées	Climacosphéniales
	Fragilariales (Diatoma, Fragilaria),
	Licmophorales
	Protoraphidiales
	Rhabdonematales
	Rhaphonéidales
	Striatellales
	Tabellariales
	Thalassionematales

5.1 La problématique de l'identification et de la classification des diatomées

L'identification des spécimens s'avère délicate, même pour les spécialistes. En effet, les diatomistes doivent prendre en compte plusieurs phénomènes importants :

- Lors de sa reproduction, une diatomée se divise en deux valves pour poursuivre son cycle de vie.
- Les deux nouvelles diatomées sont plus petites et de formes différentes de la précédente, alors qu'elles sont issues d'une même cellule (Guo *et al.*, 2004), (Locke *et al.*, 2003).
- Les différences de motifs entre les espèces nécessitent l'œil d'un spécialiste (Locke *et al.*, 2003) car l'erreur de classification à l'œil nu varie de 20 à 30 % (Guo *et al.*, 2004).
- -Le nombre d'espèces connues est considérable (près de 11 000), ce qui complique l'identification.

6. Écologie et habitats des diatomées

Les diatomées sont abondantes dans les océans, les lacs, les étangs et les cours d'eau ainsi que dans les tourbières et autres environnements humides. Les diatomées sont responsables d'environ 20 % de la fixation globale du carbone et d'environ 20 % de la production d'oxygène atmosphérique. Certaines espèces vivent en suspension dans la colonne d'eau (diatomées planctoniques), alors que d'autres se fixent à un substrat (diatomées périphtiques). (Lavoie *et al.*, 2008).

6.1 **Mode de vie en milieu aquatique:** Selon Debenest (2007), on distingue:

6.1.1 Les Diatomées planctoniques

Les diatomées planctoniques libres dans la colonne d'eau qui constituent l'essentiel du phytoplancton dans les parties inférieures des cours d'eau (milieux lentiques, canalisés), et les milieux lacustres et marins. Mises à part quelques formes pennées, les diatomées planctoniques sont surtout représentées par les diatomées centriques isolées ou associées en chaînes. Parmi les quelques formes pennées du phytoplancton se trouvent des colonies rubanées ou étoilées.

Ainsi, les diatomées planctoniques sont souvent absentes dans la partie supérieure des cours d'eau et deviennent prédominantes dans les parties moyenne et inférieure des rivières

lentes et dans les canaux. Dans les eaux courantes, les planctoniques sont peu abondantes et sont représentées par peu de genres et d'espèces (Prygiel et Coste, 2000).

D'après Lavoie *et al.*, (2008), chez les algues périphytiques, les différentes espèces présentent dans le biofilm ainsi que les différents modes d'attachement forment une structure tridimensionnelle composée de plusieurs strates distinctes (fig 7). La disponibilité des ressources (espace, nutriments, lumière, etc.) et le niveau de perturbation sont des facteurs importants pour le développement et l'architecture du bio film. Par ailleurs, on retrouve généralement les cellules de petite taille à la base de la matrice (fig 7a) dont certaines sont logées dans le relief du substrat et d'autres espèces sont fixées à plat sur le substrat, par-dessus cette couche initiale de cellules pionnières (7b). Certains taxons sont fixés à la verticale (7c) ou sur un pédoncule (7d) et se développent en s'éloignant du substrat d'attachement. Le bio film contient également des taxons qui croissent entremêlés dans la matrice (faiblement attachés) (7e) ou fixés à d'autres taxons (7f). Enfin, certaines cellules vivent attachées aux algues filamenteuses et aux macrophytes qui recouvrent parfois le substrat (épiphytes).

Les facultés d'adaptation et de survie de ces micro-algues leur confèrent une très grande ubiquité. Les diatomées sont présentes non seulement dans les milieux aquatiques (marins et continentaux) mais aussi dans les milieux aériens (espèces aérophiles) et terrestres (sols, paroi de cavernes) (Prygiel *et al.*, 2000; Berard *et al.*, 2004). Lorsque les conditions deviennent trop défavorables (sécheresse, lumière, nutriment), des spores de repos sont produits par la cellule. Dès que les conditions optimales sont rétablies, ces spores germent pour donner une cellule identique (Quéguiner, 2007).

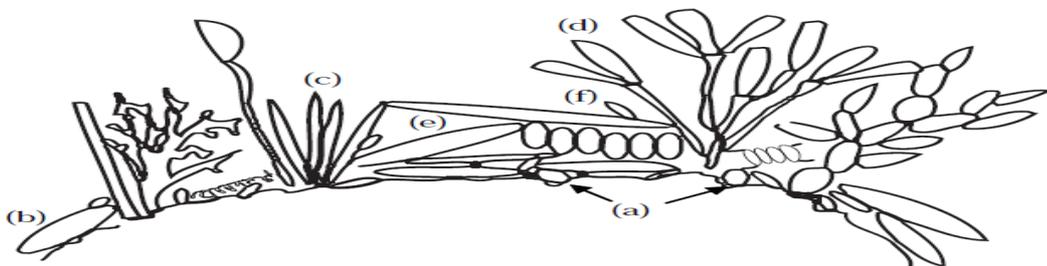


Figure 7 Diagramme représentant les strates du biofilm sur la surface d'une roche (Lavoie *et al.*, (2008)).

(a) Cellules de petite taille à la base de la matrice. (b) Cellules fixées à plat sur le substrat (c) Cellules fixées à la verticale. (d) Cellules fixées sur un pédoncule. (e) Cellules entremêlées dans la matrice, faiblement attachées. (f) Cellules fixées à d'autres taxons.

6.1.2 Les diatomées benthiques :

Se sont des qui vivent fixées à la surface des objets immergés à une profondeur correspondant à la zone photique des cours d'eau, où la lumière est suffisante pour assurer la photosynthèse. La nature du substrat détermine en général le type de communauté de diatomées qui s'y installent.

6.1.3 Les Diatomées périphytiques (benthiques)

Les diatomées benthiques vivent fixées à la surface des objets immergés à une profondeur correspondant à la zone photique des cours d'eau, où la lumière est suffisante pour assurer la photosynthèse. Les types de substrat déterminent des communautés diatomiques souvent très différentes. **Selon Prygiel et Coste, 2000.** On distingue ainsi :

- L'épipélon et l'endopélon constitués d'espèces libres vivant à la surface et dans le sédiment,
- L'épipsammon vivant à la surface des grains de sable,
- L'épilithon qui rassemble les espèces vivant sur les substrats durs et inertes (pierre, galets),
- L'épiphyton vivant à la surface des végétaux aquatiques,
- Le périphyton qui désigne est l'ensemble des organismes se développant en contact avec un support quelconque immergé

La matrice périphytique est donc riche en espèces et les processus écosystemiques y sont complexes. Les substances organiques et inorganiques en provenance du substrat et de l'eau diffusent au travers du biofilm. La compétition pour les matières nutritives et la lumière est importante. Les communautés périphytiques sont de plus soumises à une succession végétale qui est conditionnée, entre autres, par les saisons, l'érosion du biofilm par le courant, le broutement par les invertébrés et la compétition interspécifique.

7. Les facteurs physiques et chimiques qui conditionnent la vie et le développement des diatomées en milieu aquatique

Dans le milieu aquatique, le développement des diatomées est étroitement lié à la température, à l'intensité lumineuse, aux caractéristiques hydrauliques et physicochimiques, et par conséquent, aux variations saisonnières et annuelles du milieu. Les principaux facteurs qui influencent la structure, la biomasse et la distribution des communautés de diatomées sont le pH, la concentration en nutriments, la lumière, la température, le substrat, le courant et les variations du niveau de l'eau et le broutage (**Debenest, 2007**).

7.1 Le pH

Le pH est élément principal qui influence la composition et la distribution des espèces de diatomées (Xuet *et al.*, 1999; Potapova et Charles, 2002; Wunsam *et al.*, 2002;). Par ailleurs, différentes espèces de diatomées tolèrent un degré d'acidité spécifique et fournissent ainsi des données intéressantes sur le niveau d'acidification d'un cours d'eau même qu'elles répondent très rapidement à une acidification avec le retour à la normale nécessitant un plus grand laps de temps, (Hirst *et al.*, 2004).

L'eutrophisation peut dans ce cas provoquer une augmentation du pH. L'effet de l'eutrophisation sur le pH est moindre dans les cours d'eau ayant une concentration naturelle élevée en minéraux (Leland et Porter, 2000). La corrélation entre les diatomées et le pH a fait l'objet de plusieurs études qui prouvent la supériorité du pH dans l'organisation des diatomées et confirmé les optimums et les tolérances des espèces pour évaluer le pH à partir des communautés de diatomées. Les diatomées peuvent être classifiées en sept groupes distincts selon leur gradient optimal de pH (Van Dam *et al.*, 1994) (tab. 3).

Tableau 3 Classification des diatomées selon leur gradient optimal de pH (Van Dam *et al.*, 1994).

Classe	Gradient de pH
Acidobiontique	Optimal lorsque le pH < 5,5
Acidophile	Généralement lorsque le pH < 7
Circumneutre	Généralement lorsque le pH ~ 7
Alkaliphile	Généralement lorsque le pH > 7
Alkalibiontique	Exclusivement lorsque le pH > 7
Indifférente	Sans optimum apparent

7.2 L'intensité de la lumière

Les diatomées vivent là où la lumière du soleil peut pénétrer telle que dans la zone euphotique située entre la surface de la mer ou du lac et des profondeurs de l'ordre 200m. Une variable fondamentale pour les algues benthiques, est la lumière car elle permet aux diatomées d'assurer leurs photosynthèses, donc de transformer des composantes inorganiques en biomasse vivante, (Boumichi *et al.*, 1990). La capture de la lumière est donc pour elles primordiale. La lumière disponible influence la production du périphyton à la fois le long d'un gradient spatial de profondeur et selon la saison (Wetzel, 2001).

7.3 La Température

L'effet de la température sur les réactions biochimiques en fait un des facteurs les plus importants qui affectent les communautés périphtiques de milieu lotique et lentique (**De Nicola, 1996**), les interactions de la température avec d'autres facteurs complexes rendent les effets spécifiques de chacun difficiles à discerner. Les variations saisonnières de température (variations temporelles) influencent ainsi de façon importante la structure de la communauté algale. Par contre, à l'échelle régionale, l'effet de la température est rarement une variable déterminante de la structure d'une communauté puisque les variations de température dans une région (au cours d'une même saison) sont généralement moins importantes que les variations des autres variables environnementales (ou bien corrélées aux autres variables) (**Anderson, 2000**). Selon **De Nicola, (1996)**, bien que chaque espèce possède son propre gradient de température optimale, plusieurs études ont démontrées que les diatomées tendent à dominer entre 5 et 20 °C, les chlorophycées et xanthophycées entre 15 et 30 °C et les cyanophycées à plus de 30 °C (**Lamberti et Resh, 1985**) (tab. 4).

Tableau 4 Classification des diatomées selon leur gradient optimal de température (Lavoie *et al.*, 2008).

Classe	Gradient de température
Oligotherme	0 à 15° C
Mésotherme	15 à 30° C
Eutherme	30° C et plus
Sténotherme	$\Delta < 5$ °C
Méthatherme	$\Delta = 5$ à 15° C
Eurytherme	$\Delta > 15$ °C

7.4 Les sels dissouts

La salinité simule également le cycle de vie des diatomées. Leur capacité d'adaptation aux variations de la concentration saline en chlorures (NaCl, MgCl₂) est parfois élevée grâce à leur pouvoir d'osmorégulation (diatomées euryhalines) ou au contraire très limitée (diatomées sténohalines). La plupart des connaissances de la relation des diatomées avec la salinité proviennent des études de la composition des communautés prélevées dans des

eaux continentales fortement polluées, des estuaires, des mers intérieures et des lacs salins, (Reed, 1998), mais une réponse à la salinité est aussi observée dans les eaux douces (Leland et Porter, 2000; Potapova et Charles, 2002) présentant de faibles concentrations en sels dissous de salinité tel l'index halobionte de Ziemann (1971), qui utilise les préférences de salinité des diatomées pour évaluer les concentrations en sels dissous.

Le phosphore, l'azote et la silice sont généralement les nutriments les plus critiques pour la croissance des diatomées, mais d'autres éléments chimiques peuvent limiter la croissance sous certaines conditions (Hutchinson, 1967).

7.5 La teneur en silice

La silice est un nutriment majeur limitant la croissance des diatomées. C'est donc un facteur de contrôle de productivité primaire. Les diatomées ont besoin de la silice pour la construction de leur frustule. L'utilisation de la silice par les diatomées peut influencer fortement le flux de silice dans les lacs et les rivières. Aussi, la disponibilité de la silice peut influencer grandement le patron de succession des algues et la productivité dans les lacs et les rivières. Lorsque les concentrations en silice sont plus faibles que 0,5 mg par litre, plusieurs espèces de diatomées ne peuvent pas compétitionner efficacement avec d'autres algues non siliceuses (Wetzel et Likens, 2000). Selon Reynolds (1984), il est possible que les diatomées répondent plus rapidement à un manque de silice qu'à un manque de P ou de N. La silice est cependant un élément rarement limitant dans les rivières.

7.6 Substrat

Le substrat joue un rôle important dans l'établissement des communautés périphytiques car il peut fournir une stabilité face aux mouvements de l'eau et il y a parfois échange de nutriments entre le substrat et le périphyton (Allan, 1995). Les substrats artificiels sont utilisés dans le cadre d'études sur les 4 diatomées depuis près de 100 ans (Lane *et al.*, 2003). Cependant, une certaine controverse demeure à savoir si les communautés échantillonnées sur les substrats artificiels sont représentatives de celles retrouvées sur les substrats naturels. Plusieurs études se contredisent à ce niveau car selon Barbiero (2000), les substrats naturels montrent une plus grande richesse spécifique que les substrats artificiels alors que selon Lane *et al.* (2003), le degré de variation entre les deux types de substrats à l'étude n'est pas plus élevé que le degré de variation entre deux substrats naturels.

7.7 Vitesse de courant

Le courant joue un rôle majeur dans la distribution des plantes, des nutriments et au niveau du positionnement des substrats. Il a été démontré que plusieurs espèces de diatomées occupent un régime de courant spécifique (**Blum, 1960, in Allan 1995**), certaines espèces étant par exemple plus aptes que d'autres à s'attacher aux substrats sous un fort courant (**Allan, 1995**). **Peterson et Stevenson (1989)** ont comparé la colonisation par les diatomées en milieu de fort et de faible courant et ils ont remarqué que le nombre de diatomées, vivantes ou mortes, est beaucoup plus élevé en milieu de faible courant qu'en milieu de fort courant. Le courant peut avoir un effet positif sur une communauté périphytique car il permet le transport des nutriments vers les algues, mais il peut également avoir un impact négatif en détachant les algues de leurs substrats (**Stevenson, 1996**). Selon le même auteur le courant affecte plusieurs conditions de l'habitat telles que la taille des substrats, la lumière et la distribution des autres organismes (invertébrés brouteurs, poissons), qui à leur tour influencent directement le métabolisme et la distribution des algues

7.8 Les variations du niveau de l'eau

Les variations du niveau de l'eau peuvent grandement affecter les communautés de diatomées. Une baisse considérable du niveau de l'eau peut faire en sorte que certains substrats sont exposés à l'air libre et entraîner la mort des communautés sur ces substrats (**Debenest, 2007**). Cependant, certaines espèces de diatomées sont plus résistantes à la dessiccation et que le périphyton en rivière est assez bien adapté aux mouvements de l'eau et aux variations du courant (**Wetzel, 2001**).

7.9 Le broutage

La plupart des études citées dans **Allan (1995)** tendent à démontrer que le broutage joue un rôle mineur dans la limitation de la croissance du périphyton. Toutefois, lorsque les brouteurs ont été totalement éliminés à l'aide d'un insecticide dans un canal en Suisse (**Eichenberger et Schlatter, 1978, cité par Allan 1995**) et dans un ruisseau en montagne au Japon (**Yasuno et al., 1982, cité par Allan 1995**), une augmentation spectaculaire de la biomasse du périphyton a suivi. Dans la majorité des études citées par **Steinman (1996)**, la biomasse algale a diminué en présence d'herbivores. En effet, sur 93 études 6 d'interactions.

7.10 Les autres nutriments

Bien que l'azote et le phosphore soient les éléments les plus limitant pour la croissance des algues, plusieurs autres éléments sont essentiels. En effet, le carbone (sous forme de CO₂) est un élément déterminant de la photosynthèse (production de carbohydrates). L'apport de CO₂ est régulé par des processus physiques de diffusion dans l'eau et par des processus physiologiques d'assimilation (**Wetzel et Likens, 2000**). En effet, avec l'impact des changements globaux, le cycle du carbone semble être celui qui est le plus directement impliqué avec des effets négatifs probables sur de nombreux écosystèmes (**Bauer et al., 2013**). Le CO₂ libre peut être limitant dans les communautés d'algues benthiques lorsque le biofilm devient très épais et dense ou lorsque le pH est supérieur à 8,5 (**Wetzel et Likens, 2000**).

Le calcium est essentiel au maintien de l'intégrité structurale et fonctionnelle des membranes cellulaires. Le magnésium est également nécessaire à la photosynthèse pour le transfert du phosphate impliquant l'adénosine triphosphate (ATP). Dans les plantes, le magnésium sert de métal de transition au cœur du centre réactif de la molécule de chlorophylle. Cet élément est généralement abondant par rapport aux besoins des plantes et n'est pas considéré comme étant limitant. Et le potassium est un activateur d'enzyme essentiel aux cellules. Le sulfure est important pour la structure des protéines. L'ion chlorure est nécessaire aux cellules photosynthétiques pour la photolyse de l'eau afin de produire de l'oxygène, pour la formation d'ATP et pour certaines réactions de phosphorylation. De même que certains éléments trace sont aussi indispensables à la croissance des algues tels que le fer (processus enzymatiques cellulaires), le manganèse (PSII, respiration...), le zinc (réactions enzymatiques), le cuivre (catalyseur), et le cobalt (vitamine B12) (**Wetzel et Likens, 2000**).

7.11 La pollution organique

La quantité de matière organique et la concentration en O₂ dissous peuvent être caractérisées par la saprobie (**Soizic, 2007**). La saprobie est l'ensemble des propriétés physiologiques d'un organisme conditionnant sa capacité à se développer dans un système pollué par la matière organique. Certaines espèces de diatomées sont mixotrophes et absorbent des composés organiques (par exemple azote organique) (**Cerón et al. 2000**). Cela a amené certains auteurs tels **Van Dam et al., 1994** à classifier les espèces de diatomées selon leurs capacités d'autotrophie ou d'hétérotrophie (facultative ou obligatoire) par rapport à l'azote organique.

Les diatomées répondent fortement et rapidement aux concentrations en nutriments, elles sont de bons bio-indicateurs du statut trophique d'un cours d'eau. On distingue ainsi trois groupes de diatomées en fonction de la richesse du milieu en éléments nutritifs : les diatomées oligotrophes (espèces faiblement tolérantes à l'enrichissement en éléments nutritifs), mésotrophes (espèces supportant des concentrations modérées) et eutrophes (espèces caractéristiques des milieux riches en éléments nutritifs). (Berthon *et al.*, 2010).

8. Mode de vie des diatomées

Dans un même biotope, sur un même substrat, les communautés de diatomées évoluent au cours des saisons. Au début du printemps, se développent des espèces pionnières (*Achnanthesp.*, *Cocconeissp.*), principalement des pennées de petite taille, capables d'adhérer très étroitement, sur toute la surface de leur valve, au substrat (Korte *et al.*, 1983; Ghosh *et al.*, 1998; Sekar *et al.*, 2004).

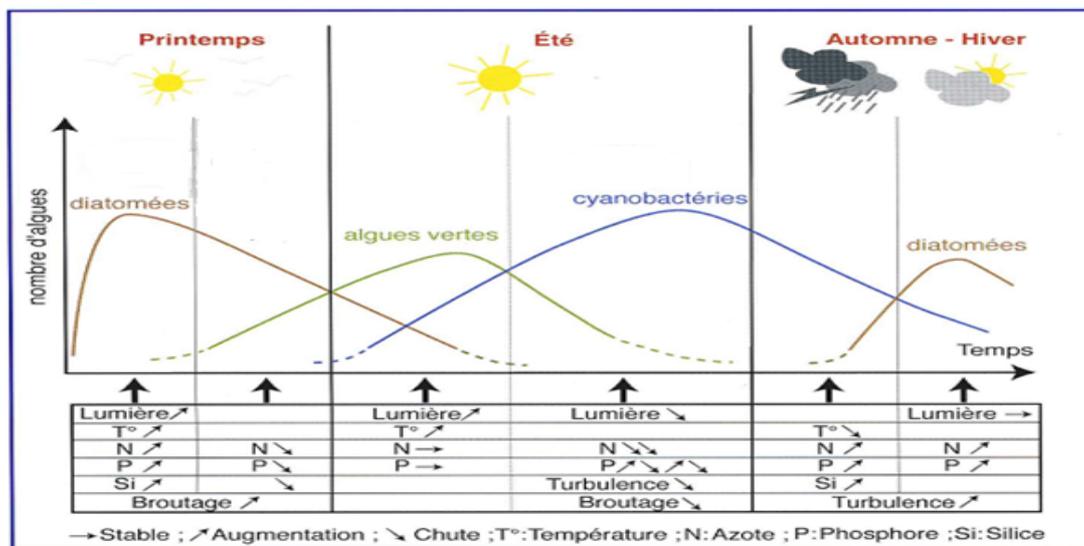


Figure 8 Représentation schématique de l'évolution saisonnière des peuplements algaux (Leitão *et Couté* 2005).

Les diatomées dominent alors les peuplements algaux, les conditions trophiques et les débits encore importants au début du printemps leur étant favorables (fig 8) (Leitão *et al.*, 2005). Dès que ces conditions disparaissent, les diatomées sont supplantées par les algues vertes et les cyanobactéries (Debenest, 2007).

L'accroissement du broutage du zooplancton et des macro-invertébrés benthiques contribue aussi à ce déclin (Leitão *et al.*, 2005). Vers le milieu de l'hiver, les conditions étant

trop défavorables au développement des autres groupes algaux, les diatomées reprennent l'avantage, les forts courants favorisant la croissance de certaines espèces de diatomées (*Gomphonema parvulum* (Kützing), *Achnanthes* sp.) (**Ghosh *et al.*, 1998**).

Les communautés de diatomées sont donc soumises à de perpétuelles réorganisations saisonnières en fonction des conditions du milieu. Leur capacité à se développer très rapidement, durant des périodes où la compétition est faible avec les autres algues, procure un avantage significatif à ces micro-algues et peut expliquer l'importance qu'elles occupent dans les écosystèmes aquatiques (**Debenest, 2007**).

9. Place des diatomées dans l'écosystème

Dans tous les milieux, marins comme continentaux, les diatomées sont des producteurs importants de matière organique. La part des diatomées marines dans la production primaire à l'échelle de la planète sur un an oscille ainsi entre 25 et 45% selon les estimations (**Nelson *et al.*, 1995**; **Van Den Hoek *et al.*, 1995**; **Quéguiner, 2007**). Dans certains cas, lorsque la puissance du courant limite le développement des autres algues, la production primaire est essentiellement le fait des diatomées, la biomasse algale étant dominée par ces micro-algues (**Ghosh *et al.*, 1998**).

Par conséquent, les diatomées jouent un rôle fondamental à la base des chaînes trophiques comme source de nourriture pour de nombreux organismes brouteurs (protozoaires, macroinvertébrés, poissons benthophages) et les organismes filtreurs (**Round *et al.*, 1990**; **Stevenson *et al.*, 1999**).

10. Utilisation des diatomées

Les diatomées sont couramment utilisées en aquaculture, pour le nourrissage du naissain des bivalves en éclosion. Certaines espèces au contenu lipidique riche en acides gras poly-insaturés peuvent faire l'objet d'une culture spécifique en vue d'entrer dans la composition de compléments alimentaires (**Guihéneuf *et al.*, 2010**).

Par ailleurs, l'étude des diatomées fossiles, qui peuvent former une roche nommée diatomite, sert en paléontologie pour la reconstitution des paléo-environnements (**Smol et Stoermer, 2010**). Cette diatomite a de nombreuses utilisations industrielles, comme composante de filtres, d'abrasifs, d'absorbants, d'insecticides (**Vizinet et de Reviers, 1995**).

L'indice biologique de diatomées (IBD) a été normalisé par l'AFNOR dès 1996, afin de mesurer la qualité des eaux ainsi que son évolution spatio-temporelle, par l'étude des populations de diatomées. Les frustules des diatomées sont de plus en plus étudiés en vue d'application nanotechnologiques (**Gordon *et al.*, 2008**). Enfin, les diatomées servent en médecine légale dans le diagnostic des noyades (**Ludes et Coste, 1996 ; Jehl, 2004**).

Chapitre II: La Pollution de L'eau

1 Introduction

La dégradation de l'environnement est l'une des manifestations les plus fortes de la pollution. C'est un changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physicochimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines. Elle prend de plus en plus d'ampleur du fait des rejets permanents évacués sous forme de gaz ou de liquides divers. Ainsi, l'état de santé des cours d'eau est en permanence susceptible d'être influencé par des rejets polluants non traités (eaux usées domestiques, effluents industriels agricoles) qui affectent la qualité des eaux et bouleversent la biodiversité de leurs écosystèmes (**Winter et Duthie, 1998; Beyene et al., 2009**).

La pollution s'exprime particulièrement dans les eaux de surface soit par une réduction de la teneur en oxygène dissout qui peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de la faune et la flore aquatique soit par la présence de produits toxiques rejetés sous différentes formes, (**Lacoursière, 2008**). Ces derniers incitant des effets néfastes sur les organismes soit une conséquence immédiate ou à court terme emmenant à la mort rapide des différents organismes ou bien la seconde conséquence différée ou à long terme conduisant à une accumulation des substances chez certains organismes.

Alors que **Teresa et al., (2013)**, montre qu'une prolifération d'algue peut devenir extrêmement gênante en démarrant le processus d'eutrophisation avec augmentation de la turbidité de l'eau, de la salinité et de la température. Selon, **Gaid, (1984)**, l'eutrophisation est un enrichissement des eaux en substances nutritives qui aboutit généralement à des modifications symptomatiques telles que la production accrue d'algues et autres plantes aquatiques, dégradation de la pêche, détérioration de la qualité de l'eau ainsi que tous les usages qui en sont fait en général.

2 Sources de pollution des eaux et Les principaux polluants

Il existe diverses sources de pollution de l'eau une des plus importantes reste son utilisation à grande échelle industriel. On peut distinguer généralement trois principales sources de pollution des milieux aquatiques: les eaux urbaines, les eaux domestiques, les eaux agricoles et les eaux industrielles (**Thi Le Nhung, 2008**).

2.1.1 Pollution d'origine urbaine

Provoquée par les rejets urbains résultant de la collecte et du traitement des eaux usées (ce qui descend doit monter) des dépôts d'ordures ménagères, des activités domestiques,

artisanales et tertiaires ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines (tous ce qui monte doit descendre sous forme de pluies acides), **(Defranceshi, 1996)**. En hydrologie urbaine, l'eau pluviale ou l'eau de pluie récupérée après ruissellement, s'évapore ou s'infiltre dans le sous-sol après son arrivée au sol. La part prise par chaque processus dépend de la température, de la nature du sol, notamment de sa perméabilité. Au cours de son parcours vers son exutoire (ruissellement - canalisations - rivières), la pluie se charge de différents dépôts polluants, notamment sous forme particulaire et le ruissellement constitue une source majeure de particules en suspension, de matières organiques et surtout des polluants métalliques, notamment de plomb et de zinc (issus des toitures), **(Miquel, 2008)**. .

2.1.2 Pollution d'origine agricole

L'agriculture constitue la première cause de pollution diffuse des ressources en eau. Au début des années 1960, les agriculteurs ont eu recours à l'agriculture intensive, avec pour conséquence la pollution des eaux des sols. Les activités agricoles sont, en particulier, largement impliquées dans les apports d'azote et, surtout, de ses dérivés, nitrates et nitrites, que l'on trouve en forte concentration dans les produits phytosanitaires. Le stockage et l'épandage d'engrais chimiques et certains pesticides sont majoritairement à l'origine de la pollution agricole **(Ramade, 2000)**.

Les déjections animales issues de l'élevage, contiennent des matières organiques, matières azotées et phosphore pouvant poser des problèmes de pollution des eaux superficielles et souterraines dans les zones d'élevage intensif. **(ASEF, 2010)**. Les matières organiques fermentescibles (MOF) constituent une cause majeure de pollution biologique car les déchets humains et animaux disséminent dans les milieux naturels une quantité de virus, de bactérie et parasite qui peuvent être pathogènes **(Gomila et al, 2002)**.

Les pesticides d'origine agricole les plus souvent quantifiés sont les herbicides. Bien que moins fréquents que les herbicides, une présence significative d'insecticides et de fongicides utilisés en traitement de grandes cultures est mise en évidence dans l'eau des rivières. **(ASEF, 2010)**. Certains pesticides comme l'organophosphate et le carbamate affectent le système nerveux. Les pyréthroïdes des molécules synthétiques pouvant être mortelles pour les espèces aquatiques, d'autres irritent la peau et les yeux. Quelques-uns peuvent être cancérigènes et d'autres affectent le système hormonal dans le corps humain. **(FEPS, 2004)**.

Le phosphore est faiblement soluble et peu volatil. Il est donc largement retenu dans le sol. Pourtant, la faible part annuellement perdue (0,5 à 3 kg par hectare) provoque une forte augmentation de concentration dans les cours d'eau, avec son cortège de déséquilibres écologiques graves. (ASFE, 2010). Par ailleurs, le phosphore élément limitant de la croissance des plantes, est le principal facteur de l'eutrophisation et de la détérioration de la qualité des eaux. De très faibles teneurs en phosphore (quelques dizaines de mg/l) peuvent constituer un polluant dangereux. L'usage de phosphore dans l'agriculture, lié à l'utilisation d'engrais, contribue ainsi à la pollution des eaux superficielles. (Gilles *et al.*, 2005).

La contamination de l'eau par les nitrates est l'un des principaux problèmes liés aux activités agricoles car 66% de la pollution aux nitrates est d'origine agricole et seulement 12% d'origine industrielle. La recherche des nitrates dans les eaux est un bon indicateur de qualité des eaux brutes. De part leur origine anthropique tels que les apports d'engrais, de déjection animale ou de rejets d'eaux usées, ils font suspecter la présence d'autres contaminants biologiques ou chimiques tels les pesticides, (Gareau *et al.*, 1999; Gilles *et al.*, 2005).

2.2 Pollution d'origine industrielle

Les industries rejettent différents produits considérés comme des polluants non dégradants, parmi ces produits on trouve : les eaux usées industrielles hydrocarbures des raffineries, produits chimiques des industries chimiques, les rejets phénoliques et détergents...etc. (Defranceschi, 1996).

Parmi les polluants inorganiques rejetés en grandes quantités par l'industrie, on trouve les résidus de traitement de minerais, traitement de surface, traitement électrolytiques ... etc. Beaucoup d'entre eux sont riches en métaux lourds et sont donc très toxiques (Khalid, 2011).

La pollution toxique Certaines substances présentes dans les rejets industriels peuvent, même à dose infinitésimale, être dangereuses pour le milieu aquatique et pour l'homme (en cas de baignade ou d'ingestion). Les pollutions toxiques peuvent être classées en deux groupes suivant leur origine: les produits d'origine minérale, tels que les métaux ou métalloïdes (mercure, cadmium, plomb, arsenic...) et les produits d'origine organique tels que les produits de synthèse, les dérivés nitrés..., (Rodier, 1996 ; Gomila *et al.*, 2002).

La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux rejets industriels qui apportent de grandes quantités des polluants organiques et des sels de métaux lourds par les unités industrielles (Bouziati, 2000). Des éléments radioactifs dans l'eau en concentration

inadmissible, peut être d'origine naturelle (uranium, radium ...) ou artificielle (énergie nucléaire), à partir des rejets des installations des centrales nucléaires (**Defranceschi, 1996**).

3 Nature et suivi de la pollution organique

Les matières organiques nécessitent de l'oxygène pour leur métabolisation par les micro-organismes, cette demande en oxygène peut être représentée biologiquement ou chimiquement, suivant divers paramètres tels que :

-La DBO₅ (demande biologique en oxygène) est la quantité de pollution biodégradable qui correspond à la quantité d'oxygène (donnée en mg/l ou g/l) nécessaire, pendant 5 jours, pour la dégradation par les micro-organismes de la matière organique biodégradable contenue dans l'eau (**Koller, 2004**).

-La DCO (demande chimique en oxygène) est la quantité totale de pollution oxydable qui correspond à la quantité d'O₂ en mg/l ou g/l à fournir grâce à des réactifs chimiques puissants, pour oxyder les composés organiques présents dans l'eau (**Koller, 2004**).

4 Les ressources en eau et la en Algérie

En Algérie, les ressources en eau limitées, vulnérables et inégalement réparties, subissent depuis plus de deux décennies les effets néfastes de la sécheresse et de la pollution. L'accroissement brutal des besoins, les retards enregistrés dans les programmes de mobilisation et de transfert d'eau et l'absence d'outils de planification et de gestion, ont généré des situations de déficit chronique, et se sont répercutés de façon négative sur le développement socio- économique de notre pays. (**Rouissat, 2010**).

L'Algérie compte 17 bassins-versants (Fig.5). Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants surtout que l'utilisation de l'eau est liée aux activités économiques (**kadi, 1997**).

Les 11 bassins versants exoréiques de l'Algérie du Nord couvrant une surface de 130 000 km² présentent des potentialités en eaux de surface de 11.109 m³ dont seulement 2,13.109 sont mobilisés par les 98 barrages en fonctionnement en 1995. Les besoins estimés en 2010, par exemple, sont de 9,384. 109 m³ se décomposent en 1,524.109 m³ pour l'eau potable (AEP), 0,23.109 m³ pour l'industrie (AEI) et 7,63.109 m³ pour l'agriculture (AEA).

La population Algérienne était de 23 millions en 1987 et sera de 46 millions en 2020, soit une consommation en eau potable et industrielle de l'ordre de 6 milliards de m³/an, alors que la mobilisation réelle, à l'époque, était à peine de 3 milliards de m³. Cela signifie qu'il faut mobiliser, uniquement pour ces deux secteurs, 3 milliards de m³ supplémentaires, sans inclure les eaux d'irrigations ni les fuites dans les conduites, soit au total 10 milliards de m³ d'eau, un réel défi à relever mais surtout une stratégie et une politique à définir. **(Boudjadja et al., 2003) ; (Rouissat, 2010).**

Les Eaux souterraines constituent le réservoir essentiel des eaux estimées à 5 milliards de m³ dans les régions Sahariennes et 2 milliards m³ au nord algérien (Tab.1), tandis qu'on constate que leur teneur en nitrate augmente jusqu'à dépasser les normes de potabilité (exemple dans le bassin de Chelif, de Sidi bel Abbas, et de Mazafran qui présentent des concentrations élevées variant entre 77 et 175mg.l⁻¹). Dans l'algérois, les concentrations de chlorure des eaux souterraines dépassent 335mg.l⁻¹ égale à celle de la région orientale du pays (plaine de Kissir, de Bourchaid, de Soumam et Oued Kebir), **(Bouadjadja et al., 2003) ; Bouchedja, 2012)**. Par ailleurs, estimées à 0,2 milliards m³ au Sud et 10 milliards m³ au Nord du pays, les ressources superficielles sont moins touchées que les eaux souterraines.

D'autre part, les sécheresses répétées, ont eues un impact sur les potentialités en eau superficielle du nord du pays avec une baisse tendancielle:

- 6,5 Mds de m³/an à la fin des années 70.
- 5 Mds de m³/an dans les années 80.
- 4 Mds de m³/an dans les années 2000.

Tableau 5 La ressource en eau dans les régions hydrographiques en Algérie **(Bouchedja, 2012)**.

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux Souterraines	Total de la ressource
Oranie - Chott Chergui	1 milliard de m ³	0.6 milliard de m ³	1.6 milliard de m ³
Chelif - Zahrez	1.5 milliard de m ³	0.33 milliard de m ³	1.83 milliard de m ³
Algérois - Hodna - Soumam	3.4 milliard de m ³	0.74 milliard de m ³	4.14 milliard de m ³
Constantinois - Seybouse - Mellegue	3.7 milliard de m ³	0.43 milliard de m ³	4.43 milliard de m ³
Sahara	0.2 milliard de m ³	5 milliard de m ³	(il s'agit de la nappe albienne)

Selon **Boudjadja et al., 2003**. La qualité chimique des eaux de l'Algérie du Nord est appréciée par les teneurs en nitrates et en chlorures des aquifères côtiers. Cette dégradation est due principalement aux plusieurs facteurs :

- la majorité des unités industrielle est dépourvue d'infrastructure de prétraitement et leurs rejets ne font l'objet d'aucune contrôle ;
- Le rejet des réseaux d'assainissements se font a ciel ouvert dans les oueds et atteignent donc facilement les nappes phréatique ;
- les agriculteurs réalisent leur travaux d'amendement de manière empirique par manque de soutien technique, ce qui fournit à l'environnement des quantités incontrôlées de nitrate en particuliers
- l'absence d'une véritable politique environnemental.

Exemple de la wilaya d'Annaba avec une pollution du réseau hydrographique originaire surtout des industries métallurgique (SIDER), pétrochimique (ASMIDAL) et agroalimentaire (ORELAIT), suite de la mise en place hâtive d'installations industrielles. Ces dernières acheminent des déchets toxiques (polluants) souvent non traités vers les cours et les oueds tels que la Seybouse, oued Bedjima et oued Boudjamaa, et provoquent des maladies transmissibles liées a l'eau comme l'Hépatite virale et la Fièvre typhoïde. (**Ben Derradji et Krika, 2001**)

4.1 Stratégie Et Contrôle De La Pollution en Algérie

D'après **kadi 1997**. On ne peut parler de la lutte contre la pollution en Algérie, on n'est pas encore à ce stade. Par contre, on est au stade du constat des différentes pollutions notamment par le biais des maladies hydriques.

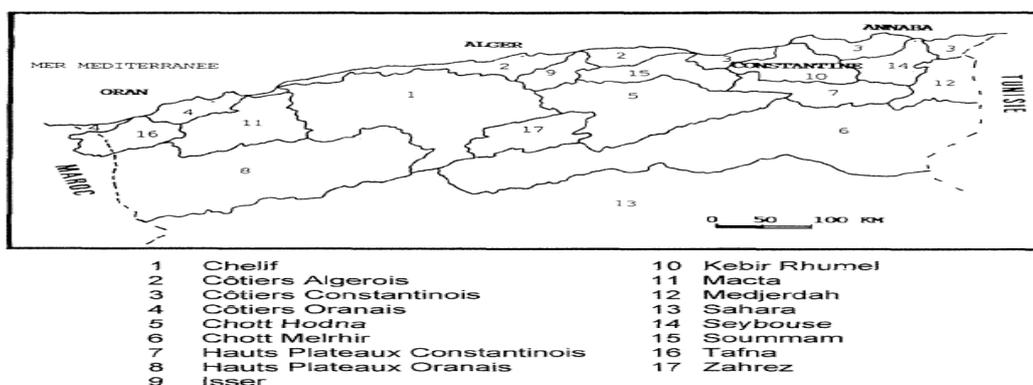


Figure 09 Les bassins versants en Algérie, (les chiffres représentent les bassins et leurs noms géographiques).

Rouissat (2012), synthétise La politique engagée vise à créer un outil de décision à moyen terme, actualisable ultérieurement sans intervention extérieure, pour le développement et la gestion des ressources hydriques de l'Algérie. Elle s'articule autour des concepts suivants :

- Préciser l'étendue et la qualité des ressources hydriques y compris les ressources non conventionnelles,
- Evaluer les demandes en eau, aujourd'hui et à l'avenir,
- Dresser l'inventaire des infrastructures existantes et projetées, identifier de nouvelles potentialités et engager les actions pour leur mobilisation et transfert,
- Confronter, d'une manière dynamique, les ressources et les besoins et chiffrer les coûts et les bénéfices de chaque variante ainsi que son impact sur l'économie nationale,
- Examiner le cadre institutionnel pour la gestion et protection de la ressource.

Face à cette situation, et afin de relever les défis que posent les problèmes de l'eau en Algérie, il y a lieu de mettre en place une nouvelle politique de l'eau, fondée sur des principes nouveaux de gestion intégrée de la ressource, ainsi que sur des réformes institutionnelles, juridiques et organisationnelles profondes, en adéquation avec la gravité des problèmes à résoudre. **Rouissat, 2012; Derradji et Krika, 2001 ; Boudjadja et al., 2003 et Bouziani, 2000** proposent une gestion des ressources d'eau en Algérie :

- Petite et moyenne hydraulique: Notamment les petits barrages et retenues collinaires qui sont réalisés pour tenir compte du caractère éparse des petits périmètres d'irrigation et dont leur fonctionnement et rendement dans le système.
- Epurateur des eaux: Les stations d'épuration sont réalisées dans l'objectif d'épurer les eaux usées afin de protéger l'environnement, protéger des lacs de barrages contre la pollution et offrir aux terres agricoles à l'aval des eaux recyclées. Ces aménagements hydrauliques, intégrés dans leur environnement enregistrent des dysfonctionnements et les objectifs assainis au départ ne sont pas atteints, voir déviés.
- Dessalement des eaux de mer: En Algérie, les 13 unités en cours en construction garantiront plus de deux millions de m³/j à la population des régions côtières, et les quantités ainsi économisées sur les eaux des barrages serviront aux populations des autres Wilayas et même à l'agriculture. Toutefois, ces divers projets doivent être intégrés dans les schémas d'affectation actuels et futurs.

- Assainissement urbain en relation avec l'épuration des eaux: L'extension de la population et du tissu urbain constituent un axe fondamental, quant aux schémas directeurs d'AEP ou d'assainissement, elles permettent de définir l'ossature globale des réseaux primaires et de l'implantation des systèmes d'épuration. La projection des artères d'assainissements futures en fonction des axes d'extension doit impérativement débuter par une analyse de l'ossature globale du réseau d'assainissement, de son évolution dans le temps ainsi que des divers impacts de cette extension.
- Mobilisation superficielle par les grands barrages: Les aménagements de barrages, érigés dans un système complexe, doivent intégrer obligatoirement l'environnement proche et lointain lié à leur réalisation à l'amont et à l'aval et non considérés seulement comme infrastructure intrinsèque. Beaucoup de paramètres peuvent compromettre, d'une manière totale ou partielle leur fonctionnement, rentabilité et viabilité.
- Réseau de distribution de l'eau potable: Dans l'absence de schémas directeurs maîtrisés et cohérents relatifs à l'extension du tissu urbain et du développement des agglomérations, les infrastructures hydrauliques se trouvent souvent confrontées à des contraintes quantitatives de distribution. Les extensions des réseaux, les piquages, non initialement prévus, les ouvrages de stockage connectés à posteriori constituent dans la plupart des cas des entraves au bon fonctionnement des réseaux de distribution et de leur rentabilité économique.

5 Les Diatomées en Algérie

L'Algérie présente une richesse floristique importante des plantes vasculaires largement étudiée et connue dans ses grandes lignes. Par contre, pour la flore cryptogamique, les études sont très peu nombreuses. En effet, les travaux réalisés dans ce domaine affichent encore des lacunes sur les connaissances taxonomiques. Toutefois, les études sur les diatomées benthiques d'Algérie restent vraiment rares alors que les recherches les concernant, ont commencé il y a plus d'un siècle par Montagne en 1846 et Ehrenberg 1854 (**Nehar *et al.*, 2015**) repris récemment par (**Baudrimont, 1974**) qui a concouru à l'enrichissement de l'inventaire des diatomées des eaux douces d'Algérie.

Néanmoins, ces dernières années, de nombreux chercheurs ont entrepris d'étudier, d'enrichir l'inventaire des diatomées d'une part et d'évaluer la qualité de

l'eau à travers les indices biologiques diatomiques, dans différentes régions en Algérie, (**Lange-Bertalot et al., 2009; Chaib et al., 2012; El haouati et al., 2015 ; Nehar et al., 2015; Negadi et al., 2018**).

Selon **Blandin (1986)**, la définition bio-indicateur est la suivante : « Un indicateur biologique (ou bio-indicateur) est un organisme ou un ensemble d'organismes qui par référence à des variables biochimiques, cytologiques, physiologiques, éthologiques ou écologiques permet, de façon pratique et sûre, de caractériser l'état d'un écosystème ou d'un écosystème et de mettre en évidence aussi précocement que possible leurs modifications, naturelles ou provoquées ».

Alors que **Garrec et Van Haluwyn (2002)**, donnent un sens plus restrictif au terme de bio-indicateur dans la mesure où ils le considèrent comme un simple relais ne faisant référence qu'à des effets observables au niveau de l'individu se traduisant par des altérations morphologiques, tissulaires ou physiologiques (croissance et reproduction).

Les bio-indicateurs sont utilisés pour déceler les changements qui surviennent dans l'environnement et la présence de pollution, mesurer les effets de ces perturbations sur l'écosystème et surveiller les améliorations de la qualité de l'environnement résultant de la prise de dispositions refédératrices (**Benoit-Chabot, 2014**).

Les premières expériences d'évaluation biologique de la qualité de l'eau datent des travaux remarquables de **Kolkwitz et Marsson (1908)**, qui créèrent le premier système saprobique par la reconnaissance d'un grand nombre d'organismes indicateurs pour des zones spécifiques polluées organiquement. Selon **Sládeček (1973)**, un système saprobique peut être défini comme un système d'organismes aquatiques (bactéries, plantes et animaux) qui indiquent différents niveaux de qualité de l'eau par leur présence. Le concept d'indicateurs biologiques provient du système saprobique proposé par **Kolkwitz et Marsson (1908)**, qui ont développé l'idée de la saprobité dans les rivières comme mesure du degré de contamination par la matière organique (principalement les eaux usées) et la diminution de l'oxygène dissous. Les auteurs ont identifié cinq zones de pollution en utilisant des espèces caractéristiques, appelées catharobiques (eaux propres non polluées), oligosaprobies (zone à forte teneur en oxygène et faune et flore diverses), zones α - et β -mésosaprobies (zones de degré intermédiaire). Pollution), et polysaprobique (une zone fortement polluée par la matière

organique). Exemple de la classification des diatomées selon le système saprobique est indiquée dans le tableau de **van dam et al., 1994** (tab 6).

Tableau 6 Classification des diatomées selon la saprobie (**Van Dam et al., 1994**).

Saprobité Saturation	DBO5 (mg l ⁻¹)	O2 (mg l ⁻¹)
Oligosaprobe (oxidation complétée)	> 85	< 2
Beta-mésosaprobe	70 – 85	2 – 4
Alpha-mésosaprobe	25 – 70	4 – 13
Alpha-méso/polysaprobe	10 – 25	13 – 22
Polysaprobe (processus de réduction)	< 10	> 22

6 Les Diatomées : Indicateurs de pollution

La qualité d'un cours d'eau est déterminée par l'appréciation de ses trois composantes : eau, milieu physique, biologie. La qualité biologique a été jusqu'à ces dernières années appréciée essentiellement à partir des indices fondés sur les invertébrés. Des méthodes fondées sur les diatomées (algues) ont commencé à être utilisées sur les réseaux de mesure depuis 1990. Les indices utilisés, notamment l'IPS (indice de polluosensibilité) mis au point par le CEMAGREF, nécessitaient des connaissances approfondies de la systématique des diatomées (environ 1 000 espèces) (**Xu et al., 1999**).

Les programmes de bioévaluation des cours d'eau utilisant des bioindicateurs d'algues sont confrontés à la décision de l'assemblage à inclure: les diatomées, les algues non diatomées («molles») ou les cyanobactéries. Ensemble, ces assemblages ont le potentiel d'offrir une caractérisation à multiples facettes de l'état d'eau. (**Thi Le Nhung, 2008**). Cependant, les évaluations de la qualité de l'eau fondées sur des critères biologiques sont moins courantes que celles basées sur la chimie ou la toxicologie des cours d'eau. (**Hill et al., 2001**). Un bio-indicateur approprié doit présenter des caractéristiques suivantes :

- abondance dans le milieu et cosmopolite, localisation en début de chaîne alimentaire car plus sensible aux variations environnementale (**Cazaubon, 1991 ; Rott, 1991**),
- Cycle de simple et court afin de révéler les changements ponctuels ainsi que les modifications sur le long-terme (**Hellawell, 1978**),
- facilité d'identification morphologique jusqu'au niveau de l'espèce (**John, 1998**),

- protocoles d'échantillonnages sur le terrain simplifiés. **(Rott, 1991)**.

Aujourd'hui, les bio-indicateurs sont utilisés et promus par plusieurs organisations (the World Conservation Union, Union internationale pour la conservation de la nature) des solutions de gérer la biosurveillance et d'évaluer les effets sur l'humain. D'après **Trishala et al., (2016)** Les avantages associés à l'utilisation des bioindicateurs sont les suivants:

- les impacts biologiques peuvent être déterminés.
- Surveiller les impacts synergiques et antagonistes de divers polluants sur une créature.
- Le diagnostic précoce ainsi que les effets nocifs des toxines sur les plantes, ainsi que sur les êtres humains, peuvent être surveillés.
- Peut être facilement compté, en raison de leur prévalence.
- Alternative économiquement viable par rapport à d'autres systèmes de mesure spécialisés.

Les diatomées benthiques sont largement utilisées comme indicateur biologique dans les ruisseaux et les rivières grâce à leur grande sensibilité aux changements environnementaux ainsi qu'à leur tolérance et préférence écologique bien établies pour chaque espèce. La croissance rapide des diatomées leur permet de répondre rapidement aux changements chimiques, physiques ou biologiques et Leur sensibilité à la pollution organique font de celles-ci des bioindicateurs privilégiés pour la détection de ces types de perturbations. Par conséquent, analyser la composition de leur communauté fournit une méthode facile pour détecter les changements environnementaux causés par des événements naturels ou anthropogéniques. **(Naicheng et al., 2012)**. Les communautés périphytiques algues constituent un compartiment privilégié pour la surveillance à long terme des cours d'eau, notamment parce qu'elles ont des exigences spécifiques et des tolérances variables à des gammes de paramètres de qualité des eaux différentes **(Stevenson et Pan 1999)**.

Les diatomées représentent une grande partie du volume du périphyton dans la plupart des écosystèmes aquatiques **(John, 2000a)**. Plusieurs études affirment l'efficacité d'utilisation des communautés de diatomées périphytons et particulièrement de la structure de celles-ci pour le suivi de l'intégrité écologique des cours d'eau Ils sont également les plus adéquats pour évaluer l'impact réel des pollutions sur le milieu aquatique, pour détecter des pollutions discontinues et pour en intégrer les variations dans le temps. En effet, les organismes vivants répondent à une variété de facteurs cumulatifs d'origines anthropique et naturelle qui ne

concernent pas seulement les aspects physico-chimiques, mais tout l'habitat physique du bassin versant, (**Rabeni, 2000; Lacoursière, 2008**).

La facilité d'identification des espèces diatomiques et leurs dénombrements et de plus, l'écologie des espèces est généralement mieux érudite par rapport aux autres groupes d'algues. Affirment l'efficacité de l'utilisation des communautés de diatomées comme indicateurs de pollutions. D'autre part (**John, 2000a**) présentent de nombreux avantages en faveur de leur utilisation pour la bio-indication

a) Une forte sensibilité aux conditions du milieu : les espèces de diatomées ont des préférences environnementales hétérogènes. Ainsi, les diatomées se sont avérées particulièrement sensibles aux gradients liés à la balance ionique des eaux (alcalinité/acidité et conductivité, (**Hill et al., 2001; Potapova et Charles, 2003; Kovács et al, 2006; Tison et al., 2007 in Bottin, 2012**), et aux concentrations de nutriments tels que Phosphates et nitrates (**Pan et Stevenson, 1996; Winter et Duthie, 2000; Soininen et Niemela, 2002; Duong et al ; 2006 in Bottin, 2012**). Elles sont donc sensibles aux facteurs de chimie locale des eaux

b) Étant les organismes à la base de la chaîne alimentaire, les algues benthiques sont à l'interface de l'environnement physico-chimique et de la communauté biologique (**Lowe et Laliberté, 1996**). Ces organismes à cycles courts en une réponse rapide aux changements de l'environnement (**Lowe et Laliberté, 1996; McCormick et Stevenson, 1998**).

c) La majorité des espèces ont une répartition très étendue à travers les écosystèmes et les régions géographiques en comparaison à la plupart des autres organismes supérieurs. Cette caractéristique assure une répartition spatiale continue des indicateurs à l'intérieur des suivis régionaux et internationaux.

d) Les échantillons sont facilement manipulés, traités et entreposés (**Lowe et Pan, 1996**). Les diatomées ont l'avantage d'être généralement plus facilement identifiables et dénombrables que les autres groupes d'algues.

Selon **Stevenson et al. (2010)**, afin de garantir l'évaluation des conditions environnementales dans les rivières et les cours d'eau en utilisant des diatomées, de approche de base doivent être développées :

-La première approche utilise les indices autécologiques moyens pondérés qui sont définis comme indices utilisant une échelle ordinale pour les traits d'espèce avec six rangs ou moins pour un facteur de stress environnemental spécifique (par exemple, pH, besoins en

nutriments, pollution organique). Les indices autécologiques basés sur les diatomées peuvent être utiles dans l'évaluation de la qualité des eaux car un dosage ponctuel de la composition spécifique des assemblages de diatomées dans les cours d'eau fournit une meilleure caractérisation des conditions physico-chimiques qu'une mesure ponctuelle de ces conditions.

-La deuxième approche établit que la gestion des écosystèmes des cours d'eau qui nécessite une évaluation de l'intégrité de l'écosystème et un diagnostic des causes de dégradation. Tel que les indices d'intégrité biotique (ICI), souvent appelés indices multimétriques de l'état biologique (IBC), Qu'ont été récemment développés pour les diatomées. Selon **Lacoursière, 2008**. Les indices diatomées peuvent être classés en plusieurs catégories en fonction de leur réponse aux variations de la qualité de l'eau:

- les indices saprobiques dont la réponse dépend étroitement de la concentration en matières organiques (indice de Sládeček (1973);
- les indices trophiques qui répondent à l'eutrophisation (Trophic Diatom Index (**Kelly et Whitton, 1995**»;
- les indices dits de qualité générale de l'eau qui répondent à plusieurs types de pollution, avec une sensibilité particulière à la pollution organique, à l'eutrophisation et aux pollutions minérales. C'est le cas de l'IPS (**Cemagref, 1982**), de l'IBO (**Prygiel, 2002**) et des indices apparentés comme l'IOG, l'IDAP ainsi que les indices CEE et ES.

Les différences entre les indices sont associées au nombre de taxons (genres, espèces, variétés) utilisés lors de la mise en œuvre de l'indice ainsi qu'aux valeurs de sensibilités et aux valeurs indicatrices.

2 Hydrogéologie de la wilaya

Les conditions climatiques sévères déterminent avec les facteurs géomorphologiques le régime hydrographique et son évolution. La région de Tiaret est assez bien couverte sauf pour la partie nord, cette lacune est due à l'absence de potentialité en eaux souterraines. Tiaret est concernée par deux grands bassins versants, celui du Chlef (de superficie de 43750 Km²) et des hauts plateaux Oranais (superficie de 49350 Km²). (Mekkakia 2001) ; (Bouchentouf, 1994). (Mekkakia 2001). La région peut être découpée en plusieurs zones relativement homogènes du point de vue des caractéristiques hydrogéologiques.

- **La Zone nord** Est constituée par le cœur du massif de l'Ouarsenis, son piedmont sud sont les monts de Tiaret et de la vallée de Mina qui se trouve à l'aval du Barrage Benkhadda, la limite sud est matérialisée par le Nahr ouassel, à l'est de Tiaret, la mina de Tagdemt est une ligne E.W à l'ouest de Benkhada.
- **La Zone Ouest** Elle comporte les bassins des oueds Taht et El Abed et le versant nord du Chatt Chergui, (Chott Chergui de 45,97 Hm³ dont 48% est exploité), les terrains aquifères de cette zone sont les dolomies et calcaires du jurassique moyen et inférieur mais ces terrains seraient rattachés au jurassique moyen.
- **La Zone Est** Comprend le plateau du Sersou et la plaine de Ksar Chellala, elle est limitée au nord par la vallée du Nahr Ouassel, à l'est par les Oueds Touil et Ouerk (13,03 Hm³/an (dont 7,02 Hm³ sont exploités pour et l'irrigation), à l'ouest par la remontée des marnes miocènes dans la région de Si El Houass, cette zone est donnée d'une nappe phréatique dont le remplissage est continental mio-plioquaternaire.
- **Vallée du Touil** L'aquifère principal est le continental intercalaire. Le continental intercalaire s'enfonce sous les terrains moins anciens et plus dans la série stratigraphique, les calcaires du turonien constituent un nouvel aquifère.
- **Monts de Chellala** Entre la plaine de Ksar Chellala au nord et la vallée de l'Oued Touil au sud, les monts de Chellala correspondent à un horst formé de terrains jurassiques essentiellement des calcaires et dolomies du Kimméridgien et portlandien-tithonique.
- **Vallée de la monte de Mina** Joue le rôle de drain naturel des terrains marno-calcaires.

3 Les différents aquifères de la région

L'étude géophysique réalisée par la compagnie générale géophysique, effectuée une reconnaissance hydrogéologique par sondage électrique. (**Bouchentouf, 1994**). Les travaux sur le terrain ont été réalisés du 25 Août 1975 au 29 Février 1976, au cours de cette période 211 sondages électriques ont été effectués avec une longueur d'AB d'envoi du courant comprise entre 1000 et 6000 mètres. (**Bouchentouf, 1994**). Les résultats obtenus de différents forages de la région permettent d'avoir les principaux horizons aquifères suivants :

- Nappe de l'ensemble barrémien (albien et calcaires du turonien).
- Nappe des dolomies kimméridgien.
- Nappe des mio-plio-quadernaire.
- Nappe de l'ensemble marno-gréseux attribuée au miocène.

3.1 La nappe de l'ensemble du barrémien

(Albien et les calcaires du turonien) sa formation la plus dominante est l'ensemble gréseux qui se divise en trois parties :

- a) La partie gréseuse inférieure (valongénien - barrémien).
- b) La partie gréso-carbonate moyen (albien).
- c) La partie gréseuse supérieure (albien) : constituée par des grès inférieurs (60 mètres) et des argiles gréseuses (10 mètres).

3.2 La nappe des dolomies Kimméridgiens

La formation dolomitique en général est assez perméable (200 à 300 mètres) d'épaisseur, les calcaires tectonique et les calcaires lusitaniens qui sont très étendus dans la zone. Le Djebel Nador est composé essentiellement dans la grande partie de dolomies du kimméridgien, et se prolongent jusqu'à Rechaiga à l'est où elles se mêlent au calcaire du jurassique supérieur.

3.3 Les nappes du mio-plio-quadernaire

Les dépôts continentaux mal date peuvent être de l'oligocène qui comblent les dépressions sur une très grande superficie, sont composés d'origine ou de sables et éventuellement de niveaux de calcaires lacustres.

3.4 La nappe de l'ensemble marno- gréseux attribuée au miocène :

La majeure partie du miocène est constituée de marne, de sable et de grès formant notamment les reliefs proches de la région de Tiaret.

4 Le réseau hydrographique :

Cette région est riche en couvert hydraulique, elle est couverte par deux grands bassins versants à savoir ; Le Cheliff et les hauts plateaux oranais, subdivisées en quatre sous bassins versants, La longueur de son réseau hydrographique est de 1 938 km. Dont 1049 Km pour les oueds intermittents et 889 Km pour les oueds permanents avec Les principaux cours d'eau sont comme suit: Oued Touil, Oued Mina, Oued Tiguiguest, Oued Rhiou, Oued Souslem, Oued Mechti, Ouedabed, Ouedtaht et Tounkira.

Et par l'intérêt de ces oueds, trois barrages ont été réalisés sont: barrage Benkhadda barrage Dahmouni, et barrage Boughara.

L'oued Mina prend sa source sur le plateau calcaire situe entre l'extrémité ouest du Djebel Nador et Frenda, à l'Ouest des monts de Frenda à la cote 1150 m.

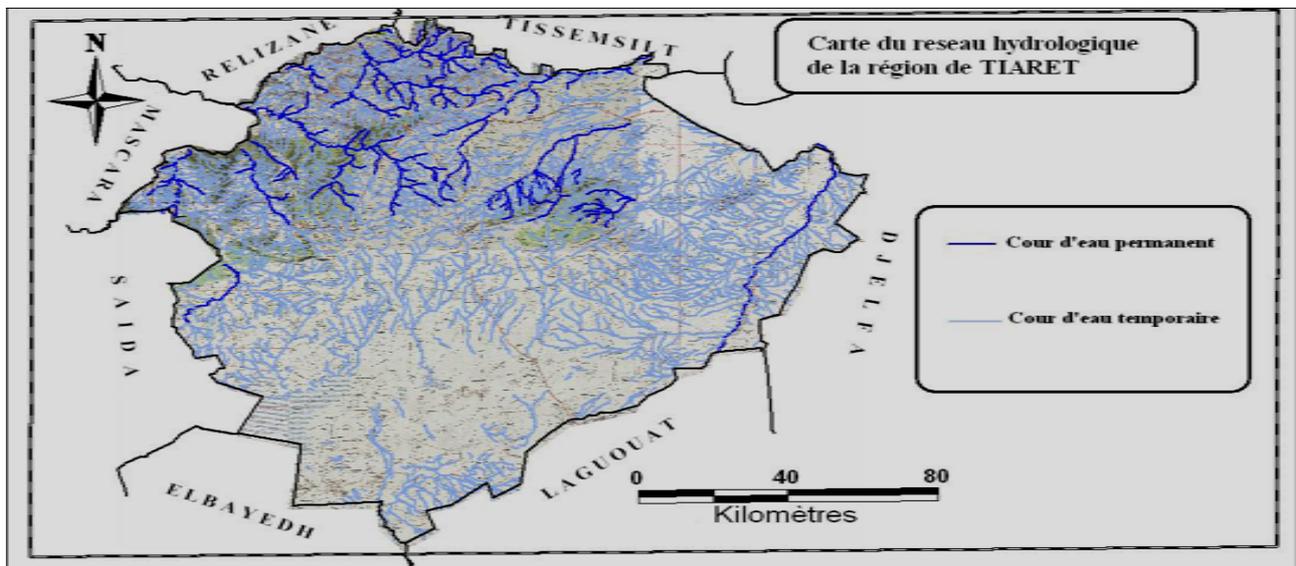


Figure 11 Carte du réseau hydrique dans la wilaya de Tiaret. (CFT, 2016)

Il vient ensuite buter contre les dépôts du miocène du djebel Guezzoul et s'infléchit vers l'ouest pour garder cette direction est-ouest jusqu'au barrage.

Le barrage de Benkhadda, principal ouvrage pourvoyeur d'eau potable de la région, reste le réceptacle de la quasi-totalité des rejets des eaux usées des communes de Tiaret, de Tagdemt, de Mellakou et de Tousnina. Si les rejets des trois derniers centres sont relativement insignifiants et peuvent s'auto-épurer durant leur transfert, ce n'est pas le cas pour celui de Tiaret constitue en majeure partie par les eaux usées domestiques, (Mekkakia, 2001).

5 Utilisation des eaux du barrage :

Le barrage Benkhadda reste l'infrastructure de production d'eau potable, et même pour les industries de la région de Tiaret. Le sol de fondation du barrage est constitué de calcaire très altéré, peut épais en certain point, reposant sur un complexe calcaro-argileux.

Jusqu'en 1982, les eaux de barrage Benkhadda, été destinées particulièrement à l'irrigation de la plaine de Relizane, mais actuellement une bonne partie de ces eaux sont utilisées pour l'alimentation en eau potable (A.E.P) de la ville de Tiaret (fig.12), alors que pour l'irrigation, les lâchées ne se font que pour des besoins pressants sur la plaine de Relizane, par ailleurs, ce barrage alimente les environs de Tiaret qui sont réparti comme suit:

- Tiaret ville et la zone industrielle.
- Ain-karman à 3 km de Tiaret.
- Complexe SONACOME - Bouchekif, zone industrielle à 16 km de la ville de Tiaret.
- Ville de Mechraa S'Fa.
- Ville agricole de Temdaà 25 km de Tiaret.
- Ville agricole de Kharrouba.
- Ville de Rahouia située à 40 km au Nord de Tiaret.

L'eau est pompée sur une dénivelée de 600 mètres et une distance de 35 km.

Tableau 7 Alimentation en eau potable des centres urbains de la région de Tiaret (Mekkakia 2001).

Commune	Consommation AEP m ³ /an	Source d'alimentation
Tiaret	9711188.7	B. Benkhadda
Tousnina	262702.5	B. Benkhadda
Medroussa	403047.5	B. Benkhadda
Mellakou	571853.7	B. Benkhadda
Mechra sfa	789196.2	B. Benkhadda
Tagdemt	252640	B. Benkhadda
Djilali Ben Amar	275635	O. Mina

5.1 Les ressources souterraines et superficielles en Eau

5.1.1 Les ressources souterraines :

Les ressources souterraines répartir comme suit (ADE, 1999) :

-Zone d'OuedTouil :	16.03 millions de m ³
-Zone de Chatt Chergui :	21.03 millions de m ³
-Zone de Sersou :	46.00 millions de m ³
-Zone de Mina :	4.55 millions de m ³
-Zone de Tiguiguest :	2.45 millions de m ³
-Nahr Ouassel :	2.48 millions de m ³
-Zone Abdtaht :	5.92 millions de m ³

5.1.2 Les ressources superficielles

Selon ADE, 1999. Le barrage de Benkhadda, barrage Dahmouni et barrage Boughara représentent les ressources superficielles en eau de la région de Tiaret. Le besoin en eau potable dans la wilaya de Tiaret est de 150-200L/h/j, mais reste à 90 L/h/j.

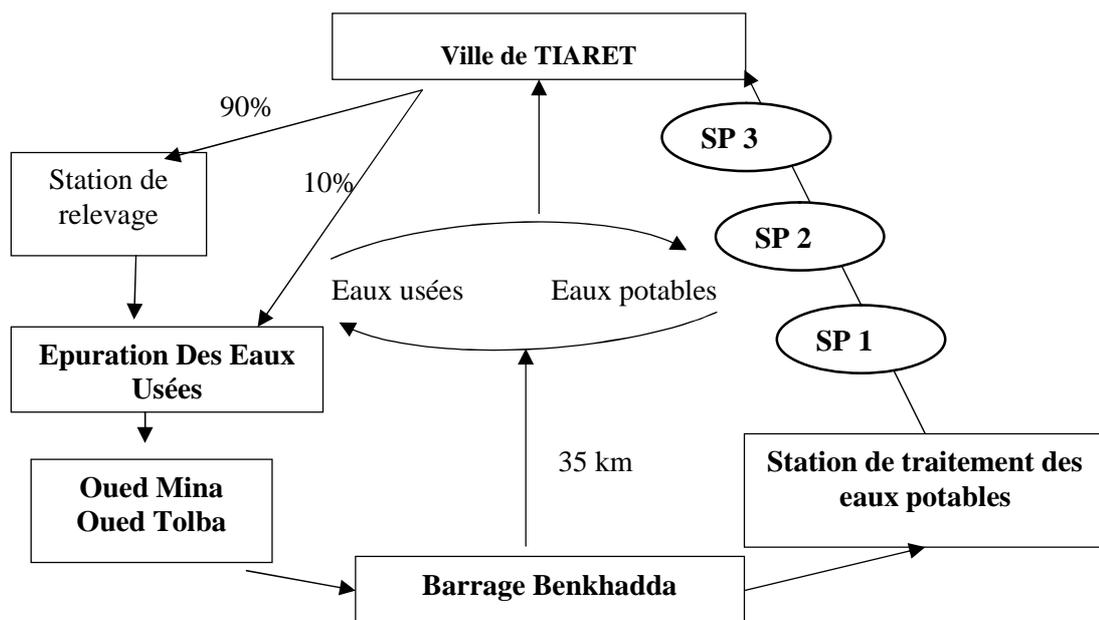


Figure 12 Schéma synoptique du circuit fermé des eaux d'A.E.P et des eaux usées dans la région de Tiaret

5.1.3 Les nappes aquifères

Les nappes aquifères reconnues à travers le territoire de la Wilaya recèlent d'importantes ressources hydriques dont 53% sont utilisées au profit de l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et l'alimentation des unités. Ces nappes sont mal délimitées et mal quantifiées. Elles nécessitent un bilan hydrogéologique et un suivi rigoureux. Elles sont représentées en grande partie par la nappe de la nappe de Oued Taht et Oued El-Abd qui

donnent 13,03 Hm³/an (dont 7,02 Hm³ sont exploités pour l'AEP et l'irrigation) et la nappe de Nahr Ouassel (04 Hm³/an est exploité pour l'AEP et l'irrigation).

6 La zone d'étude et localisation des sites

Notre travail à cibler les importantes zones humides de la wilaya pour évaluer leur importance comme source d'alimentation fatales en eau ainsi de toucher les eaux alcalines et thermales dans la région d'étude dont l'atout de déterminer la relation entre les changements environnementaux et les bio indicateurs diatomées. Dans le présent chapitre on indique les différentes stations utilisées dans notre étude. Nous avons subdivisé notre région d'étude en deux zones ; la zone du nord le sous bassin versant d'Oued Mina contenant les trois sites humides Nahr Ouassel (alimente Barrage Dahmouni), Oued Mina Et Oued Louhou (alimentent Barrage Benkhada) et la zone du sud correspondant bassin versant de Chott Chergui aux deux sites humides naturels Dhaya El Khadra et Ain Teddese/Saous. (tab. 8).

6.1 Partie Nord

Les sites sont choisis le long du sous bassin versant de l'oued mina .qui est le plus important, et le plus intéressant des sous bassins versants de cette Wilaya. Il contribue à l'alimentation de la prise de Sidi Ouadhah et du barrage Bakhadda. Ce bassin versant dont la superficie est de 2056 Km², repose sur des roches calcaire le plus souvent occupe la partie occidentale du bassin du Chelef ; la Haute Mina ne représentant qu'un tiers de ce grand cours d'eau (Bouchentouf, 1994). (fig .13)



Figure 13 localisations géologiques et hydrologiques de la zone d'étude et les différents sites.

Tableau 8 localisation des sites de prélèvement des échantillons dans la partie Nord

	<i>Site d'étude</i>	<i>Abréviation</i>	<i>Location</i>	<i>Altitude</i>
Oued Mina	Tousnina	MA	35°08'34.93"N 1°16'42.23"E	1004
	Melakou	MU	35°12'41.91"N 1°17'56.31"E	944
	Sidi ouadah	SO	35°16'59.06"N 1°17'02.08"E	893
	Tagdemt	TT	35°18'32.37"N 1°14'54.27"E	812
	Beni Affen 1	BA1	35°18'55.31"N 1°10'54.98"E	672
	Sidi Amar	SA	35°04'45.42"N 1°04'10.81"E	1075
Oued Louhou	Medroussa 1	MD1	35°11'53.58"N 1°06'05.63"E	825
	Medroussa 2	MD2	35°14'29.18"N 1°07'21.20"E	760
	Hetateba	HA	35°16'30.27"N 1°09'17.87"E	701
	Beni Affen 2	BA2	35°17'39.42"N 1°09'22.07"E	673
	Barrage Dahmouni	BD	35°23'51.90"N 1°30'34.53"E	937
Nahr Ouassel	Sebain 1	OS1	35°25'58.34"N 1°34'52.30"E	900
	Sebain 1	OS2	35°30'4.19"N 1°39'59.45"E	866
	Bougara1	BG1	35°33'10.66"N 1°46'29.44"E	825
	Bougara2	BG2	35°33'15.90"N 1°50'17.71"E	814

6.1.1 Situation géographique

Le sous bassin versant de l'oued mina est situé dans le grand bassin de Cheliff, plus précisément dans la partie Sud-Ouest de l'Ouarsenis, il est limité :

- ❖ Au nord par le sous bassin versant de L'Oued Rhiou tiguiguesuest au nord ouest par la daïra de Rahouia.
- ❖ A L'est par le sous bassin de l'Oued Nahr Ouassel
- ❖ A l'ouest par sous bassin de l'oued abed
- ❖ Au sud ouest par le sous bassin de l'oued Tat
- ❖ Au sud par la commune de Medrissa.

L'exutoire des sous bassin se trouve au Sud- Est de wilaya de Relizane. Ce bassin est drainé dans sa partie Sud par l'oued Louhou, mais dans sa grande partie par L'oued Mina qui représente le plus long talweg d'environ 118 km.

L'Oued Mina occupe un domaine assez particulier de part son aspect structural et tectonique. En effet, on peut situer d'une façon très grossière l'Oued Mina entre la plaine de Relizane au Nord -Ouest et le parallèle de Tiaret à l'Est. Cet Oued recoupe en fait la partie des piémonts occidentaux du massif de l'Ouarsenis et la partie septentrionale des hauts plateaux Oranais. Sur le plan hydrographique, Oued Mina et Oued Tlelat sont les principaux cours d'eau permanents qui traversent les monts de Tiaret.

6.1.2 La végétation

La Végétation de La wilaya dérobe d'importantes potentialités naturelles et notamment 1.609.900 Ha de terres agricoles, 142.966 Ha de zones steppiques et d'une zone forestière de 142.422 Ha. La superficie agricole totale est réparties à raison de 704.596 Ha agricoles utiles dont 14.561 Ha en irrigué et un million d'hectares en steppe, parcours, alfa et forêts.

Les groupements forestiers et prés forestiers, caractérise le nord de la wilaya et sont développés sur les montagnes (Monts de Ghezoul) à la faveur d'un climat tempéré par l'altitude. Il s'agit surtout de jeunes Forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) introduit dans le cadre du barrage vert et des forêts très dégradées à chêne vert (*Quercus ilex*) ; Genévrier oxycèdre (*Juniprus oxycedrus*) en association avec l'alfa (*Stipa Tenacissima*). (Miara *et al.*, 2014).

6.1.3 Climatologie

Le climat de la partie Nord se caractérise par 02 périodes à savoir : un hiver rigoureux et un été chaud et sec avec une température moyenne de 37,2°C. Un été chaud et sec avec une température moyenne de 24°C. En période normale la partie Nord de la wilaya de Tiaret est soumise à un climat semi-aride et reçoit 300 à 400 mm de pluies par an, avec une fluctuation saisonnière de la pluviométrie allant de 157 mm en hiver à 31 mm en été (Miara *et al.*, 2013).

Allant de 157 mm en hiver à 31 mm en été. Elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver frais où le climat est du type méditerranéen.

La région de Tiaret à un climat continental elle se caractérise par un hiver froid humide et un été chaud et sec. Deux périodes sont séparés par des saisons intermédiaires

instables, le printemps et l'automne. Les facteurs climatiques (T° , pluviométrie, vent...) permettent de réguler et de prospérer la croissance des espèces végétales à travers un étagement zonal donné. Pour identifier le climat de la zone d'étude, nous sommes référés aux données climatiques fournies par l'ONM.

6.1.3.1 Précipitations

L'analyse des précipitations et leur répartition dans le temps et dans l'espace sont fort utiles. Ces précipitations constituent un facteur abiotique d'importance significative sur l'évolution et la répartition des espèces dans les milieux naturels.

La région de Tiaret se situe entre les isohyètes 350 mm au sud et 470 mm au nord. Elle se caractérise principalement par un climat continental à hiver froid humide et a été chaud et sec. A partir d'une représentation graphique (Fig. 14), on remarque que les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril sont les plus pluvieux de l'année avec respectivement 38.2, 42.3, 43.4, 35.8, 34.7 et 38.2 mm

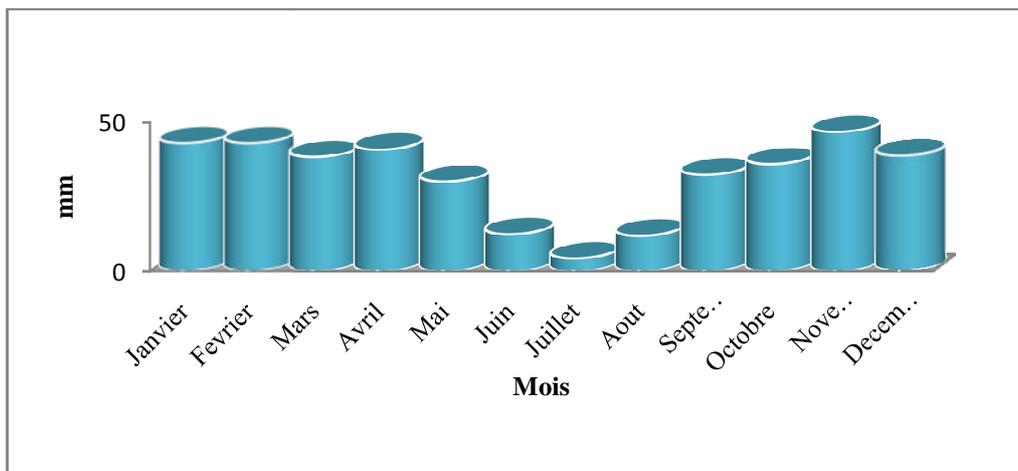


Figure 14 Evolution des précipitations mensuelles moyennes de la wilaya de Tiaret (1986-2015).

6.1.3.2 Températures

La température joue un facteur limitant dans la répartition et la survie des êtres vivants. Chaque espèce exige pour son développement normal une certaine quantité de chaleur. De même, pour chaque espèce existent certaines des températures extrêmes au dessus et au dessous desquelles elle ne peut pas survivre.

Grand nombre d'auteurs ont observé que les températures optimales des Chlorophycées sont le plus souvent supérieures à 30° C (Felfoldy 1962, Aruga 1965, Gargas 1978), et celles des Cyanophycées comprises entre 27 et 35° C (Krueger et Eloff 1978). L'optimum est plus bas pour les Diatomées (Eppley, 1977 ; Dauta, 1982; Hartig & Wallen 1986). Le mois le plus chaud de l'année est Juillet avec une température moyenne de 26,05°C. Le mois le plus froid de l'année est janvier avec une température moyenne de 5,96°C. Température moyenne de l'année est donc de l'ordre de 15,02°C.

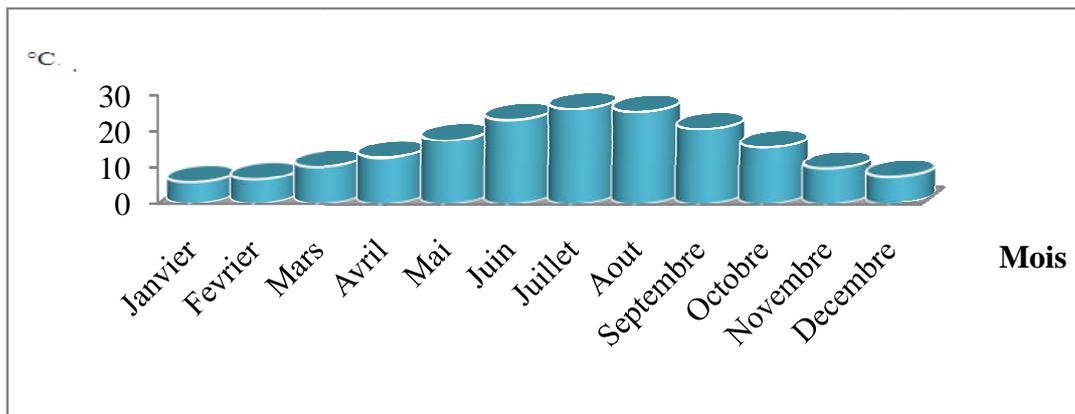


Figure 15 Evolution des températures mensuelles moyennes de la wilaya de Tiaret (1986-2015).

6.1.3.3 Diagramme Ombrothermique de Gausson

Ce diagramme permet de définir la saison sèche et la saison humide à la cour de l'année. Pour la station de Tiaret la période sèche va de la mois-Mai à début Octobre.

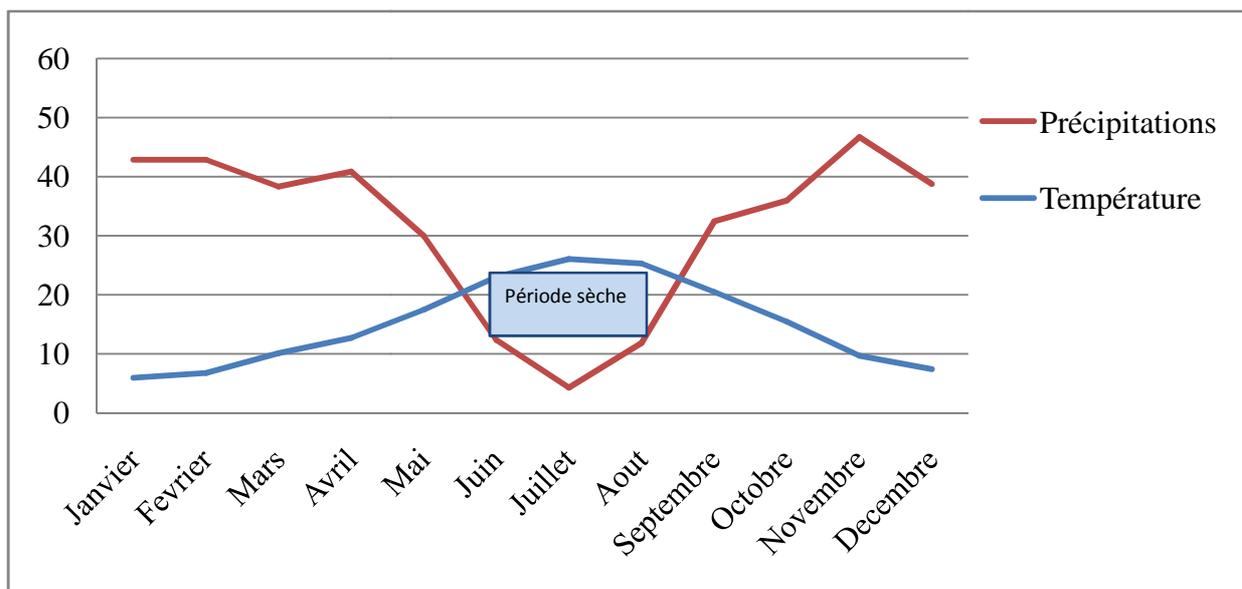


Figure 16 Le diagramme Ombrothermique de la zone de Tiaret (1986-2015).

6.2 Partie Sud

Le Chott Ech Chergui qui est une zone riche en eaux saumâtres et thermales chaudes, est inclus dans l'un des plus grands bassins versant de l'Algérie d'une superficie d'environ 40000 Km². Le Chott chergui est représentatif pour la région méditerranéenne, notamment en raison de la désertification des habitats qu'il renferme. On y rencontre des halipedes, des zones steppiques toujours vertes aux alentours du chott et des sebkhas complètement dépourvues de végétation. A ces formations végétales, s'ajoutent une végétation purement aquatique lacustre et paludicole des zones humides.

Le milieu steppique est caractérisé par des altitudes élevées (1100 m en moyenne), les plus hautes steppes atteignent 1300 m et les plus basses oscillent entre 1000 et 1100 m, ce qui indique que les dénivellations sont peu importantes, soit moins de 200 m. Le substrat est à dominance calcaire. L'espace steppique est caractérisé par l'aridité du climat et la faiblesse des précipitations. Il est très sensible à la désertification où la couverture végétale est fortement dégradée. Selon **Benkhattou, (2015)**, les principales unités de végétation, présentent dans cette zone sont :

➤ **Les formations steppiques non salées**, basses et plus ou moins ouvertes, caractérisées par la dominance des graminées *Stipa Tenacissima*, *Lygeum Spartum* et des chaméphytes (*artemesia herba alba*, *artemesia campestris*) auxquelles s'ajoute un cortège important et varié d'espèces annuelles. A ces formations sont rattachées les peuplements du jujubier (*Zizyphus lotus*) et pistachier (*Pistacia atlantica*).

➤ **La végétation des sols salés**, forme une frange d'une largeur variable autour des dépressions salées (Chott chergui). Selon le taux de salure, on distingue successivement et selon la teneur en chlorure décroissante, La ceinture à *Halochemum strobilaceum* puis la ceinture à *Suaeda fruticosa* et enfin, la ceinture à *Salsola vermiculata* et *Atriplex halimus*

6.2.1 Situation géographique

Le Chott Ech Chergui de l'Algérie occidentale constitue, après le chott djerid en Tunisie, la plus grande zone humide naturelle de ce type en Afrique du nord. Le territoire cadre dans un espace délimité en longitude par 0° 45' à 0° 55' E et en latitude par 34° 25' à 34° 30' N dont l'altitude maximale est de 1108m.

De par sa Superficie est de 855. 500 km² (varie en fonction des précipitations) sa largeur est de 160 km et, il contient de nombreux milieux d'eau douce, salée, saumâtre et thermale de dimension largement internationale au vu de la biodiversité qu'il renferme. C'est également un type assez rare de zone humide permanente situé dans une région steppique, aride ou l'eau est souvent temporaire et il constitue le foyer naturel pour de nombreuses espèces animales et végétales menacées et vulnérables. (Ramsar, 2003).

Il constitue par sa position intermédiaire entre la zone du nord d'une clémence de climat et le sud d'un climat rude ; Le sud de la wilaya de Tiaret détient la partie orientale du Chott ech chergui, d'une superficie avoisine 50000 hectares (CFT, 2016), les communes de Sidi Abd Rahman et celle de Chehaima abrite la majorité de cette zone humide de la wilaya.

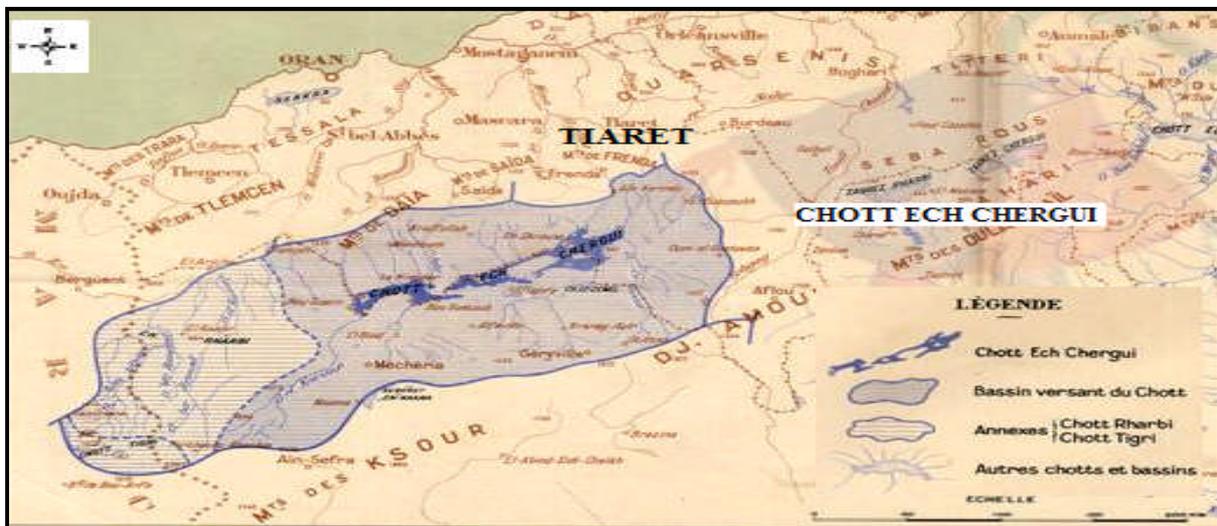


Figure 17 Situation géographique de Chott Ech Chergui.

- les sites d'Ain Tiddes et Saousse Et daïet khadra

Dans la commune de Sidi Abed El Rahmane (Fig. 18), la zone humide sebkha TIDDES et SAOUS et d'une Superficie de 1000 HA, avec faible profondeur 0.5 à 2.5 m. elle fait partie du grand bassin versant haut plateaux oranais, et de la zone humide Orientale du chotte ech chergui, la végétation et de type halophyte on peut noter *Salsola tetrandra variété villosa*, *Salsola vermiculata*, *Traganum nudatum*, *Thymelea micriphylla*, *Erodium glaucophyllum*, *Tamarix Sp*, *Salicorne*, *Jonc aquatique* *Lugum spartum*, *Atriplex halimus*, *Phragmites*.



Figure 18 Localisation des sites dans la partie sud Chott Ech Chergui.

La zone de Daya Khadra, se situe dans Le chott Ech chergui orientale et se localisée à 20 km au Sud-ouestde la commune de Chehaima, Daira Ain Dehab,willaya de Tiaret, s'étend sur une superficie 10000ha brièvement pe de zone humide Marécage et Sebkh, niveau d'eau inondé de 50cm aux rivages à1.80 au milieu, Qualité d'eau eau claire saumâtre.. On choisi trois point DK1, DK2 et DK3 (tab. 9).

Tableau 9 Localisation des sites de prélèvement des échantillons dans la partie sud.

	Latitude	longitude	altitude
DK1	34°32'41.16''N	1°20'30.43''E	999m
DK2	34°34'14.55''N	1°15'54.32''E	1001m
DK	334°30'48.40"N	1°19'29.74"E	996m
SS1	34°32'27.49''N	1°00'33.58''E	985 m
SS2	34°32'31.44''N	1°00'432.98''E	986.

6.2.2 Le Cadre climatique

Les conditions climatiques sévères conditionnent avec les facteurs géomorphologiques le régime hydrographique et son évolution. Les ressources en eau souterraines exploitables sont représentées en grande partie par la nappe de Chott Chergui. Les zones humides de **Daït El Khadra**, **Ain Teddes** et **Saous** est étroitement liée aux précipitations annuelles, qui influent sur la fluctuation de la superficie humide et le niveau d'eau. La température joue un rôle sur l'évapotranspiration de la zone d'étude.

Le choix de la station météorologique est un caractère primordial pour l'extrapolation à la zone d'étude. Le choix de la station d'étude est un compromis entre la disponibilité des données climatiques et la similitude entre la zone étudiée et la station. Pour l'étude climatique, notre choix s'est porté sur la station de Saida vu la grande similitude avec le sud de la wilaya de Tiaret dont le Daït El Khadra, ain Teddes et Saouss font partie.

6.2.2.1 Les Précipitations

Djebaili (1978) définit la pluviosité comme étant le facteur primordial qui permet de déterminer le type de climat. La zone d'étude reçoit en moyenne une pluviométrie annuelle de l'ordre de 348 mm, sur une période de 31 ans (tab. 10).

Tableau 10 moyenne des précipitations annuelles station de Saida 1984-2015.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	46.72	44.44	32.81	31.21	24.63	12.65	5.31	6.09	18.64	45.77	48.41	40.56

6.2.2.1.1 Régimes mensuels (1984-2015)

L'accentuation des précipitations joue un rôle prééminent sur la structure et la stabilité des sols, d'autre part elle contribue aussi à la répartition spatiale des espèces. La pluviométrie joue un rôle important dans la conservation de cette zone humide. Les précipitations mensuelles marquent le type de climat méditerranéen. Elles sont presque absentes en période estivale (juillet et Aout).

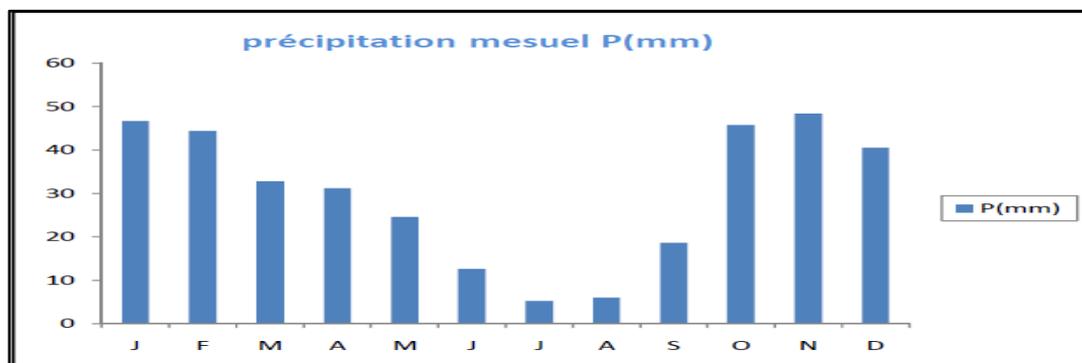


Figure 19 Régime mensuel des précipitations dans la région d'étude.

6.2.2.1.2 Régimes Saisonnier (1984-2015)

La répartition de la pluviométrie inter annuelle influe sur la flore et sur la faune, une répartition équilibrée permet la durabilité pour cette zone humide. L'allure de l'histogramme avec une diminution régressive de l'automne vers l'été.

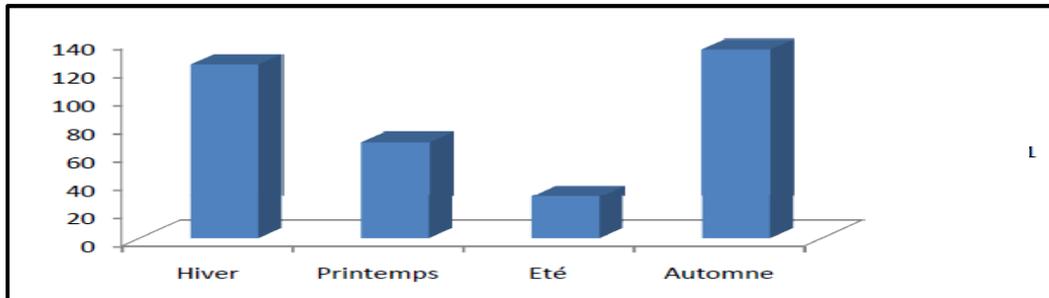


Figure 20 Régime pluviométrique saisonnier dans la partie Sud.

6.2.2.2 Les Températures

Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juin, juillet et août qui correspondent aux mois les plus chauds ($30.62^{\circ}\text{c} < M < 36,29^{\circ}\text{c}$) ; alors que les températures les plus basses sont relevées en Décembre, janvier, Février et Mars, les mois les plus froids ($4.15^{\circ}\text{c} < m < 5.52^{\circ}\text{c}$). Il y a lieu de remarquer que les plus fortes chaleurs coïncident avec les précipitations les plus faibles (mois de juillet et août) et que la période pluvieuse coïncide souvent avec les températures minimales les plus basses.

Tableau 11 Températures moyennes entre les années (1984-2015) station de Saïda.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	A	N	D
T°	9.3	8.45	12.06	15.21	5.59	22.78	27.44	27.12	8.06	18.67	13.36	10.26

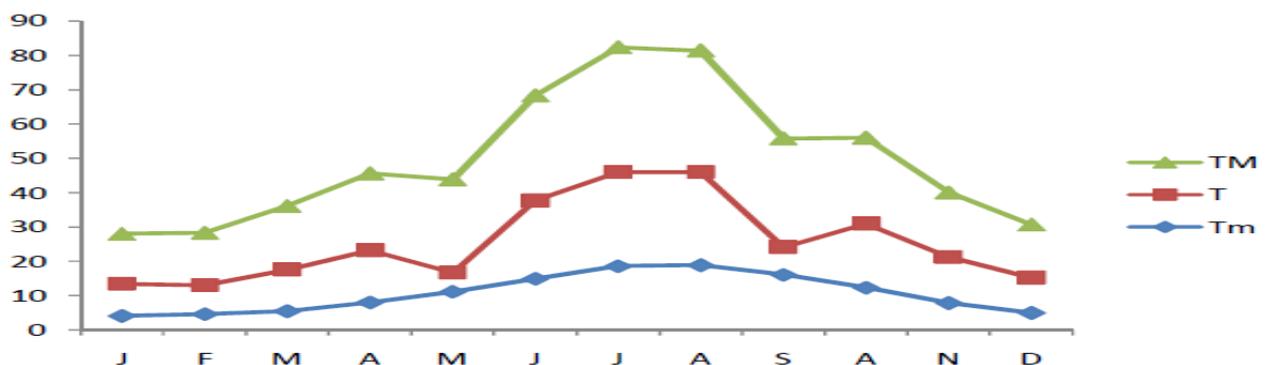


Figure 21 Evolution mensuelle des températures moyennes de la wilaya de Saïda

6.2.2.3 L'humidité

L'humidité du sol est assez grande en novembre, considérable du premier décembre au premier avril faible en mai et octobre et extrêmement faible du mois de juin au mois de septembre.

6.2.3 La Synthèse climatique

Les éléments climatiques n'agissent jamais indépendamment les uns des autres, pour refléter une image du bioclimat d'un territoire donné. L'interaction entre les éléments climatiques détermine le type du climat.

Les indices climatiques les plus couramment utilisés sont basés sur les précipitations et la température avec ces deux paramètres disponibles pour la station de Saida, nous développons successivement :

- Indice de continentalité - Amplitude thermique.
- Climagramme pluviothermique et les étages bioclimatiques.
- Diagramme Ombrothermique.

6.2.3.1 Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN permet de déterminer les périodes sèches et humides de n'importe quelle région à partir de l'exploitation des données des précipitations mensuelles et des températures moyennes mensuelles (DAJOZ, 2003).

D'après FRONTIER *et al.* (2004), les diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN sont constitués en portant en abscisses les mois et en ordonnées, à la fois, les températures moyennes mensuelles en (°C) et les précipitations mensuelles en (mm). L'échelle adoptée pour les pluies est double de celle adoptée pour les températures dans les unités choisies. Un mois est réputé «sec» si les précipitations sont inférieures à 2 fois la température moyenne, et réputé «humide» dans le cas contraire. L'échelle utilisée dans le diagramme consiste à doubler la valeur de la température par rapport à la pluviométrie ($p=2T$).

La détermination de la période sèche de la zone d'étude est déduite directement de la courbe Ombrothermique (Fig.22) ; elle est de l'ordre de cinq mois, qui va de mi-mai jusqu'à la mi-octobre, le reste des mois de l'année, constitue la période humide.

Le diagramme indique que la zone d'étude de Daït El Khadra à une période sèche qui coïncide avec la saison chaude, ce qui est la caractéristique commune aux climats méditerranéens.

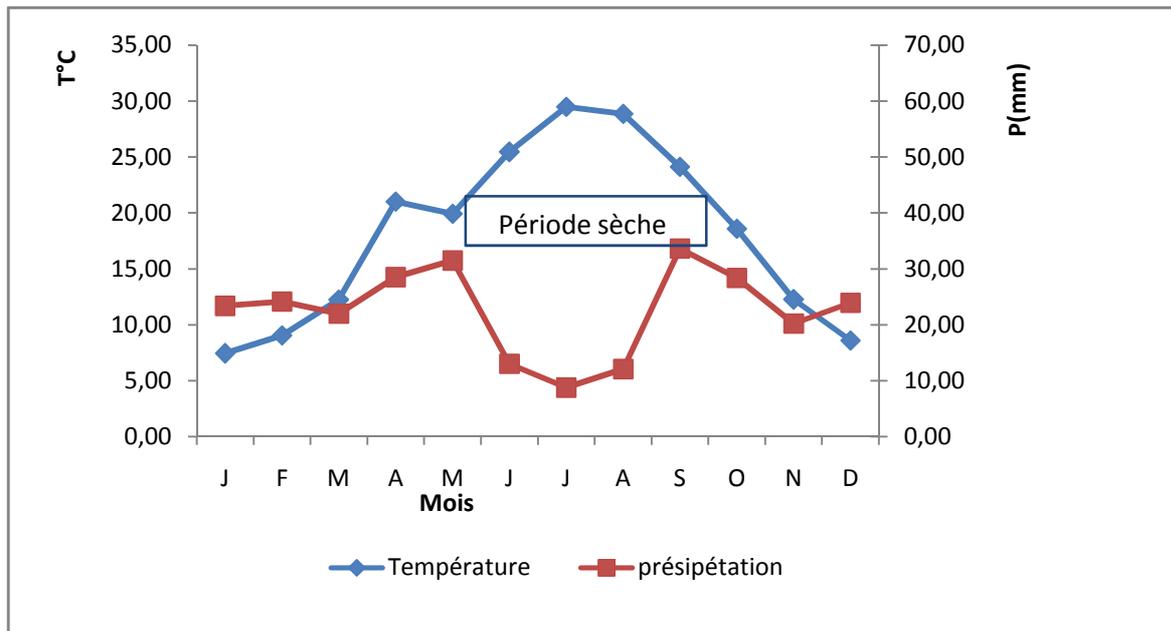


Figure 22 Diagramme Ombrothermique de Gaussen.

6.2.3.2 L'indice de continentalité simple de Rivas-Martines 2002

L'indice de continentalité simple exprimé en degré Celsius, il correspond à l'amplitude thermique annuelle. Il est égal à la différence entre la température moyenne du mois chaud et la température moyenne du mois le plus froid de l'année.

$$IC = T_{max} - T_{min}$$

- IC : Indice de continentalité.
- Tmax : Température maximale du mois chaud.
- Tmin : Température minimale du mois le plus froid.

L'indice de continentalité calculé est de $IC = 32,14^{\circ}C$, le secteur délimité est soumis à un climat de type Continental et sous type Eu –continental. Cette amplitude thermique est un bon indicateur sur les changements climatique.

6.2.3.3 Le Quotient pluviométrique d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger (1930,1955) est spécifique du climat méditerranéen. Il consiste à définir et classer les climats Méditerranéens selon la formule suivante:

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

Avec: Q_2 : quotient pluviométrique; P : précipitations moyenne annuelles en millimètres.
- M : T° maximale moyenne du mois le plus chaud; m : T° minimale du mois le plus froid.

Les températures sont exprimées en degré Kelvin (Celsius + 273).

$\emptyset P = 357.24$: précipitations moyenne annuelles en millimètres.

$\emptyset M = 36.29^\circ\text{C}$: température maximale moyenne du mois le plus chaud.

$\emptyset m = 4.15$: température minimale du mois le plus froid.

Donc le $Q_2 = 34.37$ pour la partie nord et de $Q_2 = 37.90$ pour la partie Sud.

Sur le graphe (figure N°09), nous remarquons que la station de Tiaret est passée du sub-humide inférieur au semi-aride inférieur au cours du vingtième siècle (1913-1938/1986-2012). La chute qu'a subie la position de la station de Tiaret sur le climagramme est bien claire. Cette régression spectaculaire dans un laps de temps d'un siècle environ, nous informe sur un état climatique général changeant. (Miara, 2016).

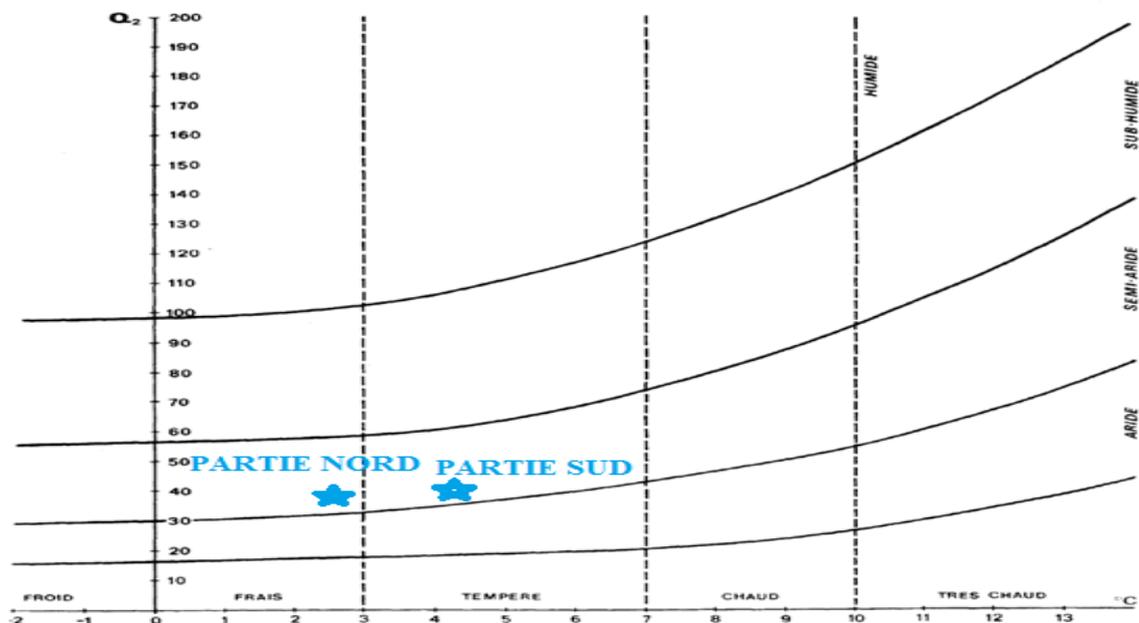


Figure 23 Situation de la zone d'étude dans le climagramme d'Emberger.

Chapitre II: Méthodologie De Travail

1 Introduction

Dans cette zone semi aride, la sécheresse associée à l'action anthropique soit l'exploitation irrationnelle des ressources en eau par l'homme, constitue une importante cause de dégradation de l'écosystème aquatique. De plus, la composition diatomique de ce milieu, en particulier pour les cours d'eau, subit d'importantes variations en fonction du changement environnemental due à l'action du facteur anthropique. Cette inconstance des espèces diatomique amène à des difficultés au niveau de la méthode d'échantillonnage. Par ailleurs la présence des espèces halophytes exprime le moment et l'intensité des pluies qui définissent respectivement le nombre d'individus et l'appartenance biogéographique des espèces.

2 Échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés dans le lit des rivières au niveau de 10 stations durant les saisons d'automne et printemps respectivement en 2015 et 2016. Après avoir déterminé la station de prélèvement, et examiné que les conditions hydrologiques permettent d'accomplir l'échantillonnage, cela en fonction plusieurs critères tel que l'accessibilité, présence de supports durs naturels immergés permettant le prélèvement manuel....etc.

Les prélèvements concernent des pierres, galets et cailloux recouverts sur la face supérieure d'un bio-film brunâtre caractéristique d'une forte abondance de diatomées. La profondeur d'échantillonnage doit varier entre 20 et 40 cm, selon la turbidité (transparence) et le niveau de l'eau.

Après grattage de la surface supérieure des substrats à l'aide de brosses à dents et rinçage avec l'eau distillée des échantillons récoltés, le bio-film est récolté puis on lui ajoute quelques gouttes de Lugol si nécessaire pour la bonne conservation des cellules des épilithons jusqu'à leur étude.

3 Prétraitement de bio-film**3.1 Élimination de la matière organique**

Une partie de l'échantillon brut est prélevé et placé dans un tube en verre auquel sont additionnés trois volumes de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) à 30%, pendant 15 à 20 minutes afin de détruire la matière organique, puis on ajoute quelques gouttes d'HCl à 35% aux échantillons des diatomées (selon la quantité de matière organique présente dans l'échantillon) présents dans des tubes à centrifuger. Ensuite, il faut diluer les préparations selon

un processus répété au moins trois fois pour éliminer toute trace d'oxydant. L'opération est poursuivie jusqu'à l'obtention d'une solution légèrement blanchâtre.

3.2 Préparation de la lame

Afin de faciliter l'observation des frustules au microscope, une partie du culot ainsi obtenu est prélevé et dilué dans de l'eau distillée afin d'obtenir une solution légèrement trouble. Quelques gouttes de cette solution sont déposées sur une lamelle puis laissées à sécher à température ambiante.

La lamelle est ensuite retournée et collée sur une lame à l'aide d'une résine baume du Canada Balsam (RI=1.55), L'assemblage est ensuite placé sur une plaque chauffante et porté à ébullition quelques secondes. La lame est alors retirée de la plaque et placée sur une surface plane. Une légère pression est exercée sur la lamelle à l'aide d'une pince courbe dans le but de répartir les diatomées dans un plan horizontal.

3.2.1 L'identification et le comptage

L'identification et le comptage des valves de diatomées s'effectuent en microscopie à un grossissement 100. Afin d'observer les diatomées de façon aléatoire et d'éviter de compter le même spécimen deux fois, il est important de procéder au balayage de la lamelle suivant :

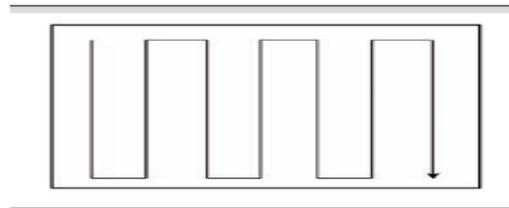


Figure 24 Balayage d'une lamelle de microscope.

On utilise aussi les guides recherches sur les diatomées des eaux continentales de l'Algérie (**Baudrimont, 1974**); Bacillariophyceae. Bacillariaceae, Epithemiaceae et Surirellaceae. Semper Bonis Artibus (**Krammer et Langebertalot, 1988**); Bacillariophyceae. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Semper Bonis Artibus (**Krammer et Langebertalot, 1991a**); Bacillariophyceae.: Achnanthaceae. Semper Bonis Artibus (**Krammer et Langebertalot, 1991b**). Diatoms of low- alkalinity lakes in the northeastern united states Philadelphia the academy of natural sciences of Philadelphia (**Keith et al., 2000**); Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées (**Prygiel et Coste, 2000**); An Illustrated Guide to Some Common Diatom Species from South Africa (**Taylor et al., 2007**); guide d'identification des diatomées de rivières de l'Est du Canada (**Iavoie et al., 2008**); Marine Phytoplankton Atlas of Kuwait's Waters (**Al-Kandari. M, 2009**)

4 Les paramètres d'eau analysés

Les analyses physico-chimiques des échantillons d'eau des stations de prélèvement sont réalisées au niveau du laboratoire de l'université d'Ibn Khaldoun de Tiaret, faculté des sciences de la nature et la vie. La température, le pH et la conductivité sont mesurées in situ par un multiparamètre (Carison MM4).

4.1 Les paramètres physiques

4.1.1 La température

La détermination de la température est essentielle pour les différentes réactions physico-chimiques et biologiques, cette température est déterminée sur place à l'aide multiparamètre (Carison MM4), exprimée en C°.

4.1.2 Le pH

Un facteur important à l'évaluer, car une valeur supérieure ou inférieure aux normes, influe sur le milieu récepteur.

4.1.3 La conductivité électrique (C.E)

La mesure de la conductivité électrique d'une solution s'effectue en immergeant dans la solution une cellule de mesure comportant une électrode, le conductimètre affiche directement une valeur qui est mesurée à 20 C°.

Si une conductivité élevée, qui peut être naturelle ou due à des rejets salins. Elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.1.4 La salinité

La salinité d'une solution correspond à la présence des sels dans la solution. Sa mesure s'effectue par immersion d'une électrode du pH-mètre (multi-paramètre) dans la solution, et qui va affichée directement une valeur mesurée en pourcentage (‰).

4.2 Les paramètres chimiques

4.2.1 Détermination des chlorures (Cl^-)

Prendre 50ml d'eau à analyser, ajouté de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (apparition d'une coloration jaunâtre), titre avec AgNO_3 à 0,01N jusqu'à coloration brunâtre

4.2.2 Détermination des nitrites (NO₂⁻)

Prendre 50ml d'eau à analyser et ajouter 1ml de réactif mixte. L'apparition d'une couleur rose indique la présence des NO₂⁻ attendre 10mn et effectuer le lecteur à 543nm sur le spectrophotomètre

4.2.3 Détermination des nitrates (NO₃⁻)

Prendre 10ml d'eau à analyser dans une capsule de 60ml, alcalinisé faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium, ajouter 1ml de la solution de salicylate de sodium. Evaporer à sec à 75-80 °C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps), laisser refroidir, répondre les résidus par 2ml de H₂SO₄ concentré on ayant soin l'humecter complètement. Attendre 10mn puis jouter 15ml d'eau distillée, ajout 15ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartare double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune. La lecture effectuée au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 420nm.

4.3 Analyse des données

Les résultats numériques sont rassemblés dans un tableau á double entrées dont les colonnes correspondent aux relevés et les lignes représentent les espèces. Ce tableau est constitué par 40 relevés décrits par les espèces subit une analyse factorielle des correspondances (CCA) qui constitue la méthode statistique la plus appropriée pour mettre en évidence des groupements végétaux. Concernant le deuxième tableau constitué par les paramètres physico-chimiques, il subit une analyse par composante principale (A.C.P). (Le logiciel utilise est R).

4.3.1 Indices de la diversité floristique

Les indices les plus courants sont utilisés pour l'évaluation de la diversité floristique, à savoir l'indice de Shannon, l'équitabilité de Piélou et l'indice de diversité de Simpson.

4.3.2 Calcul de l'indice de Shannon-Weaver (Shannon and Weaver, 1949)

Cet indice permet de quantifier la biodiversité d'un milieu d'étude et donc d'observer une évolution au cours du temps: $H' = -\sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i$

Avec H' : indice de biodiversité de Shannon-Weaver; i : une espèce du milieu étudié; p_i: proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu; s : nombre d'espèces.

L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité de Piélou (1966), qui représente le rapport de H' à l'indice maximal théorique dans le peuplement, c'est-à-dire à un peuplement où toutes les espèces auraient le même effectif: (H_{\max}) . $E = H'/H'_{\max}$

4.3.3 Indice de pollution organique (IPO, Leclercq et Maquet, 1987)

Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis de déterminer, à partir de ses propres mesures (tab.12), le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre puis d'en faire la moyenne.

Tableau 12 Classification des paramètres selon les cinq classes (Leclercq et Maquet, 1987).

Classes	Paramètres	DBO 5 mg-0 ₂ /l	Ammonium mg -N/l	Nitrites µg-N/l	Phosphates µg-P/l
5		< 2	< 0.1	5	15
4		2 – 5	0,1– 0.9	6 – 10	16 – 75
3		5.1 – 10	– 2.4	11 – 50	76 – 250
2		10.1 – 15	2.5 – 6.0	51 – 150	251 – 900
1		> 15	> 6	> 150	> 900

IPO = moyenne des numéros de classes des 4 paramètres (au mieux) :

5.0 – 4.6 : pollution organique nulle

4.5 – 4.0 : pollution organique faible

3.9 – 3.0 : pollution organique modérée

2.9 – 2.0 : pollution organique

1.9 – 1.0 : pollution organique très forte

4.3.4 Indice Biologique Diatomique

Le calcul de l'indice diatomique pondéré de qualité d'eau est donné par la formule suivante :

$$ID = \frac{\sum A_j V_j i_j}{\sum A_j V_j}$$

Où A_j est l'abondance relative de l'espèce j , V_j est la valeur indicatrice de l'espèce j

($1 \leq V \leq 3$) et i_j est la sensibilité à la pollution de l'espèce j ($1 \leq i \leq 5$).

Tableau 13 Les genres utilisés pour le calcul de l'indice diatomique.

Taxons	Code	i	v	Taxons	Code	i	v
Achantes	ACH	5	1	Gyrosigma	GYA	4	3
Amphipleura	AMH	5	3	Hantzschia	HAN	1	3
Amphora	ARA	3	2	Melosira	MEL	3	1
Anomoeoneis	ANO	5	2	Meridion	MER	5	2
Asterionella	AST	4	1	Navicula ottostichae	NOR	2	2
Attheya	ATT	2	3	Navicula punctatae mutica	NPM	1	2
Caloneis	CAL	4	2	Navicula autres	NAV	3	1
Campylodiscus	CAM	5	2	Neidium	NEI	4	3
Ceratoneis	CER	5	2	Nitzchia dissipatae	NDI	4	2
Cocconeis	COC	4	1	Nitzchia autres	PTT	1	1
Cyclotella	CYC	3	1	Pinnularia	PIN	4	3
Cymatopleura	CMA	4	2	Rhizosolenia	RHI	2	3
Cymbella	CMB	5	1	Rhoicosphenia	RHO	4	1
Denticula	DEN	5	3	Rhopalodia	RHA	5	3
Diatoma	DIA	4	1	Stauroneis	STA	5	2
Diploneis	DIA	6	1	Stenopterobia	SIA	5	3
Epithemia	EPI	5	2	Stephanodiscus	STE	2	1
Eunotia	EUN	5	1	Surirella	SUR	3	3
Fragilaria	FRA	4	1	Synedra	SYN	3	1
Frustulia	FRU	5	2	Tabellaria	TAB	5	1
Gomphoneis	GIS	4	2	Tetracycius	TET	5	3
Gomphonema	GMA	3	2	Tehalassiosira	THA	2	3

Une note indiciaire comprise entre 0 et 20 est ainsi obtenue. Cette note détermine la qualité biologique du milieu qui peut être définie en 5 classes (Tab. 14):

Tableau 14 Les différentes Classes de qualité biologique

Note IBD	[0-5[[5-9[[9-13[[13-17[[17-20]
Qualité écologique	Mauvaise	Médiocre	Passable	Bonne	Très bonne

Chapitre III: Résultats et Discussion

1 Taxonomie des espèces

1.1 Introduction

La taxonomie des diatomées est alambiqué et le mode de reproduction de celles-ci est particulier car la reproduction est généralement sexué mais il peut y avoir division des individus, donc une altération subtile de la forme. Les diatomées sont identifiées grâce à la morphologie des cellules qui sont caractérisées par la forme géométrique et leurs structures internes. On estime le nombre d'espèces de diatomées à 200.000 (Mann et Droop, 1996).

Dans ce chapitre, sera développé le principal objectif de cette thèse qui est l'étude via la taxonomie et la diversité des communautés diatomiques de la région de Tiaret, en relation avec les gradients environnementaux ainsi que la participation de ces espèces dans l'évolution de la qualité de l'eau en tant que des bioindicateurs.

Pendant trois années successives, on a parcouru presque la totalité des quatre réseaux hydriques de la région de Tiaret qui sont l'Oued Mina, l'Oued Louhou, Nahr Ouassel et les eaux saumâtres de chott chergui récoltant ainsi plus de 300 relevés, avec échantillonnage mensuelle pendant deux saisons printemps et automne respectivement en 2015 et 2016 qui ont affichés une diversité diatomique et une différenciation écologique des espèces permettant d'associer leur présence avec les conditions environnementales de la région.

Cent échantillons ont été prélevé dans le lit des rivières au niveau de 20 stations (fig.25, 27). Ainsi, l'identification et le dénombrement de ces échantillons ont permis de mettre en évidence des espèces diatomiques diverses des différents sites étudiés et les résultats ont établis les proportions des taxons représentant une diversité importante, a partir des différentes formes des diatomées (centriques et pennées). En outre, 13 espèces ont été observés pour la première fois en Algérie et ces taxons sont décrits comme des espèces cosmopolites et affiliés aux différentes familles et genres recensées dans la zone d'étude

1.2 Interprétation des résultats de la Diversité des diatomées dans la région d'étude

Les individus recensés se répartissent en 122 espèces, 19 familles (fig. 25) et la plupart des taxons appartiennent respectivement aux familles les Naviculaceae (19,67%), Bacillariaceae (13,11%), Cymbellaceae (12,30 %), Sellaphorineae (09,02%) et Neidiineae, Surirellaceae avec (7,38%). Ces résultats concordent dans la dominance des familles avec

ceux de (Chaïb *et al.*, 2011). Par contre, les travaux de Nehar *et al.*, (2015) au niveau d'Oued Chellif ont démontrés que la majorité des espèces appartiennent à la famille des Fragiariaceae.

Par ailleurs, 45 genres dévoilent les taxons des oueds, dont les plus représentés sont *Navicula*, *Nitzshia* et *Cymbella*, et 4 genres sont représentés chacun par une seule espèce et qui sont les genres *Thalassiosira*, *Rhoicosphenia*, *Rhopalodiaceae* et *Halamphora*.

D'autre part, les formes pennées dominent avec une proportion de 97% les formes centriques dont la proportion est seulement 3%. Néanmoins, dans les formes pennées, il ya une prépondérance des Biraphidées sans fibules avec une proportion de 62%, suivies par les Biraphidées avec fibules, les Monoraphidées et les Araphidées qui représentent respectivement des proportions de 22%, 7% et 6% et enfin les Brachyraphidées avec une proportion très faible de 3%, (fig.26)..

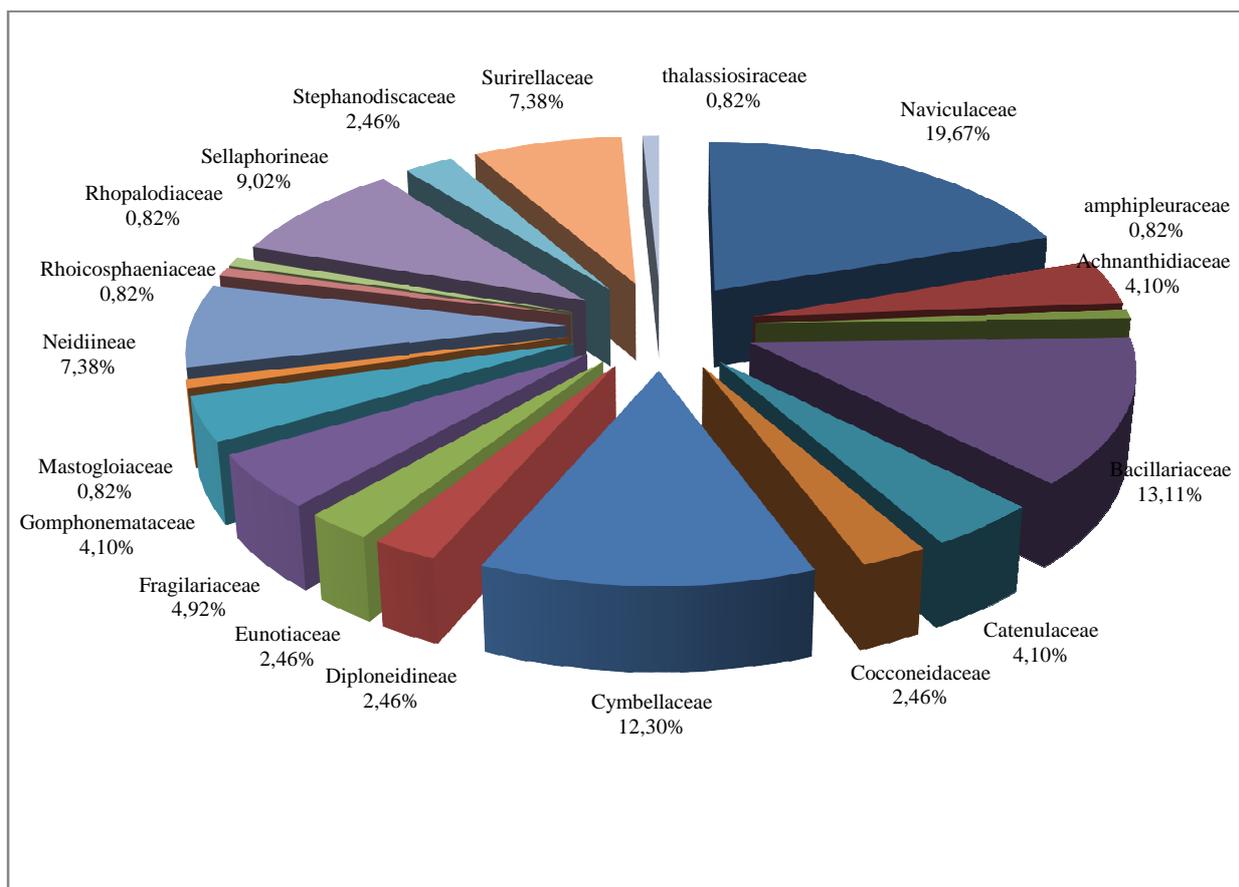


Figure 25 Répartition des familles de diatomées dans la zone d'étude.

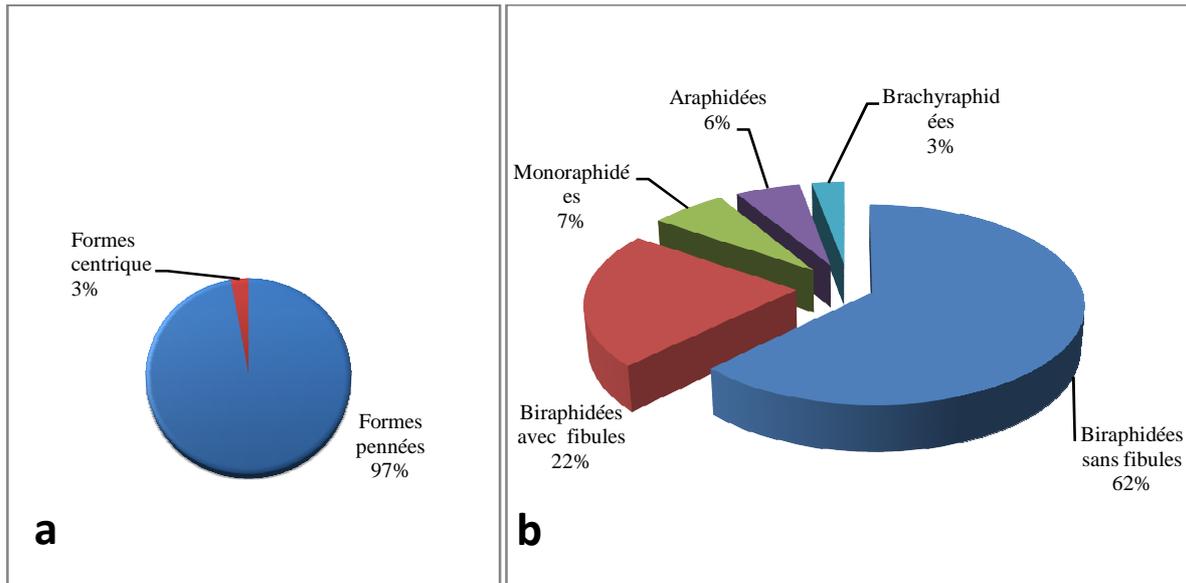


Figure 26 Différentes formes de diatomées dans la zone d'étude
 a/ pourcentage des formes pennées et centriques. b/ pourcentages des formes pennées.

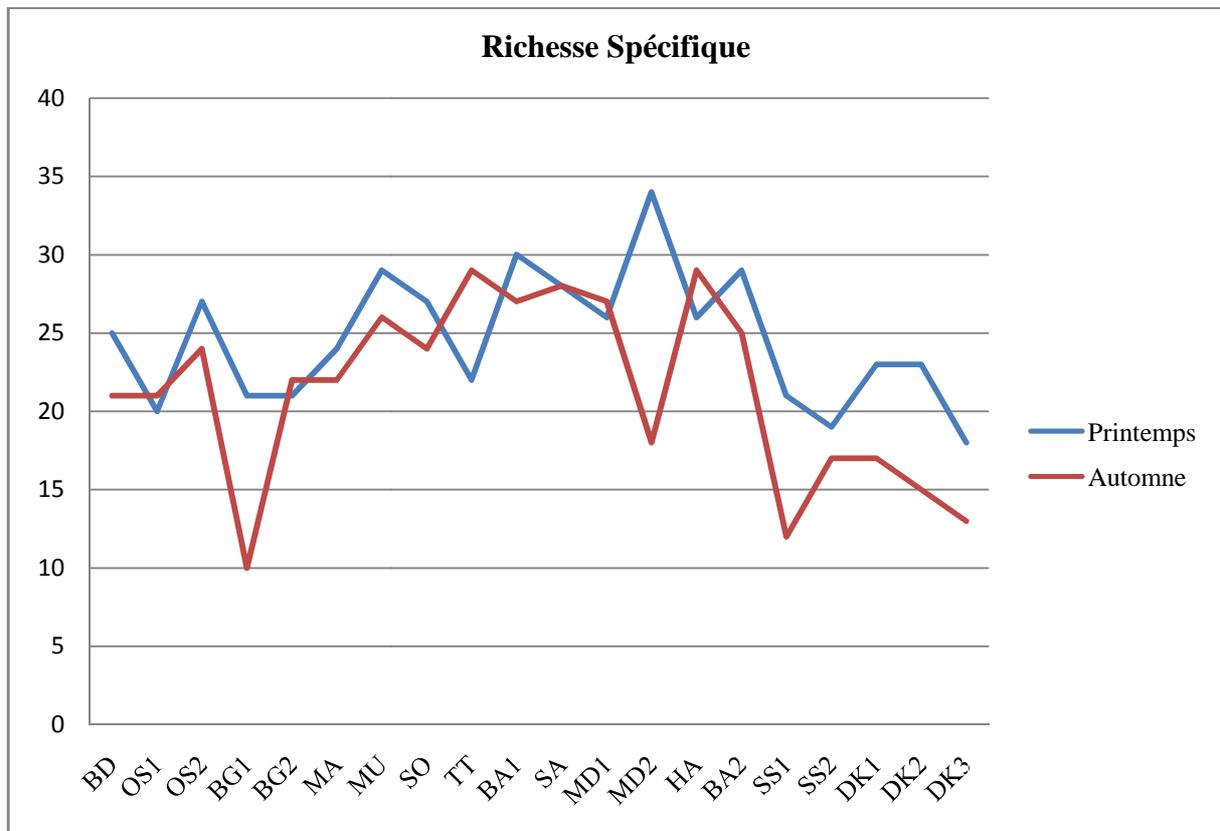


Figure 27 La richesse spécifique dans la région d'études.

1.3 Interprétation des relevés de la Partie Nord

1.3.1 Les Cas de Oued Mina et de Oued Louhou

1.3.1.1 Diversité des familles

Au niveau des Oued Mina et Louhou, qui ont quasiment les mêmes conditions hydrographiques, les espèces recensées sont regroupées dans un seul tableau (tab16) dont l'inventaire pendant les deux saisons printemps et automne ont montrés un total de 97 taxons de diatomées qui ont été recensées dans les 10 stations choisies, pendant les deux saisons. A noter que la majorité des stations présente une distribution cosmopolite très répandus dans toute l'Afrique du nord (fig.29). Par ailleurs, la plupart des taxons appartiennent respectivement aux familles les Naviculaceae (20,75%), Cymbellaceae, (14,15%), Sellaphorineae (10,38%) et Neidiineae, Surirellaceae (8,49%). Les familles des Rhoicosphaeniaceae, Rhopalodiaceae, Amphipleuraceae et Mastogloiaceae sont représentés par un seul genre (fig28).

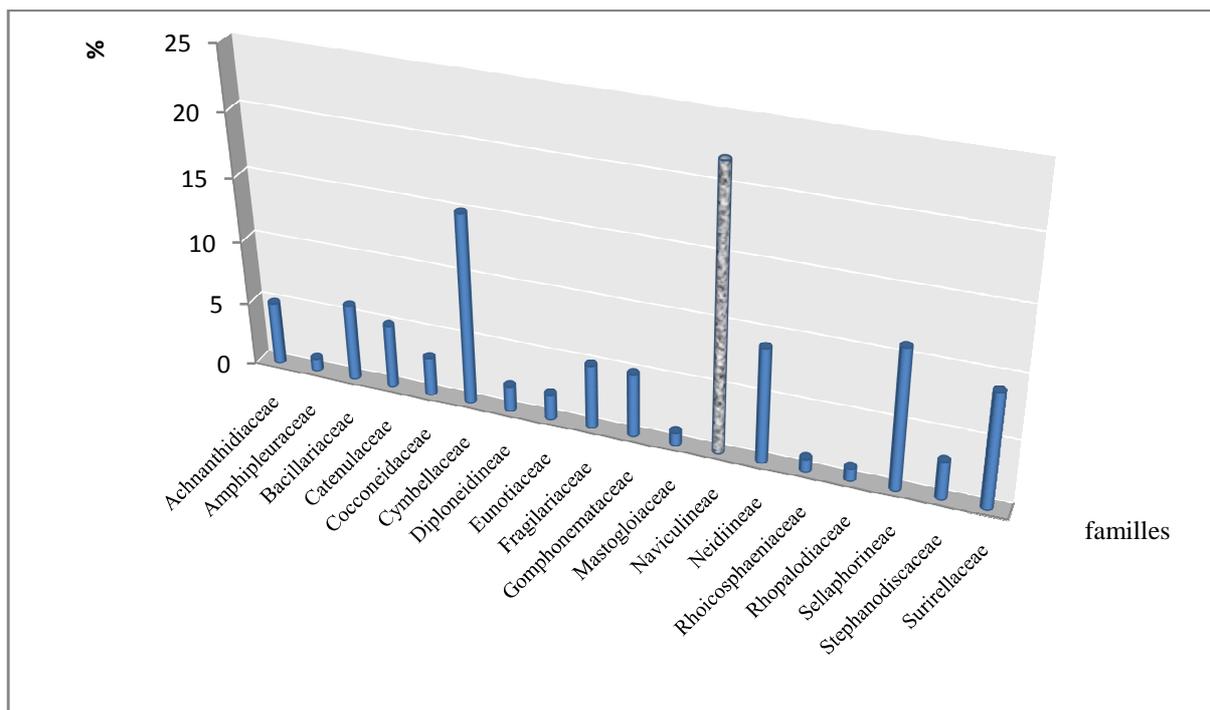


Figure 28 Abondance relative des familles cas Oued Mina et Oued Louhou.

1.3.1.2 Diversité des espèces

Concernant la répartition des espèces au niveau des stations des deux oueds, on remarque que BA1 présente le nombre le plus élevé en cellules diatomiques pendant l'automne suivi par MU au printemps (fig. 29). Cependant, l'espèce *Surirella brebissonii* est le taxon les plus abondant dans les différentes stations pour les deux saisons suivit par les

deux taxons *Gomphonema parvulum* et *Achnantheidium minutissimum* qui affichent le taux le plus élevé pendant le printemps pour le premier et pendant l'automne pour le second (MU et SO) mais leur absence est presque totale dans les autres stations. De même pour Les taxons *Nitzschia palea* et *Encyonema minutum* au printemps BA1, MA, MU et SA1.

Par ailleurs, la forme centrique (*Cyclotella meneghiniana* et *Cyclotella ocellata*) a son tour présente des taux importants pendant les deux saisons a travers les stations SA, MD1, MD2, HA, BA2. Ce qui agit négativement sur la diversité H' et la régularité de Shannon "E" (tab.15).

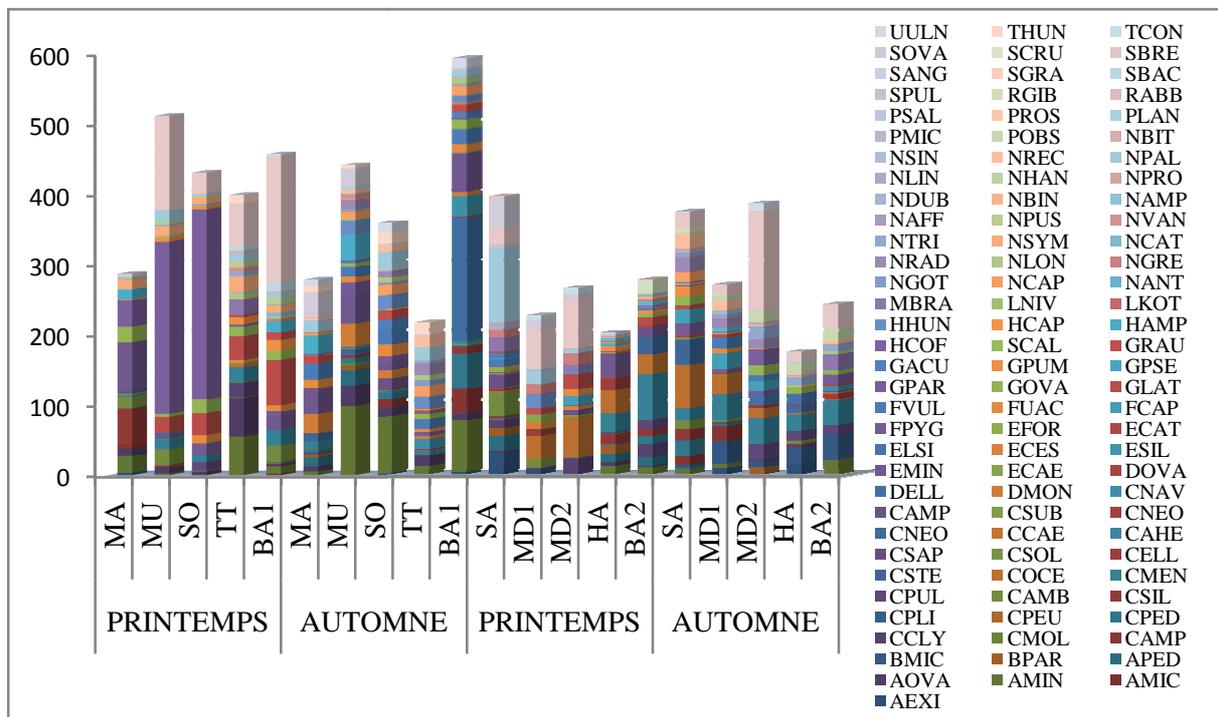


Figure 29 Répartition des taxons pendant les deux saisons a travers les différents stations de oued mina et louhou.

Tableau 15 Indice de diversité des diatomées dans la région d'étude Oued Mina

Indice	Saison	SA	MD1	MD2	HA	BA2	MA	MU	SO	TT	BA1
Shannon H	A	2,93	3,11	2,7	2,91	2,69	3,03	3,04	3,06	3,16	2,91
	P	2,31	2,34	2,51	2,62	2,73	2,63	2,23	2,44	3,08	2,43
Equitability E	A	0,82	0,88	0,79	0,87	0,88	0,87	0,83	0,85	0,9	0,82
	P	0,78	0,78	0,82	0,83	0,80	0,80	0,67	0,71	0,86	0,71

A= Automne; P= Printemps.

Les valeurs moyennes calculées d'indice de Shannon H des différents sites de la zone d'étude varient de 2.69 à 3.16 durant les périodes d'automne et de printemps. Ces valeurs sont confirmés par les résultats de l'indice d'équitable, durant les deux saisons d'Oued mina (tab. 15) qui oscille entre $E = 0.67- 0.89$ et $E = 0,82- 0,90$ et pour l'Oued Louhou, elles sont de $E = 0,89$ à $0,81$ et $E = 0,70$ à $0,89$. Par conséquent, on remarque que dans certains sites, le E tend vers 1 qui explique que le peuplement des diatomées dans cette région est en équilibre et dans d'autres sites la valeur de E tend vers 0 qui signifie un déséquilibre au sein de l'assemblage.

Par ailleurs, certains travaux ont démontrés une abondance d'*Achnanthis minutissimum* avec une fréquence respective de 75% et 55% pendant l'été au niveau des stations étudiées avec des indices d'équitabilité de l'oued Kebir-Est qui varie entre 0,37 et 0,81 a Hammam Bouhnifia et oued Chélif entre 0,33 et 0,65. (Chaib et Tison-Rosebery, 2012; Nehar et al., 2015).

Tableau 16 Abondance relative des diatomées dans Oued Mina et Oued Louhou.

Espèces	S	MA	MU	SO	TT	BA1	SA	MD1	MD2	HA	BA2
.	A	0.88		1.77							
	P		2.21	0.76	0.52	2.32			6.63		4.52
	A	6.76		2.44	3.17	4.26	6.27		8.50		0.20
	P	0.46	9.94	8.84	21.26	13.21	1.94		14.52		0.27
	A	3.24	1.26	0.44	7.07	4.96	2.07	10.13	3.03	3.15	3.24
	P	2.07	10.13	3.03	3.15	3.24	1.26	0.44	7.07	4.96	2.07
	A				5.37					5.26	0.41
	P			3.28				10.51	1.08	1.15	
	A									7.32	4.50
	P									1.61	9.57
	A						3.58	3.89		1.37	
	P					0.36	7.10	0.39	1.43	0.23	2.13
b.	A	1.76		0.22		2.48					
	P					2.89	6.25	7.10			
	A						2.09	0.46		2.52	3.27
	P						3.23		0.72	0.46	1.33
	A				1.71	0.71	0.30	0.23			
	P				2.36	8.93	0.97		1.08		

	A	6.76	1.26	2.88		0.35				
	P	1.61	6.26		3.15		1.29	1.95	2.15	
	A	0.59	2.27	5.10			0.60	29.52	14.57	4.50
	P	3.22	3.87				11.61	8.95		0.53
	A		0.25				8.66	3.20	0.40	5.95
	P	0.23	0.92				8.71	1.17	2.15	11.70
	A				0.24	1.42				5.03
	P			9.09	2.10					3.90
	A						5.07	2.06	4.86	2.97
	P							3.11	1.97	1.15
	A	0.29	0.50	0.89	0.24	1.77			0.40	4.35
	P	0.46	3.87	0.51	0.26	1.43	0.65		1.97	0.41
	A		3.02				0.60	4.35	4.86	0.20
	P			4.55				5.45		0.23
	A				0.24		0.30			0.46
	P	1.15				18.75		4.28	0.90	1.33
	A				1.46	4.96				
	P			1.26	2.10	5.18			3.41	
	A				8.05	5.32				0.23
	P			1.26	3.15	1.07			0.18	1.15
	A	12.65	0.25	4.43	10.24			0.46		5.03
	P	0.69		2.27	2.89	8.21		0.39	3.05	2.86
	A									0.20
	P							0.18		
	A				1.46	4.96				
	P			1.26	2.10	5.18			3.41	
	A	1.47	3.78	1.55		0.35		0.92	5.67	1.14
	P	1.84	4.05			0.18	1.29		1.25	0.27
	A						7.16	3.20		4.50
	P						7.42			3.21
	A				1.95	1.77	2.39			2.06
	P				6.82	2.14	1.94		1.43	5.50
	A				5.61	6.38		0.92		
	P				5.77	3.75	1.94		2.51	
	A		8.06	14.41			16.42			2.86
	S	5.06	6.08	13.64			1.29		5.05	2.39

	P	11.18	38.04			0.30	5.03			
	P	28.97	0.55	5.05		0.18				
m	A	3.53	4.79	2.44		0.30	3.20	2.43		
	P	0.92	2.58			2.90	3.50			
	A	0.59	3.53	3.33		0.60	1.60			
	P	1.38	2.03			0.65			1.60	
	A				0.49	7.45	0.30	0.23		2.29
	P			6.57	3.67	1.79		0.39	2.69	
	A			2.44	1.71	1.06				3.89
	P		0.55	1.26	3.15	1.96			2.15	
	A	3.53		3.55	8.78	0.71				
	P			0.51	1.05		0.65		0.90	
	A				2.68	4.26				9.15
	P			0.25	1.84	0.71			0.72	
	A				5.12	6.38			0.40	2.52
	P				5.25	1.79			0.54	0.92
	A		5.54							9.61
	P		8.10							
	A		0.50		0.49	5.32	6.27			1.83
	P		0.18	0.25				4.67		4.50
	A								8.91	1.60
	P		4.05				6.77			2.06
A				2.44	5.32	0.30				
P				3.67	2.50		0.39	3.41	1.15	
A			1.77	1.71		0.60			3.20	
P		0.18	0.25	0.26	0.18			2.15	7.34	
A		0.25	0.67	0.24	2.48			1.62		
P	0.23	1.47	4.04	1.84	2.32		0.78	2.15	1.15	
A		0.25		3.41	6.03	5.67	3.20			
P				2.36		4.19			7.18	
A	4.12	2.77	2.44	0.24		0.90				
P	2.99	4.24	1.26	0.26	0.18					
A	0.29		0.22		1.42		4.12	4.45		
P	0.46	1.10	6.82		0.18	0.65	4.67			
A	11.76	4.79					0.23		0.23	
P	0.46	0.18						0.90	0.23	
									1.02	
									4.52	

	A								3.20	
	P	2.76	2.21					0.18	7.57	3.72
	A								3.89	5.11
	P								11.70	3.19
	A		1.01	0.22				11.90		1.60
	P			2.02			1.29	0.39		
	A	1.76	0.50						0.46	4.29
	P	0.92	1.47						4.30	2.06
	A	0.59			2.93	3.19		5.72	3.24	
	P			3.54	0.26	1.07	3.87	8.17		
	A	0.29	0.76	1.11	0.24	6.74	0.30		6.18	0.20
	P	3.68	2.03	4.04	7.09	1.61			8.60	1.15
	A		3.53	1.55			5.67		1.62	
	P		0.92				4.19	0.78		3.72
ar.	A							1.60		10.07
	P				2.14			0.39	8.42	4.82
	A					0.35		1.83	4.86	
	P						0.65	5.84		
	A		3.53	0.89			0.30	1.83		
	P	5.52	2.21				0.32	8.17		
	A	19.71	7.05	37.92			9.25	3.20	14.17	14.52
	P	30.80	10.87				4.52	5.45		15.83
	A	1.18	0.25	0.22	5.12	0.35	0.30		2.06	6.75
	P	0.23	0.18	2.78		0.18		0.39	1.38	5.85
	A	4.12	1.01		0.24			0.27		
	P	2.07	0.92		3.67	2.50		0.13	9.86	

Absence Rare (0.2-1%) Commun (1-5%) Fréquent (5-20%) Dominant (>20%)

S = Saisons. A= Automne; P= printemps

1.3.2 Cas de Nahr Ouassel

1.3.2.1 Diversité des familles

A travers les différents sites de cette région, la richesse spécifique a affichée l'existence de 41 espèces dont la majorité appartient à la famille Bacillariaceae avec un taux de 18% environ (fig30). Tandis que plusieurs familles sont représentées par un seul genre, ce

qui concorde avec les résultats de **Nehar *et al.*, (2015)**. En outre, le site OS2 présente le plus grand nombre d'espèces (21 espèces) au printemps et BG1 seulement 10 espèces à l'automne.

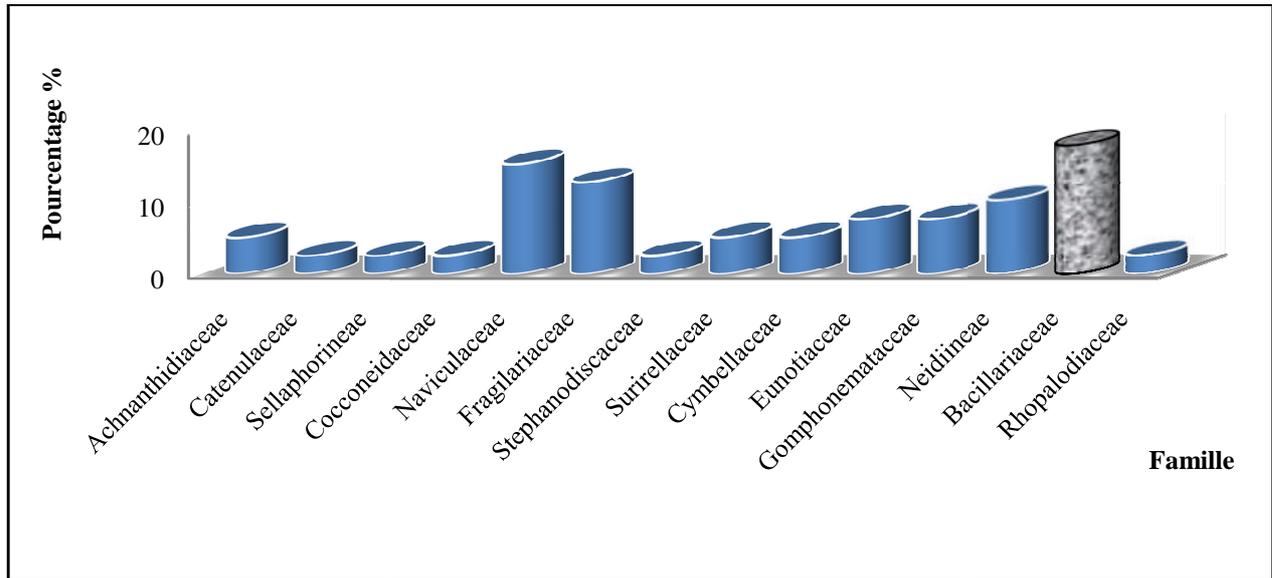


Figure 30 Pourcentages des familles au niveau de Nahr Ouassel.

1.3.2.2 Diversité des espèces

En plus, le nombre de taxons recensés dans cette région s'élève fortement en saison du printemps, avec un grand nombre d'individus rencontrés dans les sites BG1 et OS2 avec respectueusement 633 et 599 individus (fig.32). Par ailleurs, on observe la dominance des taxons *Gomphonema parvulum* ($A > 20\%$) et des espèces *Surirella brebissonii* *Craticula ambigua* et *Amphora ovalis* qu'on peut qualifier comme taxons subdominants ($A: 5- 20\%$).

Par contre, le nombre d'individus est faible en automne ou il ne dépasse guère les 400 individus dans les différentes stations avec une dominance ($A > 20\%$) de *Tryblionella apiculata* 60.13% et 30.26% (tab 18) respectueusement dans les deux sites BD et BG1. Or, *Amphora ovalis* présente des taux remarquables dans le site BD et *Ctenophora pulchella* est très abondante dans les sites OS2 (25.27%), BG1 (35.32%) et BG2 (29.16%).

Alors que la majorité des taxons sont rares ou absents ($A : 0.2-1\%$) à travers ces cours d'eau, telles que les espèces *Cyclotella meneghiniana* ; *Fragilaria capucina* ; *Navicula cryptocephala* qui sont totalement absentes.

Dans les cours d'eau de Nahr Ouassel nous signalons la présence de cinq espèces : *Eunotia cataractarum*, *Eunotia formica*, *Luticola kotschy*, *Luticola nivalis* et *Neidium dubium*. Indiqués dans la liste des 13 espèces observées pour la première fois dans les cours d'eau Algériens.

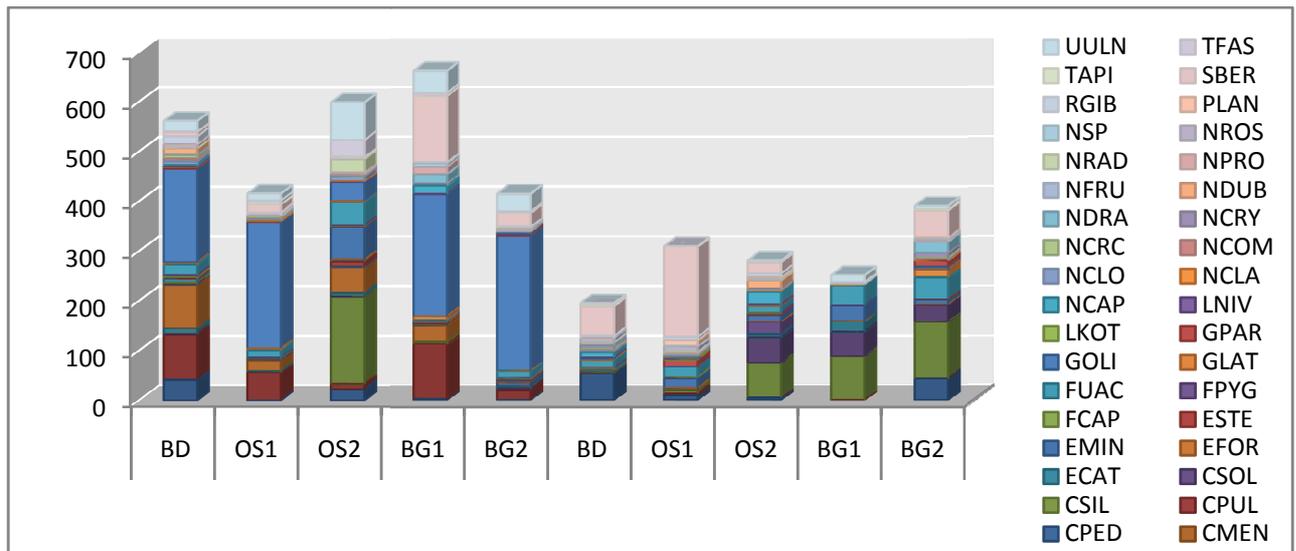


Figure 31 Répartition des espèces a travers les sites de Nahr Ouassel durant la saison de printemps et d’automne

En outre la richesse spécifique (fig.32) à travers les divers sites de nahr ouassel est moyenne et elle montre la variation des espèces entre les deux saisons confirmé les indices de biodiversité de Shannon H et d’équitabilité E. Ce dernier, est calculé, pour comparer la diversité des peuplements ayant des richesses spécifiques. Il détermine le rapprochement ou l’éloignement entre H’ et Hmax et cet aspect est indicateur de la diversité, en raison du rapprochement d’indice de diversité de la valeur 1, ou de son éloignement.

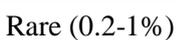
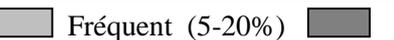
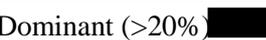
Tableau 17 Indice de diversité des diatomées dans la région d’étude Nahr Ouassel

Sites	BD		OS1		OS2		BG1		BG2	
Saison	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P
Taxa_S	25	21	20	21	27	24	21	10	21	22
Individuals	562	195	416	310	599	281	663	252	416	391
Shannon_H	2,23	2,16	1,53	1,74	2,36	2,40	1,94	1,73	1,45	2,29
Equitability_E	0,69	0,71	0,51	0,57	0,72	0,75	0,64	0,75	0,48	0,74

Le peuplement de diatomées relève une richesse taxonomique moyenne et L’équitabilité varier entre 0.57 à 0.75 pendant le printemps et de 0.48 a 0.72 à l’automne. Elle est maximale quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement. Dans ce cas le peuplement est assez diversifié. Donc la proportion des taxons dominants est élevée, *Gomphonema olivaceum* 38%, décrit une compétition plus ou moins équilibrée.

Tableau 18 L'abondance relative des diatomées dans Nahr Ouassel

Espece	code	Printemps					Automne				
		BD	OS1	OS2	BG1	BG2	BD	OS1	OS2	BG1	BG2
	AMIN	0,18	1,92	5,84	0,90	0,48	2,56	0,33	0,71		
	AOVA	7,30		3,84	0,30		27,69	3,65	1,78		11,25
	CAMP	16,37	13,70	1,67	16,74	5,29		1,00			
	CSIL					0,48	0,51		18,15	19,44	8,70
	CPED	0,36	0,48	0,33	0,15		0,51				
	CAMB	0,18		0,33	0,45	1,92		0,66	0,36		
	CPUL		0,48	29,38	0,75		1,03	2,66	25,27	35,32	29,16
	CMEN		0,24	1,67	0,15						
	CSOL	15,66	5,29	8,68	4,98						
	CCYM			0,17			1,03		8,54		
	EMIN	2,14		1,17		1,20		0,33	2,14	8,33	
	ECAT			11,02	0,45	0,24		6,64	5,34	12,70	2,30
	EFOR	1,42	0,48								0,26
	ESTE						2,56				
	FPYG					0,96			0,71		0,26
	FCAP	0,36		0,17		0,24					
	FUAC	1,07		0,33		0,48		0,33	0,36		
	GLAT	3,91	3,61	7,85	0,30	3,37	8,72	6,98	4,98	16,27	11,25
	GOLI	0,71	0,96	0,33	1,36		0,51		0,36	0,40	4,35
	GPAR	33,45	61,06	6,34	37,10	65,38	1,54		0,36		1,28
	LKOT	0,36				0,96		4,98	0,36		3,07
	LNIV	0,18	0,24					0,33			
	NCRC	0,18									
	NCRY	1,25	0,48				0,51	0,33	0,36		0,26
	NRAD			0,50	0,60	0,24	3,08		0,71		2,30
	NROS			4,51		0,24	0,51	0,66	1,07		0,26
	NSP	1,42	0,24				4,62	3,65		0,79	
	NDUB				1,06	0,48					1,02
	NPRO	2,49	0,96					1,00	6,05		
	NCAP			0,33	2,11	1,20					0,51
	NCLA	0,71	0,24	0,17	2,41	0,72	5,64	1,66	9,61		
	NCLO						0,51		0,36		
	NCOM	1,25	0,96	1,84				0,66			1,02
	NDRA	0,89	0,24				2,05				0,26
	NFRU				2,87		3,59	0,33			5,88
	PLAN			0,33	0,15						
	RGIB			0,17	0,30			4,32	1,42		0,26
	SBER	2,85	1,20	0,17		0,48	2,05	2,33	2,85	0,40	
	TFAS	1,42	3,85	0,17	20,21	6,73	30,26	60,13	7,83		14,07
	TAPI			0,17		0,24	0,51		0,36	0,79	0,51
	UULN	3,91	3,37	12,52	6,64	8,65				5,56	1,79

Absence  Rare (0.2-1%)  Commun (1-5%)  Fréquent (5-20%)  Dominant (>20%) 

1.4 Interprétation des relevés de la Partie sud

1.4.1 Le Cas de Chott Ech Chergui

1.4.1.1 Diversité de familles

A travers le spectre de la contribution des familles à la richesse spécifique, (Fig.32) on note une prépondérance des Naviculacées soit 25,71 %, suivit par la famille des Surirellaceae (22.86%) et celle des Bacillariacées (17.14%). En terme de nombre d'espèces, 41 sont inventoriées au niveau de cette zone qui appartiennent à 35 genres et dont les plus répandus dans les eaux salées sont Mastogloia, Campylodiscus et Stenopterobia.

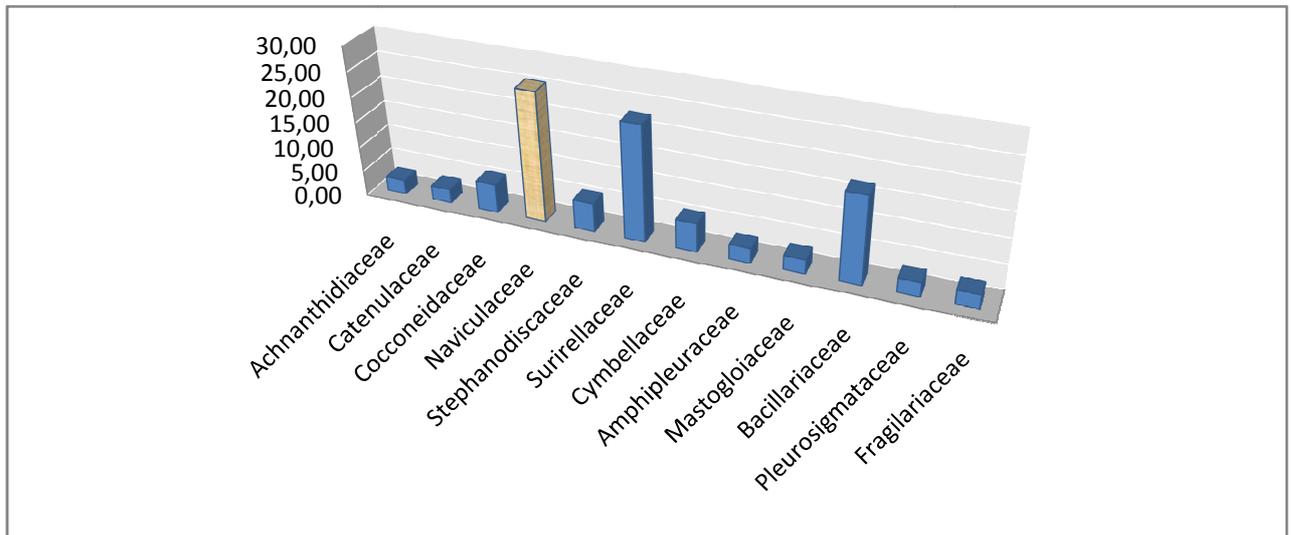


Figure 32 Répartition des familles dans la partie sud (Chott Ech-Chergui).

1.4.1.2 Diversité des espèces

D'après la figure 33, la répartition des espèces à travers les stations explorées fait ressortir que les stations du chott ech-cherqui sont presque toutes dominées par les espèces suivantes : *Mastogloia braunii* (dans tous les sites et aux deux saisons) avec un taux de 26.60% enregistré dans DK3 au printemps et SS2 (28,53%) à l'automne (26,60%), puis vient *Navicymbula pusilla*, de même que la précédente avec des taux à l'automne de 40.29, 38.07% et 26.88% respectivement dans les sites DK2, SS1 et DK3. Tandis que la troisième est une espèce typique des eaux salées, très répandus dans cette zone avec une dominance ($A > 20$) *Campylodiscus clypeus* dans les sites de Dait Khadra au printemps

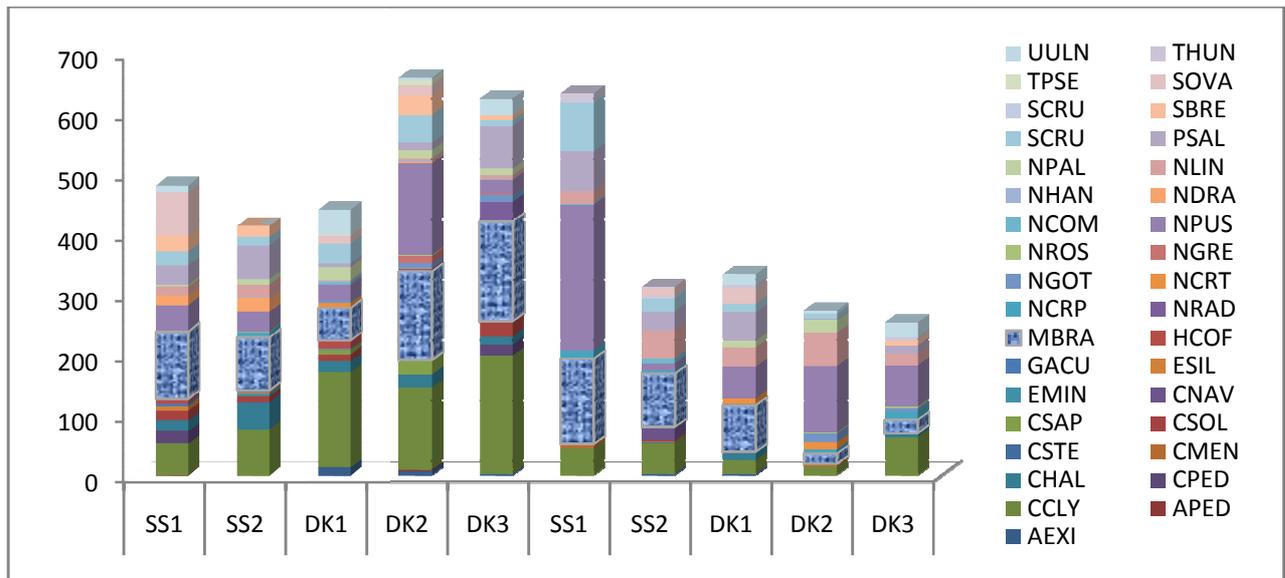


Figure 33 Répartition des espèces à travers les sites de Chott Ech Chergui durant les saisons de printemps et d’automne.

Dans la zone de chott chergui, on note la présence de *Surirella crumena* qui est une espèce considérée par plusieurs auteurs comme une espèce marine, alors on confirme les résultats de Taylor *et al.*, (2007) sur l’écologie de cette espèce, qui constatent que *Surirella crumena* est rare dans les eaux intérieures saumâtres mais elle est plus commune dans les eaux côtières.

Selon l’indice de diversité de Shannon (tab.19), qui démontre qu’un écosystème atteint une diversité maximale en espèces sous un régime de perturbations de fréquence et d’intensité moyennes, on doit s’attendre à des diversités différentes mais tel n’est pas le cas car les résultats obtenus ne montrent pas de changement significatif de la diversité pour l’ensemble des stations étudiées.

En effet, la valeur élevée d’Indice de Shannon témoigne d’un nombre élevé d’espèces rares. (Ramade, 1994).

Cela peut être expliqué par la dominance d’une espèce halophyte repérant leurs biotopes idéals, le cas des Stations DK1, DK2 et DK3 durant les deux périodes avec la dominance de *Campylodiscus clypeus* et *Mastogloia braunii* en SS1 et SS2 et enfin *Navicymbula pusilla* en SS1, DK2 et DK3 en automne et SS2 en printemps.

Tableau 19 Nombre de taxon indice de diversité et équitabilité

Saison	Taxon		Individus		Shannon_H		Équitabilité_E	
	A	P	A	P	A	P	A	P
SS1	21	12	195	562	4,33	4,12	0,74	0,74
SS2	19	17	310	416	3,71	3,98	0,75	0,66
DK1	23	17	281	599	4,27	3,76	0,62	0,55
DK2	23	15	252	663	3,95	3,75	0,77	0,78
DK3	18	13	391	416	2,01	3,89	0,69	0,63

La richesse taxonomique probablement faible, avec des indices plus mitigés, élevée au printemps par rapport à l'automne. La diversité oscille 2,01 à 4,12 et l'équitabilité varie entre 0,62 à 0,78. Il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement. Dans ce cas, le milieu apporte des nutriments non négligeables nécessaires au bon développement des espèces. La compétition pour la lumière est raisonnable, qui assure l'élaboration de la nutrition donc l'alimentation est équilibrée.

Tableau 20 Abondance relative des diatomées dans la partie sud : Chott Chergui.

ESPECE	CODE	PRINTEMPS					AUTOMNE				
		SS1	SS2	DK1	DK2	DK3	SS1	SS2	DK1	DK2	DK3
	AEXI			2,95	1,06	0,32		0,64	0,60		
	APED	0,22			0,30						
	CCLY	11,61	18,60	35,83	20,64	31,41	6,95	16,35	6,91	5,13	24,90
	CPED	4,69				2,88					
	CHAL	3,79	10,63	4,31	3,34	2,24		0,32	3,30		2,77
	CMEN						1,11	0,64		1,47	
	CSTE	0,22	0,24								
	CSOL	3,57	2,17	2,49		3,85	0,16	0,32			
	CSAP			1,59	3,34						
	CNAV							7,05	0,30		
	EMIN		1,21	0,23							
	ESIL	1,79	0,48	0,23							
	GACU	0,89	0,24	0,23	0,30			0,32			
	HCOF	1,56	0,48	3,17		0,16			0,60	0,37	
	MBRA	25,00	21,50	12,02	22,31	26,60	22,27	28,53	23,12	6,23	8,70
	NRAD			0,23	0,61	5,13					
	NCRP	0,22	1,93				2,21	1,60	0,60	2,56	5,14
	NCRT			1,59	0,15				2,70	4,40	
	NGOT			0,91	1,21	1,92				5,13	2,37
	NGRE				1,82	0,32					
	NROS	0,22	0,24		0,30					0,73	1,19
	NPUS	9,15	7,73	6,12	23,07	3,53	38,07	3,53	15,92	40,29	26,88
	NCOM			0,91		0,16	0,32	2,56			
	NDRA	3,79	5,56		0,30						
	NHAN		0,24	0,45	0,15						
	NLIN	3,13	5,31	0,23	0,76	1,12	3,32	15,06	9,61	20,15	7,51
	NPAL	0,89	2,17	4,99	2,12	1,76			3,30	7,69	
	PSAL	7,14	13,29	1,36	1,82	11,38	10,43	9,94	14,11	0,73	5,53
	SCRU	4,91	3,38	7,26	6,98	1,44	12,64	7,05	4,20	2,93	
	SBRE	6,03	4,59		4,86	1,28			0,30		3,56
	SCRU						0,32	0,96		0,37	0,40
	SOVA	16,07		3,17	2,88			4,49	7,51		
	TPSE			0,45	1,06						
	THUN						2,21	0,64	1,50		1,58
	UULN	2,46		9,30	0,61	4,49			5,41	1,83	9,49

Absence  Rare (0.2-1%)  Commun (1-5%)  Fréquent (5-20%)  Dominant (>20%) 

e

1.5 Interprétation des relevés pour la Taxonomie des espèces observées pour la première fois en Algérie

1.5.1 Description des espèces recensées pour la première fois en Algérie

A travers les différents cours d'eau de la zone d'étude, nous avons constatés la présence de 13 espèces observées pour la première fois en Algérie (fig 34), dont quatre appartiennent à la famille des Neidiineae, 02 espèces à la famille des Bacillariaceae et Sellaphorineae. Alors que les Naviculaceae, les Eunotiaceae et les Surirellaceae comptent un taxon par famille. Du point de vue taxonomique, le genre Eunotia appartient à l'ordre des pennales avec une symétrie bilatérale dont la forme est brachraphidées et un raphé réduit. Les genres Navicula, laticola et Neidium ont une forme biraphidées et sans fibules. La même forme pour le genre Bacillaria mais avec fibules. Tandis que Surirella prend la forme biraphidées, raphé circulaire, avec fibules, (Tab.21).

Tableau 21 Taxonomie et mesure biométriques des espèces (grossissement 1000×).

Désignation taxonomique	Code	Longueur	Largeur
<i>Brachysira microcephala</i> (Grunow) Compère 1986 Syn.: <i>Brachysira neoexilis</i> Lange-Bertalot 1994	BMIC	17 µm	4 µm
<i>Eunotia cataractarum</i> Furey, Lowe and Johansen 2011	ECAT	13.3 µm	3.7 µm
<i>Hippodonta capitata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot et al. 1996 .Syn.: <i>Navicula capitata</i> Ehrenberg 1838	HCAP	19 µm	11 µm
<i>Luticola nivalis</i> (Ehrenberg) Mann, J. Paul & et al. 1996 Syn.: LNTV <i>Navicula nivalis</i> Ehrenberg 1854	LNTV	21 µm	6 µm
<i>Luticola kotschy</i> (Grunow). <i>Navicula kotschy</i> Grunow 1860	LKOT	15 µm	4 µm
<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve	NDUB	30.2 µm	19 µm
<i>Neidium ampliatus</i> (Ehrenb.) Krammer Syn <i>Neidium</i> <i>iridis</i> (Ehrenb.) Cleve var. <i>ampliata</i> (Ehrenb.) Cleve	NAMP	55.7 µm	14.2 µm
<i>Neidium binodeforme</i> Krammer 1985	NBIN	19.6 µm	4.8 µm
<i>Nitzschia bita</i> Hohn & Hellermann 1963	NBIT	14.2 µm	3.4 µm
<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>Tabellaria</i> . (Grunow) Grunow	NSIN	21.18 µm	5.98 µm
<i>Pinnularia obscura</i> Krasske 1932	POBS	17 µm	2.4 µm
<i>Stauroneis gracilis</i> Ehrenberg 1843	SGRA	74 µm	12.5 µm
<i>Surirella crumena</i> Brébisson	SCRU	11.4 µm	12.1 µm

1. ***Brachysira microcephala*** : Les frustules lancéolées avec apex prolongés. Les stries rayonnées et parallèles en apex. La zone centrale est petite, Le raphé droit et filiforme.

2. ***Eunotia cataractarum*** La valve se plie légèrement dans une forme arquée. Il devient mince en direction des bordures de la cellule. Avec des gonflements peu visibles marquant la position des extrémités proximales du raphé et les apex sont de forme arrondie avec stries rugueuses et denses sur les bords.

3. ***Hippodonta capitata***: Valves elliptiques-lancéolées, la zone axiale étroite et linéaire. La zone centrale petite, ronde ou elliptique. Le raphé droit, filiforme à extrémités élargies.

4. ***Luticola nivalis*** la cellule généralement de structure allongée, valves symétriques et isopolaires ou sigmoïdes. Un raphé s'étend normalement sur toute la face de la valve et la zone centrale élargie transversalement, avec la présence d'un stigmaté.

5. ***Luticola kotschy*** Valves elliptiques linéaires avec des marges parallèles centrales et des sommets distinctement capitonnés. Les stries rayonnent, devenant presque parallèles aux sommets. La zone centrale est en forme de nœud papillon. Le raphé est filiforme avec des extrémités distales unilatéralement déviées. Absence de stigmatisation

6. ***Neidium dubium***: Valves lancéolées à bords latéraux ondulés; les stries sont des motifs de points, souvent, disposés légèrement en diagonale.

7. ***Neidium ampliatum*** : Valves lancéolées à ovales; densité des stries faible, Le raphé se plie légèrement en forme de crochet dans la zone centrale qui est oblongue,

8. ***Neidium binodeforme*** : Valves sont lancéolées avec une contraction centrale et des apex éperons prolongés. Raphé droit, filiforme. Zone axiale droite, étroite, et la zone centrale est non différenciée. Nodule central distinct. Les stries en ponctuation.

9. ***Nitzschia bita*** Valves elliptiques-lancéolées avec un rétrécissant aux sommets, qui sont étroitement arrondis. Valve avec un pli plus au moins faible au centre de la cellule

10. ***Nitzschia sinuata var. Tabellaria*** L'extrémité de la coque est légèrement bombée. Valves rhomboïdes à lancéolées, La surface de la cellule devient enflées au centre, avec des apex presque capiteux à arrondis. Les stries sont clairement visibles ponctuées et rayonnent. Absence des Nodule central.

11. ***Pinnularia obscura*** Valve linéaire-elliptique à extrémités rostrées (arrondies),. Zone axiale étroite. Les stries rayonnent vers le milieu de la valve, convergentes aux extrémités

12. ***Stauroneis gracilis*** Les valves des espèces sont complexe elliptiques lancéolées à linéaires-elliptiques. Les apex sont prolongés Les stries sont radiales et peu denses.

13. ***Surirella crumena*** Valves ovales-lancéolées à rondes soit clairement ondulés. Les stries sont denses et clairement visibles.

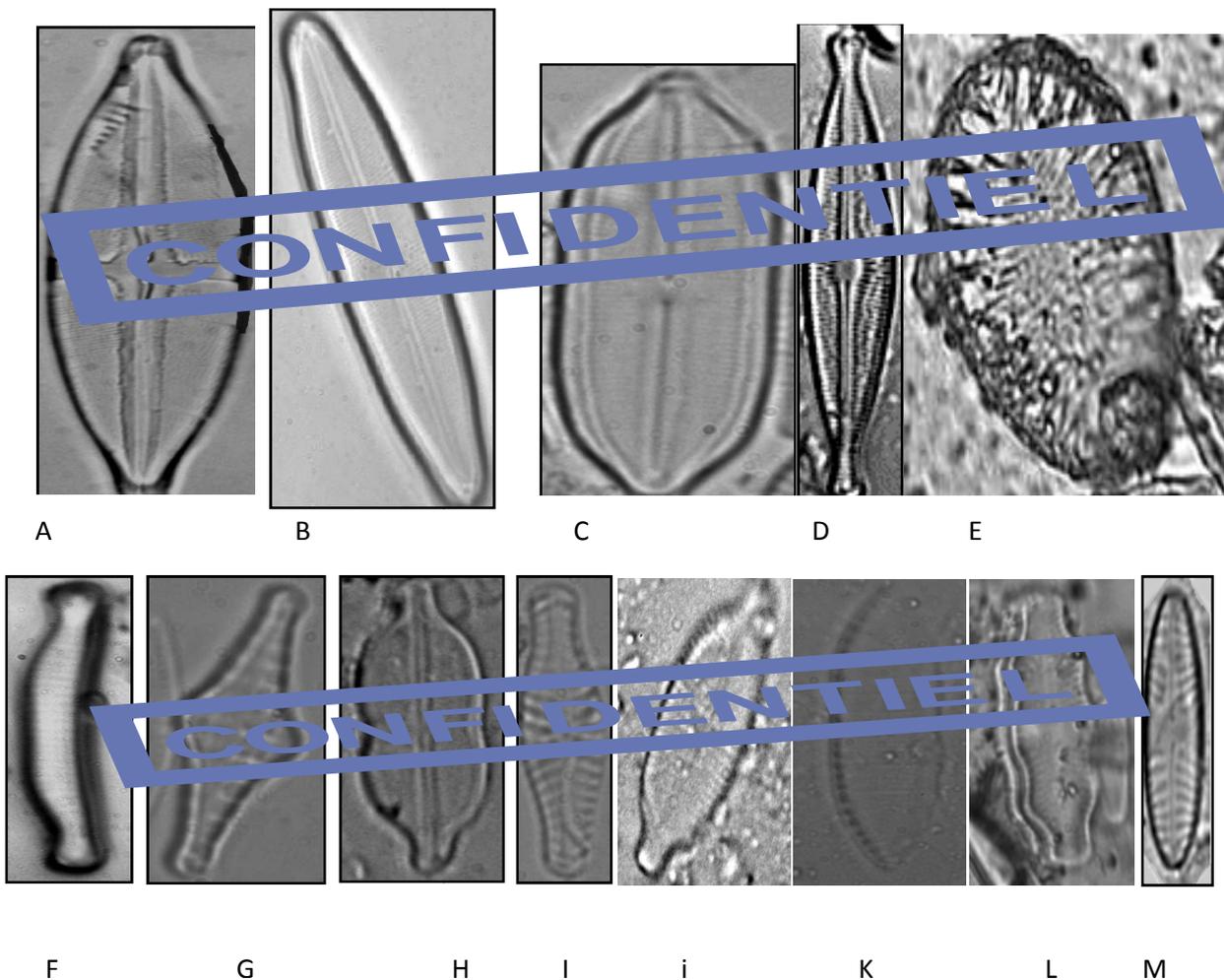


Figure 34 Photos des 13 espèces recensées pour la première fois en Algérie
 A *Brachysira microcephala*. B *Neidium ampliatum*. C *Neidium dubium*. D *Stauroneis gracilis*. E *Surirella crumena*. F *Eunotia cataractarum*. G *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria*. H *Neidium binodeforme*. I *Hippodonta capitata*. J *Luticola kotschy*. K *Nitzschia bita*. L *Luticola nivalis*. M *Pinnularia obscura*

1.6 Conclusion

Après les investigations botaniques menées dans les eaux du réseau hydrique de la zone d'étude pour l'étude de la taxonomie des diatomées dans la région de Tiaret et l'évaluation de la qualité des eaux, à travers ces indicateurs de pollution, la discussion des résultats a porté sur l'inventaire de la flore diatomique dans cette zone à travers les 4 biotopes et les 20 stations prospectées ou on a évoqué l'analyse d'indices écologiques et statistiques appliquées aux différentes espèces.

L'analyse algale dans la wilaya de Tiaret, montre que la richesse spécifique représente 121 taxons de diatomées enregistrés dans les 10 stations pendant les deux saisons. Dont la majorité des espèces sont cosmopolites et sont très répandus dans toute l'Afrique du nord avec en particulier 13 nouveaux taxons observés pour la première fois en Algérie : *Brachysira*

microcephala, *Eunotia cataractarum*, *Hippodonta capitata*, *Luticola kotschy*, *Luticola nivalis*, *Neidium binodeforme*, *Neidium ampliutum*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria*. *Pinnularia obscura*, *Stauroneis gracilis* et *Surirella crumena*.

L'inventaire floristique réalisé a permis de comptabiliser 45 genres et 19 familles botaniques; dont plusieurs familles sont représentées par un seul genre. Ce nombre ne semble pas exhaustif de la région car **Baudrimont, (1974)** à travers les différents relevés réalisés dans les différents écosystèmes aquatiques en Algérie, a recensé plus de 500 espèces. Il est à remarquer que dans la région d'étude, le milieu naturel connaît actuellement une dégradation due essentiellement aux changements climatiques, à l'agriculture intensive et à la mauvaise gestion des déchets.

Les familles botaniques les mieux représentées sont celles des Naviculaceae qui occupent la première place (19,67%), suivit par les Bacillariaceae (13,11%) et les Cymbellaceae (12,30%). Selon **Baudrimont, (1974)**, ces familles sont partout prédominantes. Alors que nos résultats corroborent ceux de **Chaïb et al., (2011)**, concernant la dominance des familles au sein de Oued, Kebir nord-est d'Algérie, contrairement aux travaux de (**Nehar et al., 2015**) au niveau d'Oued Chellif qui notent la dominance de la famille des Fragiariaceae. En outre les 45 genres dévoilent les taxons des oueds et sur le plan spécifique la dominance floristique de trois genres essentiellement Navicula, Nitzshia et Cymbella, dont 4 genre sont représentés chacun par une seule espèce, on cite les Thalassiosira, Rhoicosphenia, Rhopalodiaceae et Halamphora . Selon la classification de Van Dam *et al* (1994), Les communautés de diatomées observées dans la zone d'étude, sont généralement constituées d'un mélange d'alcalophiles.

Par ailleurs les espèces typiques des eaux acides européennes peuvent s'adapter aux eaux alcalines en Algérie (**baudrimont 1974**), confirmé dans notre étude par l'existence de *Brachysira microcephala* considéré par **Alexander et al,(2000)** comme une espèce qui fréquente les eaux neutres à légèrement acides. De même pour **Ciniglia et al, (2007)** qui rapporte aussi que *Pinnularia obscura* est très fréquente dans les communautés d'algues a environnement acide ainsi l'existence du genre Eunotia représenté par deux espèces *Eunotia cataractarum* et *Eunotia formica* qui sont connu comme des acidophiles (**Van Dam et al., 1994**).

2 Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées recensées et sur qualité de l'eau dans la région d'étude.

2.1 Introduction

On retrouve les Diatomées partout dans la nature où il y a de l'humidité, dans les eaux douces, dans la mer, et certaines espèces, dites pélagiques, vivent à sa surface. Ces micro-algues unicellulaire vivent en solitaire ou regroupées en forme d'un ruban, on bien dans un tube gélatineux. Parfois, elles adhèrent aux plantes ou aux substrats durs, par l'une de leurs valves ou au moyen d'un coussinet ou d'un long pédicelle gélatineux et souvent dichotome.

Les variations intervenant dans la structure, la biomasse et la distribution des communautés de diatomées sont le reflet des fluctuations des facteurs physico-chimique : le pH et la conductivité de l'eau, la concentration en nutriments, la lumière, la température, le substrat et les variations du niveau de l'eau; auxquels sont soumis les biotopes concernés, ou des variations de facteurs biologiques ou encore de facteurs probablement impondérables, tels que les diverses pollutions d'origine humaine exemple déversements intempestifs de matières organiques, Les rejets industries (métaux lourds, hydrocarbures..), Les activités agricoles (les produits phytosanitaires, amendements...) ... etc.

2.2 Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées des Oueds Mina et Louhou

Les caractéristiques physico-chimiques (annexe1) du sous bassin versant de la mina développent un plan d'eau modéré avec des variations de température spatio-temporelle d'une saison à l'autre car on a relevé une température fluctuant entre 12° C et 20,1° C durant l'automne et une température qui vacille entre 14.2° C et 23.4° C pendant le printemps. D'après la classification de **Lavoie et al, (2008)**, on peut classer les diatomées selon le gradient optimal de température dans la classe mésotherme

Pour la conductivité électrique (CE), les valeurs sont caractéristiques des eaux douces et présentent des variations importantes et irrégulières (fig.35et 38), changeant d'une station à une autre avec une minéralisation modérée de 941uS cm⁻¹ à forte ou la CE affiche des valeurs culminantes à 5391,6 uS.cm⁻¹ dans la zone de Tagdemt (sites TT Print) et 5620 uS cm⁻¹ (site SO Autom) en relation avec les apports élevés de NH₄ et PO₄. Les valeurs de l'azote ammoniacal présentent des fluctuations importantes dans les stations (fig.36 et 40). Deux grands pics ont été enregistrés au printemps et en automne dans la station aussi (MA) et (BA) avec 2.3 mg/l et 1.77 mg/l respectivement. La valeur moyenne de l'azote ammoniacal est de 0.52 mg/l ± 0.66.

Les teneurs en nitrites et en nitrates (NO_2 , NO_3) présentent aussi des variations durant les deux saisons et ne diffèrent pas entre les 10 sites. Tel est le cas des teneurs en phosphates avec de faibles variations dont la moyenne est de $0.36\text{mg/l} \pm 0.23$. Concernant les concentrations d'oxygène dissouts dont dépendent la respiration et la photosynthèse des populations planctoniques et de la minéralisation de la biomasse (Hebert et Légre, 2000) (fig. 35), elles sont très variables et irrégulières dans l'espace et dans le temps.

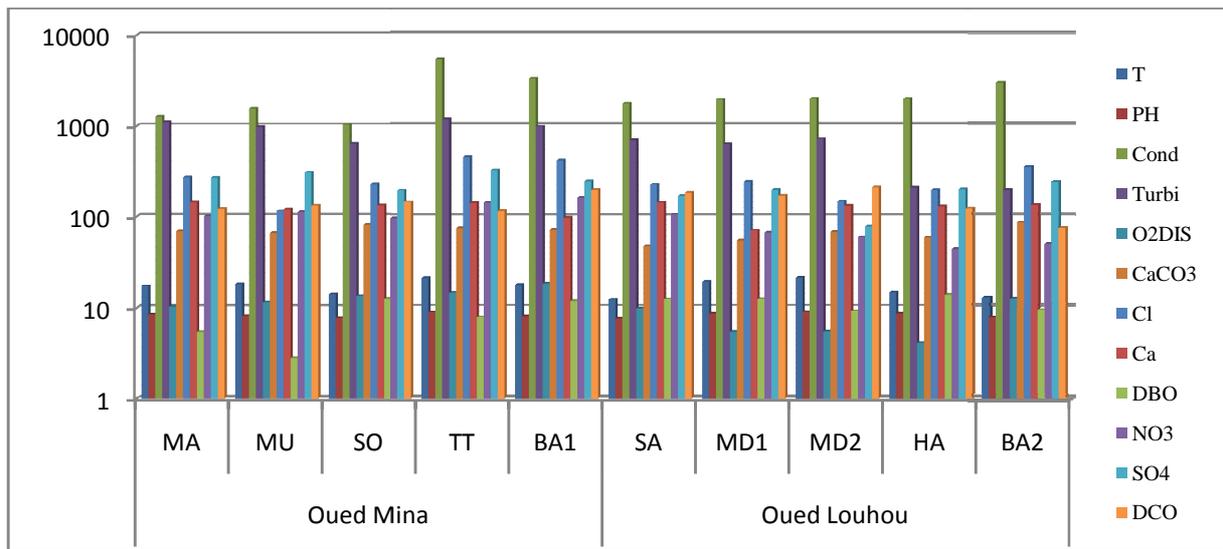


Figure 35 Variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques d'Oued Mina et Oued Louhou en Automne.

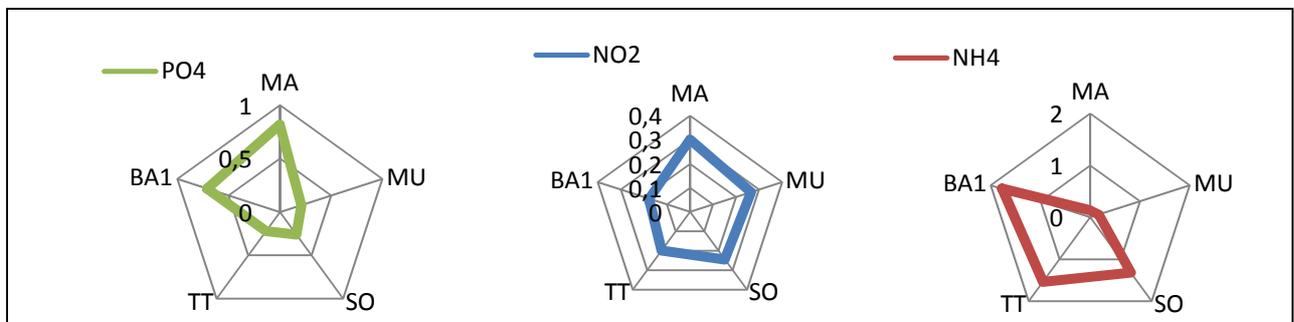


Figure 36 Variation spatiotemporelles des NO_2 , NH_4 et PO_4 d'Oued Mina d'automne.

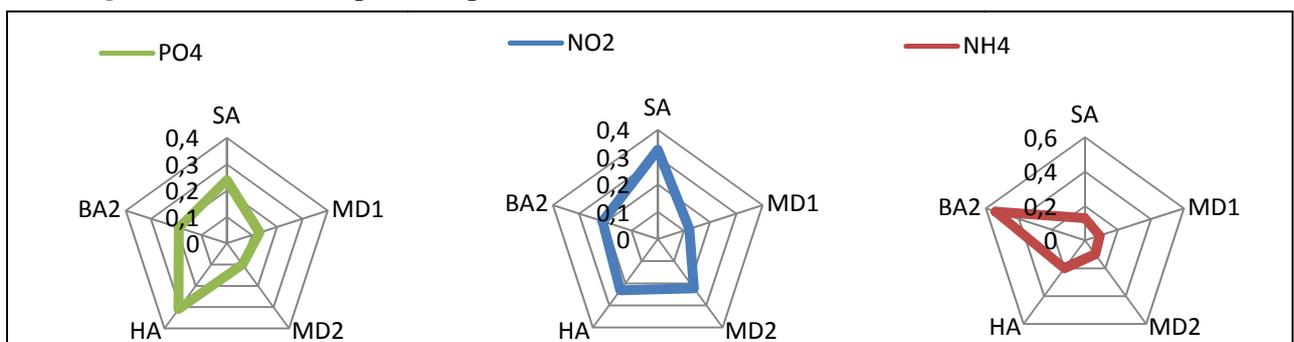


Figure 37 Variation spatiotemporelles des NO_2 , NH_4 et PO_4 d'Oued Louhou au printemps

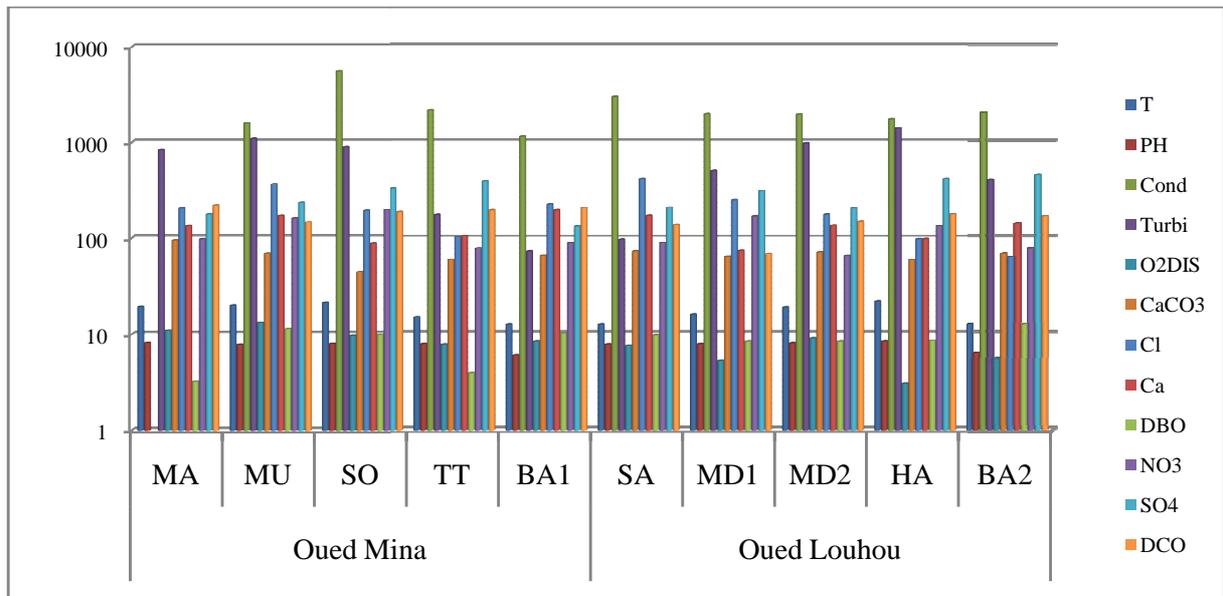


Figure 38 Variation spatio- temporelles des paramètres physicochimiques d’oued louhou au printemps.

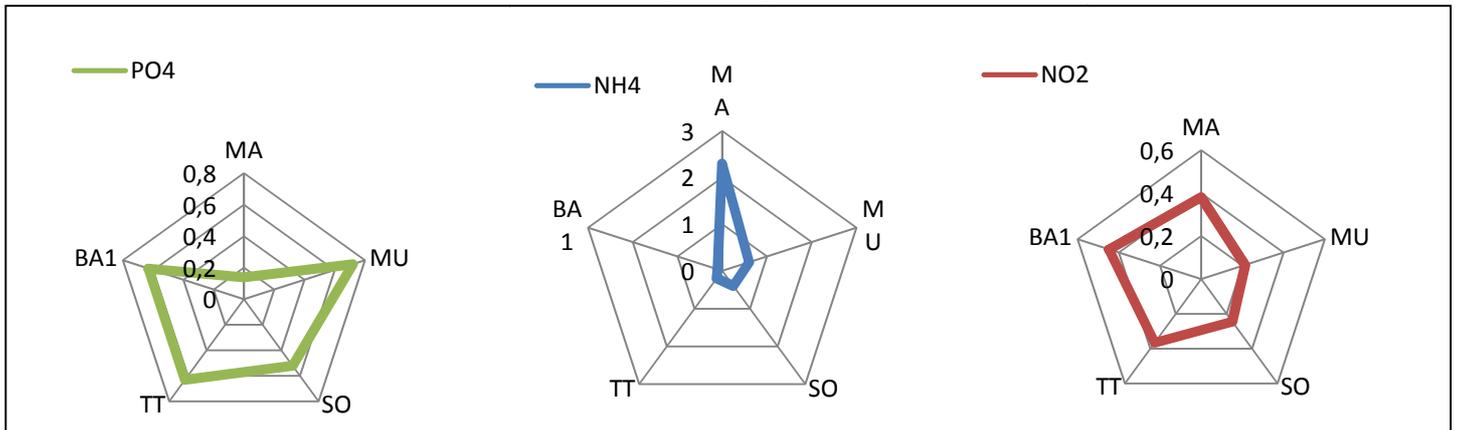


Figure 39 Variations spatiotemporelles des PO₄ NH₄ et NO₂ d’Oued Louhou période d’automne.

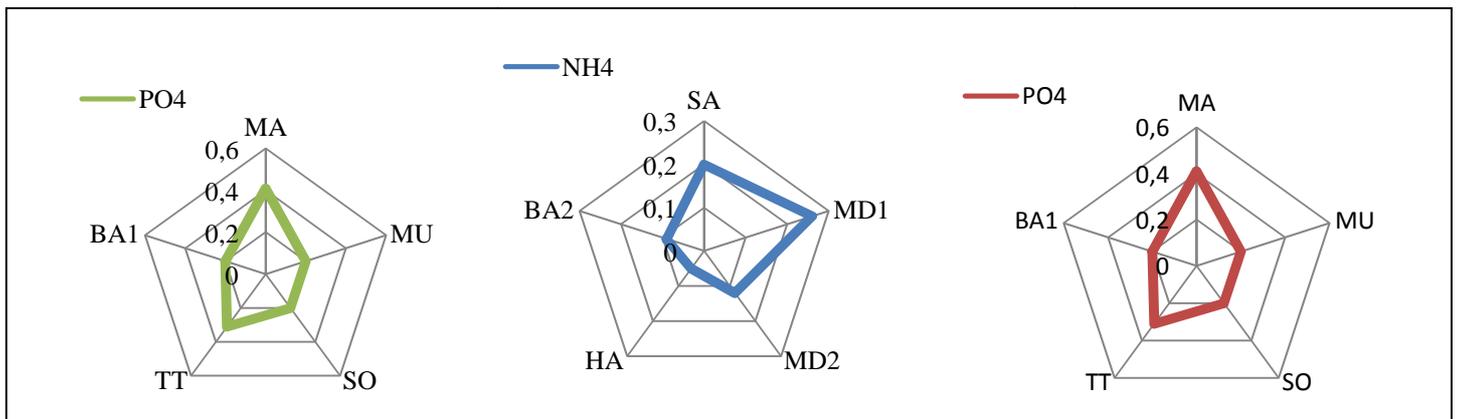


Figure 40 Variations spatiotemporelles des PO₄ NH₄ et NO₂ d’Oued Louhou au printemps

En effet, pour les localités de Medroussa (MD1, MD2) et Hetateba (HA) ayant des activités industrielles et un drainage agrochimique, on note des conditions hypoxiques avec une valeur qui ne dépasse pas 06 mg.l-1 et ces faibles teneurs en O2 dissout comptabilisées dans les sites du sous bassin de mina sont à l'origine de la dégradation de la biocénose par les microorganismes. Ce qui indique une dégradation organique des eaux usées élevée, similaire aux localités de Tagdemt (TT), de Melakou (MU), de Beni Affen 2 (BA2).

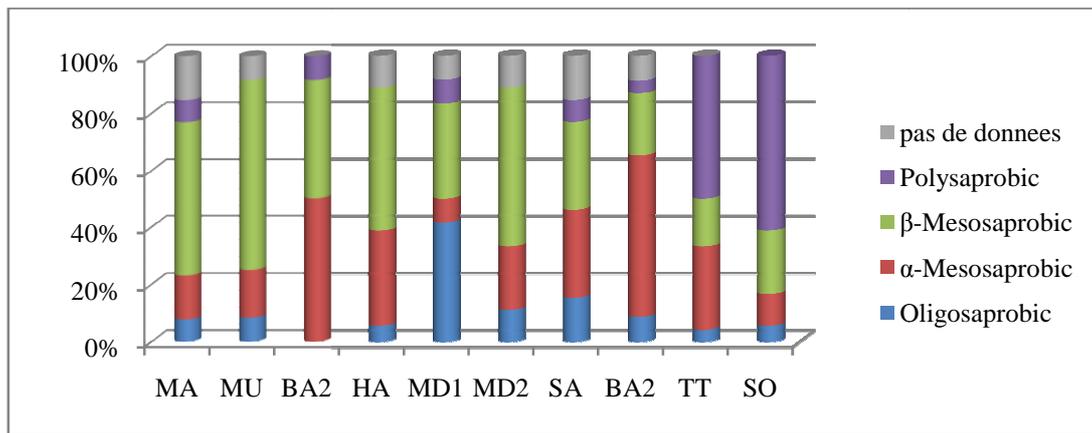


Figure 41 Distribution des diatomées selon leur affinité pour la matière organique en Automne.

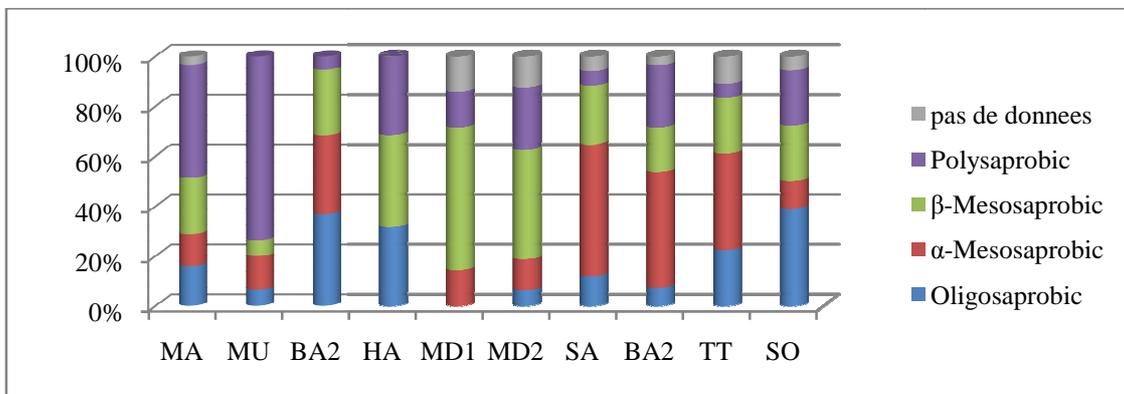


Figure 42 Distribution des diatomées selon leur affinité pour la matière organique au printemps.

Les figures 41 et 42, montrent la distribution des diatomées en fonction de leur affinité pour la matière organique et l'on obtient ainsi différentes classe de tolérance vis a vis des concentrations du milieu en matière organique. La communauté des diatomées dans le sous bassin de la mina est dominée à plus de 70% par des diatomées β -Mesosaprobic a travers la majorité des sites en automne, sauf pour les deux sites TT et SO qui sont dominés par les

diatomées Polysaprobic *Amphora ovalis*, *Gomphonema laticollum* et *Surirella brebissonii* en conséquences dévoilent que la charge dans le biotope restent limités.

Les valeurs de la DBO₅ relevées sont très variables (fig.38) d'une station à l'autre et d'un prélèvement à l'autre. Les valeurs extrêmes de la DBO₅ sont 12,7 mg/l d'O₂ enregistrée en automne à la station Beni Affen 2 et la plus faible a Melakou (MU) avec 2,85 mg/l d'O₂ relevée au printemps.

Par ailleurs, la moyenne de la DBO₅ est de 9,215 mg/l d'O₂ ± 3,22 pour l'ensemble des 10 stations du sous bassin de la Mina. Le pH des eaux du sous bassin Mina est faiblement alcalin avec des valeurs de 6.33 à 9.12 dont la valeur la plus faible est relevée au printemps à la station (BA2) et la plus élevée est enregistrée à l'automne dans la station (MD2).

Le pH de ce cours d'eau présente une moyenne de 8.03±0.74 et selon la classification de **Van Dam et al., (1994)**, les communautés de diatomées observées dans la zone d'étude, sont constituées d'un mélange d'alcalophiles. Par ailleurs les espèces typiques des eaux acides européennes peuvent s'adapter aux eaux alcalines en Algérie, (**Baudrimont, 1974**), confirmé dans notre cas par l'existence de *Brachysira microcephala* considéré par **Alexander et al.,(2000)** comme une espèce des eaux neutres à légèrement acides. De même pour **Ciniglia et al., (2007)** qui rapporte que *Pinnularia obscura* est fréquente dans les communautés d'algues a environnement acide et l'existence du genre *Eunotia* représenté par deux espèces *Eunotia cataractarum* et *Eunotia formica* qui sont connu comme acidophiles, (**Van Dam et al., 1994**). Ces diatomées témoignent que le milieu est riche en éléments minéraux avec dominance des taxons eutrophies >50% de la communauté diatomique a Nahr Ouassel.

La trophie se traduit par les phénomènes d'enrichissement de l'eau en sel minéraux nutritifs et les oligoéléments dont les diatomées répondent aux concentrations des nutriments ou on distingue selon la classification de **van Dam et al.,(1994)** en 7 classes : Oligotraphentique (Enrichissement très faible à faible), Oligomesotraphentique (Enrichissement faible à moyen), Mésotraphentique (Enrichissement moyen), Mésoeutraphentique (Enrichissement moyen à élevé), Eutraphentique (Enrichissement élevé), Hypereutraphentique (Enrichissement très élevé), Oligo à hypereutraphentique (indifférent).

Le tableau 22 montre que le sous-bassin versant de la Mina est caractérisé comme un système pollué et eutrophique en raison d'un drainage constant au cours de l'année et des éléments nutritifs des eaux usées provenant des activités industrielles, agricoles et urbaines, que le OPI montre 2 classes de pollution fort) pour les différents sites étudiés.

L'évolution des valeurs de l'OPI le long des sites montre une dégradation de la qualité de l'eau de l'oued Mina, due aux rejets d'eaux usées domestiques et industrielles des agglomérations.

Tableau 22 Résultats de l'indice de pollution organique

Sites	Saison	IPO_DB	IPO_N	IPO_N	IPO_P	IPO	Niveau	
Oued Mina	MA	A	3	4	1	2	2.50	POF
		P	4	3	1	3	2.75	POF
	MU	A	4	4	1	3	3.00	POM
		P	2	4	1	2	2.25	POF
	SO	A	2	3	1	2	2.00	POF
		P	3	4	1	2	2.50	POF
	TT	A	3	3	1	3	2.50	POF
		P	4	4	1	2	2.75	POF
	BA1	A	2	3	1	2	2.00	POF
		P	2	4	1	2	2.25	POF
	SA	A	2	4	1	3	2.50	POF
		P	3	4	1	2	2.50	POF
Oued Louhou	MD1	A	2	5	2	3	3.00	POM
		P	3	4	1	3	2.75	POF
	MD2	A	3	4	1	3	2.75	POF
		P	3	4	1	3	2.75	POF
	HA	A	2	4	1	2	2.25	POF
		P	3	5	1	2	2.75	POF
	BA2	A	3	4	1	3	2.75	POF
		P	2	5	2	3	3.00	POM

Explication : POF=pollution organique forte, POM= pollution organique modérée

Au niveau des sites TT, SO, MD1 et MD2, l'IPO varie entre 2.00 et 2.75, avec une altération pollution organique forte dû sans doutes aux rejets de la zone industrielle de Zaaroura déversés dans oued Tolba (ce dernier relie la zone industrielle à Oued mina) et urbaine très intenses surtout au sein des sites TT et SO, également ceux des eaux usées urbain provenant de la commune de Medroussa (MD1) et la commune de Freneda (SA) concernant oued Louhou. D'après (**Laidani et al., 2009**), les résultats fournissent un certain nombre d'anomalies, notamment dans la gestion des déchets des différents rejets industriels, et signalent un certain nombre de paramètres indicateurs de pollution dans le sous bassin versant d'oued Mina et dans les principales unités industrielles de la région de Tiaret, dont les rejets de Groupement laitier de Tiaret (GIPLAIT), qui présentent une forte concentration en DCO, DBO et de Matières en suspension.

Confirme ainsi par l'indice diatomique (tab 32). On remarque d'après le tableau que toutes les stations ont un indice diatomique qui varie entre 1.85 et 11.79 cela explique la situation de l'état actuelle de la qualité d'eau de sous bassin de Mina on se référant aux énormes AFNOR **NF T90-354 (2007)** Qualité de l'eau – détermination de l'indice Biologique Diatomées (IBD) (in **Prygiel et Coste, 2000**) (tab23). Que l'eutrophisation très forte se localise le long du réseau hydrographique de la zone d'étude est très forte.

Tableau 23 Résultats de l'indice biologique diatomées.

Sites	Saison	IBD	Niveau d'altération	
Oued Mina	MA	A	4,7	Eutrophisation Très Forte
		P	3,71	Eutrophisation Très Forte
	MU	A	10.02	Eutrophisation Moyenne
		P	2,94	Eutrophisation Très Forte
	SO	A	4,8	Eutrophisation Très Forte
		P	3,07	Eutrophisation Très Forte
	TT	A	3,18	Eutrophisation Très Forte
		P	3,07	Eutrophisation Très Forte
	BA1	A	2,94	Eutrophisation Très Forte
		P	5,02	Eutrophisation Forte
	SA	A	5,11	Eutrophisation Forte
		P	6,14	Eutrophisation Forte
	MD1	A	11,79	Eutrophisation Moyenne
		P	2,06	Eutrophisation Très Forte
Oued Louhou	MD2	A	2,02	Eutrophisation Très Forte
		P	1,85	Eutrophisation Très Forte
	HA	A	1,98	Eutrophisation Très Forte
		P	2	Eutrophisation Très Forte
	BA2	A	1,93	Eutrophisation Très Forte
		P	9,93	Eutrophisation Moyenne

2.2.1 Analyse statistique des paramètres physicochimiques au niveau du sous bassin de la mina

Les variables physico-chimiques et les indices de bioindication sont corrélés (tab 24). Ces résultats ont révélés que les indices bioindicateurs sont sensibles aux propriétés physico-chimiques adéquates de l'eau. L'indicateur trophique est corrélé avec la concentration NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{2-} et Ca^{2+} . Tandis que l'indicateur saprobique est négativement corrélé avec O_2DIS . La salinité est corrélée avec la conductivité électrique et la concentration en Ca^{2+} . L'indicateur du pH est corrélé non seulement avec le pH mais avec une conductivité électrique, NO_2^- , PO_4^{2-} et NO_3^- . L'indicateur d'azote reflète la variation des ions contenant de l'azote (NH_4^+ ,

NO_2^- , NO_3^-) est négativement corrélé avec le BDO. Étonnamment, l'indicateur d'oxygène n'est pas caractérisé par une corrélation statistiquement significative avec l'oxygène dissous mais corrélé avec NO_2^- et le BDO. Pollution L'indicateur CEE révèle que la sensibilité de la communauté des diatomées à la contamination est la plus corrélée avec la température, turbidité, O_2 DIS, NH_4^+ et la Conductivité. Egalement l'indice biologique diatomique est lié négativement avec NO_2^- et le DBO et positivement avec le O_2 DIS, turbidité et PO_4^{2-} d'autre part les indice de bioindication ne présentent aucune corrélation avec le DCO

Tableau 24 Corrélation entre les variables physico-chimiques et les indices bioindicateur (les corrélations présentées sont significatives à $p < 0,05$).

Variable Physico-chimiques	Bioindicator scales								
	trophique	Saprobique	Salinité	pH	Nitrogen	Oxygène	Moisture	Pollution CEE	IBD
T	-	-	-	-	-	-	-	-0.48	-
pH	-	-	-	0.74	-	-	-0.49	-	-
Cond	-	-	0.45	0.56	-	-	-	0.54	-
Turbi	-	-	-	-	-	-	-	-0.45	0.71
O_2 DIS	-	-0.57	-	-	-	-	0.52	-0.49	0.51
CaCO_3	-	-	-	-	-	0.47	-	-	-
NH_4^+	0.68	-	-	-	0.60	-	-	-0.53	-
NO_2^-	0.62	-	-	0.54	0.66	0.48	-	-	-0.63
Cl^-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO_4^{2-}	0.58	-	-	0.53	-	-	-	-	0.41
Ca^{2+}	0.46	-	0.59	-	-	-	-	-	-
BDO	-	-	-	-	-0.59	-0.47	-	-	-0.53
NO_3^-	-	-	-	0.57	0.56	-	-	-	-
SO_4^{2-}	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DCO	-	-	-	-	-	-	-	-	-

L'analyse en composantes principales (ACP) des variables physico-chimiques a révélé que les cinq premières composantes principales sont caractérisées par des valeurs propres supérieures à 1 (tab25). Les cinq premiers composants principaux expliquent 76,39% de la variabilité totale ;

Le composant principal 1 développe une la variance de 22,56%. Il est cohérent positivement avec la température, Turbi, O₂DIS, Cl⁻ et il est corrélé négative avec SO₄²⁻.

Le composant principal 2 dégage une variabilité de 18,44% et est caractérisé par une corrélation avec CaCO₃, Cl⁻, Ca²⁺.

Le composant principal 3 explique une variabilité de 15,87% et est relié par une corrélation positive avec la température, Turbi, NO₃⁻, et une corrélation négative avec Conductivité et le BDO.

Alors que Le composant principal 4 éclaircir une variabilité de 11,59% et il marque par une corrélation avec NO₂⁻, Ca²⁺.

Le composant principal 5 dévoile une variabilité de 11,46% et est caractérisé par une corrélation avec PO₄²⁻ et BDO.

Tableau 25 Analyse en composantes principales des variables physico-chimiques de l'eau des sites étudiés (corrélation significative au seuil de $p < 0,05$).

Physico-chemical variables	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
T	0.49	–	0.65	–	–
pH	–	–	–	–	–
Cond	–	–	-0.55	–	–
Turbi	0.46	–	0.70	–	–
O ₂ DIS	0.47	–	–	–	–
CaCO ₃	–	0.55	–	–	–
NH ₄ ⁺	–	–	–	–	–
NO ₂ ⁻	–	–	–	-0.56	–
Cl ⁻	0.54	0.64	–	–	–
PO ₄ ²⁻	–	–	–	–	0.46
Ca ²⁺	–	0.54	–	-0.60	–
BDO	–	–	-0.53	–	0.58
NO ₃ ⁻	–	–	0.73	–	–
SO ₄ ²⁻	-0.82	–	–	–	–
DCO	–	–	–	–	–
Eigenvalue	3.38	2.77	2.38	1.74	1.19
% Total variance	22.56	18.44	15.87	11.59	7.93
Cumulative eigenvalue	3.38	6.15	8.53	10.27	11.46
Cumulative %	22.56	41.00	56.87	68.46	76.39

Les composants principaux en tant que marqueurs des facteurs environnementaux peuvent être utilisés pour déterminer la solution optimale pour l'ordination des communautés diatomiques en utilisant la méthode de mise à l'échelle multidimensionnelle.

L'approche méthodique est celle de toutes les distances écologiques possibles au sein des taxons /sites de matrice de données et des méthodes de transformation pour choisir celle

qui donne la plus forte corrélation avec les facteurs environnementaux. Les coefficients de corrélation de rang de Spearman entre les indices de dissimilarité et la séparation de gradient avec différentes méthodes de transformation de données ont révélé que l'utilisation de données de transformation χ^2 et la distance euclidienne est l'approche la plus appropriée pour refléter la relation entre la diversité des taxons et les facteurs écologiques.

Tableau 26 Corrélation de rang de Spearman entre les indices de dissimilarité et la séparation de gradient avec différentes méthodes de transformation de données

Distance	Data transformation methods										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Euclidean	0.00	0.10	0.06	0.15	0.05	0.05	0.14	0.05	0.15	0.24	0.18
Manhattan	0.03	0.10	0.07	0.16	0.04	0.04	0.10	0.04	0.12	0.18	0.17
Gower	0.04	0.08	0.06	0.10	0.04	0.04	0.05	0.04	0.10	0.10	0.16
Bray-Curtis	0.15	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17
Kulczynski	0.15	0.18	0.17	0.16	0.17	0.16	0.15	0.17	0.17	0.17	0.17
Morisita	0.13	0.17	0.13	0.07	-0.12	0.16	-0.14	-0.12	-0.14	-0.10	-0.13
Horn-Morisita	0.14	0.17	0.15	0.14	0.16	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.16
Cao	0.12	0.14	0.13	0.19	0.03	0.09	0.15	0.03	0.13	0.16	-0.20
Jaccard	0.15	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17
Mountford	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11
Raup-Crick	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Canberra	0.15	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16	0.15	0.17
Chao	0.13	0.16	0.15	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.15	0.14	0.13
Mahalanobis	0.01	-0.08	0.03	0.13	-0.18	-0.10	0.05	0.10	-0.04	0.00	-0.17

Symboles: gras marque le coefficient de corrélation le plus élevé; NA - non disponible; 1 - données non-transformées; 2 - données log-transformées; 3 - données transformées à racine carrée; 4 - divisé par le total des marges; 5 - divisé par le maximum de marge; 6 - divisé par la marge maximale et multiplié par le nombre d'éléments non nuls, de sorte que la moyenne des entrées non nulles est égale à un; 7 - normalisé (somme des carrés de la marge égale à un); 8 valeurs normalisées dans la gamme 0-1; 9 - transformation de Hellinger; 10 - χ^2 -transformation; 11 - Transformation du Wisconsin.

Le stress est une statistique d'adéquation dans l'échelle multidimensionnelle basée sur les différences entre les distances réelles et leurs valeurs prédites. L'un des objectifs de l'analyse d'échelle multidimensionnelle est de garder le nombre de dimensions aussi petit que possible. La technique habituelle consiste à résoudre le problème d'échelle multidimensionnelle pour un certain nombre de valeurs de dimension et à adopter le plus petit nombre de dimensions permettant d'obtenir une valeur de contrainte relativement faible. Un nombre approprié de dimensions a été choisi en effectuant des ordinations de nombres

progressivement plus élevés de dimensions. Un diagramme d'effort par rapport au nombre de dimensions des éboulis a été tracé, sur lequel on peut identifier le point au-delà duquel des dimensions supplémentaires n'abaissent pas sensiblement la valeur de contrainte (fig. 43). Une variante à quatre dimensions de la procédure de mise à l'échelle multidimensionnelle a été choisie comme la décision la plus appropriée.

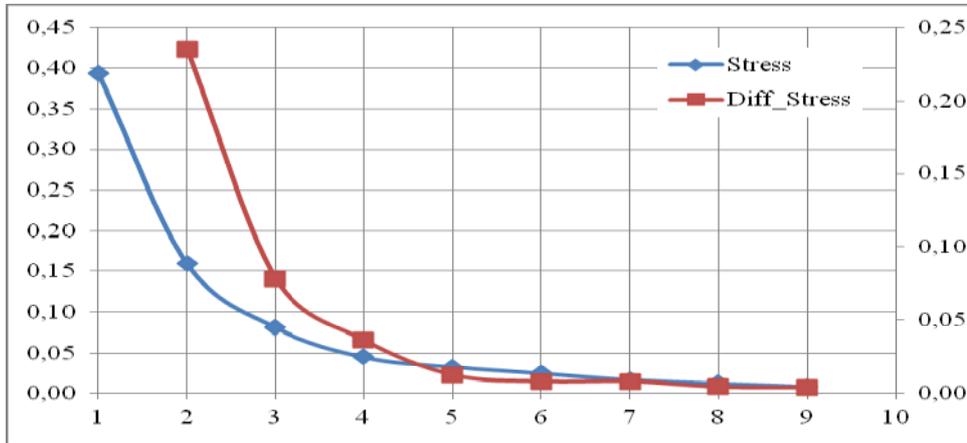


Figure 43 Stress par rapport au diagramme d'écran du nombre de dimensions.

La flèche indique le nombre optimal de dimensions. Notes: abscisse - le nombre de dimensions; ordonnée - contrainte (axe de gauche) ou contrainte différentielle (axe de droite).

Quatre dimensions sélectionnées après mise à l'échelle multidimensionnelle non-métrique (NMDS) ont été interprétées en calculant des scores moyens pondérés de facteurs écologiques pour la configuration d'ordination (tab. 27).

Tableau 27 Ajustement des facteurs environnementaux sur une ordination

Ecological factors	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	r^2	Pr(>r)	Significance codes
PC1	-0.61	-0.38	0.52	0.47	0.05	0.935	n.s.
PC2	0.34	-0.27	-0.13	0.89	0.57	0.007	**
PC3	0.25	-0.52	-0.37	-0.73	0.33	0.147	n.s.
PC4	0.19	0.03	0.98	0.11	0.61	0.009	**
PC5	0.13	0.31	0.43	-0.84	0.11	0.73	n.s.

Les résultats font ressortir que les prédicateurs tels que PC2 et PC4 sont statistiquement significatifs et permettent d'expliquer respectivement de 57% et 61% la

variation de dimension. La MDS1 peut être interprétée comme la valeur de la réponse de la communauté à la variation de la concentration de calcium et d'ions chlorures qui se produit dans le rapport avec les changements controversés des variables physico-chimiques marquées par PC1. La dimension MDS2 est la plus sensible aux changements synchrones des variables physico-chimiques marquées par PC1, PC2 et PC3. La dimension MDS3 est la plus sensible au PC4. La dimension MDS4 est la plus sensible au PC2.

L'ajustement des facteurs environnementaux sur une ordination par des moyens les modèles linéaires est assez loin du caractère réel de la relation entre les facteurs écologiques et la sténose de la communauté. La surface de lissage pour certains facteurs écologiques dans le diagramme d'ordination montre une réponse compliquée et non linéaire de la communauté algale due à l'impact des facteurs écologiques

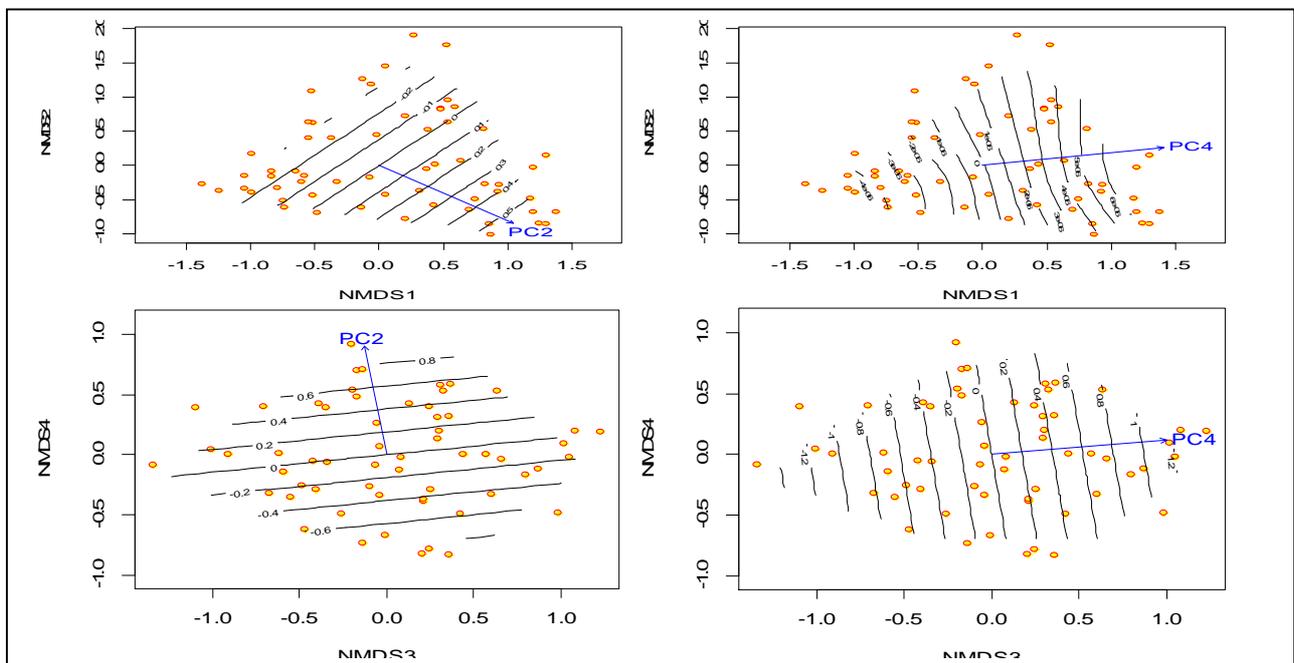


Figure 44 Surface lissante pour certains facteurs écologiques dans le diagramme d'ordination.

La mise à l'échelle multidimensionnelle nous permet d'estimer comment le placement des points d'échantillonnage et des taxons de diatomées dans le même espace. Les valeurs mesurées de la plante peuvent être utilisées pour l'analyse de Cluster de communautés végétales. Un aspect important de l'analyse des grappes est d'identifier le nombre optimal de Clusters. Ce problème a été résolu au moyen de critères Calinsky-Harabasz (fig. 45). Quatre des Clusters se sont avérées être la solution optimale. La solution de cluster peut être représentée comme un dendrogramme (fig. 46). En outre, les ellipsoïdes peuvent désigner la configuration des espèces qui appartiennent à un cluster, dans l'espace de dimension (fig. 47).

Les clusters peuvent être considérés comme un groupe fonctionnel. L'information obtenue permet d'interpréter les groupes fonctionnels en fonction de leurs caractéristiques environnementales et de leurs propriétés de bioindication (tableau 6). Un groupe fonctionnel a été présenté par 21 espèces (groupe A)

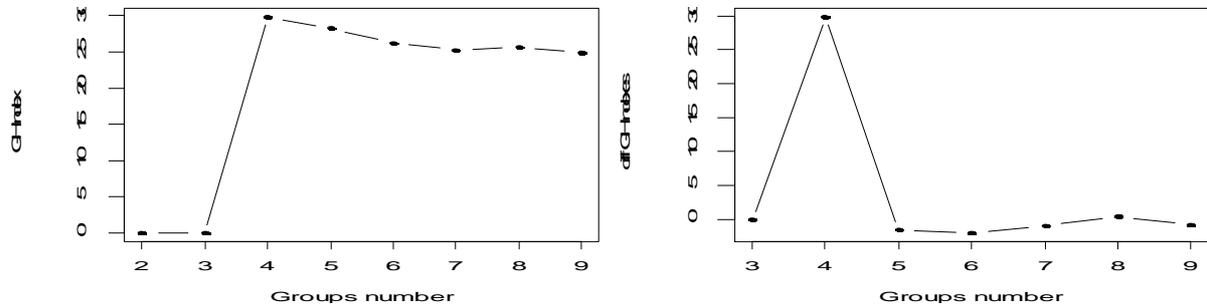


Figure 45 Usage des critères Calinsky-Harabasz (index C-H) pour trouver la meilleure partition de la communauté végétale.

Les espèces telles que *Gyrosigma rautenbachiae*, *Eunotia cataractarum*, *Cymbopleura naviculiformis* sont les plus typiques pour ce groupe fonctionnel dans le sens des distances Mahalanobis les plus courtes du groupe centroïdes. La préférence de trophée élevé est une propriété écologique la plus importante du groupe fonctionnel a. les espèces qui constituent ce groupe fonctionnel sont principalement eutrophiques (tab 28)

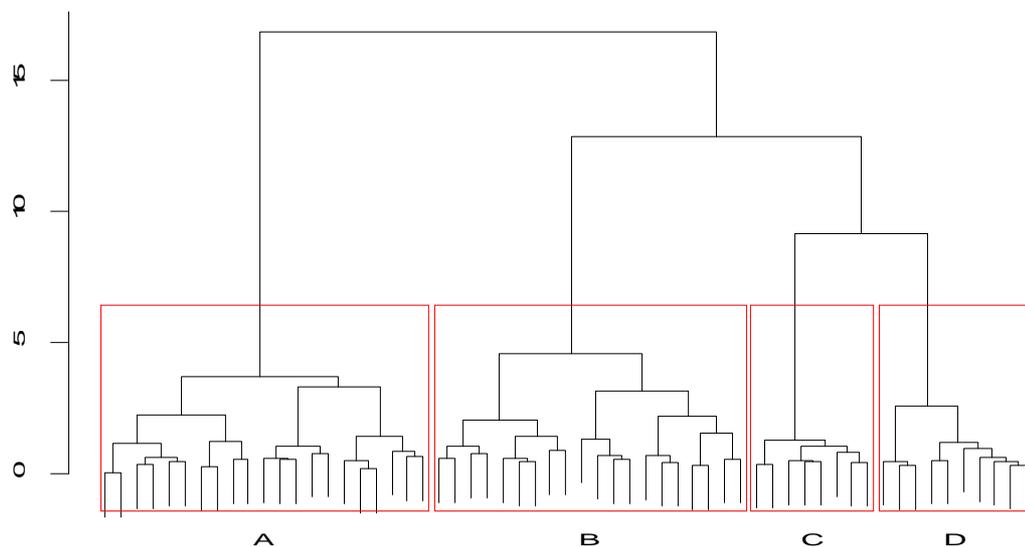


Figure 46 Analyse des clusters communautaires de végétation (méthode Ward, distance Euclide). A, B, C, D – grappes (groupes fonctionnels).

Groupe fonctionnel B est présenté par 10 espèces. Les espèces telles que *Cymatopleura Solea*, *Stauroneis gracilis*, *Surirella crumena* sont les plus typiques de ce groupe fonctionnel. La préférence du pH forte est une propriété écologique la plus importante du groupe fonctionnel B. les espèces qui constituent ce groupe fonctionnel sont principalement alcalophiles.

Groupe fonctionnel C est présenté par 20 espèces. Les espèces telles que *Bacillaria paradoxa*, *Neidium binodeforme*, *Luticola nivalis* sont les plus typiques pour ce groupe fonctionnel. La préférence du faible niveau d'azote est une des propriétés écologiques les plus importantes du groupe fonctionnel C. les espèces qui constituent ce groupe fonctionnel sont principalement tolérantes à de très faibles concentrations d'azote lié organiquement.

Un groupe fonctionnel D est présenté par 8 espèces. Les espèces telles que *Luticola kotschy*, *Surirella brebissonii*, *Neidium ampliatum* sont les plus typiques de ce groupe fonctionnel. La préférence du niveau élevé d'azote est une propriété écologique la plus importante du groupe fonctionnel D. les espèces qui constituent ce groupe fonctionnel sont principalement des taxons facultativement d'azote-hétérotrophes nécessitant une concentration périodiquement élevée de azote lié organiquement (Fig 46, 47).

Tableau. 28 Les groupes fonctionnels diatomées en fonction des propriétés écologiques

Bioindicator scales	Functional groups				F-ratio	p-level
	A	B	C	D		
Trophy	5.43	4.70	4.80	4.63	2.43	0.08
Saprobic	2.43	2.10	2.35	2.13	0.65	0.59
Salinity	2.29	1.90	2.50	2.63	2.22	0.10
pH	3.90	2.90	3.40	4.38	11.74	0.00
Nitrogen	1.95	1.70	1.45	3.00	32.46	0.00
Oxygen	2.33	2.20	2.15	2.88	1.55	0.21
Moisture	2.43	3.40	2.30	2.50	4.06	0.01
Pollution CEE	8.05	7.70	9.60	6.50	3.35	0.03

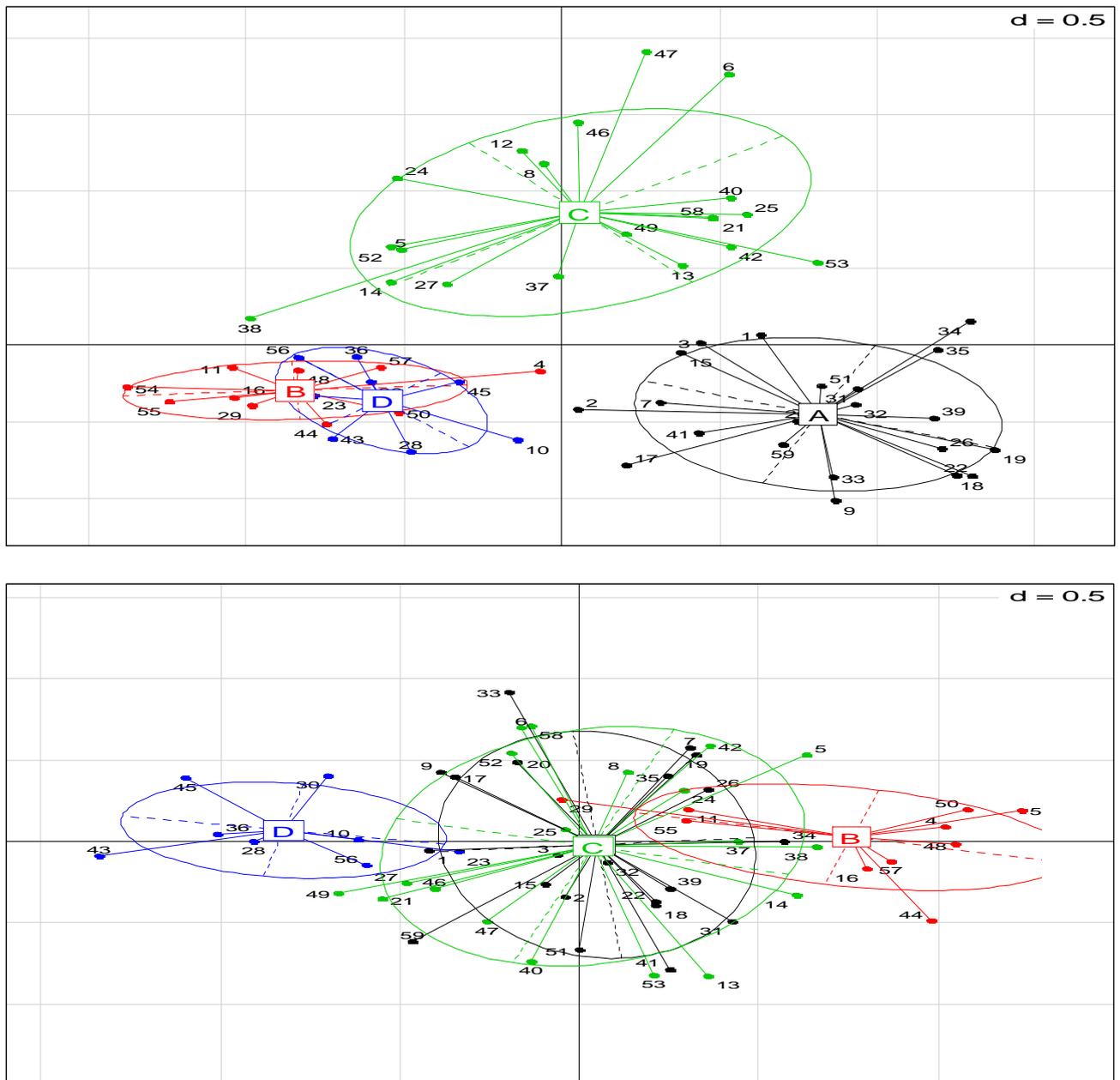


Figure 47 Répartition des espèces et configuration des clusters dans l'espace multidimensionnel. I – dimension 1 et 2, II – dimension 3 et 4

Symboles: 1 – *Achnanthydium exiguum*; 2 – *Achnanthydium minutissimum*; 3 – *Amphora ovalis*; 4 – *Amphora pediculus*; 5 – *Brachysira microcephal*; 6 – *Bacillaria paradoxa*; 7 – *Caloneis amphisbaena. var. subsalina*; 8 – *Campylodiscus clypeus*; 9 – *Cocconeis pediculus*; 10 – *Craticula ambigua*; 11 – *Ctenophora pulchella*; 12 – *Cyclotella meneghiniana*; 13 – *Cyclotella ocellata*; 14 – *Cyclotella stelligera*; 15 – *Cymatopleura elliptica*; 16 – *Cymatopleura solea*; 17 – *Cymbella neocistula*; 18 – *Cymbopleura naviculiformis*; 19 – *Diatoma moniliformis*; 20 – *Encyonema minutum*; 21 – *Encyonema silesiacum*; 22 – *Eunotia cataractarum*; 23 – *Fallacia pygmaea*; 24 – *Fragilaria capucina*; 25 – *Fragilaria ulna var. acus*; 26 – *Frustulia vulgaris*; 27 – *Gomphonema laticollum*; 28 – *Gomphonema olivaceum*; 29 – *Gomphonema parvulum*; 30 – *Gomphonema pumilum var rigidum*; 31 – *Gyrosigma acuminatum*; 32 – *Gyrosigma rautenbachiae*; 33 – *Hantzschia amphioxys*; 34 – *Hippodonta capitata*; 35 – *Hippodonta hungarica*; 36 – *Luticola kotschyj*; 37 – *Luticola nivalis*; 38 – *Mastogloia braunii*; 39 – *Navicula capitatoradiata*; 40 – *Navicula gregaria*; 41 – *Navicula longicephala*; 42 – *Navicula radiosa*; 43 – *Navicula symmetrica*; 44 – *Navicula tripunctata*; 45 – *Neidium ampliatus*; 46 – *Neidium binodeforme*; 47 – *Neidium dubium*; 48 – *Neidium productum*; 49 – *Nitzschia bita*; 50 – *Nitzschia hantzschiana*; 51 – *Nitzschia palea*; 52 – *Nitzschia recta*; 53 – *Nitzschia sinuata var. tabellaria*; 54 – *Pinnularia obscura*; 55 – *Stauroneis gracilis*; 56 – *Surirella brebissonii*; 57 – *Surirella crumena*; 58 – *Surirella ovalis*; 59 – *Ulnaria ulna*.

2.3 Interprétation Des Résultats Et Discussion Sur L'Écologie des diatomées de Nahr Ouassel

Nous remarquons dans les divers sites de Nahr Ouassel que la communauté diatomique est caractérisé par la présence des diatomées alkaliphile, dont le pH oscille entre 6.47 et 8.67 tandis que on peut grouper les diatomées selon le gradient optimal de température en 02 classe la première est Oligotherme ou la température varie de 12.4 et 13.6 dans les sites BD OS1 ET OS2. La deuxième est Mésotherme, dépassant les 17°C en allant vers le barrage Bougarra. La conductivité le long de ce cours d'eau présente des concentrations élevées supérieurs à celles enregistrés dans le sous bassin de la Mina dépassant dans certains sites les 7000 μ S/cm (fig 50).

Tandis que la salinité présente des pourcentages typiques aux eaux saumâtre-douce. Alors que nombreuses espèces de diatomées ne tolèrent pas les fortes fluctuations de la salinité qui mène a une relation entre la distribution des diatomées et la concentration en sel du biotope. La composition de la communauté diatomique peut dévoiler des variations de la salinité et mettre en évidence la présence de diatomées connus pour leurs tolérances à l'eau saumâtre cas de *Surirella brebissonii*

Des amplitudes de variations d'oxygénation classent les sites de Nahr Ouassel en trois classes selon le besoin en O₂ de la communauté diatomique:

- classe d'un seuil critique entre 1 a 3 mg/l d'ou une vie aquatique difficile;
- classe de seuil sensible (3 a 5 mg/L) à développement des Diatomées perturbé;
- classe de seuil élané plus de 5 mg/L à développement normal des diatomées.

L'oxygène dans les divers sites d'étude provient de la photosynthèse des autotrophes ainsi les diatomées assurent leurs croissance donc cette production de la matière organique, conduit un dégagement d'oxygène qui se trouve sous forme de molécules gazeuse, il se dissout dans cette eau jusqu'à saturation cette dernière est pour fonction de la température et de la salinité. Alors la solubilité dans plusieurs sites dépasse les 6 mg/l prouvant encore la caractéristique des eaux saumâtre-douce, donc de point de vie attirance de notre communauté diatomique vis-à-vis la saprobie, nous marquons la dominance des β -Mesosaprobic (fig 48,49) a travers les divers sites de Nahr Ouassel a la sison de printemps, avec des pourcentages qui dépasse les 50% charge organique faible a moyenne des diatomées sensible

aux composés organiques, c'est le cas *Navicula cryptotenella* et *Amphora ovalis* pour Barrage Bougarra ou nous enregistrons la dominances des diatomées polysaprobic (BG1 et

BG2 41% 61% respectivement). Tandis qu'à l'automne les diatomées polysaprobic imposent des pourcentages important (fig 50) dans la totalité des sites. (BD 48, OS1 41%, OS2 55%, BG1 41% et BG 50%) concorde a l'état des fermentations anaérobies montrant la faible charge organique mais il existe plus au moins des apports modérés permettent les espèces tolérantes, cas des taxons *Tabularia fasciculata*, *Cymatopleura solea* et *Gomphonema parvulum*.

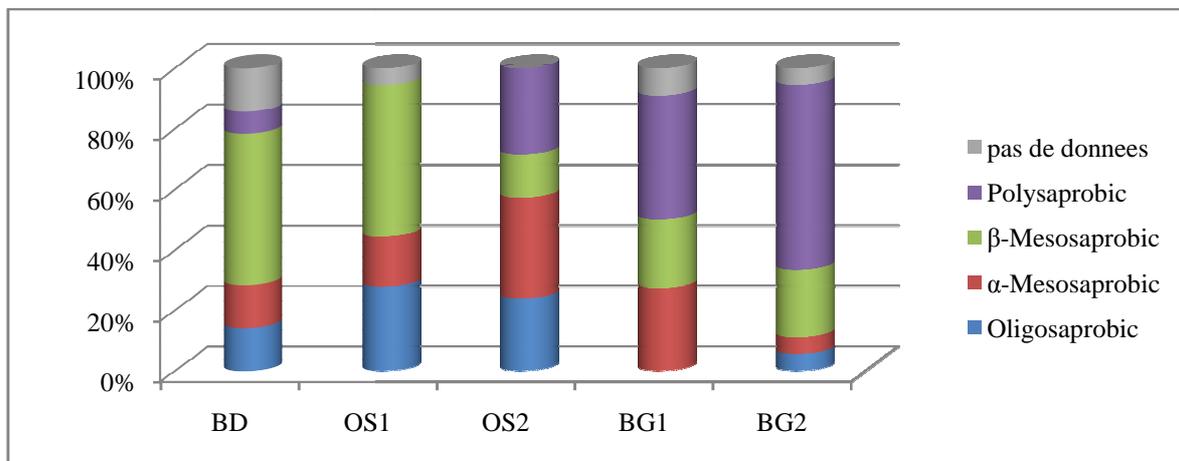


Figure 48 Distribution des diatomées en fonction de leur affinité pour la matière organique dans les divers sites de Nahr Ouassel pendant le Printemps.

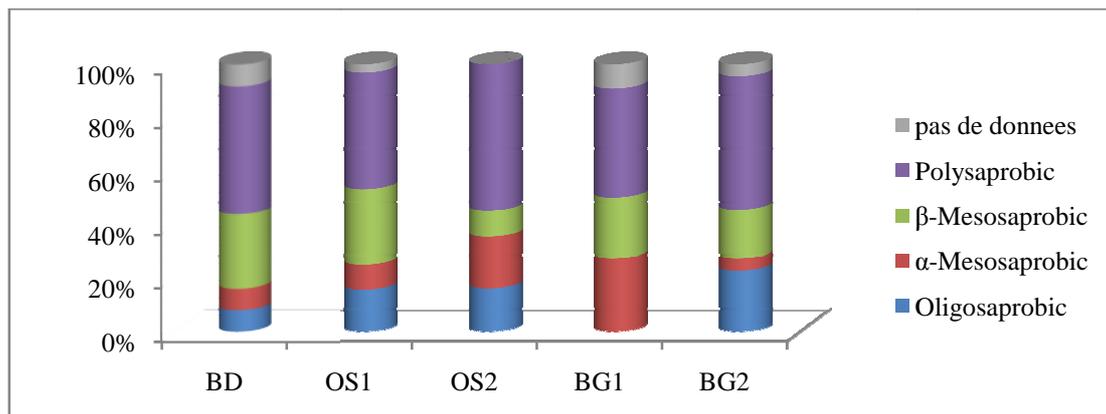


Figure 49 Distribution des diatomées en fonction de leur affinité pour la matière organique dans les divers sites de Nahr Ouassel pendant l'Automne.

L'affinité des diatomées vis avis les nutriments est représentée par la figure 52 montrant la dominance des diatomées eutrophes et a fin de déterminer le statue typologique des eaux Nahr Ouassel, on se réfère en premier lieu aux espèces sensibles à la pollution sinon à d'autres en cas où celles-ci disparaissent par action anthropique. Cette situation est observée au niveau des deux communes Dahmouni et Sbain exprimer par les activités agricoles, en plus le site BD est affecté par une double action antropique celle des eaux usées venant de la ville de Dahmouni et celle de l'agriculture intensive menée aux alentours du barrage de Dahmouni.

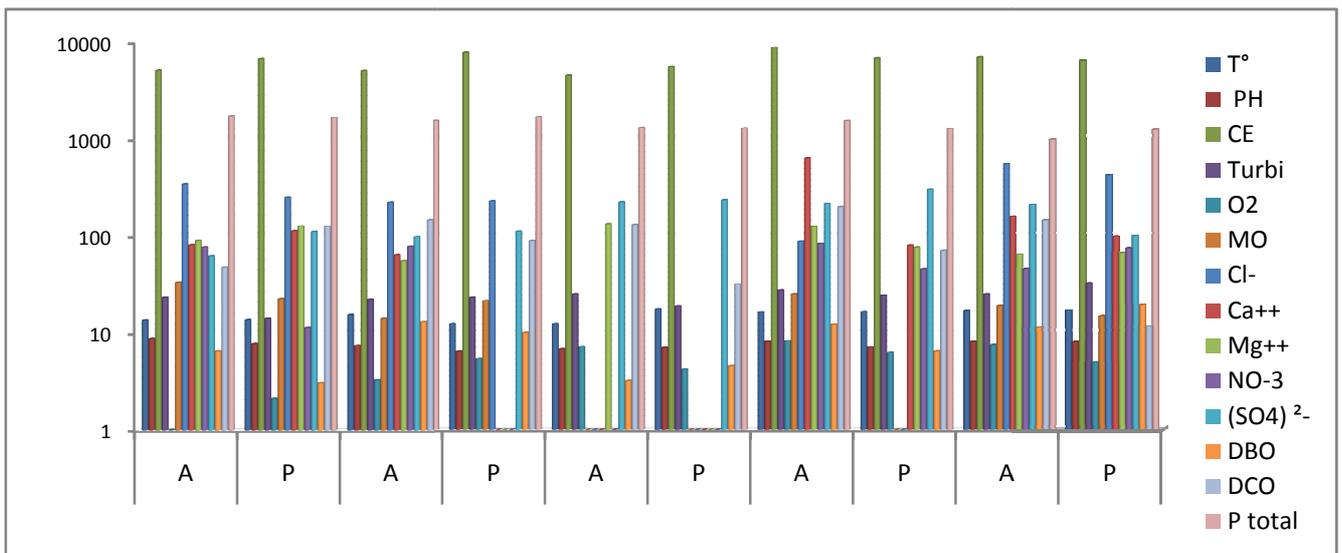


Figure 50 Variations des paramètres physicochimiques de Nahr Ouassel durant les deux périodes

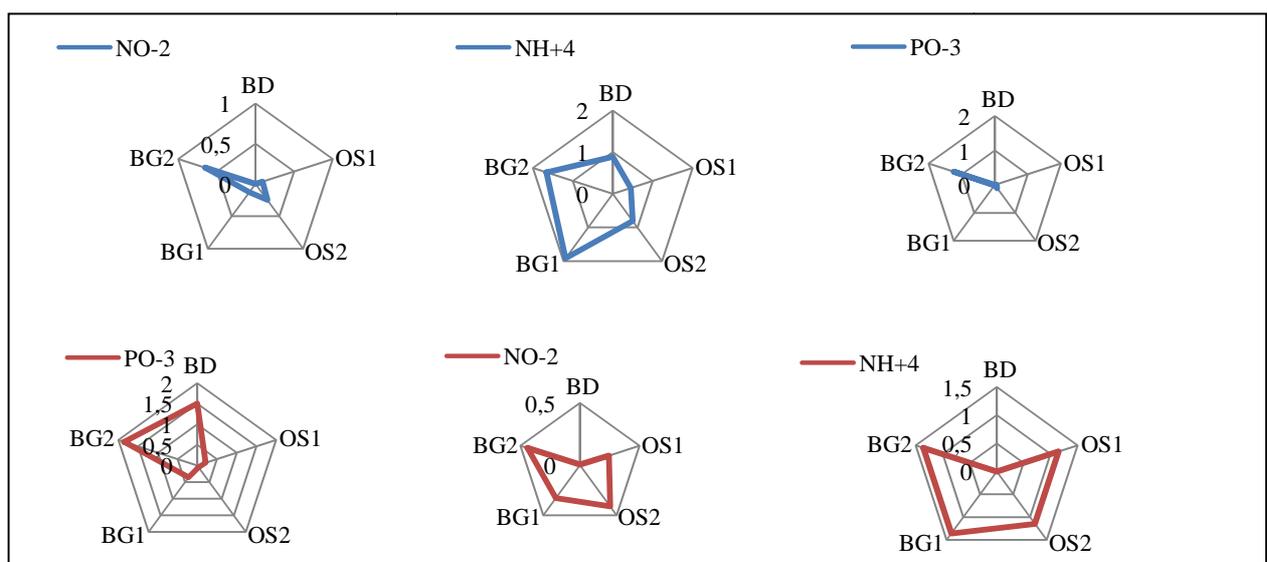
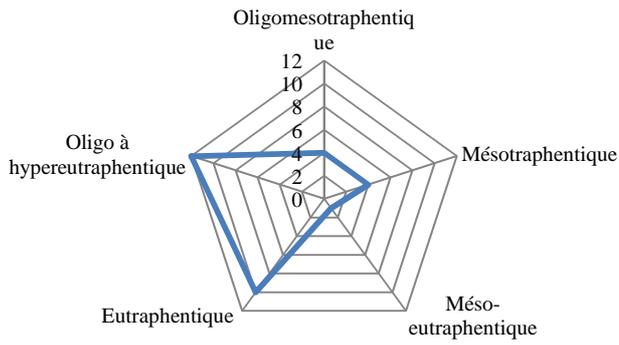
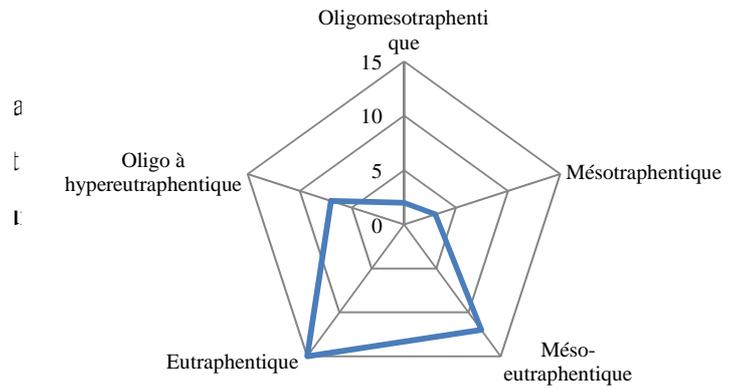


Figure 51 Variations des NO_2^- , NH_4^+ et PO_3^- durant les deux périodes

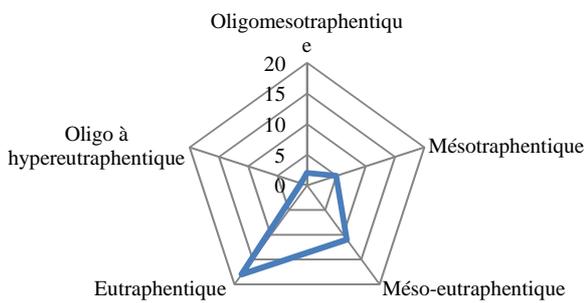
BG2



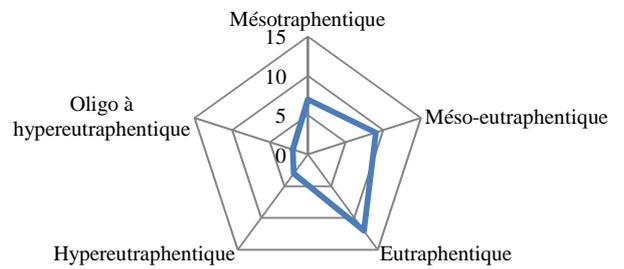
OS2



BG1



BD



OS1

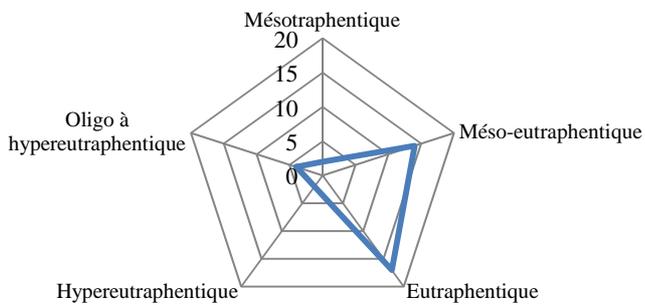


Figure 52 L'affinité des diatomées vis avis la trophie a Nahr Ouassel

Ces fluctuations d'IPO d'une station a une autre, montre la qualité de l'eau de Nahr Ouassel qui affiche une pollution organique faible au printemps par rapport à l'automne et cela est du a l'augmentation du drainage des terres agricole en cette période automnale.

Tableau 29 Résultats de l'indice de pollution organique a Nahr Ouassel

	Site	O ₂ dis	NH ₄	P tot	DBO	IPO	Classe	
								Nahr Ouassel
	BD	A	3	2	3	3	2,75	pollution forte
		P	5	2	3	1	2,75	pollution forte
	OS1	A	5	3	3	4	3,75	pollution modérée
		P	3	1	5	4	3,25	pollution modérée
	OS2	A	3	3	4	2	3	pollution modérée
		P	4	2	3	2	2,75	pollution forte
	BG1	A	2	3	5	4	3,5	pollution modérée
		P	3	3	3	3	3	pollution modérée
	BG2	A	3	3	4	4	3,5	pollution modérée
		P	4	3	2	5	3,5	pollution modérée

La station BD est la plus polluée durant les deux saisons et cette dégradation de la qualité de l'eau est du particulièrement aux rejets des eaux usées domestiques de la ville de Dahmouni surtout en période d'automne ou l'activité agricole est importante (apports d'engrais et des produits phytosanitaires). Toutefois l'analyse des valeurs de l'Indice biologique diatomique IBD (tab 30) montre des interprétations, concernant la qualité de l'eau est qui fait ressortir 3 classes de saprobie :

1. Eutrophisation Très forte
2. Eutrophisation forte
3. Eutrophisation Moyenne.

Tableau 30 Résultats de l'indice biologique diatomique a Nahr Ouassel

Sites	Saison	IBD	Niveau d'altération
BD	A	3,7	Eutrophisation Très Forte
	P	2,71	Eutrophisation Très Forte
OS1	A	10,02	Eutrophisation Moyenne
	P	10,94	Eutrophisation Moyenne
OS2	A	9,8	Eutrophisation Moyenne
	P	3,07	Eutrophisation Très Forte
BG1	A	4,18	Eutrophisation Très Forte
	P	4,07	Eutrophisation Très Forte
BG2	A	2,94	Eutrophisation Très Forte
	P	5,12	Eutrophisation Forte

2.3.1 Analyse des paramètres physico-chimiques et les indices de bioindication au niveau de Nahr Ouassel

Le Tableau 31, indique des corrélations significatives entre les variables physico-chimiques de l'eau et les indices de bioindication. En effet, l'indicateur trophique est lié positivement avec NO_2^- , PO_4^{2-} et DBO et négativement avec la turbidité et SO_4 . Par contre, l'indicateur saprobique est négativement corrélé avec la turbidité et positivement avec l' O_2 dissout. Par ailleurs, la salinité est corrélée avec la CE et la concentration en Ca^{2+} .

En outre, L'indicateur du pH est corrélé non seulement avec le pH mais avec la CE, le Cl^- et le NO_3^- . L'indicateur d'azote reflète la variation des ions contenant de l'azote (NH_4^+ , NO_2^-) et le BDO, est négativement corrélé avec l'oxygène dissout et le NO_3^- .

Egalement l'indice biologique diatomique est lié positivement avec le O_2 DIS, turbidité PO_4^{2-} et NH_4^+ . Nous concluons que le système hydrographique de Nahr Ouassel est très influencé par les variations des paramètres physicochimique dans les différents point d'observation a travers les corrélations significatives à l'égard des indice de pollution notamment l'indice biologique des diatomées IBD qui est très lies au facteur environnementaux

Tableau 31 Corrélation entre les variables physico-chimiques et les indices bioindicateurs (les corrélations présentées sont significatives à $p < 0,05$).

Variable	Bioindicator scales								
	trophique	Saprobique	Salinité	pH	Nitrogen	Oxygène	Moisture	Pollution CEE	IBD
T	-	-	-	-	-	0,47	-	-	-
pH	-	-	0.59	0.72	-	-	-	-	-
Cond	-	0,41	0.74	0.56	-	-	-	-	-
Turbi	-0.67	-0.52	-	-	-	-	-	-	0.47
O_2 DIS	-	0.50	-	-	-0.62	0.57	0.52	0,71	0.65
CaCO_3	-	-	-	-	-	0.48	-	-	-
NH_4^+	-	-	-	-	0.72	-	-	-	0.74
NO_2^-	0.62	-	-	-	0.68	-	-	-	-
Cl^-	-	-	-0.77	0.62	-	-	-	-	0.45
PO_4^{2-}	0.51	-	-	-	-	-	-	0.71	0.78
Ca^{2+}	-	-	0.59	-	-	-	-	-	-
BDO	0.46	-	-	-	0.51	-0.47	-	-0,52	-
NO_3^-	-	-	-	0.66	-0.53	-0.49	-	-	-
SO_4^{2-}	-0.54	-	-	-	0.73	-	-	-0.41	-
DCO	-	-	-	-	-	-	-	0.44	-

2.3.2 Analyse de la distribution des diatomées et les paramètres physico-chimiques de Nahr Ouassel

Les relations entre la communauté des diatomées et les variables environnementales sont examinés selon l'analyse canonique des correspondances (CCA) à l'aide du logiciel R. Les coefficients de corrélation sont présentés sous forme de flèches sur l'ordination CCA (fig.53), où la longueur de la flèche indique la grandeur de la valeur de corrélation et la flèche la direction implique une corrélation avec chaque axe. La signification des axes canoniques a été testée à l'aide d'une permutation test des échantillons Monte Carlo.

Le CCA a montrée une corrélation environnement-espèces étant due aux deux premiers axes canoniques. Ces résultats suggèrent que les tendances de distribution des espèces les plus abondantes dans les sites d'échantillonnage peuvent être expliquées par les variations des facteurs environnementaux (figure 2). Axe 1 a été négativement corrélé avec la conductivité, faisant une séparation des échantillons des OS1, BG1 BG2 et BD au printemps. La deuxième variable importante dans l'axe 1 est la phosphore totale, qui séparait les sites les plus eutrophes de BD, BG1 et BG2. Tandis que l'Axe 2 était positive et très fortement corrélée avec la salinité, DCO, O₂ et SO₄ ils séparent les échantillons de trois site a l'automne (BG2, BG1 et OS2) et un autres site au printemps OS2.

Les variables pH, NO³ et PO³ DBO corrèlent positivement avec l'axe 1, séparant les sites OS1 et BD a l'automne et qui étaient les variables les plus liées avec la distribution de, *Achnantheidium minutissimum*, *Eunotia formica*, *Gomphonema parvulum*, *Navicula radiosa*, *Nitzschia clausii*, *Nitzschia capitellate*, *Nitzschia microcephala*, *Navicula rostellata*, *Navicula cryptotenella*, *Surirella brebissonii* et *Planothidium lanceolatum*. En plus *Cymatopleura solea*, *Craticula ambigua*, *Caloneis amphisbaena var. subsalina*, *Cymbella cymbiformis*, *Ctenophora pulchella*, *Eunotia serra tertadon*, *Fragilaria ulna var. acus*, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia frustulum*, *Navicula radiosa*, *Neidium dubium*, *Tryblionella apiculata*, *Tabularia fasciculata* et *Ulnaria ulna* sont corrélées positivement avec DCO, O₂, SO₄, NO², NH⁴ et la température.

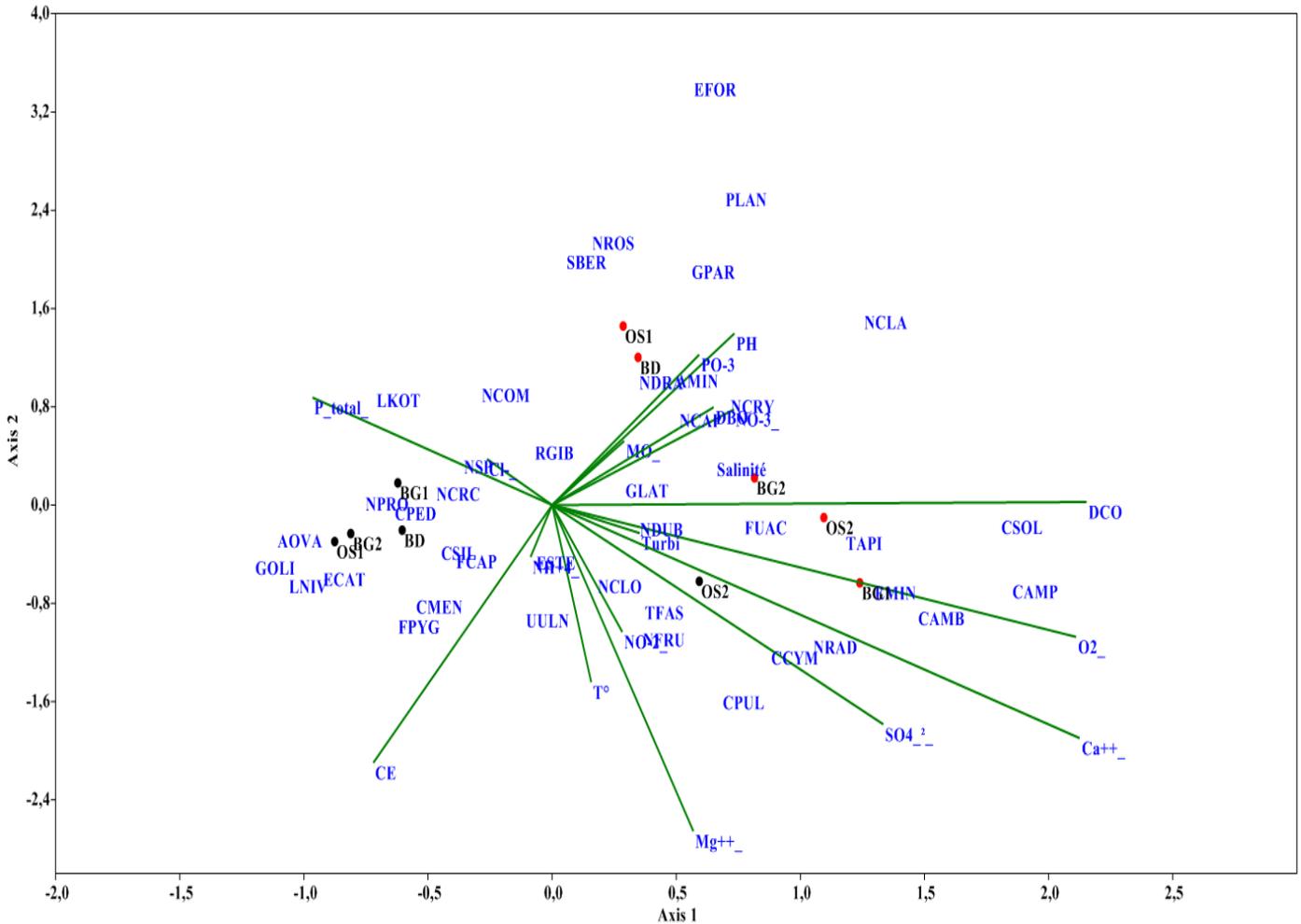


Figure 53 Analyse canonique des taxons à Nahr Ouassel.

De l'autre côté, *Amphora ovalis*, *Cocconeis pediculus*, *Caloneis silicula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria capucina*, *Fallacia pygmaea*, *Gomphonema olivaceum*, *Eunotia formica*, *Luticola nivalis*, *Luticola kotschy*, *Neidium productum*, *Nitzschia communis* et *Navicula cryptocephala* étaient négativement et significativement corrélées avec la phosphore totale et la conductivité

Nahr Ouassel a été caractérisé comme un système très pollué et eutrophique en raison d'une constante tout le long de l'année due au drainage des teneurs élevés en éléments nutritifs des eaux usées provenant des activités urbaines et agricoles. Les facteurs écologiques ont montré une discrimination claire des sites étudiés ayant des teneurs élevée en oxygène dissous et une conductivité électrique remarquable tels que les sites de Barrage Bougara et Barrage de Dahmouni, dans les quelles les eaux usées issues d'activités agricole est très intense. Les taxocenoses sont dominées par les espèces de genre *Gomphonema* pendant la

période de notre étude tel quelles observe dans les sites BD, BG et OS1 La présence d'un grand nombre d'espèces *Gomphonema olivaceum* et *Gomphonema parvulum* considérées comme tolérantes aux conditions extrêmement polluées. (Dere *et al.*, 2006 ; Taylor *et al.*, 2007) ont démontrés l'Eutraphentique et la hypereutraphentique des conditions qui prédominaient dans les divers sites de Nahr Ouassel. Le Barrage de Dahmouni est considérés comme référents pour conditions très perturbées, ont une faible diversité des espèces et sont dominées par des espèces caractéristiques des eaux enrichies en matière organique telles que *Craticula ambigua* résistante aux niveaux critiques et forts de Pollution. D'autre part le site OS1 caractérise par une eutrophisation moyenne, dominé par *Amphora ovalis* et *Rhoicosphenia abbreviata* survenant a la fois a cet endroit, reflètes les eaux moins perturbées avec des concentrations des nutriments faible. *Rhoicosphenia. abbreviata* est sensible à l'augmentation de la conductivité (Maidana *et al.*, 2005) et peut aussi refléter l'activité dans le site (Walker & Pan, 2006).

2.4 Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées de Chott Chergui

Les eaux de Chott Ech Chergui n'ont pas une origine unique mais résultats de la réunion dans la cuvette du chott de plusieurs nappes provenant des terrains moi-pliocènes et des différents horizons perméables du substrat (Baudrimont ,1974).

Nos analyses physicochimiques concernent 5 sites, pour le chott ech chergui (DK1, DK2, DK3) située dans la région de Chaima et (SS1, SS2) située dans la commune de Sidi Abed el Rahman. La température varie d'un site à un autre donc on peut classe les diatomées de Chott Ech Chergui en 02 classe la première Eutherme caractérise la région de Saouss et Ain Teddese et la deuxième Mésotherme remarquée a Dait Khadra. Tandis que la classe des diatomées selon le gradient optimal du pH fait ressortir que les espèces sont tous alkaphiles a travers tous les sites, Les valeurs de la conductivités à Chott Ech Chergui reflètent celles des eaux saumâtres.

Selon classification de Van Dam *et al.* (1994) des diatomées suivant leurs préférence a la salinité, on observe que tous les espèces appartiennent a la classe des eaux saumâtres avec des pourcentages qui varie entre 1.71 et 3.07 %. Cela nous ramène a conclure et d'après les résultats physicochimique que la minéralisation est forte dans les 05 stations de Chott Ech Chergui, en générale ces eaux sont caractérisés par une prédominance des sulfates SO₄ (255,1-511,6 mg/l), de sodium Na⁺ (38-343mg/l) et nous remarquons aussi des teneurs

très élevés de magnésium dépassants les 200 mg/l (fig 54). en plus l'ammonium est presque nulle dans les station a part la station SS1 a l'automne qui peut être due au drainage des eaux usées provenant de la plus proche commune de Sidi Abed El Rahmen. (Fig 56) d'autre par à daiet Khadra DK2 DK3 pendant le printemps des concentrations élevées en nitrite et en phosphate due au activités agricoles (Engrais et l'élevage des ovins) appliquer dans la région de chaïma.

Les variations saisonnières ont une grande influence sur la structure des communautés de diatomées puisqu'elles sont responsables, entre autres, des variations de température, de lumière, de débit et de quantité d'éléments nutritifs (Lavoie *et al.*, 2008). Part contre nous remarquons aux divers stations de Chott Ech Chergui que les concentrations des paramètres physicochimiques ne divers pas durant les deux périodes cela peut être due, premièrement au manque considérables des précipitations et deuxièmement aux grandes températures caractérisant la région d'étude.

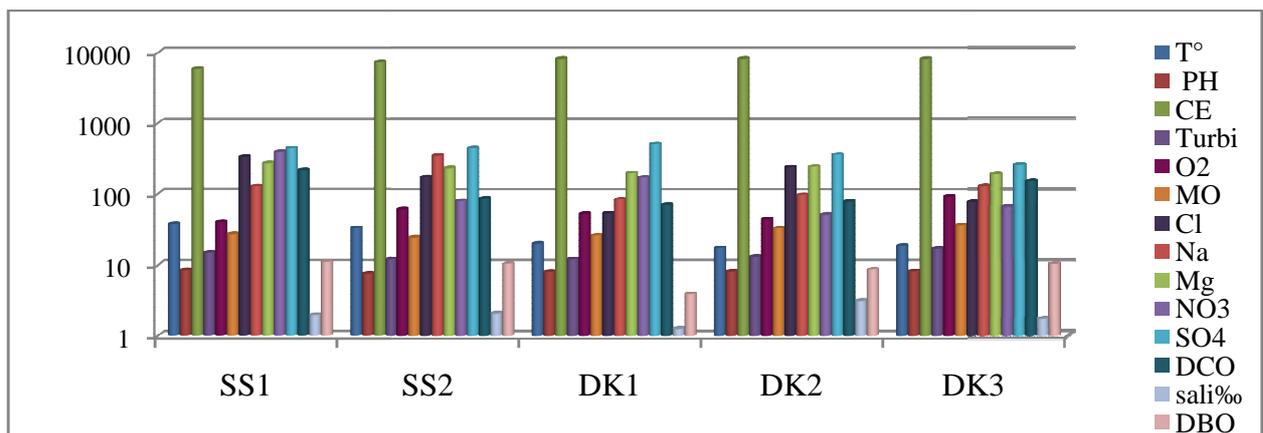


Figure 54 Les variations des teneurs des paramètres physicochimiques à l'Automne.

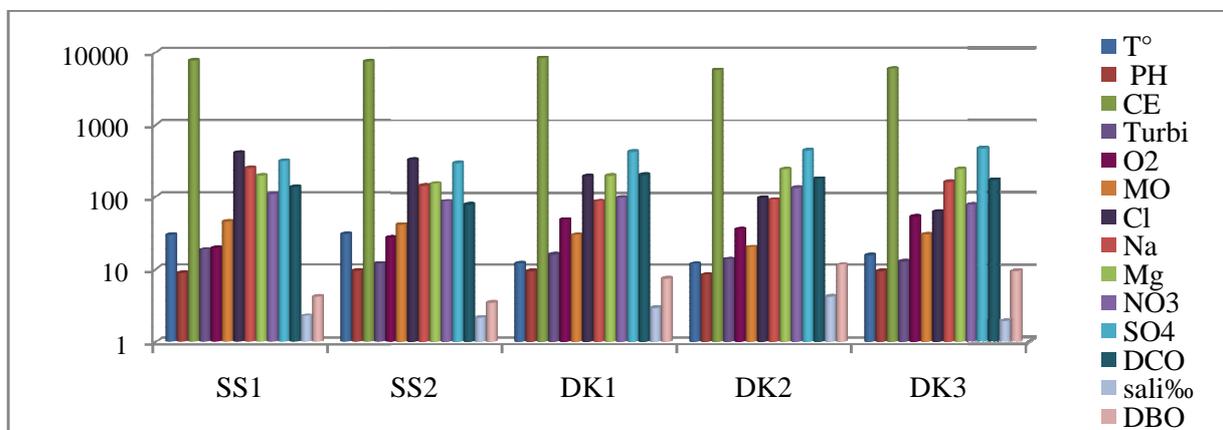


Figure 55 Les variations des teneurs des paramètres physicochimiques au printemps.

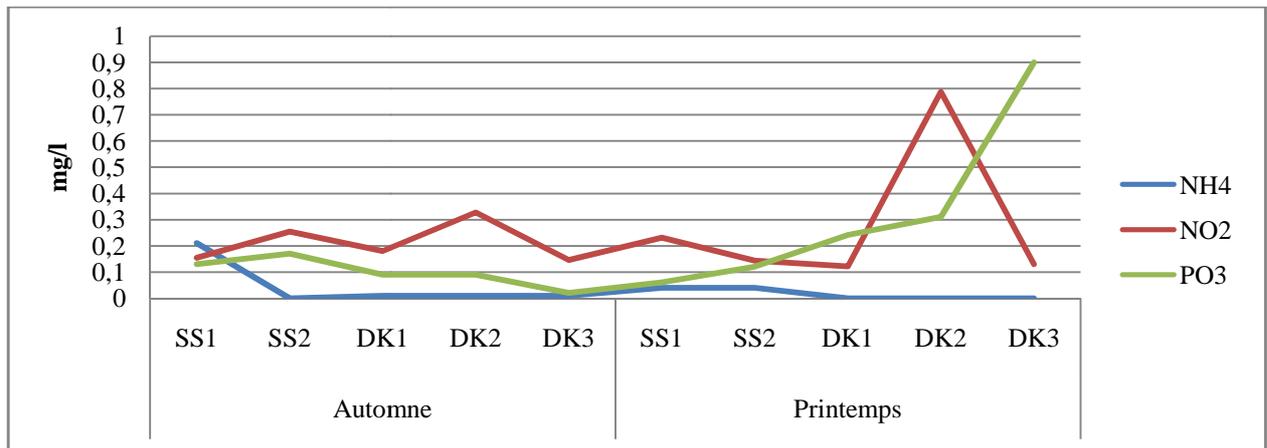


Figure 56 Les variations d’ammonium, nitrates et nitrites.

Concernant l’attrance de la communauté diatomique vis-à-vis la saprobie a Chott Ech Chergui, nous signalons la prédominance de la classe α -Mesosaprobic pendant l’Automne et le Printemps dont la dominance de *Navicymbula pusilla*, connus par son écologie, qui fréquente les eaux oligo-à eutrophisation avec une teneur modérée à élevée en sel minéraux, en particulier les eaux avec une forte concentration de Ca^+ et Cl^- .

A l’exception des sites DK2 et DK3 a la saison du printemps ou la dominance de la classe des diatomées β -Mesosaprobic tel que *Gomphonema parvulum* et *Nitzschia palea*. Observée dans la zone a ruissellement agricole Dait El Khadra, ont également été trouvés dans les rivières avec des concentrations élevées de nitrates et de phosphates près de terres agricoles aux États-Unis, le Japon, la Pologne et l’Allemagne (Lobo *et al.*, 1995 ; Leland et Porter, 2000; Köster et Hübener, 2001).

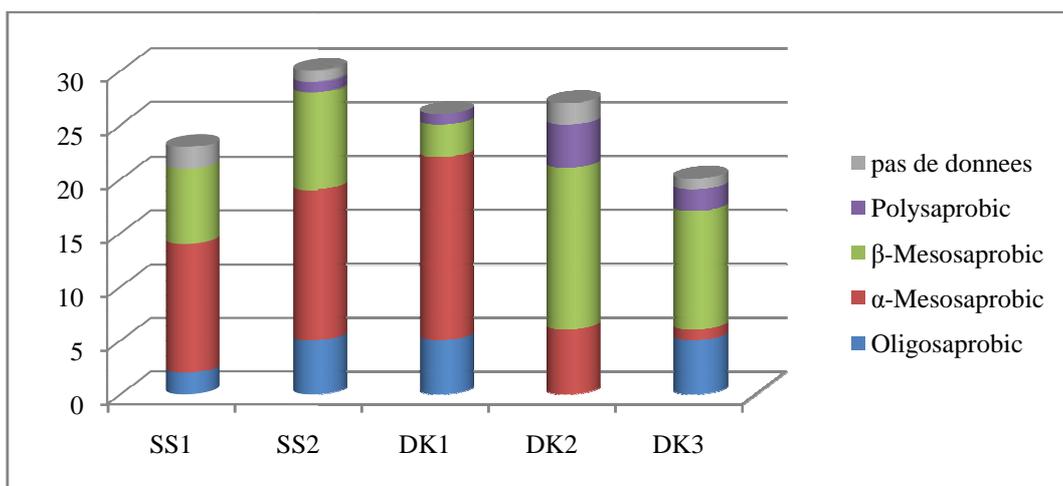


Figure 57 L’affinité de la communauté diatomique aux paramètres physicochimiques (Printemps).

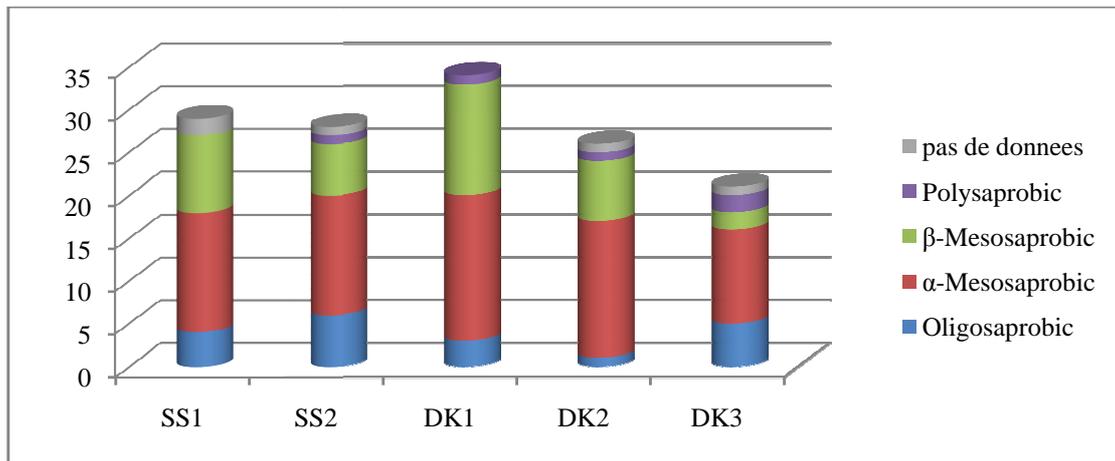


Figure 58 L'affinité de la communauté diatomique aux paramètres physicochimiques (Automne).

Toutefois, l'affinité des diatomées a Chott Ech Chergui vis à vis la charge des eaux en nutriments, fait ressortir deux classes dominantes : la première classe Mésio-eutrapihenticque avec plus de 45% pendant le printemps à Ain Saousse et plus de 55% à l'automne pour la majorité des sites. La seconde classe Eutrapihenticque avec plus 30%, dans la majorité des sites d'études

Les taxons Mésio-eutrapihenticques s'adoptés a ces concentration modères comme *Navicymbula pusilla*, *Campylodiscus clypeus*, *Cocconeis pediculus* et *Achnantheidium exiguum*, qui dévoilent souvent les eaux alcalines. La classe des diatomées Eutrapihenticque répondent fortement a cet enrichissement élevé en éléments nutritifs du milieu ou on remarque la dominance des espèces *Mastogloia braunii* et *Surirella ovalis*.

Selon le taux de matière organique et selon l'IPO qui marque une variation des valeurs le long des stations, les Diatomées indiquent le degré d'altération des eaux de la région d'étude. Cette vulnérabilité des diatomées vis à vis la pollution organique, met en évidence trois classes selon le degré de pollution (tab32):.

✦ La forte pollution organique (IPO = 2.5 et 2.75) observée à Sebket Dait Khadra au printemps, confirmant l'impact du drainage dans ces endroits, où la perméabilité est importante. Cela s'explique par deux phénomènes dont le premier naturel est relié aux fortes concentrations des minéraux (Na^+ , Cl^- et SO_4) qui constituent les minéraux salins.

✦ le second est anthropique (NO_3^- , SO_4) lié aux eaux usées urbaines et agricoles qui se jettent dans les sebkhas et les chotts et qui est une pollution modérée remarquée dans la

plupart des sites durant les deux périodes avec IPO qui oscille entre 3 et 3.75, affirmant le taux élevé des nutriments salins.

- ✦ Enfin une pollution faible remarquée à Saouss et Ain Teddese (ss1et ss2) à l'automne et qui s'explique par la diminution de l'évaporation suite aux faibles températures en cette période donc une faible concentration d'éléments nutritifs dans le milieu, en plus de l'éloignement des sites des agglomérations.

Tableau 32 Intervalle des classes pour les éléments de pollution a Chott Ech Chergui

		NH ₄	PO ₄	NO ₂	DBO	Indice des nutriments				IPO	Classe de pollution
Automne	SS1	0,09	0,13	39,5	22,1	5	5	3	5	4,5	faible
	SS2	0,08	0,17	79,2	8,6	5	5	2	4	3,75	faible
	DK1	0,26	0,09	170	7	4	5	1	3	3,25	modérée
	DK2	0,09	0,09	51	7,7	5	5	2	3	3,75	modérée
	DK3	0,12	0,02	66	15	4	5	2	1	3	modérée
Printemps	SS1	0,21	0,06	110	13,6	4	5	2	2	3,25	modérée
	SS2	0,05	0,12	87,5	7,9	5	5	2	3	3,75	modérée
	DK1	1,2	0,24	99,1	20,1	3	5	2	1	2,75	forte
	DK2	2,05	0,31	135,7	17,8	2	5	2	1	2,5	forte
	DK3	0,09	0,9	78,2	16,9	5	5	2	1	3,25	modérée

D'autre part, l'indice biologique diatomique affirme l'existence de deux classes, les notes obtenues sont bonnes a très bonnes pour l'ensemble des stations, déterminant les caractéristiques d'une Eutrophisation nulle à faible et une autre modérée:

- la première est observée dans les sites de Saouss et Ain Teddese, avec un IBD qui varie entre 17.9 à 20.23 (tab. 33)
- la deuxième observée dans les sites restants pendant les deux périodes avec des valeurs de l'IBD qui montrent que la qualité de l'eau est bonne sur la chronique étudiée à Chott Ech Chergui

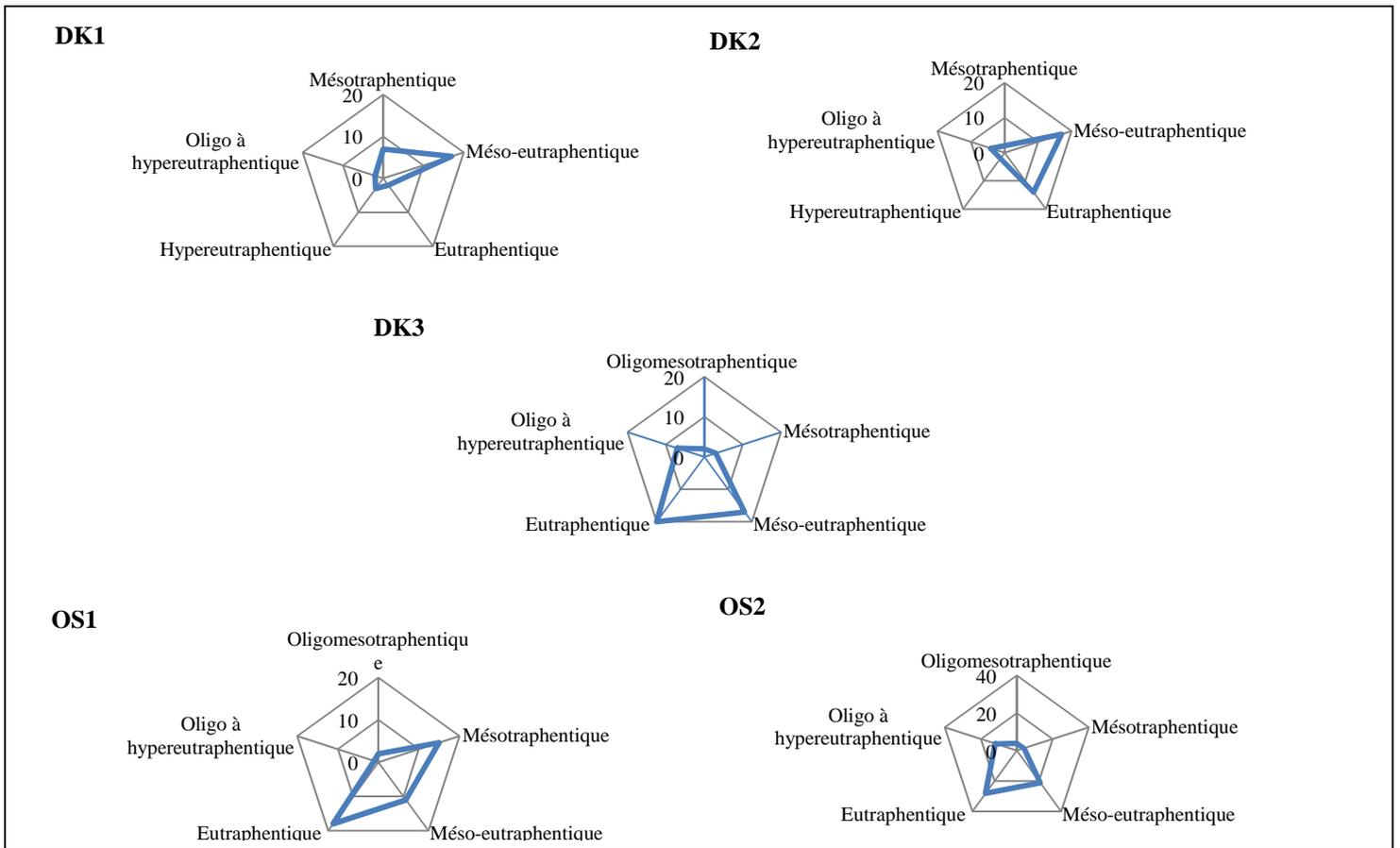


Figure 59 L'affinité des diatomées vis avis la trophie.

Tableau 33 Résultats de l'indice biologique diatomique Chott Ech Chergui.

Sites	Saison	IBD	Niveau d'altération
SS1	A	18,72	Eutrophisation nulle à faible
	P	19,11	Eutrophisation nulle à faible
SS2	A	20,23	Eutrophisation nulle à faible
	P	20,09	Eutrophisation nulle à faible
DK1	A	10,82	Eutrophisation modérée
	P	9,24	Eutrophisation modérée
DK2	A	9,18	Eutrophisation modérée
	P	12,07	Eutrophisation modérée
DK3	A	11,74	Eutrophisation modérée
	P	12,12	Eutrophisation modérée

2.4.1 Analyse des paramètres physico-chimiques et les indices de bioindication au niveau de Chott Ech Chergui

D'après le tableau 34 on remarque une corrélation des paramètres physicochimique et les indice de pollution, particulièrement la salinité qui est corrélée positivement avec température et le pH et la conductivité ainsi les autres éléments tel que le SO_4^- ca NH_4^+ tandis que elle présente étonnamment une corrélation négativement avec le Cl^- .

Les indicateurs trophiques et sabrobique sont liés aux différents paramètres physico-chimiques. Aux contraires des autres indicateurs de bioindication, l'IBD qui se corrèle négativement juste avec le DCO Alors que CEE ne présente pas des corrélations avec les paramètres physicochimiques. Nous concluons que le qualité d'eau de Chott Ech Chergui est très influencée par la salinité et révèle une pollution faible par rapport aux autres systèmes hydriques.

Tableau 34 Corrélation entre les variables physico-chimiques et les indices bioindicateurs dans l'écosystème hydrique Chott Ech Chergui (les corrélations présentées sont significatives à $p < 0,05$).

Variable	Bioindicator scales									
	Physico-chimiques	trophique	Saprobique	Salinité	pH	Nitrogen	Oxygène	Moisture	Pollution CEE	IBD
T	–	–	0.79	0.55	–	0,59	–	–	–	–
pH	–	–	0.75	0.78	–	–	–	–	–	–
Cond	–	–	0.74	0.76	–	–	–	–	–	–
Turbi	–0.67	–	–	–	–	–	–	–	–	–
O ₂ DIS	–	–	–	–	–	–	0.57	–	–	–
CaCO ₃	–	–0,42	–	–	–	–	–	–	–	–
NH ₄ ⁺	–	–0.52	0.79	–	0.72	–	–	–	–	–
NO ₂ [–]	0.62	–0.78	–	–	0.68	–	–	–	–	–
Cl [–]	–	–	–0.74	–	–	–	–	–	–	–
PO ₄ ^{2–}	0.51	–	–0.79	–	–	–	–	–	–	–
Ca ²⁺	–	–	0.54	–	–	–	–	–	–	–
BDO	0.48	–	–	–	–	–	–	–	–	–
NO ₃ [–]	–	–	–	–	–	–0.49	–	–	–	–
SO ₄ ^{2–}	–	–0.71	0.59	–	–	–	–	–	–	–
DCO	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.51

; Ziemann, Kies *et al.*, 2001). Qu'est caractérisées par la présence des espèces favorisent les eaux salées telle que, *Surirella ovalis*, *Cymatopleura solea*, *Mastogloia braunii*, *Tryblionella hungarica*, et *Campylodiscus clypeus*.

2.5 Conclusion

Les résultats obtenus dans la présente étude confirment clairement le caractère eutrophique des différents hydrosystèmes étudiés car tous les paramètres utilisés sont supérieurs aux valeurs seuils. Les eaux sont alcalines, excessivement minéralisées et dures. Certains paramètres environnementaux ont un rôle clé dans le fonctionnement et l'évolution de ces biotopes. Ces paramètres comprennent les nutriments (PO_4 et NH_4), la conductivité, la température et l'oxygène qui ont marqués des fluctuations importantes au cours de notre étude et ont influencé directement la distribution des diatomées.

Dans ces cours d'eau, aux évacuations d'eaux usées domestiques s'ajoutent les rejets industriels et agricoles non traités d'où la forte proportion d'espèces tolérantes à la pollution Organique qui sont dévoilés par les valeurs élevées de l'oxydabilité et de la DBO5, les fortes teneurs de l'azote et ammoniacal.

Par ailleurs, les Oueds Mina, Louhou et Nahr Ouassel, considérés comme référents pour des conditions très perturbées, ont une faible diversité des espèces et sont dominés par des taxocenoses caractéristiques des eaux riches en matière organique telles que *Gyrosigma rautenbachiae*, *Eunotia cataractarum*, *Cymboplectra naviculiformis* ou ont note la préférence des *Luticola kotschyi*, *Surirella brebissonii*, *Neidium ampliatum* au niveau élevé d'azote et la préférence aux teneurs très moyennes en orthophosphates. des *Amphora ovalis* *Cocconeis pediculus*, *Caloneis silicula*, *Cyclotella meneghiniana*.

Les communautés de diatomées rencontrées dans les eaux de Chott Ech Chergui ont été positivement corrélés a la conductivité et la température telles que *Surirella ovalis*, *Cymatopleura solea*, *Mastogloia braunii*, *Tryblionella hungarica*, et *Campylodiscus clypeus*.

On conclut à une affinité vis-à-vis la salinité des espèces qui tolèrent des concentrations élevées en sels et par conséquent la dominance des ces taxons a travers la majorité des sites du chott.

1	Taxonomie des espèces-----	58
1.1	Introduction -----	58
1.2	Interprétation des résultats de la Diversité des diatomées dans la région d'étude-----	58
1.3	Interprétation des relevés de la Partie Nord -----	61
1.3.1	Les Cas de Oued Mina et de Oued Louhou-----	61
1.3.1.1	Diversité des familles-----	61
1.3.1.2	Diversité des espèces-----	61
1.3.2	Cas de Nahr Ouassel -----	66
1.3.2.1	Diversité des familles -----	66
1.3.2.2	Diversité des espèces-----	67
1.3.3	Cas de chott chergui-----	69
1.3.3.1	Diversité des familles-----	69
1.4	Interprétation des relevés de la Partie sud -----	70
1.4.1	Le Cas de Chott Ech Chergui-----	70
1.4.1.1	Diversité de familles-----	70
1.4.1.2	Diversité des espèces-----	70
1.5	Interprétation des relevés pour la Taxonomie des espèces observées pour la première fois en Algérie -----	74
1.5.1	Description des espèces recensées pour la première fois en Algérie -----	74
1.6	Conclusion-----	76
2	Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées recensées et sur qualité de l'eau dans la région d'étude.-----	78
2.1	Introduction -----	78
2.2	Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées des Oueds Mina et Louhou-----	78
2.2.1	Analyse statistique des paramètres physicochimiques au niveau du sous bassin de la mina 84	
2.3	Interprétation Des Résultats Et Discussion Sur L'Ecologie des diatomées de Nahr Ouassel 93	
2.3.1	Analyse des paramètres physico-chimiques et les indices de bioindication au niveau de Nahr Ouassel -----	98
2.3.2	Analyse de la distribution des diatomées et les paramètres physico-chimiques de Nahr Ouassel 99	
2.4	Interprétation des résultats et discussion sur l'Ecologie des diatomées de Chott Chergui 101	
2.4.1	Analyse des paramètres physico-chimiques et les indices de bioindication au niveau de Chott Ech Chergui -----	107

Conclusion générale

Après avoir analysé et discuté les résultats obtenus lors de cette l'étude, nous pouvons conclure que la diminution observée de la biodiversité et les changements dans la composition des espèces de la zone d'étude pourraient être due aux modifications de la qualité de l'eau en raison de l'augmentation de la pollution dans ces différents écosystèmes.

Ainsi, l'analyse systématique nous a permis d'identifier les familles les plus représentées, qui sont les Naviculaceae, les Bacillariaceae, les Cymbellaceae, et les Sellaphorineae avec 45 genres, dont les plus représentés sont *Navicula*, *Nitzshia* et *Cymbella*. Par ailleurs, 4 genres sont représentés chacun par une seule espèce, tels que les genres *Thalassiosira*, *Rhoicosphenia*, *Rhopalodiaceae* et *Halamphora*. Tandis que la répartition des différents espèces le long des ces cours d'eau montre la dominance des taxons *Surirella brebissonii*, *Gomphonema parvulum*, *Achnantheidium minutissimu*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cyclotella ocellata*, *Craticula ambigua* et *Amphora ovalis* dans la partie nord de la zone d'étude.

Par contre la dominance des taxons halophiles typiques des eaux saumâtres dans le Chott Ech-Chergui tels que *Mastogloia braunii*, *Campylodiscus clypeus* et *Navicymbula pusilla*, qui explique probablement la richesse taxonomique moyenne, dans les différents sites d'étude avec des indices de biodiversité de Shannon H et l'équitabilité E plus mitigés.

D'autre part, et selon la documentation disponible, treize taxons identifiés dans cette étude ont été signalés pour la première fois en Algérie, à savoir *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Hippodonta capitata*, *Luticola kotschyi*, *Luticola nivalis*, *Neidium binodeforme*, *Neidium ampliatum*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata var. tabellaria*, *Pinnularia obscura*, *Stauroneis gracilis* et *Surirella crumena*.

De manière globale, on a constaté que la composition des communautés de diatomées de la partie nord du sous-bassin d'Oued Mina et de Naher Ouassel est caractérisée par des taxons polysaprobic tels que *Gomphonema parvula*, *Cyclotelaocillata*, *Navicula radiosa*, *Nitzschia*, *Palea* et *Cymbella neocistula*. A l'opposé, dans le Chott Ech Chergui ou il y'a l'affinité des diatomées avec la charge des eaux en nutriments, on note deux classes dominantes, dont une première classe Méso-eutrapientique avec plus de 45% au printemps et plus de 55% à l'automne et la seconde classe Eutrapientique avec plus 30%.

D'autre part, les trois systèmes hydrographiques sont entraînés par des variations de facteurs environnementaux, montrant une dominance des halophytes qui est confirmée par les résultats de l'ordination (CCA), dont la distribution des diatomées épilithons est étroitement liée aux éléments physico-chimiques de l'eau, en particulier à la conductivité, pH, PO_4^- et DBO. Cela est également associé aux différents types et intensités des activités humaines qui se produisent à travers ces écosystèmes confirmés par la présence d'espèces résistantes à la pollution organique qui indiquent que. Ce qui est une forte pollution des eaux.

Par ailleurs, l'étude des diatomées et l'application d'IPO nous a permis d'appréhender trois classes de Pollution organique : forte, modérée et faible. Alors que l'indice diatomique (IBD) fait ressortir quatre altérations : Eutrophisation Très Forte, Forte, Moyenne et Eutrophisation nulle à faible. Ce dernier a présenté une bonne altitude dans la bioindication des eaux dans la région de Tiaret et qui peut être expliqué par l'assortiment des espèces halophiles et des espèces acidophiles qui sont adaptées aux conditions environnementales des régions du nord de l'Afrique tel que *Pinnularia obscura* qui est très fréquente dans les communautés d'algues à environnement acide et le genre *Eunotia* qui est représenté par deux espèces *Eunotia cataractarum* et *Eunotia formica*.

En outre, la dégradation des eaux étudiées suit un changement dans les habitudes agricoles dans cette région, où les vastes zones céréalières de Tiaret ont été remplacées par des cultures maraichères, surtout le long des oueds et dans les alentours des barrages de Bakhada ou de Dahmouni, nécessitant ainsi, plus d'intrants chimiques (engrais et pesticides) et qui sont à l'origine de la pollution organique. De plus, l'utilisation irrationnelle des engrais dans la région de Sidi ouadah (SO) et Tagdemt (TT) et les déchets rejetés par l'unité ONAV (Office national des abattoirs avicoles), augmentent la concentration de NH_4 et de NO_3 , provoquant l'augmentation du niveau eutrophique d'où la dominance des taxocenoses préférant de trophée élevée des tels *Hantzschia amphioxys*, *Encyonema silesiacum*, *Gyrosigma rautenbachiae*, *Eunotia cataractarum*, *Cymbopleura naviculiformis*, *Luticola kotschyi*, *Surirella brebissonii* et *Neidium ampliatum*.

Part ailleurs, les rejets des eaux usées domestiques et industrielles provenant des agglomérations ; ville de Tiaret, de Dahmouni, de Bougarra, de Frenda et de Medroussa montrent un état plus au moins dégradé de la qualité des eaux duquel l'IPO présente des altérations modérées de la pollution organique, soit la préférence du niveau faible d'azote des

taxons *Bacillaria paradoxa*, *Neidium binodeforme*, *Luticola nivalis*, *Amphora ovalis* et *Rhoicosphenia abbreviata*

Concernant la diversité et la qualité de l'eau à Chott Ech-Chergui, on constate que plus les quantités de pluies sont insignifiantes et plus la forte pression anthropique peut menacer le biotope, sur ces entrefaites le caractère halophile est bien confirmé chez cette communauté des diatomées. Ces compositions halophytes ont une forte tendance de salinité qui est perceptible. Ces groupements du Chott sont dominés par les taxons *Surirella ovalis*, *Cymatopleura solea*, *Mastogloia braunii*, *Tryblionella hungarica*, *Campylodiscus clypeus*. Les indices de bioindication mettent en exergue un niveau d'altération faible de l'eau dans cette région et par conséquent, on peut définir les espèces comme des Méso-eutraphentiques.

A Tiaret, les multitudes exercent une forte pression sur les espèces diatomiques à travers les différents rejets d'origines domestiques, industriels ou agricoles en particulier qui aggravent la situation dans ces hydrosystèmes

Enfin, la qualité de l'eau est un appui très important sur la plan écologique, sociale et économique en Algérie et de ce fait la gestion des écosystèmes aquatiques doit être rationnelle, efficace et opérante pour garantir un suivi impératif de la qualité de l'eau et d'élaborer en usage des actions favorisant la préservation de ces biotopes.

Pour le développement et l'utilisation de ces ressources diatomiques avec une efficacité maximale dans le domaine de la bioindication de la qualité de l'eau, des perspectives futures seront faites telles que :

- La prospection d'un grand nombre de sites le long du sous bassin d'oued Mina et de Naher Oussel pour contrôler la pollution urbaine et agricole afin d'optimiser le développement des centres de traitement de l'eau le long de ce réseau hydrographique hautement anthropisé.
- La planification d'un programme de drainage et de traitement des eaux usées afin d'améliorer la qualité de l'eau dans l'intérêt de ceux qui dépendent de ce hydrosystème,
- Les biotopes doivent disposer des moyens d'assistance et de traitement des rejets par la mise en œuvre d'un programme d'égouttage et d'installation des stations d'épurations.

Référence Bibliographique

A

- .Adrien Bussard, 2015. « Capacités d'acclimatation des diatomées aux contraintes environnementales » Thèse Doctorat Le 01 octobre 2015 DU Museum National D'histoire Naturelle paris. France.
- Alexander P, Wolfe L, Hedy J. A., 2000. Consideration of some North American soft-water *Brachysira* taxa and description of *B.arctoborealis* sp. Nov .Kling Lange-Bertalot-Festschrift Studies On Diatoms. 2000 ; 250.
- Al-Kandari. M, 2009. Marine Phytoplankton Atlas of Kuwait's Waters Published in Kuwait in 2009 by Kuwait Institute for Scientific Research, P.O.Box 24885, 13109 Safat, Kuwait.
- Allan, J.O, 1995. "Stream Ecology: Structure and function of running water", Kluwer Academic publishers, U. S. A.pp. 83.-100.
- Anderson, N.J, 2000. Diatoms, temperature and climatic change. European Journal of Phycology, 35: 307-314.
- Aruga (Y.), 1965. Ecological studies of photosynthesis. 11 photosynthesis of algae. Bat. Mg. Tokio., 78 : 360-365.
- ASFE. 2010.Association Santé environnement France. Pollution de l'eau : Origines et impacts.

B

- Baudrimont, R.(1974). Recherches sur les Diatomées des eaux continentales de l'Algérie. Ecologie et paléo-écologie. Mémoire, Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, nouvelle, 12.
- Ben Derradji ME et Krika A, 2001 Ressources En Eau, Pollution Et Sante Dans La Region D'annaba-Algerie Orientale MEDIT N° 1/2001.P64
- Benkhetou.A, Kadour D,Benkhetou. M,Zedek.M Saadi.R, 2015. Diversité Floristique du Massif du Nador en zone steppique (Tiaret, Algérie) .European Scientific Journal; Ed. vol.11, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
- Benoit-Chabot V,2014. Les Facteurs de sélection des Bioindicateurs De La Qualité Des Ecosystèmes Aquatiques: Elaboration D'un Outil D'aide A La Décision, Grade De Maitre En Environnement Université Sherbrooke. Québec, Canada).
- Berard, A., Capowiez Y and C. Leboulanger, 2004. "Procedures for determining the pesticide sensitivity of indigenous soil algae: A possible bioindicator of soil contamination?" Archives of Environmental Contamination and Toxicology 46(1):24-31.
- Berthon.V, Rimet. B, Bouchez. Agnes, 2010. Intérêt de différents traits biologiques des diatomées pour l'évaluation des niveaux de saprobie et de trophie en rivières. Connaître-Surveiller-Gérer-Réhabiliter les écosystèmes d'eau douce. Journées Internationales de Limnologie, Thonon-les-Bains, France, -10-05-2010-10-08, 43-43
- Beyene A., T. Addis, D. Kifle, W. Legesse, H. Kloos L. Triest (2009). Comparative study of diatoms and macroinvertebrates as indicators of severe water pollution:Case study of the Kabena and Akaki rivers in Addis Ababa, *Ethiopia. Ecol. Indic.*, 9, 381-392.
- Blandin P ,1986 Bioindication Et Diagnostic Des Écosystèmes Ecologiques. Tome17 publie Avec Le Concours Financier Du Ministère De L'environnement .Paris France. PP223

- Borchardt, M.A., 1996. Nutrients. Dans: Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems. Stevenson, R.J., M.L. Bothwell et R.L. Lowe (dir.). Academic Press, San Diego 183-227.
- Bottin, M., 2012. Structure des assemblages de diatomée benthique en rivière. Thèse de doctorat en Ecologie évolutive, fonctionnelle et des communautés, université Bourdeaux I, 329.
- Bouchedja A, La Politique Nationale De L'eau En Algérie. Euro-RIOB 2012 : 10 ème Conférence Internationale, Istanbul – Turquie – 17 Au 19 Octobre 2012.
- Bouchentouf K, 1994. Les bilans d'eau vus à travers les paramètres physicochimiques et hydrodynamiques : cas du bassin versant de la haute Mina (Tiaret, Algérie). Thèse de Magister, Institut d'hydraulique, Centre Universitaire de Chlef, p.192.
- Boudjadja, A., Messahel, M. et H. Pauc 2003. Ressources hydriques en Algérie du Nord. Rev. Sci. Eau 16(3): 285-304.
- Boumniche L., Dauta A., Devaux J. & Romagoux J.C. 1990. Influence de la lumière et de la température sur la croissance de quatre espèces d'algues d'un lac eutrophe (Lac d'Aydat, Puy de Dôme, France). Ann. Limnol., 26(1): 3-10.
- Bouziani M. 2000. L'eau de la pénurie aux maladies, Ed Ibn Khaldoun, Alger, Algérie. p 84, 247p.
- Bruder K. et Medlin L.K. 2007. Molecular assessment of phylogenetic relationships in selected species/genera in the naviculoid diatoms (Bacillariophyta). I. The genus *Placoneis* Nova Hedwigia 85 3—4 331—352. Stuttgart, November

C

- Cazaubon, A. 1991. Problems and objectives of sampling river algae for monitoring. - In: Whitton, B.A., Rott, E. et Friedrich, G. (eds.), Use of algae for monitoring rivers. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, 17-20.
- Cemagref. 1982 "Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux", Rapport Q.E. Lyon A.F. Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 218p.
- Ceron Garcia M.C., Fernandez Sevilla J.M., Acien Fernandez F.G., Molina Grima E., Garcia Camacho F., 2000. Mixotrophic growth of *Phaeodactylum tricorutum* on glycerol: growth rate and fatty acid profile. Journal of Applied Phycology 12, 239-248.
- Chaïb N., Tison-Rosebery J, 2012. Water quality assessment and application of the biological diatom index in the Kebir-East wadi, Algeria. African Journal of Aquatic Science. -37, 1, 59-69.
- Chaïb, N., Alfarhan, A. H., Al-Rasheid, K.A.S., Samraoui, B, 2011. Environmental determinants of diatom assemblages along a north African wadi, the Kebir-East, northeast Algeria. Journal of Limnology, 70 (1), 33–40.
- Chaïb, N., Tison-Rosebery, J. (2012). Water quality assessment and application of the biological diatom index in the Kebir-East wadi, Algeria. African Journal of Aquatic Science, 37 (1), 59–69. DOI:
- Cox .E. J, 2009. Diatom classification should reflect systematic relationships. Acta Bot. Croat. 68 (2), 443–454,.
- Ciniglia C., Cennamo P., De Stefano M., Pinto G., Caputo P et Pollio A, 2007. *Pinnularia obscura* Krasske (Bacillariophyceae, Bacillariophyta) from acidic environments: characterization and comparison with other acid-tolerant *Pinnularia*

species. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie*; Vol. 170/1: 29–47.

D

- DAJOZ R., 1975. *Précis d'écologie*, Ed Bordas, Paris, 549p.
- Dauta (A.). 1982. — Conditions de développement du phytoplancton. Etude comparative du comportement de huit espèces en culture. I. Détermination des paramètres de croissance en fonction de la lumière et de la température. *Annls Limnoi*, 18 (3) : 217-262.
- Debenest T., 2007 « Caractérisation de l'impact des pollutions agricoles sur les diatomées benthiques » Thèse Doctorat. Ecole Doctorale Des Sciences Et Environnements L'université Bordeaux 1 N ordre 3538. pp 268.
- Defranceschi. M, 1996. *L'eau dans tous ses états*. Editeur(s) : Ellipses .EAN13 : 9782729896478 .France 128 pages
- DeNicola, D.M. 1996. Periphyton responses to temperature. In *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems* (Stevenson, R.J., Bothwell, M.L. & Lowe, R.L., editors), 149–181. Academic Press, San Diego.

F

- Edlund M.B. & Stoermer E.F. 1997. Ecological, evolutionary, and systematic significance of diatom life histories. *Journal of Phycology* 33: 897–918.
- El Haouati H, Arab A, Tudesque L, Lek S, Samraoui B, 2015 .Study Of The Diatoms Of Reghaia Lake, Northern Algeria *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 70 (1),: 44-57
- Emilian K, 2004. *Traitement des pollutions industrielles - Eau, air, déchets, sols, boues* Edit Dunod SBN 2-10-007006-1. Genève.432P.
- Eppley (R.W.), 1977. The growth and culture of diatoms. In (D.) Werner (Ed.) : *The Biology of Diatoms*, Botanical monographs, 13 : 24-64
- Felföldy L.J.M. 1962. On the role of pH and inorganic carbon sources in photosynthesis in unicellular algae. *Acta Biol. Acad. Sci. Hung.* 13 : 297-314.
- FEPS, 2004. *Fondation de l'eau potable Sûre, pesticides et la pollution de l'eau*.
- Frontier. S, Pichod-Viale.D, Lepretre.A , Davoult.D , Luczak.C, 2004. *Ecosystème : Structure, Fonctionnement, Evolution 3édition* Edition Dunod.256p

G

- Gaid, A, 1984. *Epuration biologique des eaux usées urbaines*, Tome I, Ed office des publications universitaires, centrale de Ben Aknoun, Alger, Algérie. p 240.
- Gargas E. 1978. *Phytoplankton production chlorophyll-a and nutrients in the Open Danish Waters 1975-1977*. The Bell Project. The national Agency of environmental Protection, Denmark, 61 p.
- Garrec J.P., Van Haluwyn C. 2002. *Biosurveillance végétale de la qualité de l'air*. Tec & Doc, Paris. France.
- Gastineau Romain, 2011 « Biodiversité, reproduction et phylogénie des diatomées bleues du genre *Haslea* et valorisation de leurs pigments de type marennine ». Thèse de doctorat de l'Université du Maine Le Mans France
- Gayral J, 1975 "Les algues morphologie cytologie reproduction écologie" Dion éditeurs. Université de Cornell. France

- Ghosh, M. and J. P. Gaur 1998. "Current velocity and the establishment of stream algal periphyton communities." *Aquatic Botany* 60(1): 1-10.
- Gilles H, Marie P et Denis D L B, 2005. Le phosphore, un polluant d'avenir ? *journal Eau & Rivières Été* n° 132.
- Gomila.C et Gurree. H, 2002 *Le traitement des eaux .publiques industriel et privées.3emeEd.Eyolles, paris. 262p*
- Gordon, R., Losic, D., Tiffany, M. A., Nagy, S. S., Sterrenburg, F. A. S. 2008. The Glass Menagerie: diatoms for novel applications in nanotechnology. *Trends in Biotechnology* 27 : 116-127.
- Graham et Wilcox, 2000. *Algae*. Prentice Hall.
- Guiheneuf P Y. Barret P. Douillet R, 2010. Guide de la concertation à l'usage des carriers... et de toute personne désireuse de la pratiquer. Charte environnement Unicem,.
- Guo Q., Chalifour A., Nouboud F., Campeau S., Lavoie I., Mammass D. Et El Yassa M., 2004- Diatom Classification by Image Analysis, IEEE SETIT 2004 International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, Tunisie.

H

- Hébert .S, Légaré. SSuivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau projet : Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec Octobre 2000.p48.
- Hellawell, J.M. 1987. *Biological surveillance of rivers: a biological monitoring handbook*. - Water Research Centre, Hertz, 332.
- Hill, B., R. Stevenson, Y. Pan, A. Herlihy, P. Kaufmann, et C. Johnson (2001). Comparison of correlations between environmental characteristics and stream diatom assemblages characterized at genus and species levels. *Journal of the North American Benthological Society* 20 (2), 299–310.
- Hirst, H; Chaud, F; Delabie, C; Jüttner, I; Ormerod, S.J. (2004): "Assessing the short-term response of stream diatoms to acidity using inter-basin transplantations and chemical diffusing substrates", *Freshwater Biology*. 49: 1072-1088.
- Hutchison, G.E. (1967): *A treatise on limnology*, v. 2. "Introduction to lake biology and the limnoplankton", Wiley, New York, U. S. A., 1115 p.

J

- James M. Bauer, Tommy Grav, Erin Blauvelt, A. K. Mainzer, Joseph R. Masiero, Rachel Stevenson, Emily Kramer, Yan R. Fernández, C. M. Lisse, Roc M. Cutri, Paul R. Weissman, John W. Dailey, Frank J. Masci, Russel Walker, Adam Waszczak, Carrie R. Nugent, Karen J. Meech, Andrew Lucas, George Pearman, Ashlee Wilkins, Jessica Watkins, Shrinivas Kulkarni, Edward L. Wright, and the WISE and PTF Teams 2013. Centaurs and Scattered Disk Objects in " the Thermal Infrared: Analysis of WISE/NEOWISE Observations Submitted, *Astrophysical Journal*, March 3. 46.
- J Hartig ohn H.Wallen Donald G. The Influence of Light and Temperature on Growth and Photosynthesis of *Fragilaria crotonensis* Kitton June 1986 *Journal of Freshwater Ecology* 3(3):371-382
- John, 2000a. Diatom prediction and classification system for urban streams. - LWRRDC, 156.
- John, J. 2000bA guide to diatoms as indicators of urban stream health.LWRRDC, 181.

- John, J. 1998 Evaluation of attached diatoms as a tool for riverine bio-assessment of water quality. - LWRRDC, 175.
- Julius, M. L. and E. C. Theriot (2010). "The diatoms: A primer". In: The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. Ed. by J. P. Smol and E. F. Stoermer. 2nd. Cambridge, UK: Cambridge University Press, pp. 8–22.

K

- Kadi .A. La gestion de l'eau en Algérie, Hydrological Sciences Journal, 42:2, 191-197, 1997
- Keith .E. Camburn Donald F. Charles Diatoms of low- alkalinity lakes in the northeastern united states Philadelphia the academy of natural sciences of Philadelphia 152 pp. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, Special Publication 18. ISBN 0-910006-54-7.2000.
- Kelly M. G et Whitton B. A, 1995. The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers Journal of Applied Phycology Volume 7, Issue 4, pp 433–444
- Khalid, (2011) : Pollution des eaux, Édition universitaires européennes, 26-29p
- Koester, D., Huebener, T., (2001). Application of Diatom Indices in a Planted Ditch Constructed for Tertiary Sewage Treatment in Schwaan, Germany International Review of Hydrobiology, 86:241-252.
- Kolkwitz R et Marsson M. Ökologie der pflanzlichen Saprobien.1908.505P
- Korte, V. L. and D. W. Blinn (1983). "Diatom colonization on artificial substrata in pool and riffle zones studied by light and scanning electron microscopy." Journal of Phycology 19(3): 332-341.
- Krammer K, Langebertalot H. Bacillariophyceae.: Achnanthaceae. Semper Bonis Artibus 1991b; (Tome 4) pp 437.
- Krammer K., Langebertalot H. Bacillariophyceae. Bacillariaceae, Epithemiaceae et Surirellaceae. Semper Bonis Artibus 1988; (Tome 2) pp 596.
- Krammer K., Langebertalot H. Bacillariophyceae. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Semper Bonis Artibus 1991 a; (Tome 3) pp 576.
- Krueger (G.H.J.) & Eloff (J.N.). 1978. - The effect of temperature on specific growth rate and activation energy of Microcystis and Synechococcus isolates relevant to the onset of natural blooms. J. Limnol. Soc. Sth. Afr.. 4 (1) : 9-20.

L

- Lacoursière Sophie Réponse Des Communautés De Diatomées Et De L'indice Idec À Un Transfert De Substrat Le Long D'un Gradient D'eutrophisation Dans Les Rivières Du Québec. Canada, 2008.
- Lamberti G A.et Resh V H. Distribution of benthic algae and macroinvertebrates along a thermal stream gradient. Journal Hydrobiologia 128, 13-21 (1985).
- Lane, C.M., Taffs, K.H., Corfield, J.L. (2003) "A comparison of diatom community structure on natural and artificial substrata", Hydrobiologia.493: 65-79.
- Lange-Bertalot, H., Fumanti, B., Cavacini, P. et Tagliaventi, N. The genus Navigiolum (Bacillariophyceae) in Mediterranean and North African rock pool habitats: Scientific Books, Frankfurt, 2009.

- Lavoie, I., Hamilton, P.B., Campeau, S., Grenier, M. et Dillon, P.J. 2008. Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada. Presse de l'Université du Québec, 241 p.
- Leclercq, L. Maquet, B, 1987 Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante : application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse belge); comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénétiques et diatomiques. Louis Leclercq, Bernadette Maquet Published in 1987 in Bruxelles by Institut royal des sciences naturelles de Belgique.
- Leitão, M. and A. Couté (2005). Guide pratique des Cyanobactéries planctoniques du Grand Ouest de la France, Agence de l'eau Seine Normandie.
- Leland, H.V. et S.D. Porter (2000): Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology*, 44: 279-301.
- Lobo, E. A., K. Katoh & Y. Aruga. 1995. Response of epilithic diatom assemblages
- Locke R.E, Du Buf J.H.M, Bayer M.M, Mayer D.G. Diatom classification in ecological applications, Pattern Recognition, in *The Journal of Pattern Recognition Society*, 2003.
- Loir M. (2004a) : Guide des Diatomées. Delachaux et Niestlé, Paris.
- Lowe, R. L. and G. D. LaLiberte. 1996. Benthic Stream Algae: Distribution and Structure. In: *Methods in Stream Ecology*. Hauer, F. R. and G. A. Lamberti (eds.). Academic Press, San Diego, CA. pp. 269-293.
- Lowe, R. L., and Y. Pan. 1996. Benthic algal communities and biological monitors. In: *Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems*.

M

- Mann , D.G. et S.J.M. Droop (1996). Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia*, 336: 19-32.
- Mann, D. G., Sato, S., Trobajo, R., Vanormelingen, P. & Souffreau, C. 2010. DNA barcoding for species identification and discovery in diatoms. *Cryptog. Algol.*, 31:557–577.
- McCormick P.V. et Stevenson R.J. 1998 Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades *Journal of Phycology*. Volume 34. Issue 5 ,726-733
- Medlin, Medlin AL, Kooistra A, Schmid AM (2010). A review of the evolution of the diatoms: a total approach using molecules, morphology and geology. *Polish Academy of Sciences*: 13-35.
- Mekkakia.M. (2001) pollution des eaux du sous bassin versant d'oued Mina. Mémoire Mg, Agro, université Tiaret Algérie P 48.
- Miara M, Ait Hammou M, Hadjadj-Aoul S, Hamerlain AS, 2013. Bioclimats, étages de végétation et zonation altitudinale des groupements végétaux dans les monts de Tiaret (groupements forestiers et preforestiers du massif de Guezoul). *Revue Ecologie-Environnement*; (9).
- Miara M.D, Ait Hammou M, Hadjadj–Aoul. S et Rebbas. K.Redécouverte d'Otocarpus virgatus Durieu (Brassicaceae) dans la région de Tiaret (nord–ouest de l'Algérie). *journal Bull. Soc. linn. Provence*, t. 65, 2014 31 ISSN 0373–0875.

- Miara, D. M , 2016. Analyse Floristique Et Structure De La Végétations Naturelle De La Région De Tiaret. Thèse De Doctorat Université D'Oran. pp198.
- Miquel. M. G, Rapport de l'OPECST n° 215 au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scient. Tech. MARS 2008 Université du Québec à Trois-Rivières.

N

- Naicheng Wua,b, Qinghua Caia, Nicola Fohrerb. Development and evaluation of a diatom-based index of biotic integrity (D-IBI) for rivers impacted by run-of-river dams in journal of Ecological Indicators 18 (2012) 108–117.
- Negadi, M., Hassani, A., Ait Hammou, M., Dahmani, W., Miara, M.D., Kharytonov, M., Zhukov, O (2018). Diversity of Diatom epilithons and quality of water from the subbasin of Oued Mina (district of Tiaret, Algeria). Ukrainian Journal of Ecology, 8(1), 103–117.
- Nehar B., Blanco S., Hadjadj-Aoul S, 2015. Diversity and ecology of diatoms in northwest of Algeria: case of el-hammam stream and estuary of Cheliff river applied ecology and environmental research; 13(1): 37-52.
- Nelson DM, Treguer P, Brzezinski MA, Leynaert A, Queguiner B (1995). Production and dissolution of biogenic silica in the ocean - revised global estimates, comparison with regional data and relationship to biogenic sedimentation. Global Biogeochem Cy 9: 359-372.

P

- Peterson G.P. et R.J. Stevenson (1990): Post-spate development of epilithic algal communities in different current environments. Canadian Journal of Botany, 68: 2092-2102.
- Potapova, M.G. et D.F. Charles (2002): Benthic diatoms in USA rivers: distribution along spatial and environmental gradients. Journal of biogeography, 29: 167-187.
- Prygiel J, Carpentier P, Almeida S, Coste M, Druart J-C, Ector L, Guillard D, Honore MA, Iserentant R, Ledeganck P, Lalanne- Cassou C, Lesniak C, Mercier I, Moncaut P, Nazart M, Nouchet N, Peres F, Peeters V, Rimet F, Rumeau A. 2002. Determination of the biological Diatom. Journal of Applied Phycology, 14: 27-39.
- Prygiel, J., Coste, M. (2000). Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées 2000; NF T 90-354. Agences de l'Eau-Cemagref, France.

Q

- Quéguiner, B. (2007). "Structure et Fonctionnement des Ecosystèmes Pélagiques Marins." Retrieved.12/07, 2007. Raven, P. H., S. E. Eichhorn and R. F. Evert, Eds. (2000). Biologie végétale. Bruxelles, De Boeck université.

R

- Rabeni, C.F. (2000) "Evaluating physical habitat integrity in relation to the biological potential of stream", Hydrobiologia. 422-423: 245-256. Ramade.F 2000: Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Edition science internationale. Paris. 684p.
- Ramade, 1994). RAMADE F., 2003 – Eléments d'écologie, écologie fondamentale. Ed. Dunod, Paris, 690 p.
- RAMSAR. ,2003. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, 17p.
- Reed, J. M. (1998). A diatom-conductivity transfer function for Spanish salt lakes. Journal of Paleolimnology, 19: 399-416. Reiers 1953

- Reynolds, C.S. (1984): Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, 384 p.
- Rodier. J 1996 : Analyse de l'eau 8^{ème} Edition. Edition Dunod .1136p.
- Rott, E. 1991. Methodological aspects and perspectives in the use of periphyton for monitoring and protecting rivers. - In: Whitton, B.A., Rott, E. et Friedrich, G. (eds.), Use of algae for monitoring rivers. Institut für Botanik, Universität Innsbruck., 9-16.
- Rouissat B. La gestion des ressources en eau en Algérie : Situation, défis et apport de l'approche systémique » La revue Économie et Management 10 édition Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen .Algérie. 2010.
- Round, F. E. ; Crawford, R. M. ; Mann D.G. 2007. The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera, Cambridge University Press.

S

- Sekar, R., V. P. Venugopalan, K. Nandakumar, K. V. K. Nair and V. N. R. Rao (2004). "Early stages of biofilm succession in a lentic freshwater environment." Hydrobiologia 512(1 - 3): 97-108.
- Sladeczek, V. (1973) "System of water quality from the biological point of view" , Ergebnisse der limnologie, Beih. Archiv. F. Hydrobiologia. 7: 218p.
- Smol, J.P. et Stoermer, E.F 2010. The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences, Second ed. Cambridge University Press. 667 p.
- Soizic M, 2007 Bioindication des effets des pollutions métalliques sur les communautés de diatomées benthiques. Approches in situ et expérimentales. Thèse Doctorat Université Bordeaux I. France
- Steinman, A.D. (1996) "Effects of grazers on freshwater benthic algae", Aigai ecology: freshwater benthic ecosystems, (eds Stevenson, R.J., Bothwell, M.I., Lowe, R.I.) Academic Press, San Diego, U. S. A., pp. 341- 373.
- Stevenson, R. J., M. L. Bothwell, and R. L. Lowe (eds.). Academic Press, San Diego, CA. pp. 705-739. LUDES, B. & M. COSTE (1996) Diatomées et Médecine Légale. In - Ed.; Lavoisier Technique et Documentation, Paris, : 257 p.
- Stevenson, R. J., Novoveska, L., Riseng, C. M., and Wiley, M. J. (2010). Comparing responses of diatom species composition to natural and anthropogenic factors in streams of glaciated ecoregions. Nova Hedwigia, 135, 1–13.
- Stevenson, R.J. et Pan, Y. (1999): Assessing environmental conditions in rivers and streams with diatoms. - In: Stoermer, E.F. et Smol, J.P. (eds.), the Diatoms - Applications for the Environmental and Earth Sciences. Cambridge University Press, 11-40.

T

- Taylor J.C, Harding W.R, Archibald C.G.M. An Illustrated Guide to Some Common Diatom Species from South Africa Water Research Commission Report TT 282/07 Pretoria, South Africa January 2007.
- Teresa N., Jadwiga S T., Anita P., Łukasz P., Natalia K. Ecological characterization of diatom communities in the wisłok river with application of their indicatory role to the evaluation of water quality Journal of Ecological Engineering 2013; Volume 14, No. 4, pp. 18–27.
- Thi Le Nhung. N.D 2008 Effets du cuivre et du zinc sur la photosynthèse et le métabolisme d'une cyanobactérie et de diatomées marines du littoral vietnamien;

comparaison avec des espèces de la côte atlantique française Thse doctorat l'Université du Maine LE MANS, France. pp175.

- Thi Thuy D, Coste M, Feurtet-Mazel A, Boudou A, Thi Phuong Q., Dinh Kim D. Les communautés de diatomées du périphyton: un outil d'évaluation de la qualité des eaux dans le Fleuve Rouge et les rivières de Nhué et de Tolich. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 nov 2007. to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, Japan. *Freshwater Biology* 34: 191-204.
- Treguer. P ; D.M. Nelson, A.J. Van Benn ekom, D.J De Master, A. Leyna ert et B. Queguiner (1995). The silica balance in the world ocean: a reestimate. *Science*, 268: 375-379.
- Trishala K. Parmar, Deepak Rawtani & Y. K. Agrawal. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution *Journal Frontiers in Life Science* Volume 9, 2016 - Issue 2.

V

- Van Dam H, Mertens A, Sinkeldam J (1994) A coded checklist and ecological indicator values of fresh water diatoms from The Netherlands. *Neth J Aquatic Ecol* 28:117-133
- Van Den Hoek C., Mann D.G., Jahns H.M. (1995) *Algae: An introduction to phycology*. Cambridge University Press Publ., United Kingdom, 623 pp.
- Vizinet J. Reviers B. de, 1995 Les utilisations des Diatomées. *Vie et Milieux* 45 (3/4) : 301-314.
- Vizinet J., 1995. Impact d'une pollution chimiquement définie sur les populations de diatomées en rivière. D.E.A. d'Océanologie Biologique, Option connaissance des producteurs primaires, Agence de l'Eau Seine-Normandie / Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

W

- Wetzel, R.G. (2001): "Limnology, Lake and River Ecosystems", Academic Press, San Diego, U. S. A., 1006 p.
- Wetzel, R.G. et G.E. Likens (2000): *Limnological analyses*. Troisieme edition. Springer-Verlag Inc. New York, 429 pages.
- Williams et Kociolek, 2007 Wunsam , S., A. Cattaneo et N. Bourassa (2002). Comparing diatom species, genera and size in biomonitoring: A case study from streams in the Laurentians (Quebec, Canada). *Freshwater Biology*, 47: 325-340.
- Winter J.G et H.C. Duthie (1998). Effects of urbanization on water quality, periphyton and invertebrate communities in a Southern Ontario stream. *Can. Water Res. J.*, 23, 235-257.

X

- Xu, F.-L., Jørgensen, S.E., Tao, S. (1999) "Ecological indicators for assessing freshwater ecosystem health", *Ecological Modelling*. 116: 77-106.

Z

- Ziemann, H. Die Wirkung des Salzgehaltes auf die Diatomeenflora als Grundlage für eine biologische Analyse und Klassifikation der Binnengewässer. *Limnologica* (1971), 8: 505-525.

Annexe 1 les caractéristiques physicochimiques de la partie Nord cas Naher Ouassel.

	PH	CE	Turbi	O ₂	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	NO ₂	MO	Cl ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	NO ₃	SO ₄ ²⁻	DBO	DCO	P total	Salinité	
BD	13,5	7,78	6740	14	2,1	0,89	0,10	0,004	22,3	246	112,1	126	11,24	110,2	3	125	1644,3	0,82
OS1	15,2	6,47	7792	23	5,47	0,45	0,05	0,245	21,4	227,8	119,94	138,3	64,8	112	10	89	1702,9	0,63
OS2	12,4	6,98	5530	19	4,2	0,81	0,12	0,412	15,8	361,1	153,21	145,6	72,73	233	4,5	32	1302,4	1,66
BG1	17,5	7,12	6850	24	6,3	1,92	0,02	0,33	5,85	397,2	79	76	45	301	6,5	70	1271,5	0,87
BG2	16,3	7,98	6401	32	4,9	1,66	1,23	0,441	14,7	417,2	97,6	66,1	73,44	99,2	11,2	11,5	1240,21	0,69
BD	13,6	8,67	5130	23	5,17	0,53	1,5	0,115	32,4	335	81	89	77,2	62,5	6,5	48	1722,8	1,5
OS1	12,4	7,44	5100	22	3,2	1,15	0,213	0,091	14	221	64	55	78,3	98,4	13	145	1549,5	1,52
OS2	16,4	6,78	4521	25	7,17	1,15	0,06	0,247	6,12	353,2	129,03	132	33,84	223,4	3,24	130	1284,94	0,71
BG1	16,9	8,04	8700	27	8,2	1,36	0,36	0,129	25,0	87,8	629	124	82	214	12,1	200	1547,2	2,1
BG2	16,8	8,01	6988	25	7,5	1,36	1,85	0,65	19,2	552,4	155,7	63,5	45,2	207,1	19,2	143,8	976,72	1,7

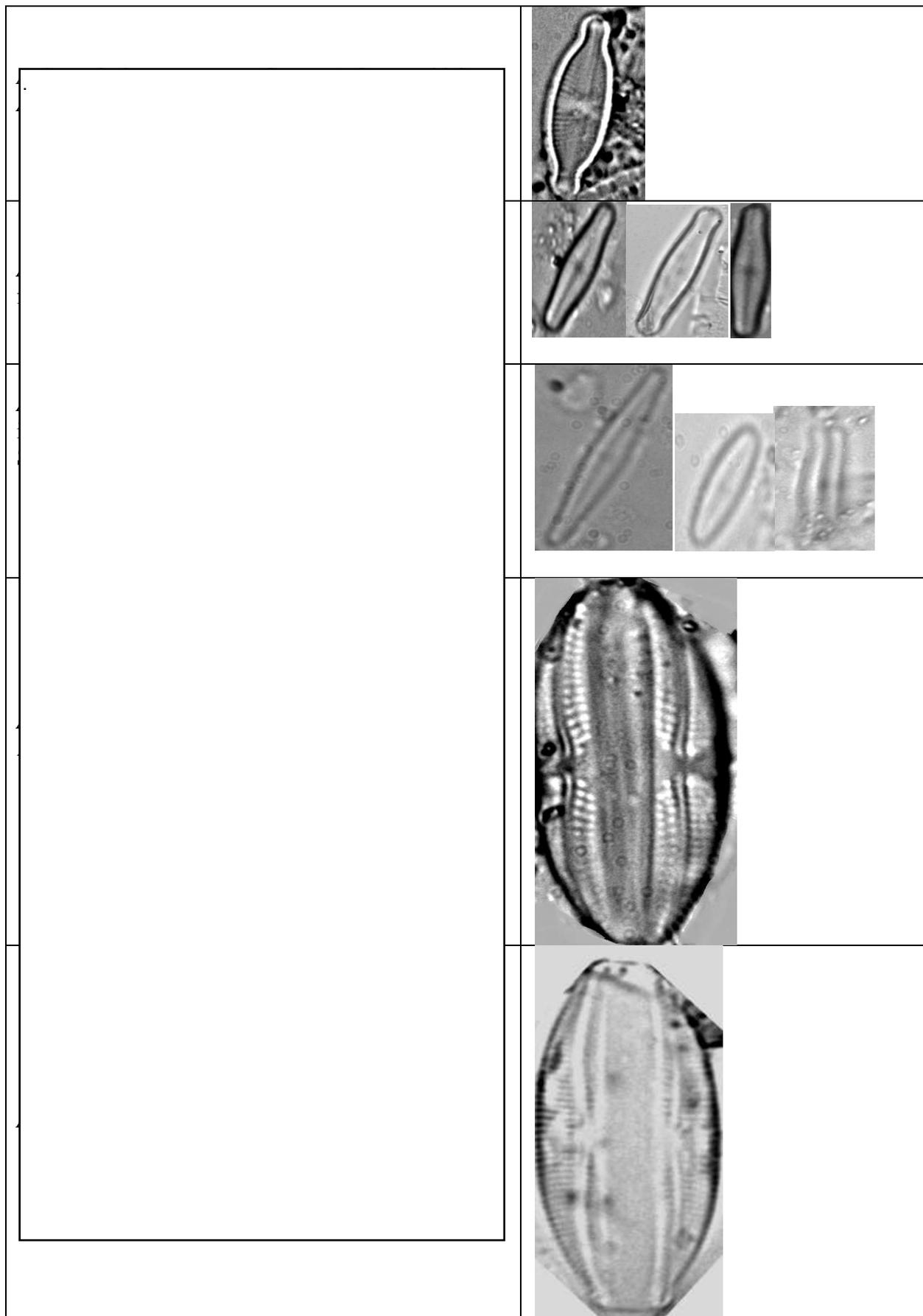
Annexe 2 les caractéristiques physicochimiques de la partie Nord cas oued mina et oued louhou

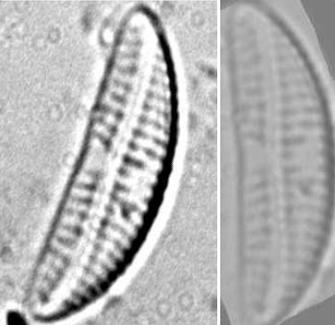
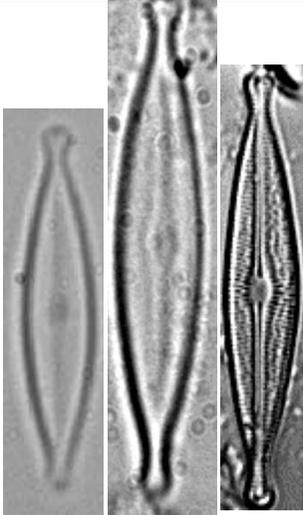
	Site	T	PH	Cond	Turbi	O ₂ DIS	CaCO ₃	Cl	Ca	DBO	NO ₃	SO ₄	DCO	PO ₄	NH ₄	NO ₂
Oued Mina	MA	19,5	8,2		833	11	95,2	207,8	134,7	3,24	97,9	178	221	0,14	2,3	0,381
	MU	20,1	7,89	1580	1089	13,2	69,65	366,5	172,1	11,4	162,9	236	149	0,72	0,6	0,213
	SO	21,4	8,04	5620	908,5	9,6	45,2	192,4	89,2	9,8	196,3	332	188	0,4	0,244	
	TT	15,2	7,99	2214	175	7,9	67,8	105,2	106,4	4,1	79,7	116	115	0,6	0,2	0,365
	BA1	12,7	6,33	1165	74	8,1	66,4	227,1	196,1	10,0	99,2	154	207	0,63	0,1	0,447
Oued Louhou	SA	12,7	7,92	2036,7	404	7,7	74,14	423,6	172	9,7	90	209	140	0,41	0,2	0,347
	MD1	16,1	7,98	2001,2	507,9	5,3	64,78	253,2	75	8,4	170	311,6	70	0,2	0,26	0,18
	MD2	18,9	8,12	1983,7	985,3	9,12	72,61	176	138	8,4	66	205,1	150	0,2	0,12	0,145
	HA	22,1	8,41	1753,6	1419	3,06	59,75	98,1	98,5	8,6	135,7	424	178	0,31	0,05	0,788
	BA2	12,7	6,33	2036,7	404	5,6	69,07	63,4	142,5	12,7	78,2	457	169	0,2	0,09	0,129

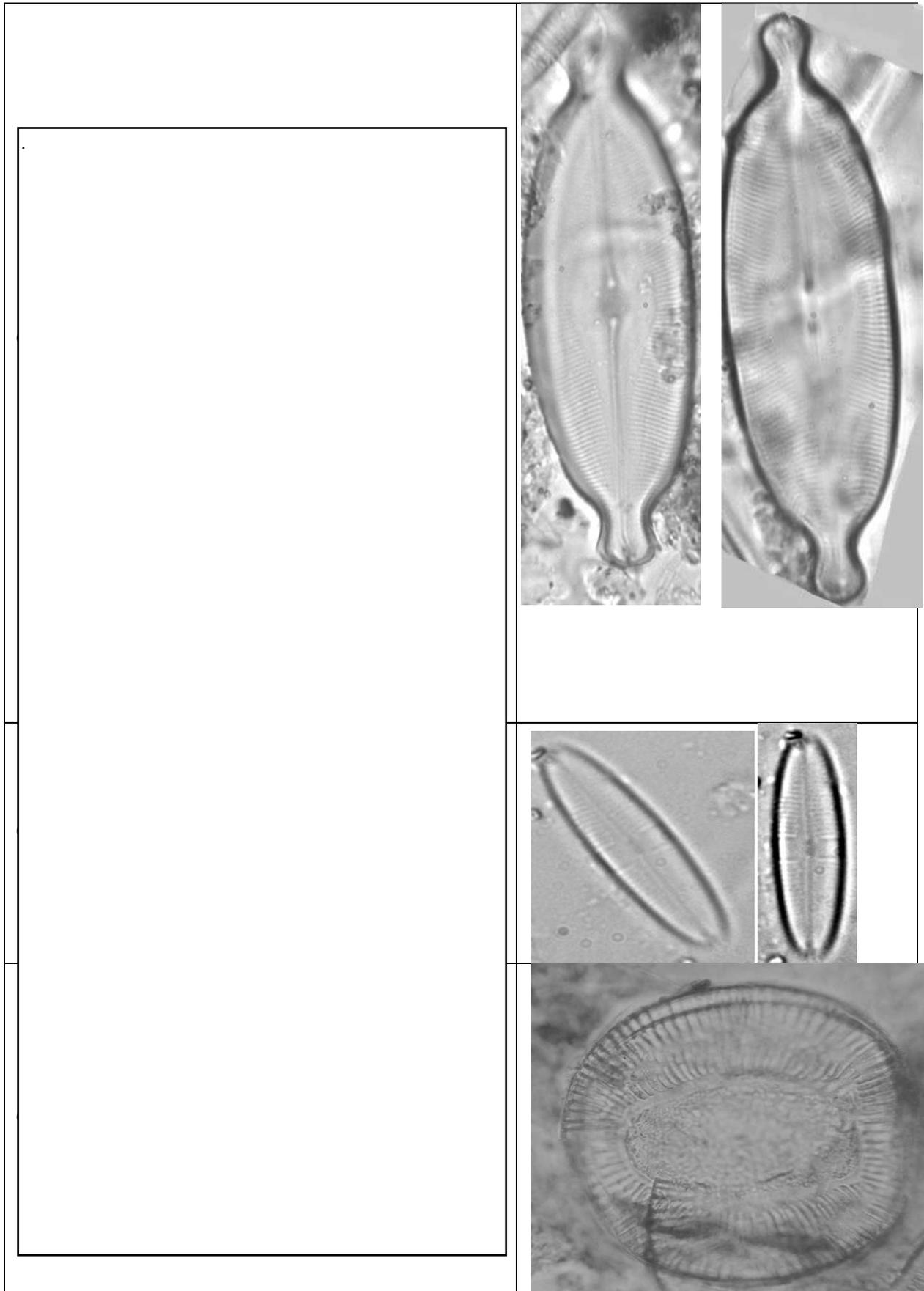
Annexe3 les caractéristiques physicochimiques de la partie Sud de la zone d'étude.

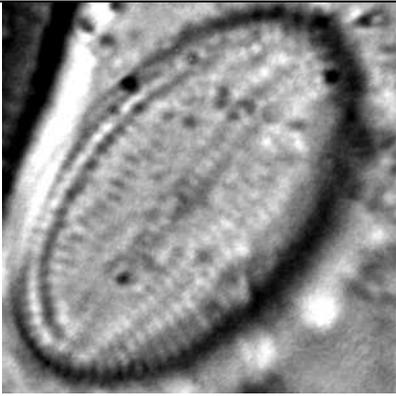
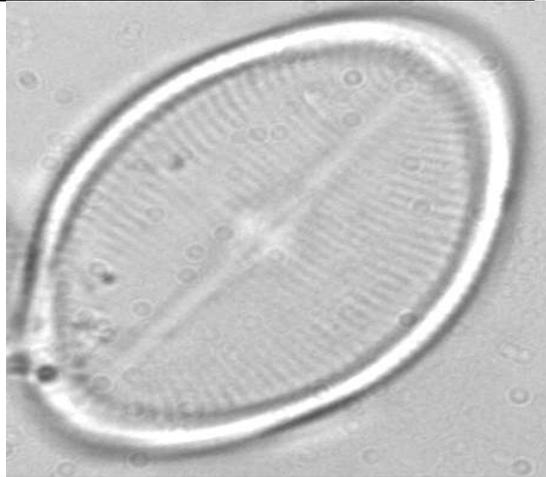
	T°	PH	CE	Turbi	O ₂	MO	NH ₄	NO	Cl	PO ₃	Ca	Mg	NO ₃	SO ₄	DCO	DBO
SSI	37,9	8,4	5798,4	15	40,2	27,2	0,09	0,154	839	0,13	130	271	39,5	448	221	22,1
SS2	32,7	7,55	7354,8	12	60,7	24,3	0,08	0,254	172	0,17	343	222	79,2	451	86	8,6
DK1	20,1	7,98	8031,2	12	52,3	26,05	0,25	0,3	3,2	0,09	83	188,5	170	511,6	70	7
DK2	17,4	8,07	8031,2	13	44,12	32,78	0,09	0,327	240	0,09	98	245	51	357,6	77	7,7
DK3	18,9	8,12	7983,7	17	92,12	36,4	0,12	0,145	76	0,02	127	188,7	66	255,1	150	15
SSI	30,7	9,03	7765,1	19	20,14	47,02	0,21	0,231	412,1	0,06	254	197,1	110	313	136	13,6
SS2	31,5	9,65	7549,2	12	27,6	41,1	0,05	0,143	330,2	0,12	143,4	154	87,5	296	79	7,9
DK1	12,3	9,32	8320,2	16	49,2	30,2	1,2	0,121	193,5	0,24	88	196,5	99,1	420	201	20,1
DK2	12,1	8,41	5753,6	14	36,06	20,3	0,05	0,788	98,1	0,31	92,4	242,8	135,7	435	178	17,8
DK3	15,7	9,33	6036,7	13	54,6	30,7	0,09	0,129	63,4	0,9	162,5	244,2	78,2	468	169	16,9

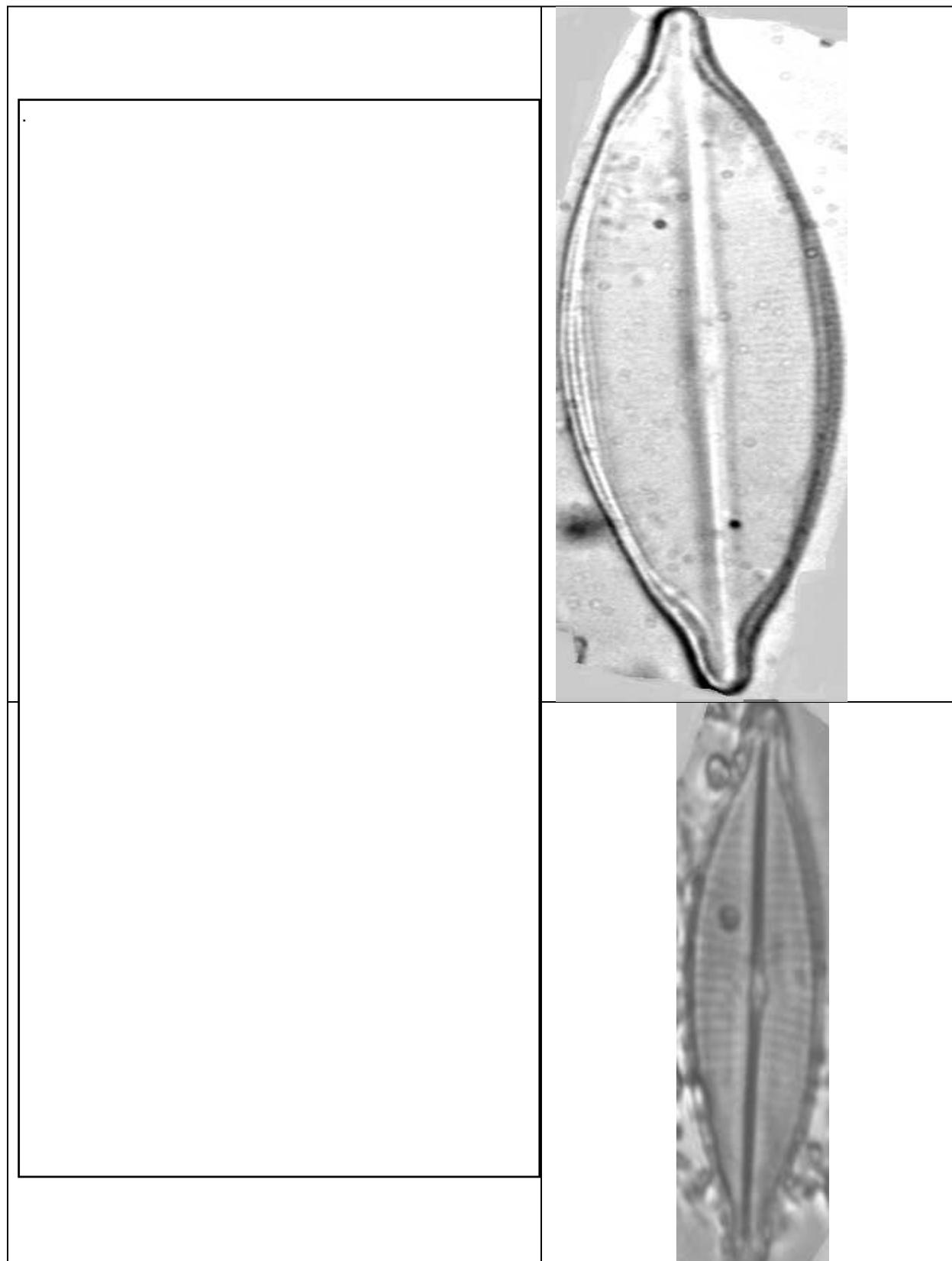
Annexe 4 photos de quelques espèces de diatomées observées sous microscope

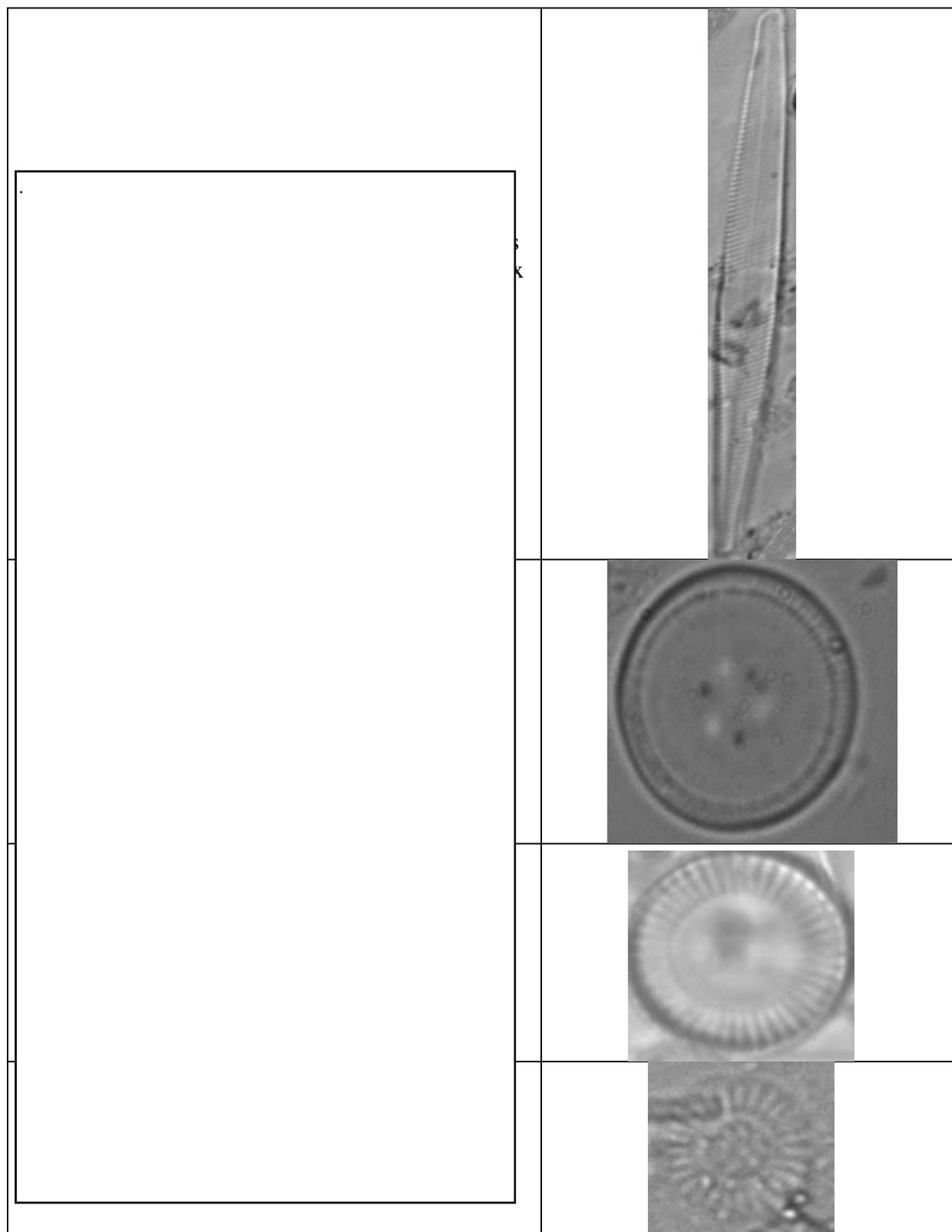


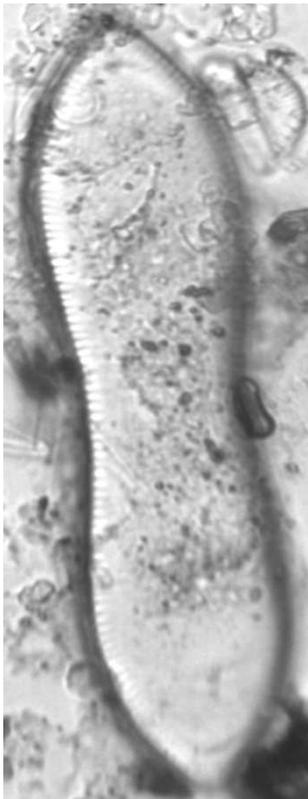
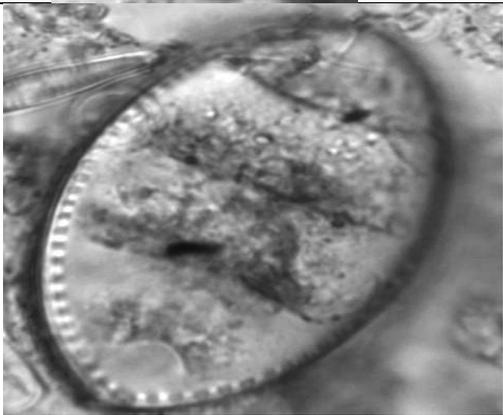
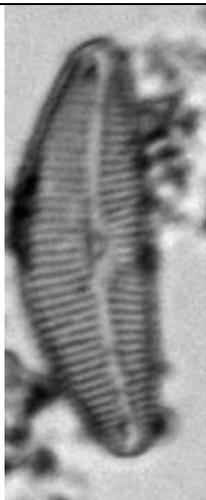
<p>A</p> <p>e</p>	
<p>B</p>	
<p>B</p>	

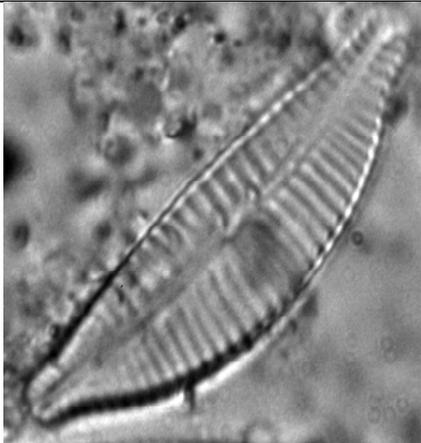
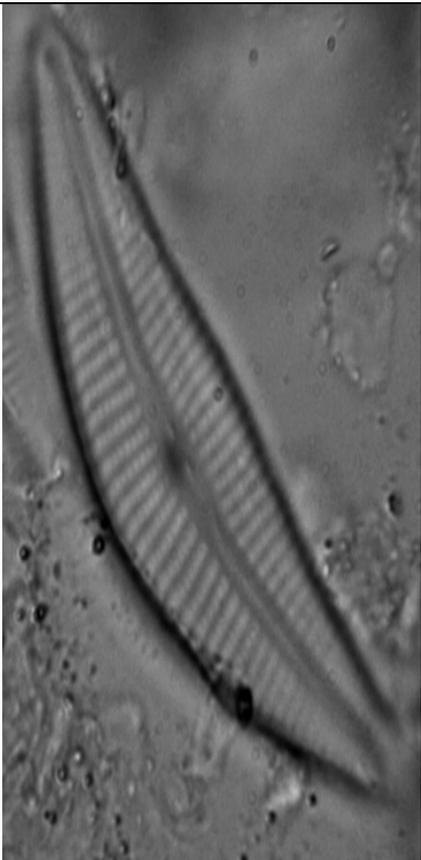


	
an	
	

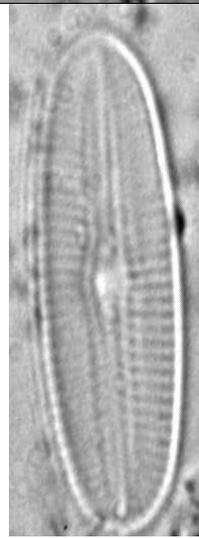
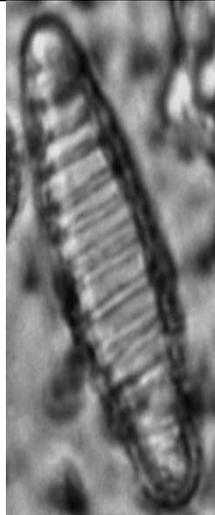


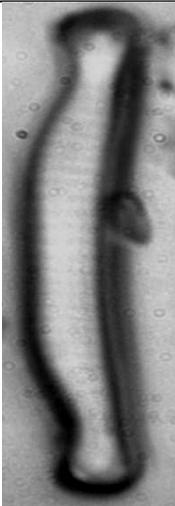
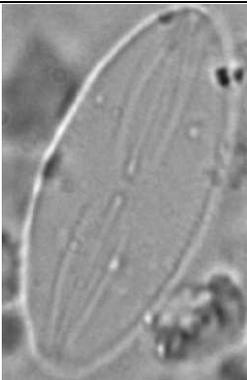
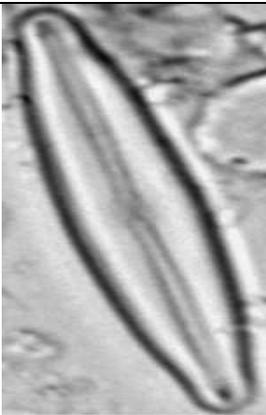
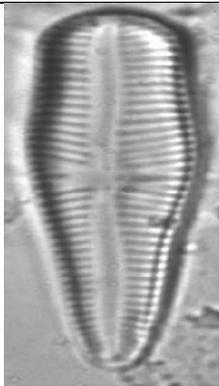


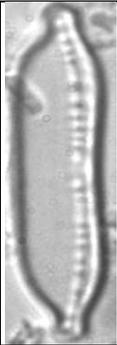
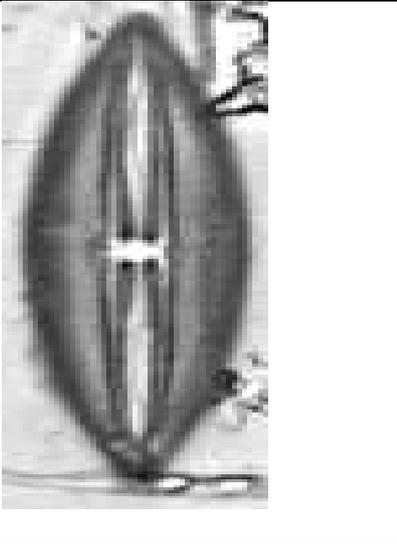
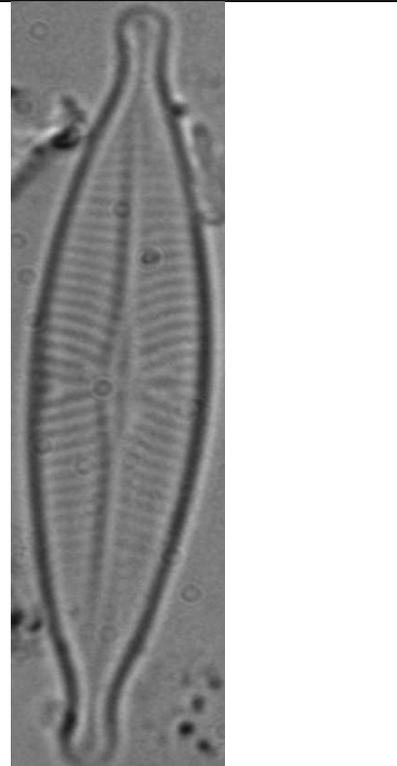
	
	
	

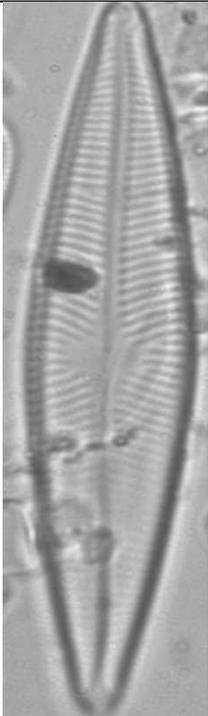
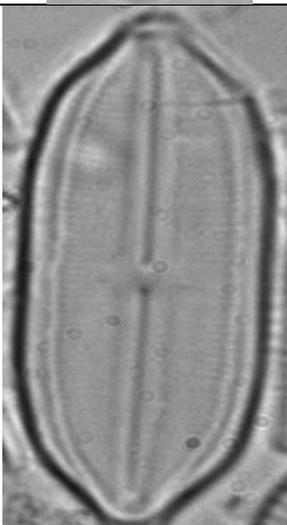
	
	
	

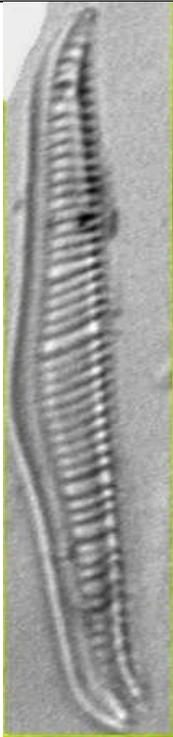
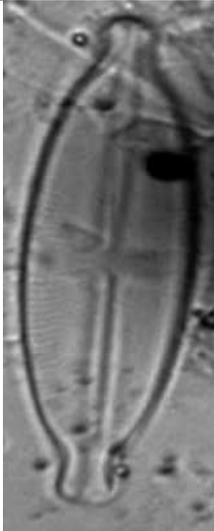
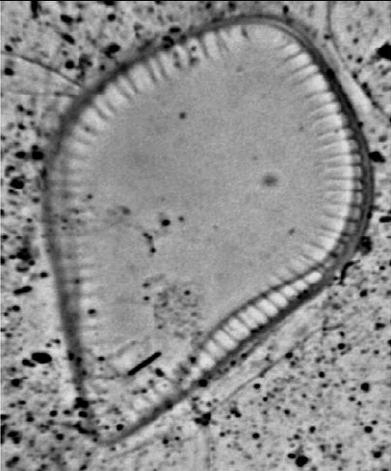
mer
)

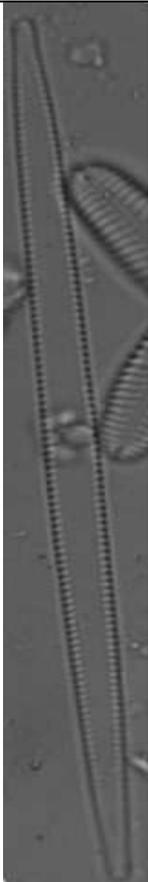
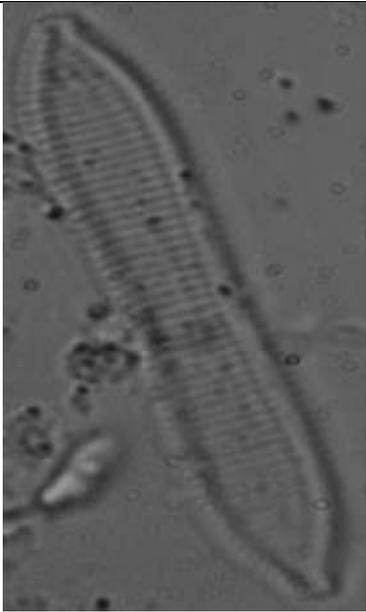
	
	
	

	
	zing 
	
	

Annexe 5 quelques photos des différents sites de la zone d'étude



Figure 1 Station Tagdemt TT (Oued Mina).



Figure2 Station Sidi Ouadh (Oued Mina).



Figure 3 Station Melakou MU



Figure 4 stations Tousnina MA (Oued Mina).



Figure 5 Station Daheit El Khadra DK1 (Chott Ech Chergui).



Figure 6 Station Daheit El Khadra DK1 (Chott Ech Chergui).



Figure 7 Irrigations des champs de pomme de terre (cas station sidi ouadh).



Figure 8 Station Sebain IOS1 (Nahr Ouassel).



Figure 9 Station Bougara 2 BG2 (Nahr Oussel).

Résumé

Pendant trois années, on a parcouru presque la majorité des quatre importants réseaux hydriques de la région de Tiaret, Oued Mina, Oued Louhou, Nahr Ouassel et Chott Ech Chergui récoltant plus de 160 relevés, avec échantillonnage mensuel pendant deux saisons printemps et automne, montrant une diversité diatomique estimée à 122 espèces, dont les familles les plus représentées, sont Naviculaceae, Bacillariaceae, Cymbellaceae, et Sellaphorineae. Cette thèse décrit 13 nouveaux taxons observés pour la première fois en Algérie : *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Luticola kotschyi*, *Luticola nivalis*, *Neidium binodeforme*, *Neidium ampliatus*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria*, *Pinnularia obscura*, *Hippodonta capitata*, *Stauroneis gracilis* et *Surirella crumena*

Les résultats des indices de diversité dévoilent des moyens et élevée, duquel l'indice de Shannon H dans les différents sites de la zone d'étude varie de 2.01 à 4.33 durant les périodes d'automne et de printemps, l'indice d'équitable, durant les deux saisons d'Oued mina oscillé entre $E_P = 0.67- 0.89$ et $E_A = 0,82- 0,90$, pour l'Oued Louhou, elles sont de $E_P = 0,89$ à $0,81$ et $E_A = 0,70$ à $0,89$, pour Naher Ouassel varier entre $E = 0,62$ à $0,78$ et à Chott Ech Chergui on enregistre une équitabilité $E = 0.55$ à 0.75 . Dont ces résultats signifient l'existence d'un déséquilibre au sein de la structure du peuplement. Une différenciation écologique des espèces permettant d'associer leur présence avec les conditions environnementales des eaux des oueds et réaliser grâce à une analyse canonique CAA. Montrant une affinité de chaque groupe d'espèces aux variations des facteurs écologiques.

La richesse des espèces a été statistiquement corrélée avec la variation de la température pH, DBO, PO_4 et du SO_4 . Ces derniers ont montré que les diatomées peuvent être utilisées comme indicateurs écologiques pour la surveillance des conditions environnementales dans les deux oueds. Par ailleurs, l'étude des diatomées et l'application d'IPO nous ont permis d'appréhender trois classes de pollution organique : forte, modérée et faible. Alors que l'indice diatomique (IBD) fait ressortir quatre altérations : Eutrophisation très forte, Forte, Moyenne et Eutrophisation nulle à faible.

Mots clés Diatomées, Qualité d'Eau, analyse canonique de correspondance, pollution IPO, IBD, Tiaret.

ملخص

لمدة ثلاث سنوات ، تم تغطية معظم شبكات المياه الرئيسية الموجودة بمنطقة تيارت حيث تم جمع أكثر من 160 كشف ، مع أخذ عينات شهرية خلال فصلي الربيع والخريف. أثبت النتائج عن وجود تنوع في هذه الطائفة لدياتومات يقدر بـ 122 نوعًا أين كانت الأسر الأكثر تمثيلاً هي Naviculaceae ، Bacillariaceae ، cymbellaceae و Sellaphorine. تصف هذه المذكرة 13 نوع جديدًا تم رصده لأول مرة في الجزائر ، *Brachysira microcephala* ، *Eunotia cataractarum* ، *Luticola kotschy* ، *Luticola nivalis* ، *Neidium binodeforme* ، *Neidium ampliatum* ، *Neidium dubium* ، *Nitzschia bita* ، *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria* ، *Pinnularia obscura* ، *Hippodonta capitata* ، *Stauroneis gracilis* et *Surirella crumena*

من جهة أخرى فقد أظهرت مؤشرات التنوع البيولوجي وجود نسب متوسط إلى عالية، و يختلف مؤشر شانون H في المواقع المختلفة لمنطقة الدراسة من 2.01 إلى 4.33 خلال فصلي الخريف والربيع ، تتذبذب درجة التوازن خلال الموسمين بوادي مينا بين 0.67- 0.89 E وبالنسبة لوادي لوهو ، فهي تتراوح بين 0.89 إلى 0.70 ونسجل بنهر واصل بين 0.62- 0.78 E. وسجل الشط الشرقي 0.55- 0.75 E مما يثبت على وجود خلل في التركيب النوعية لهذه الطائفة من الدياتوماتات

هذا التمايز البيئي للأنواع تسمح لنا بالربط بين وجودها و الظروف البيئية لمياه الوديان في مختلف أنحاء منطقة الدراسة و حقق ذلك عن طريق تحليل المراسلات الكنسي (CAA). أين لوحظ تقارب لكل مجموعة من الأنواع و تغيرات العوامل البيئية. من جهة أخرى كان الأنواع مرتبطاً إحصائياً بالتغيرات في درجات حرارة الأس الهيدروجيني ، والـ BOD ، و PO4 ، و SO4 ، بالإضافة إلى ذلك ، سمحت لنا دراسة الدياتومات وتطبيق IPO لوجود ثلاثة فئات تمثل حدة التلوث العضوي وهي: قوي ، معتدل وضعيف. في حين مؤشر البيولوجي لدياتومات (IBD) سلب الضوء على أربعة تغييرات: تحويل قوي جدا ، قوي ، متوسط و تحويل منخفض إلى معدوم. بسبب تصريف مياه الصرف المنزلية ، الصناعية والزراعية . وقد أظهر ذلك أن الدياتومات يمكن استخدامها كمؤشرات إيكولوجية لرصد الظروف البيئية و نوعية المياه.

الكلمات المفتاحية : الدياتومات، جودة المياه، تحليل المراسلات الكنسي ، التلوث، IPO, IBD ، تيارت.

Abstract

After three years of work, we have explored most of the water systems of the west and South region of Tiaret areas; represented mainly by the Oued Mina, Oued Louhou, Nahr Ouassel and chott ech chergui . The study started with a sampling, executed successively during Autumn and Spring, with the aim to identify the diatomic flora on the first part; and to analyze the ecology of these diatoms on the other part, regarding the Environmental factors through canonical correspondence analysis in order to estimate the organic pollution index. Our results highlighted 122 inventoried species, distributed in 20 different families, with 13 new taxas as a new record in Algeria: *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Hippodonta capitata*, *Luticola kotschyi*, *Luticola nivalis* *Neidium binodeforme* *Neidium ampliatum*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *Tabellaria*. *Pinnularia obscura*, *Stauroneis gracili* and *Surirella crumena*.

Otherwise, the calculation of the Organic Pollution Index OPI along the describing stations shows a degraded condition of the quality of water in Oued Mina allowed us to apprehend three classes of organic pollution: strong, moderate and weak. While the diatomic index (IBD) highlights four alterations: Eutrophication Very Strong, Strong, Medium and Eutrophication Nil to Low, due to the discharge of domestic and industrial waste water from agglomerations. From this proceeding diatoms can be used as ecological indicators for monitoring environmental conditions in both wadis.

Key words: Diatoms; ecological factors; canonical correspondence analysis; Organic Pollution Index OPI; pollution.

Diversity of Diatom epilithons and quality of water from the subbasin of Oued Mina (district of Tiaret, Algeria)

M. Negadi^{1,2}, A. Hassani¹, M. Ait Hammou¹, W. Dahmani¹, M.D. Miara¹, M. Kharytonov³, O. Zhukov⁴

¹ Laboratoire d'Agro Biotechnologie et de Nutrition en Zones Semi Arides, Faculté des Science de la Nature et de la vie, Université Ibn Khaldoun Tiaret

BP P 78 zaâroua 14000, Tiaret, Algérie, e-mail:

² Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj El Anasser 32034, Algeria, E-mail : mohamed.negadi14@gmail.com

¹ Laboratoire d'Agro Biotechnologie et de Nutrition en Zones Semi Arides, Faculté des Science de la Nature et de la vie, Université Ibn Khaldoun Tiaret

BP P 78 zaâroua 14000, Tiaret, Algérie, E-mail: karim_hassani2002@yahoo.fr

m_ait_hammou@hotmail.com, herpetowalid5@gmail.com, miara14130@yahoo.fr

³ Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University

Sergey Yefremov Str. 25, Dnipro, 49600, Ukraine, e-mail: kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

⁴ Oles Gonchar Dnipro National University

17, Kazakova st., Dnipro, 49010, Ukraine, e-mail: zhukov_dnipro@ukr.net

Submitted: 05.12.2017. Accepted: 18.01.2018

After two years of work, we have explored most of water systems of the western region of Tiaret areas; represented mainly by the Oued Mina and Oued Louhou. The study started with a sampling, executed successively during Autumn and Spring, with the aim to identify the diatomic flora on the first part; and to analyze the ecology of these diatoms on the other part, regarding the Environmental factors through canonical correspondence analysis in order to estimate the organic pollution index. Our results highlighted 104 inventoried species, distributed on 20 different families, with 13 new taxa as a new record in Algeria: *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Hippodonta capitata*, *Luticola kotschyi*, *Luticola nivalis* *Neidium binodeforme*, *Neidium ampliatum*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *Tabellaria*. *Pinnularia obscura*, *Stauroneis gracilis* and *Surirella crumena*. Otherwise, the calculation of the Organic Pollution Index OPI along the describing stations shows a degraded condition of the quality of water in Oued Mina, due to the discharge of domestic and industrial waste water from agglomerations. Four functional groups of the diatoms were revealed. A functional group A is presented by 21 species. The high trophic preference is a most important ecological property of the functional group A. Species which constitute this functional group are mainly eutrathentic. A functional group B is presented by 10 species. Species which constitute this functional group are mainly acidophilous. A functional group C is presented by 20 species. The preference of the low nitrogen level is a most important ecological property of the functional group C. A functional group D is presented by 8 species. Species which constitute this functional group are mainly facultatively nitrogen-heterotrophic taxa needing periodically elevated concentration of organically bound nitrogen.

Key words: Diatoms; ecological factors; canonical correspondence analysis; Organic Pollution Index OPI; pollution

Introduction

Algeria presents a high vascular plants floristic diversity, largely studied and known, broadly speaking. However, for the Cryptogamic flora, the studies are very few and rare. Indeed, the works done in this field still show gaps in taxonomic knowledge. Nevertheless, in recent years, some researchers have undertaken to study and enrich the diatom inventory in Algeria (Lange-Bertalot, 2001; Chaïb et al., 2011; Chaïb, Tison-Rosebery, 2012; Nehar et al., 2015).

However, studies on benthic diatoms of Algeria remain really rare, although such studies in Algeria were done more than a century ago by Mountain in 1846 and Ehrenberg 1854 (Nehar et al., 2015), taken recently by (Baudrimont, Recherches, 1974) which contributed to the enrichment of Algeria's freshwater diatoms inventory.

In this perspective and to contribute modestly to the enrichment of knowledge on the freshwater diatoms ecology, this work

focuses on the study of environmental influence factors on the diatomic flora to estimate the diatomic indices to assess the water quality of the Tiaret region.

Material and methods

Study area

Tiaret district is subject to a semi-arid climate with an annual pluviometry between 300 and 400 mm, with a seasonal fluctuation of rains ranging from 157 mm in winter to 31 mm in summer (Miara et al., 2013). The length of the hydrographic network of the wilaya of Tiaret is closed 1938 Km, with 1049 Km for intermittent wadis and 889 Km for permanent ones, with mainly the Louhou wadi which drains the subbasin of the mina in its Southern part and the Mina Wadi, which is among the main tributaries of Chelif wadi and which travels a distance of approximately 90 km between the dam of Bakhada (Tiaret district) and Sidi M'hamed Benaouda (Relizane district) with a SE-NO orientation (Touaibia, 2003).

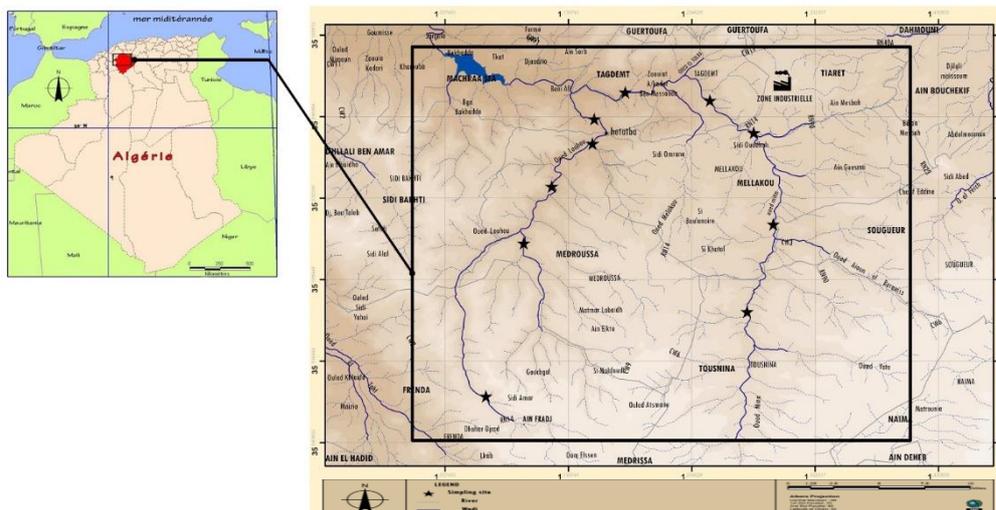


Fig. 1. Geographic and hydrographic location of the study area and sampling sites

Fifty samples were taken from the wadi bed from 10 sites (Fig. 1, Table 1) during autumn and spring seasons respectively in 2015 and 2016. The samples concern stones, shingles and pebbles covered on their superior face with a brownish bio-film characteristic with his high abundance of diatoms. After brushing and rinsing these simples with the distilled water, the bio-film is collected and then few drops of Lugol are added to preserve the cells of the epilithons until their study.

The physicochemical analyzes of the water samples of the sampling sites were realized in the laboratory of the University of Ibn Khaldoun of Tiaret, faculty of the sciences of nature and life. Temperature, pH and conductivity are measured in situ by a multiparameter (Carison MM4).

Table 1. Location of Sampling Sites

	<i>Study site</i>	<i>Abbreviation</i>	<i>Location</i>	<i>Altitude</i>
Wadi Mina	Tousnina	MA	35°08'34.93"N 1°16'42.23"E	1004
	Melakou	MU	35°12'41.91"N 1°17'56.31"E	944
	Sidi ouadah	SO	35°16'59.06"N 1°17'02.08"E	893
	Tagdemt	TT	35°18'32.37"N 1°14'54.27"E	812
	Beni Affen 1	BA1	35°18'55.31"N 1°10'54.98"E	672
Wadi Louhou	Sidi Amar	SA	35°04'45.42"N 1°04'10.81"E	1075
	Medroussa 1	MD1	35°11'53.58"N 1°06'05.63"E	825
	Medroussa 2	MD2	35°14'29.18"N 1°07'21.20"E	760
	Hetateba	HA	35°16'30.27"N 1°09'17.87"E	701
	Beni Affen 2	BA2	35°17'39.42"N 1°09'22.07"E	673

Identification

For microscopic observation of the frustules, the organic material must be removed by adding three volumes hydrogen peroxide (H₂O₂) with 30 %, for 15 to 20 minutes, and then a few drops HCl with a concentration of 35% are added to the samples of diatoms present in centrifuged tubes. Next, we dilute the preparations in a repeated process at least three times to remove all the oxidant. Finally, diatoms are dried and fixed on slide with Balm of Canada Balsam (RI = 1.55) for counting and identification of collected species based on numerous references (Krammer, Langebortalot, 1988; 1991a; 1991b; 2000; Lavoie et al., 2008; Prygiel, Coste, 2000).

Statistical analysis

To decrease the dimension of plant table nonmetric multidimensional scaling was applied (Minchin, 1987). As measures of distance between sample points in community space the following metrics have been used: Euclidean, Manhattan, Gower, Bray-Curtis, Kulczynski, Morisita, Horn-Morisita, Cao, Jaccard, Mountford, Raup-Crick, Canberra, Chao (Oksanen, 2017). The selection of appropriate distance metric and variants of primary data preliminary transformation was performed regarding the Spearman rank correlations coefficients between dissimilarity indices and gradient separation (Legendre, Gallagher, 2001).

Multidimension scaling was conducted using library ade4 (Dray et al., 2007) in the environment R (R Core Team, 2016).

In addition, to determine the water quality of the Mina sub-basin, the organic pollution index OPI (Leclercq, 2001) was calculated, using physicochemical data obtained at the laboratory of SNV faculty of Ibn Khaldoun University, Tiaret. The OPI depends on contents of water in ions ammonium, nitrite and total phosphorus and the BDO₅ (Table 2).

Table 2. Class Limits of the Organic Pollution Index (Leclercq, 2001)

Classes	BDO ₅ (mgO ₂ /l)	NH ₄ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (µg/l)	PO ₄ ³⁻ (µg/l)
5	<2	< 0.1	< 5	< 15
4	2–5	0.1–0.9	6–10	16–75
3	5.1–10	1–2.4	11–50	76–250
2	10.1–15	2.5–6	51–150	251–900
1	>15	> 6	> 150	> 900

OPI definite 5 classes of contents for each of these parameters. The OPI is the average of the numbers of the classes of every parameter. The values of the OPI allow to distribute the organic pollutions of water in 5 levels.

Results and discussion

A total of 104 diatom taxa were recorded at the 10 sites during the two seasons (Table 3).

Table 3. Taxonomy diversity and species abundance

Species	Season	MA	MU	SO	TT	BA1	SA	MD1	MD2	HA	BA2
<i>Achnantheidium exiguum</i>	A	0.88	–	1.77	–	–	–	–	–	–	–
	S	–	2.21	0.76	0.52	2.32	–	–	6.63	–	4.52
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	A	6.76	–	2.44	3.17	4.26	6.27	–	8.50	–	0.20
	S	0.46	9.94	8.84	21.26	13.21	1.94	–	14.52	–	0.27
<i>Amphora ovalis</i>	A	3.24	1.26	0.44	7.07	4.96	2.07	10.13	3.03	3.15	3.24
	S	2.07	10.13	3.03	3.15	3.24	1.26	0.44	7.07	4.96	2.07
<i>Amphora pediculus</i>	A	–	–	–	5.37	–	–	–	–	5.26	0.41
	S	–	–	3.28	–	–	–	10.51	1.08	1.15	–
<i>Bacillaria paradoxa</i>	A	–	–	–	–	–	–	–	–	7.32	4.50
	S	–	–	–	–	–	–	–	–	1.61	9.57
<i>Brachysira microcephala</i>	A	–	–	–	–	–	3.58	3.89	–	1.37	–
	S	–	–	–	–	0.36	7.10	0.39	1.43	0.23	2.13
<i>Caloneis amphisbaena fo. subsalina</i>	A	1.76	–	0.22	–	2.48	–	–	–	–	–
	S	–	–	–	2.89	6.25	7.10	–	–	–	–
<i>Campylodiscus clypeus</i>	A	–	–	–	–	–	2.09	0.46	–	2.52	3.27
	S	–	–	–	–	–	3.23	–	0.72	0.46	1.33
<i>Cocconeis pediculus</i>	A	–	–	–	1.71	0.71	0.30	0.23	–	–	–
	S	–	–	–	2.36	8.93	0.97	–	1.08	–	–

<i>Craticula ambigua</i>	A	6.76	1.26	2.88	-	0.35	-	-	-	-	-
	S	1.61	6.26	-	3.15	-	1.29	1.95	2.15	-	-
<i>Ctenophora pulchella</i>	A	0.59	2.27	5.10	-	-	0.60	29.52	14.57	-	4.50
	S	3.22	3.87	-	-	-	11.61	8.95	-	-	0.53
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	A	-	0.25	-	-	-	8.66	3.20	0.40	5.95	8.38
	S	0.23	0.92	-	-	-	8.71	1.17	2.15	11.70	5.05
<i>Cyclotella ocellata</i>	A	-	-	-	0.24	1.42	-	-	-	5.03	1.64
	S	-	-	9.09	2.10	-	-	-	-	3.90	0.80
<i>Cyclotella stelligera</i>	A	-	-	-	-	-	5.07	2.06	4.86	2.97	-
	S	-	-	-	-	-	-	3.11	1.97	1.15	1.06
<i>Cymatopleura elliptica</i>	A	0.29	0.50	0.89	0.24	1.77	-	-	0.40	4.35	0.41
	S	0.46	3.87	0.51	0.26	1.43	0.65	-	1.97	-	-
<i>Cymatopleura solea</i>	A	-	3.02	-	-	-	0.60	4.35	4.86	-	0.20
	S	-	-	4.55	-	-	-	5.45	-	0.23	0.27
<i>Cymbella neocistula</i>	A	-	-	-	0.24	-	0.30	-	-	0.46	-
	S	1.15	-	-	-	18.75	-	4.28	0.90	-	1.33
<i>Cymboppleura naviculiformis</i>	A	-	-	-	1.46	4.96	-	-	-	-	-
	S	-	-	1.26	2.10	5.18	-	-	3.41	-	-
<i>Diatoma moniliformis</i>	A	-	-	-	8.05	5.32	-	-	-	0.23	-
	S	-	-	1.26	3.15	1.07	-	-	0.18	1.15	-
<i>Encyonema minutum</i>	A	12.65	0.25	4.43	10.24	-	-	0.46	-	5.03	2.86
	S	0.69	-	2.27	2.89	8.21	-	0.39	3.05	-	-
<i>Encyonema silesiacum</i>	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.20
	S	-	-	-	-	-	-	-	0.18	-	-
<i>Eunotia cataractarum</i>	A	-	-	-	1.46	4.96	-	-	-	-	-
	S	-	-	1.26	2.10	5.18	-	-	3.41	-	-
<i>Fallacia pygmaea</i>	A	1.47	3.78	1.55	-	0.35	-	0.92	5.67	1.14	-
	S	1.84	4.05	-	-	0.18	1.29	-	1.25	-	0.27
<i>Fragilaria capucina</i>	A	-	-	-	-	-	7.16	3.20	-	-	4.50
	S	-	-	-	-	-	7.42	-	-	3.21	1.33
<i>Fragilaria ulna var. acus</i>	A	-	-	-	1.95	1.77	2.39	-	-	2.06	2.04
	S	-	-	-	6.82	2.14	1.94	-	1.43	5.50	3.72
<i>Frustulia vulgaris</i>	A	-	-	-	5.61	6.38	-	0.92	-	-	-
	S	-	-	-	5.77	3.75	1.94	-	2.51	-	-
<i>Gomphonema laticollum</i>	A	-	8.06	14.41	-	-	16.42	-	-	-	2.86
	S	5.06	6.08	13.64	-	-	1.29	-	-	5.05	2.39
<i>Gomphonema olivaceum</i>	A	11.18	38.04	-	-	-	0.30	5.03	-	-	-
	S	28.97	0.55	5.05	-	0.18	-	-	-	-	-
<i>Gomphonema parvulum</i>	A	3.53	4.79	2.44	-	-	0.30	3.20	2.43	-	-
	S	0.92	2.58	-	-	-	2.90	3.50	-	-	-
<i>Gomphonema pumilum var rigidum</i>	A	0.59	3.53	3.33	-	-	0.60	1.60	-	-	-
	S	1.38	2.03	-	-	-	0.65	-	-	-	1.60
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	A	-	0.00	-	0.49	7.45	0.30	0.23	-	2.29	1.02
	S	-	-	6.57	3.67	1.79	-	0.39	2.69	-	1.60
<i>Gyrosigma rautenbachiae</i>	A	-	0.00	2.44	1.71	1.06	-	-	-	3.89	-
	S	-	0.55	1.26	3.15	1.96	-	-	2.15	-	-
<i>Hantzschia amphioxys</i>	A	3.53	0.00	3.55	8.78	0.71	-	-	-	-	-
	S	-	-	0.51	1.05	-	0.65	-	0.90	-	-
<i>Hippodonta capitata</i>	A	-	0.00	-	2.68	4.26	-	-	-	9.15	-
	S	-	-	0.25	1.84	0.71	-	-	0.72	-	-
<i>Hippodonta hungarica</i>	A	-	0.00	-	5.12	6.38	-	-	0.40	2.52	1.43
	S	-	-	-	5.25	1.79	-	-	0.54	0.92	2.93
<i>Luticola kotschy</i>	A	-	5.54	-	-	-	-	-	-	-	9.61
	S	-	8.10	-	-	-	-	-	-	-	-

<i>Luticola nivalis</i>	A	-	0.50	-	0.49	5.32	6.27	-	-	1.83	4.50
	S	-	0.18	0.25	-	-	-	4.67	-	-	-
<i>Mastogloia braunii</i>	A	-	-	-	-	-	-	-	8.91	1.60	-
	S	-	4.05	-	-	-	6.77	-	-	2.06	-
<i>Navicula capitatoradiata</i>	A	-	-	-	2.44	5.32	0.30	-	-	-	-
	S	-	-	-	3.67	2.50	-	0.39	3.41	1.15	0.53
<i>Navicula gregaria</i>	A	-	-	1.77	1.71	-	0.60	-	-	3.20	-
	S	-	0.18	0.25	0.26	0.18	-	-	2.15	7.34	-
<i>Navicula longicephala</i>	A	-	0.25	0.67	0.24	2.48	-	-	1.62	-	-
	S	0.23	1.47	4.04	1.84	2.32	-	0.78	2.15	1.15	-
<i>Navicula radiosa</i>	A	-	0.25	-	3.41	6.03	5.67	3.20	-	-	-
	S	-	-	-	2.36	-	4.19	-	-	-	7.18
<i>Navicula symmetrica</i>	A	4.12	2.77	2.44	0.24	-	0.90	-	-	-	-
	S	2.99	4.24	1.26	0.26	0.18	-	-	-	-	-
<i>Navicula tripunctata</i>	A	0.29	-	0.22	-	1.42	-	4.12	4.45	-	-
	S	0.46	1.10	6.82	-	0.18	0.65	4.67	-	-	-
<i>Neidium ampliatum</i>	A	11.76	4.79	-	-	-	-	0.23	-	0.23	1.02
	S	0.46	0.18	-	-	-	-	-	0.90	0.23	4.52
<i>Neidium binodeforme</i>	A	-	-	-	-	-	-	-	-	3.20	-
	S	2.76	2.21	-	-	-	-	-	0.18	7.57	3.72
<i>Neidium dubium</i>	A	-	-	-	-	-	-	-	-	3.89	5.11
	S	-	-	-	-	-	-	-	-	11.70	3.19
<i>Neidium productum</i>	A	-	1.01	0.22	-	-	-	11.90	-	1.60	-
	S	-	-	2.02	-	-	1.29	0.39	-	-	-
<i>Nitzschia bita</i>	A	1.76	0.50	-	-	-	-	-	-	0.46	4.29
	S	0.92	1.47	-	-	-	-	-	4.30	2.06	1.06
<i>Nitzschia hantzschiana</i>	A	0.59	-	-	2.93	3.19	-	5.72	3.24	-	-
	S	-	-	3.54	0.26	1.07	3.87	8.17	-	-	-
<i>Nitzschia palea</i>	A	0.29	0.76	1.11	0.24	6.74	0.30	-	-	6.18	0.20
	S	3.68	2.03	4.04	7.09	1.61	-	-	8.60	1.15	0.27
<i>Nitzschia recta</i>	A	-	3.53	1.55	-	-	5.67	-	1.62	-	-
	S	-	0.92	-	-	-	4.19	0.78	-	-	3.72
<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>tabellaria</i>	A	-	-	-	-	-	-	1.60	-	10.07	-
	S	-	-	-	-	2.14	-	0.39	8.42	4.82	-
<i>Pinnularia obscura</i>	A	-	-	-	-	0.35	-	1.83	4.86	-	-
	S	-	-	-	-	-	0.65	5.84	-	-	-
<i>Stauroneis gracilis</i>	A	-	3.53	0.89	-	-	0.30	1.83	-	-	-
	S	5.52	2.21	-	-	-	0.32	8.17	-	-	-
<i>Surirella brebissonii</i>	A	19.71	7.05	37.92	-	-	9.25	3.20	14.17	-	14.52
	S	30.80	10.87	-	-	-	4.52	5.45	-	15.83	-
<i>Surirella crumena</i>	A	-	-	-	0.24	-	2.39	0.69	4.45	-	-
	S	-	-	5.56	1.31	-	2.26	8.56	-	-	2.93
<i>Surirella ovalis</i>	A	1.18	0.25	0.22	5.12	0.35	0.30	-	-	2.06	6.75
	S	0.23	0.18	2.78	-	0.18	-	0.39	-	1.38	5.85
<i>Ulnaria ulna</i>	A	4.12	1.01	-	0.24	-	-	0.27	-	-	-
	S	2.07	0.92	-	3.67	2.50	-	0.13	9.86	-	-

Explanation. A= Autumn; S= Spring

Most species have a cosmopolitan distribution and are also widespread throughout North Africa (Fig. 2).

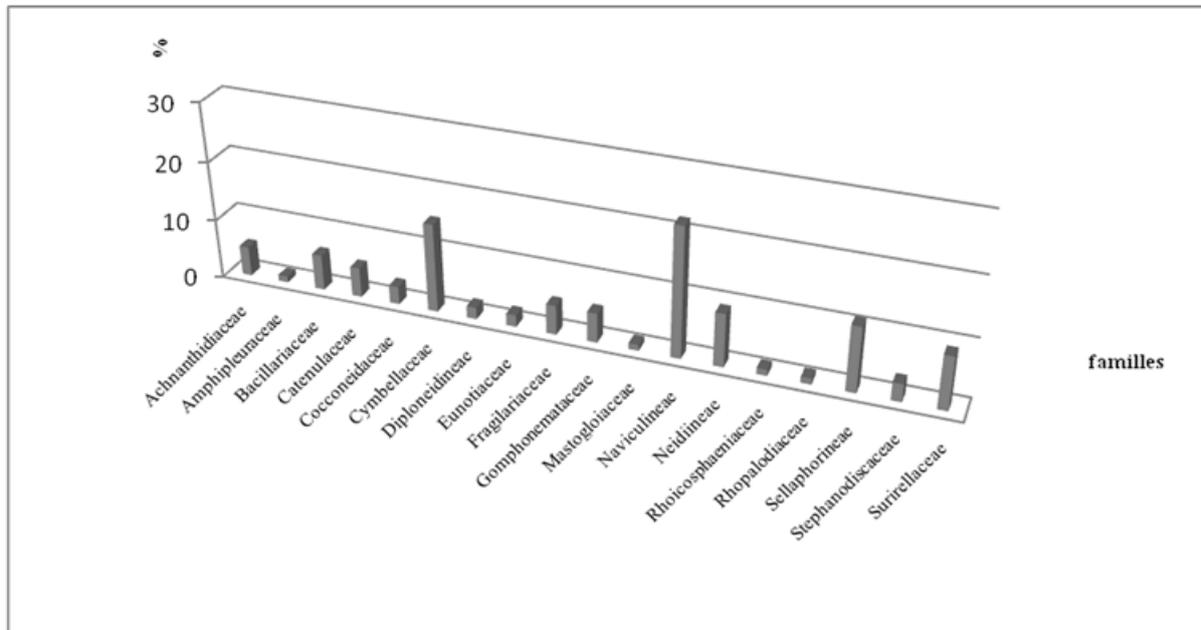


Fig. 2. Relative abundance of families in the study area

New 13 record taxa were observed for the first time in Algeria: *Brachysira microcephala*, *Eunotia cataractarum*, *Hippodonta capitata*, *Luticola kotschy*, *Luticola nivalis*, *Neidium binodeforme*, *Neidium ampliatus*, *Neidium dubium*, *Nitzschia bita*, *Nitzschia sinuata* var. *Tabellaria*, *Pinnularia obscura*, *Stauroneis gracilis* and *Surirella crumena*. Most of the taxa belong respectively to the families *Naviculaceae* (20.75%), *Cymbellaceae* (14.15%), *Sellaphorineae* (10.38%) and *Neidiaceae*, *Surirellaceae* (8.49%). The families of *Rhoicosphaeniaceae*, *Rhopalodiaceae*, *Amphipleuraceae* and *Mastogloiaaceae* are represented by one genus, our results agree with those of (Chaïb et al., 2011). On the other hand, the work of (Nehar et al., 2015) at Wadi Chellif has shown that the majority of species belong to the *Fragilariaceae* family.

Table 3 shows that the values of the diversity index during the two seasons are average with the Shannon index never exceeding 3.5 bits/species. At the currents of the two wadis, the diatom communities are less balanced.

During the autumn, the SO, BA1 and MD1 sites show a dominance of *Gomphonema olivaceum* var. *olivaceum* with a frequency of 38.04% and 37.92% for respectively *Surirella brebissonii* and *Cyclotella meneghiniana*, while in spring it's *Achnantheidium minutissimum* which dominates with 21.26% in the SO station, which negatively affects H 'diversity and Shannon regularity "E". The calculated mean values of the equitability index of the two seasons spring-autumn of the Wadi Mina (Table 4) oscillate between E = 0.67-0.89 and E = 0.82-0.90; and for Wadi Louhou, they are of E = 0.89-0.81 and E = 0.70-0.89 from which the imbalance of the diatomic community. Otherwise, some studies have demonstrated an abundance of *Achnantheidium minutissimum* with a frequency of 75% and 55% respectively during the summer at the sites studied where they note an equitability index of the wadi Kebir-East which are ranging between 0.37 and 0.81 in Hammam Bouhnifia and wadi Chélif between 0.33 and 0.65 (Chaïb, Tison-Rosebery, 2012; Nehar et al., 2015).

Table 4. Diatom diversity index in the study area

Index	Season	SA	MD1	MD2	HA	BA2	MA	MU	SO	TT	BA1
Shannon H	A	2.93	3.11	2.7	2.91	2.69	3.03	3.04	3.06	3.16	2.91
	S	2.31	2.34	2.51	2.62	2.73	2.63	2.23	2.44	3.08	2.43
Equitability E	A	0.82	0.88	0.79	0.87	0.88	0.87	0.83	0.85	0.9	0.82
	S	0.78	0.78	0.82	0.83	0.80	0.80	0.67	0.71	0.86	0.71

A = Autumn; S = Spring

According to the classification of (Van Dam et al., 1994), the diatom communities observed in the study area, are generally consisting of an alkalophilic mixture (Table. 5).

Moreover, the typical species of European acid waters can be adapted to alkaline waters in Algeria (Baudrimont, Recherches, 1974) confirmed in our case by the existence of *Brachysira microcephala*, considered by (Alexander et al., 2000) as a species that frequent neutral to slightly acidic waters. Similarly, for (Ciniglia et al., 2007) which also reports that *Pinnularia obscura* is very common in acid-environmental alga communities and the existence of the genus *Eunotia* represented by two species *Eunotia cataractarum* and *Eunotia formica* which are known as acidophilous (Van Dam et al., 1994).

Table 5. Descriptive statistics of the bioindication assessment of the water parameters

Parameters	Median	Minimum	Maximum	Lower	Upper
Trophy	5.04	4.50	5.41	4.81	5.20
Saprobic	2.28	2.03	2.68	2.22	2.39
Salinity	2.35	2.01	2.57	2.22	2.44
pH	3.67	3.22	3.93	3.43	3.81
Nitrogen	1.88	1.58	2.69	1.67	2.17
Oxygen	2.32	1.94	2.82	2.08	2.55
Moisture	2.54	2.17	3.13	2.45	2.75
Pollution CEE	7.90	6.86	9.31	7.44	8.42

The dominant taxa at the Wadi Mina and Wadi Louhou sites, are generally with a moderately oxygenated environment, on the one hand confirmed by the presence of *Surirella brebissonii*, tolerant to brackish water and frequent fluctuations in salinity as confirmed by Leclercq (2000), in the other hand the poorly oxygenated ones, are represented by *Nitzschia palea* and *Nitzschia sinuata* var. *tabellaria*, where these cells are found in mesotrophic waters and they tolerate critical levels of pollution (Round, 1991; Takamura et al., 1989).

Some species that are sensitive to dissolved oxygen and require a high concentration of oxygen, represented by the species *Nitzschia dissipata* in our study. Most dominant species, namely *Gomphonema parvulum*, *Cyclotella ocillata*, *Navicula radiosia*, *Nitzschia palea*, and *Cymbella neocistula* have been characterized as tolerant to high electrolyte levels in rivers heavily contaminated by industrial wastes mentioned in the work of (Krammer, Langebertalot, 2000; Lange-Bertalot et al., 2006). Therefore, the presence of these species could be considered as indicators of similar conditions in the MA, MU, SO and TT sites. On the other side, one group is dominated by two pollutant sensitive species, *Achnantheidium minutissimum* and *Cocconeis pediculus*, indicating slightly moderate conditions, which may reflect intermediate pollution conditions according to (Jahn et al., 2009; Ndiritu, 2006) these species are susceptible to the contamination with industrial waste and organic load. *Achnantheidium minutissimum*, *Cocconeis pediculus* were the most common in urban sites TT, MD1, which were polluted by residential effluents and household MD2. However, several pollutant tolerant taxa are present in the same sites such as: *Navicula gregaria*, *Surirella brebissonii*, *Nitzschia palea* and *Gomphonema parvulum*, these species are known to be tolerant to several forms of pollution and indicate disturbed conditions (Della Bella et al., 2007; Teresa et al., 2013; Teresa et al., 2014).

Hantzschia amphioxys and *Encyonema silesiacum* observed in agricultural runoff areas, such as SO, HA, B1, and B2, have also been found in MU and SA sites, where nitrate and phosphate concentrations are high, these high concentrations of phosphates derived without a doubt from the industrial unit SOTREFIT Wire Drawing Company (industrial zone) Tiaret, and can also be the source of particularly acute pollution. However, the group containing the *Gomphonema olivaceum*, *Stauroneis gracilis*, *Fallacia pygmaea*, *Navicula symmetrica* and *Craticula ambigua* taxa is related to the high concentrations of ammonium and sulphates resulting from the agglomerations' wastewater, observed in TT, MD1, MD2, and SA, these species are in waters with high mineralization (Bennion et al., 2014; Lange-Bertalot et al., 2009; Thi Thuy et al., 2007).

The physicochemical characteristics of the under watershed of the mina develop a moderate pain of water with variations of spatio-temporal temperatures from one season to another, because we note a temperature fluctuating between 12 °C and 20.1 °C in autumn and between 14.2 °C and 23.4 °C in spring. For electrical conductivity (EC), the values are characteristic of freshwater and show large and irregular variations, changing from one site to another with moderate mineralization of 941 $\mu\text{S cm}^{-1}$ to high where the EC shows peak values of 5391.6 $\mu\text{S cm}^{-1}$ in the Tagdemt area (TT Print sites) and 5620 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (SO Autom site) in relation to the high inputs of NH_4 and PO_4 from wadi Mina. The nitrite and nitrate contents (NO_2 , NO_3) show less fluctuating variations during the months of September and March and do not differ between the different sites. Concerning the concentrations of dissolved oxygen, they are very variable and irregular in space and time for all the sites. For the localities of Sidi Ouadah and Ain Guesma (SO) with industrial activities and agrochemical drainage, we note hypoxic conditions with a value of 0.7 to 1.4 mg l^{-1} which indicates a high organic wastewater degradation like the localities of Tagdemt (TT) and Melakou (MU). So, the sub-watershed of Wadi Mina is characterized as a polluted and eutrophic system due to a constant drainage during the year and high nutritious elements of wastewater, from industrial, agricultural and urban activities, which OPI shows 2 pollution classes (moderate and strong) for the different sites studied. The evolution of the values of the OPI along the sites (Table 6), shows a deteriorated state of the quality of the wadi Mina water, due to the discharges of domestic and industrial wastewater from the agglomerations.

At sites TT, SO, MD1 and MD2, the OPI varies between 1.75 and 3.50, due doubtless to the discharges of the industrial zone of Zaaroura dumped in oued Tolba (the latest connects the industrial zone to Oued Mina) and intense urban activities very especially in the sites TT and SO, also the urban wastewater from the municipality of Medroussa (MD1) and the municipality of Frenda (SA) regarding wadi Louhou. According to (Laidani et al., 2009), the results provide a certain number of anomalies, notably in the waste management of the different industrial discharges, and reports certain number of pollution indicator parameters in the Wadi Mina sub-watershed and in the main industrial units in the Tiaret region, including the rejection of Tiaret Dairy Group (GIPLAIT), which have a high concentration of COD, BOD and suspended materials.

Table 6. Results of the organic pollution index

Site	Season	OPI_BDO	OPI_NH4	OPI_NO2	OPI_PO4	OPI	Level of organic pollution	
Wadi Mina	MA	A	3	4	1	2	2.50	Strong organic pollution
		S	4	3	1	3	2.75	Strong organic pollution
	MU	A	4	4	1	3	3.00	Organic pollution curbed
		S	2	4	1	2	2.25	Strong organic pollution
	SO	A	2	3	1	2	2.00	Strong organic pollution
		S	3	4	1	2	2.50	Strong organic pollution
TT	A	3	3	1	3	2.50	Strong organic pollution	
	S	4	4	1	2	2.75	Strong organic pollution	
Wadi Louhou	BA1	A	2	3	1	2	2.00	Strong organic pollution
		S	2	4	1	2	2.25	Strong organic pollution
	SA	A	2	4	1	3	2.50	Strong organic pollution
		S	3	4	1	2	2.50	Strong organic pollution
	MD1	A	2	5	2	3	3.00	Organic pollution curbed
		S	3	4	1	3	2.75	Strong organic pollution
MD2	A	3	4	1	3	2.75	Strong organic pollution	
	S	3	4	1	3	2.75	Strong organic pollution	
HA	A	2	4	1	2	2.25	Strong organic pollution	
	S	3	5	1	2	2.75	Strong organic pollution	
BA2	A	3	4	1	3	2.75	Strong organic pollution	
	S	2	5	2	3	3.00	Organic pollution curbed	

The physico-chemical variables and bioindicator indexes are correlated (Table 7). These results revealed that bioindicator indexes are sensitive to relevant physico-chemical properties of water. Trophic indicator is correlated with concentration NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{2-} , Ca^{2+} . Saprobic indicator is negatively correlated with O_2DIS . Salinity is correlated with electrical conductivity and concentration Ca^{2+} . Indicator of the pH is correlated not only with pH but with electrical conductivity, NO_2^- , PO_4^{2-} , NO_3^- . Nitrogen indicator reflects variation of the nitrogen containing ions (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) and is negatively correlated with BDO. Surprisingly oxygen indicator is not characterized by statistically significant correlation with O_2DIS but correlated with O_2DIS , NO_2^- , BDO. Pollution CEE indicator reveals that the diatoms community sensitivity to contamination most correlated with temperature, Turbi, O_2DIS , NH_4^+ , Cond.

Table 7. Correlation between physico-chemical variables and bioindicator indexes (presented correlations are significant at $p < 0.05$)

Physico-chemical variables	Bioindicator scales							
	Trophy	Saprobic	Salinity	pH	Nitrogen	Oxygen	Moisture	Pollution CEE
T	-	-	-	-	-	-	-	-0.48
pH	-	-	-	0.74	-	-	-0.49	-
Cond	-	-	0.45	-0.56	-	-	-	0.54
Turbi	-	-	-	-	-	-	-	-0.45
O_2DIS	-	-0.57	-	-	-	-	0.52	-0.49
CaCO_3	-	-	-	-	-	0.47	-	-
NH_4^+	0.68	-	-	-	0.60	-	-	-0.53
NO_2^-	0.62	-	-	0.54	0.66	0.48	-	-
Cl^-	-	-	-	-	-	-	-	-
PO_4^{2-}	0.58	-	-	0.53	-	-	-	-
Ca^{2+}	0.46	-	0.59	-	-	-	-	-
BDO	-	-	-	-	-0.59	-0.47	-	-
NO_3^-	-	-	-	0.57	0.56	-	-	-
SO_4^{2-}	-	-	-	-	-	-	-	-
DCO	-	-	-	-	-	-	-	-

The principal component analysis of the physico-chemical variables revealed that the first five principal components are characterized by eigenvalues, which are greater than 1 (Table 8). The first five principal components explain 76.39% of total variability. Principal component 1 explains 22.56 % variability. It is characterized by a positive correlation with temperature, Turbi, O₂DIS, Cl⁻ and negative correlation with SO₄²⁻. The principal component 2 explains 18.44% variability and is characterised by correlation with CaCO₃, Cl⁻, Ca²⁺. The principal component 3 explains 15.87% variability and is characterized by a positive correlation with temperature, Turbi, NO₃⁻, and negative correlation with Cond and BDO. The principal component 4 explains 11.59% variability and is characterized by correlation with NO₂⁻, Ca²⁺. The principal component 5 explains 11.46% variability and is characterized by correlation with PO₄²⁻ and BDO.

Table 8. Principal component analysis of the physico-chemical variables of water at sampling sites (presented statistically significant correlation coefficients with $p < 0.05$)

Physico-chemical variables	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
T	0.49	-	0.65	-	-
pH	-	-	-	-	-
Cond	-	-	-0.55	-	-
Turbi	0.46	-	0.70	-	-
O ₂ DIS	0.47	-	-	-	-
CaCO ₃	-	0.55	-	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻	-	-	-	-0.56	-
Cl ⁻	0.54	0.64	-	-	-
PO ₄ ²⁻	-	-	-	-	0.46
Ca ²⁺	-	0.54	-	-0.60	-
BDO	-	-	-0.53	-	0.58
NO ₃ ⁻	-	-	0.73	-	-
SO ₄ ²⁻	-0.82	-	-	-	-
DCO	-	-	-	-	-
Eigenvalue	3.38	2.77	2.38	1.74	1.19
% Total variance	22.56	18.44	15.87	11.59	7.93
Cumulative eigenvalue	3.38	6.15	8.53	10.27	11.46
Cumulative %	22.56	41.00	56.87	68.46	76.39

Table 9. Spearman rank correlation coefficients between dissimilarity indices and gradient separation with different data transformation methods

Distance	Data transformation methods										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Euclidean	0.00	0.10	0.06	0.15	0.05	0.05	0.14	0.05	0.15	0.24	0.18
Manhattan	0.03	0.10	0.07	0.16	0.04	0.04	0.10	0.04	0.12	0.18	0.17
Gower	0.04	0.08	0.06	0.10	0.04	0.04	0.05	0.04	0.10	0.10	0.16
Bray-Curtis	0.15	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17
Kulczynski	0.15	0.18	0.17	0.16	0.17	0.16	0.15	0.17	0.17	0.17	0.17
Morisita	0.13	0.17	0.13	0.07	-0.12	0.16	-0.14	-0.12	-0.14	-0.10	-0.13
Horn-Morisita	0.14	0.17	0.15	0.14	0.16	0.14	0.14	0.16	0.15	0.15	0.16
Cao	0.12	0.14	0.13	0.19	0.03	0.09	0.15	0.03	0.13	0.16	-0.20
Jaccard	0.15	0.17	0.16	0.16	0.16	0.15	0.15	0.16	0.17	0.17	0.17
Mountford	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11
Raup-Crick	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Canberra	0.15	0.16	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.16	0.15	0.17
Chao	0.13	0.16	0.15	0.13	0.12	0.12	0.13	0.12	0.15	0.14	0.13
Mahalanobis	0.01	-0.08	0.03	0.13	-0.18	-0.10	0.05	0.10	-0.04	0.00	-0.17

bold marked the highest correlation coefficient; NA – not available; 1 – untransformed data; 2 – log-transformed data; 3 – square-root transformed data; 4 – divided by margin total; 5 – divided by margin maximum; 6 – divided by margin maximum and multiplied by the number of non-zero items, so that the average of non-zero entries is one; 7 – normalized (margin sum of squares equal to one); 8 – standardized values into range 0–1; 9 – Hellinger transformation; 10 – χ^2 -transformation; 11 – Wisconsin transformation.

Principal components as markers of the environmental factors can be used to determine the optimal solution for the ordination of plant communities using the method of multidimensional scaling. The methodical approach is that of all the possible ecological distances within data matrix plants/sites and transformation methods to choose the one that gives the highest correlation with environmental factors.

Spearman rank correlations coefficients between dissimilarity indices and gradient separation with different data transformation methods have revealed that usage of χ^2 -transformation data and Euclidean distance is the most appropriate approach to reflect the relationship between soil mechanical impedance and ecological factors (Table 9). In further calculations the experimental data will be used in the above-mentioned transformed way.

Stress is a goodness-of-fit statistic in multidimensional scaling based on the differences between the actual distances and their predicted values. One of the goals of multidimensional scaling analysis is to keep the number of dimensions as small as possible. The usual technique is to solve the multidimensional scaling problem for a number of dimension values and adopt the smallest number of dimensions that achieves a reasonably small value of stress. An appropriate number of dimensions was chosen by performing ordinations of progressively higher numbers of dimensions. A stress versus number of dimensions scree diagram was then plotted, on which one can identify the point beyond which additional dimensions do not substantially lower the stress value (Fig. 3). A four-dimension variant of multidimensional scaling procedure was selected as the most appropriate decision.

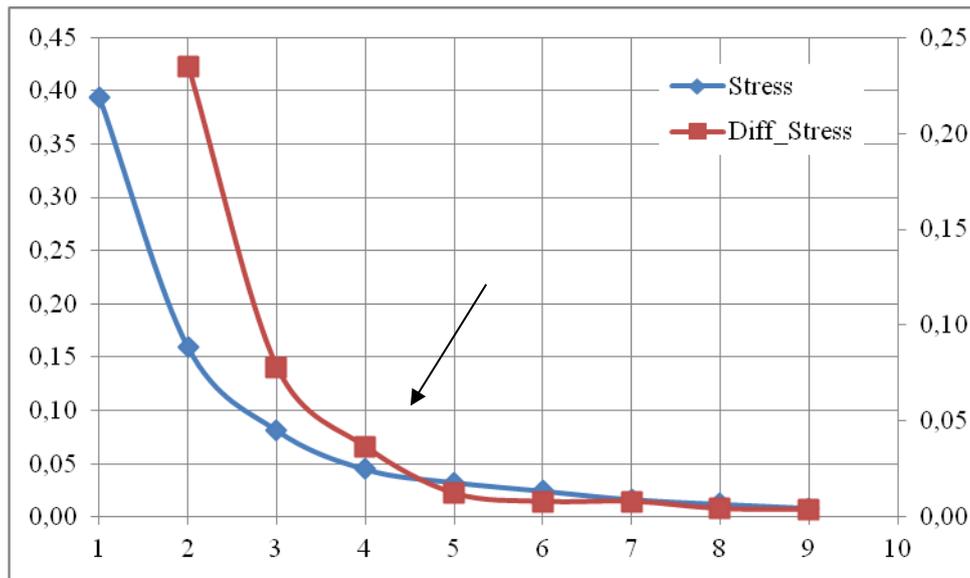


Fig. 3. Stress versus number of dimensions screen diagram. Arrow shows optimal number of dimension.

Notes: abscissa – the number of dimensions; ordinate – stress (left axis) or differential stress (right axis)

Four dimensions selected after nonmetric multidimensional scaling (NMDS) were interpreted by computing weighted average scores of ecological factors for ordination configuration (Table 10).

Table 10. Fitting environmental factors onto an ordination

Ecological factors	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	r^2	Pr(>r)	Significance codes
PC1	-0.61	-0.38	0.52	0.47	0.05	0.935	n.s.
PC2	0.34	-0.27	-0.13	0.89	0.57	0.007	**
PC3	0.25	-0.52	-0.37	-0.73	0.33	0.147	n.s.
PC4	0.19	0.03	0.98	0.11	0.61	0.009	**
PC5	0.13	0.31	0.43	-0.84	0.11	0.73	n.s.

Symbols: Significance codes: '****' – <0,001; '**' – <0,01; '*' – <0,05; n.s. – not significant

It has been established that such predictors as PC2 and PC4 are statistically significant. They are able to explain from 57 % and 61 % the dimension variation respectively. The dimension MDS1 may be interpreted as the measure of the community response to the variation of the calcium and chloride ions concentration which occurs in the connection with controversial changes of the physico-chemical variables marked by PC1. The dimension MDS2 is most sensitive to the synchronous changes of the physico-chemical variables marked by PC1, PC2, and PC3. The dimension MDS3 is most sensitive to the PC4. The dimension MDS4 is most sensitive to the PC2.

Fitting environmental factors onto an ordination by means linear models is a quite far from real character of the relation between ecological factors and community structure. Smoothing surface for some ecological factors within ordination diagram shows complicated and nonlinear response of the vegetation due to ecological factors impact (Fig. 4).

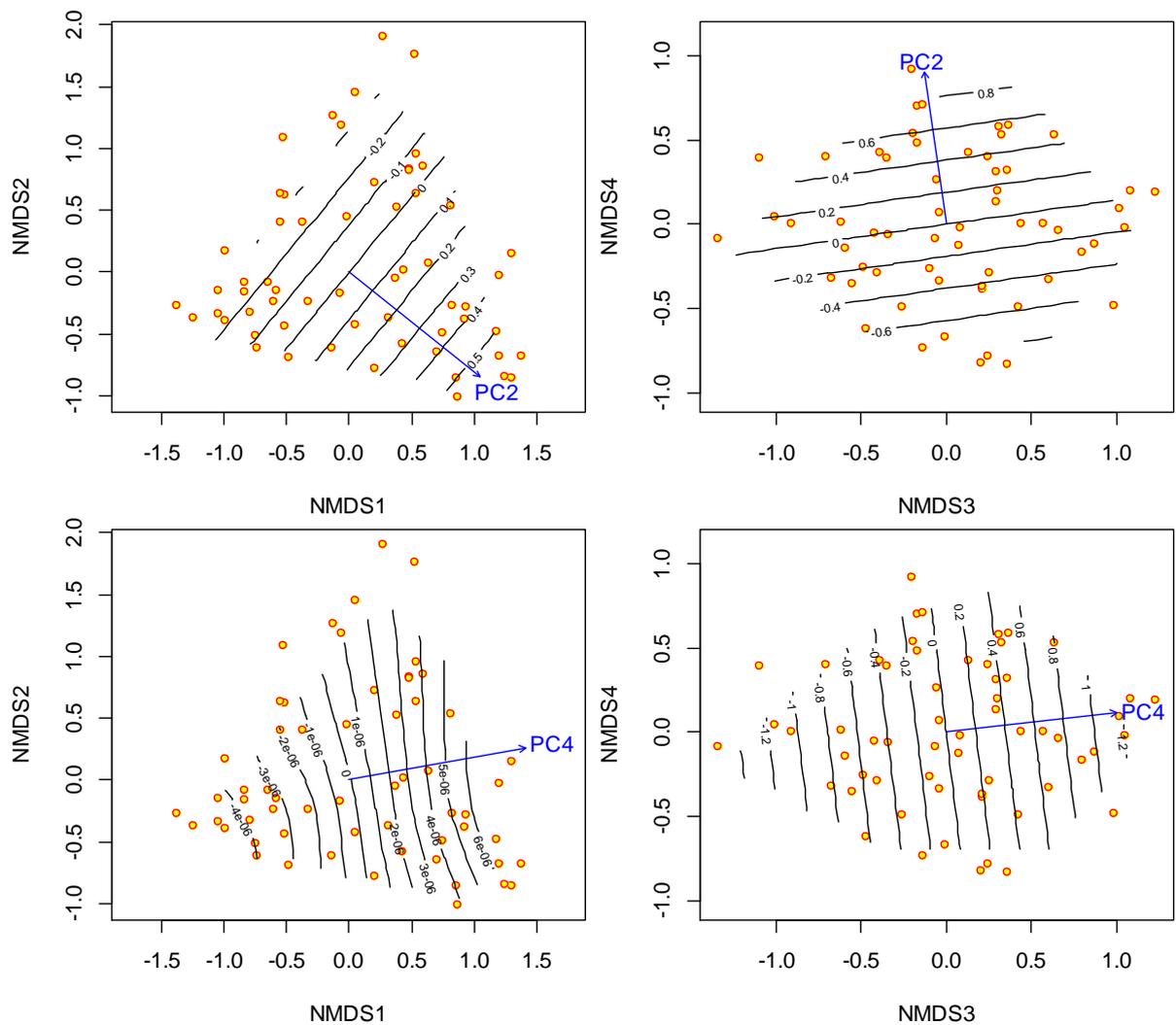


Fig. 4. Smoothing surface for some ecological factors within ordination diagram

Multidimensional scaling allows us to estimate how placement of sampling points, and plant species in the same space. Measured values for the plant can be used for cluster analysis of plant community. An important aspect of cluster analysis is to identify the optimal number of clusters. This problem was solved by means of Calinsky-Harabasz criteria (Fig. 5). Four of the clusters were found to be the optimal solution. Cluster solution can be represented as a dendrogram (Fig. 6). Also, ellipsoids can designate the configuration of species that belong to one cluster, in the dimension space (Fig. 7).

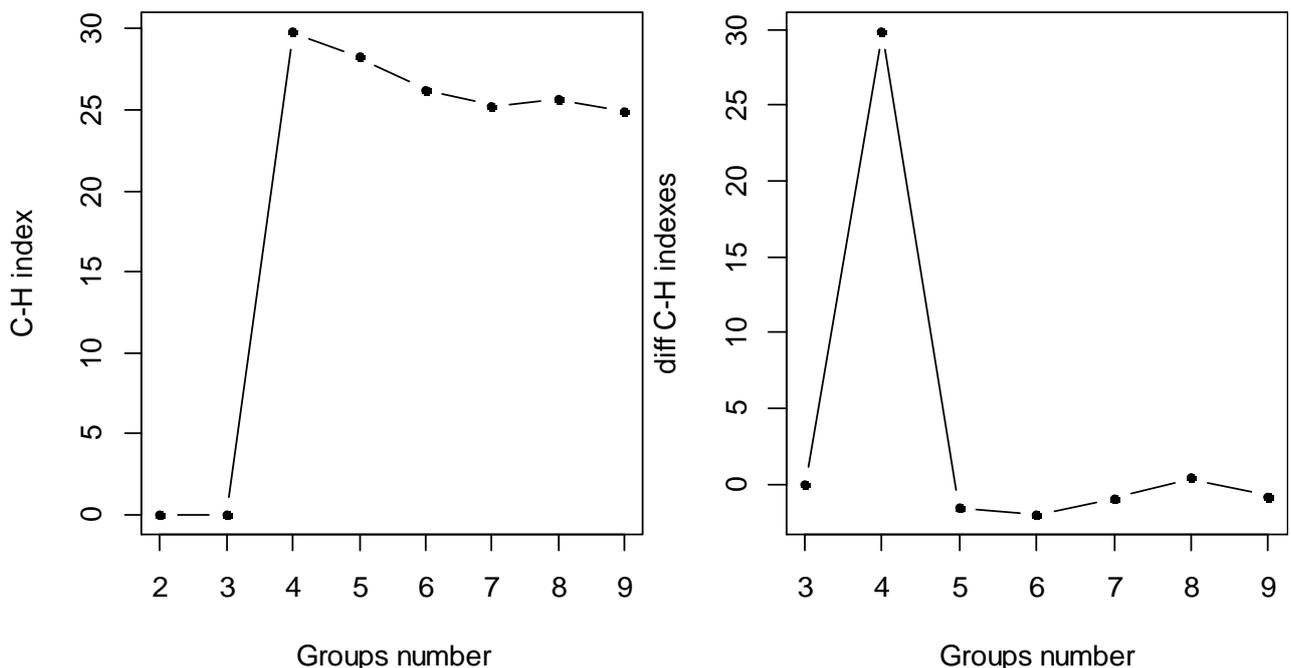


Fig. 5. Usage the Calinsky-Harabasz criteria (C-H index) to find the best vegetation community partition

The clusters can be viewed as a functional group. The information obtained allows to interpret the functional groups in terms of their environmental characteristics and bioindication properties (Table 6). A functional group *A* is presented by 21 species. Such species as *Gyrosigma rautenbachiae*, *Eunotia cataractarum*, *Cymbopleura naviculiformis* are the most typical for this functional group in sense the shortest Mahalanobis distances from group centroids. The high trophic preference is a most important ecological property of the functional group *A*. Species which constitute this functional group are mainly eutrathentic. A functional group *B* is presented by 10 species. Such species as *Cymatopleura solea*, *Stauroneis gracilis*, *Surirella crumena* are the most typical for this functional group. The preference of the low pH is a most important ecological property of the functional group *B*. Species which constitute this functional group are mainly acidophilous.

A functional group *C* is presented by 20 species. Such species as *Bacillaria paradoxa*, *Neidium binodeforme*, *Luticola nivalis* are the most typical for this functional group. The preference of the low nitrogen level is a most important ecological property of the functional group *C*. Species which constitute this functional group are mainly tolerant to very small concentrations of organically bound nitrogen.

A functional group *D* is presented by 8 species. Such species as *Luticola kotschyi*, *Surirella brebissonii*, *Neidium ampliatum* are the most typical for this functional group. The preference of the high nitrogen level is a most important ecological property of the functional group *D*. Species which constitute this functional group are mainly facultatively nitrogen-heterotrophic taxa needing periodically elevated concentration of organically bound nitrogen.

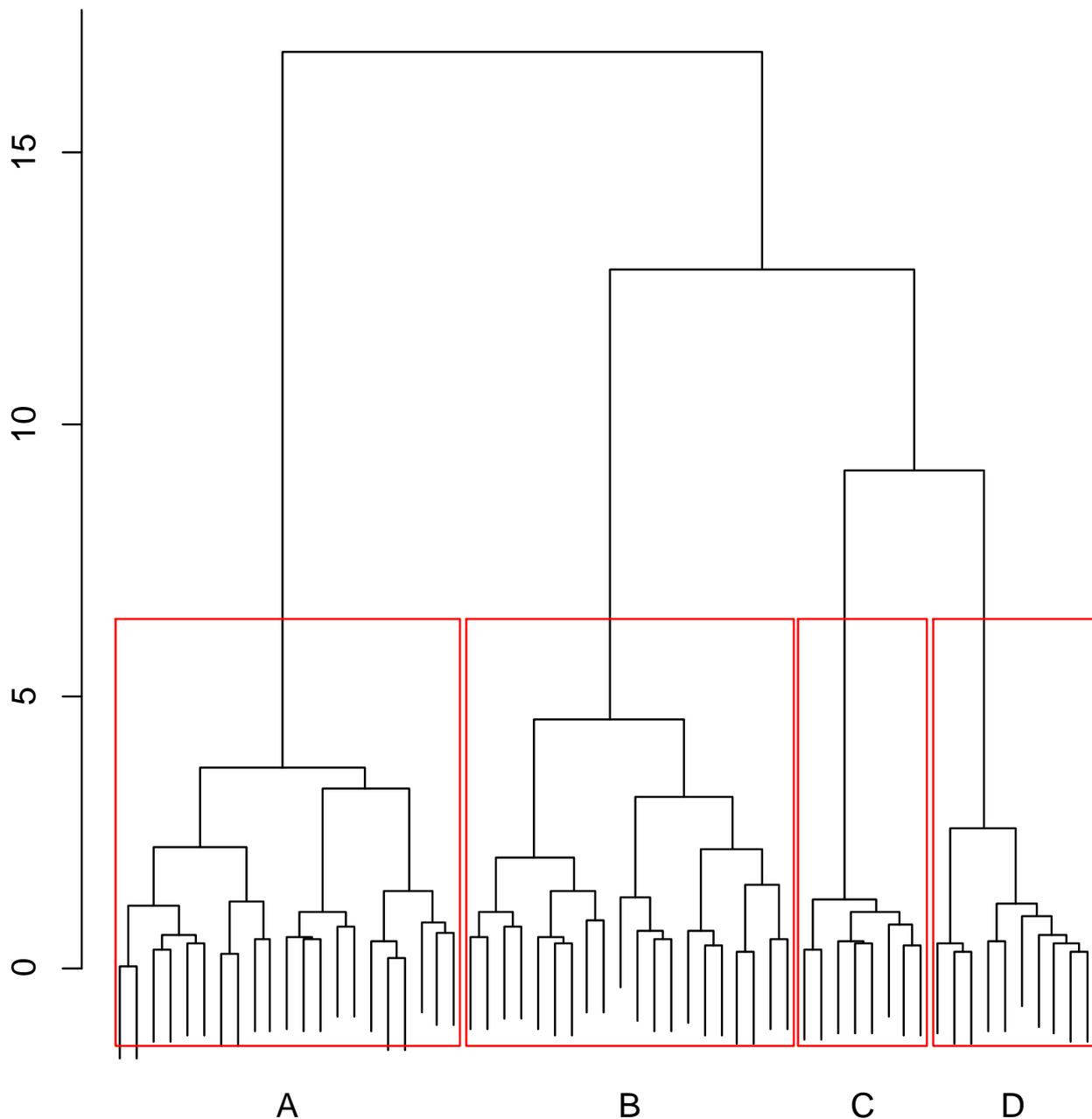


Fig. 6. Vegetation community cluster analysis (Ward method, Euclidian distance). A, B, C, D – clusters (functional groups)

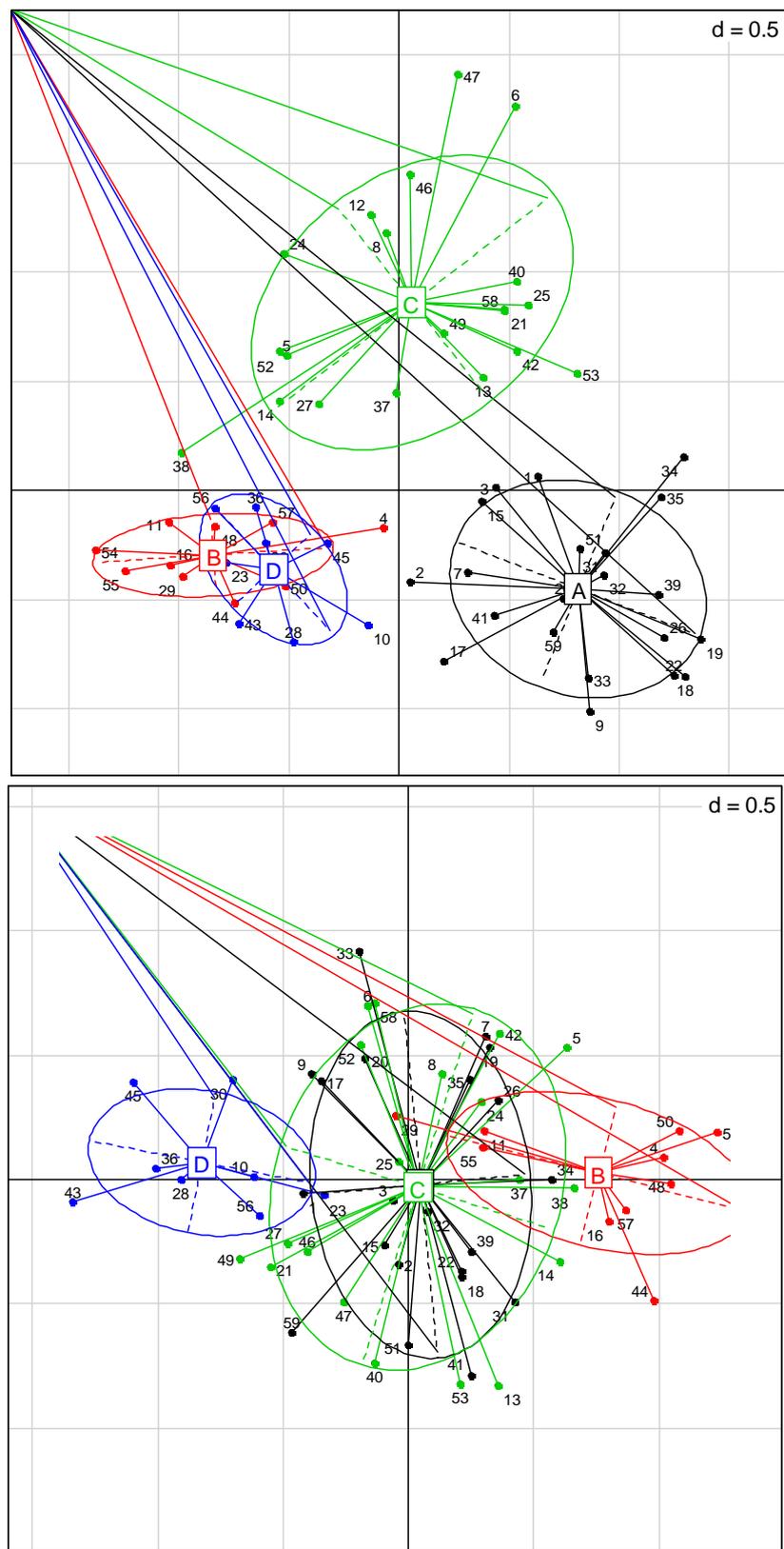


Fig. 7. Species distribution and cluster configuration in multidimensional space. I – dimension 1 and 2, II – dimension 3 and 4
 1 – *Achnantheidium exiguum*; 2 – *Achnantheidium minutissimum*; 3 – *Amphora ovalis*; 4 – *Amphora pediculus*; 5 – *Brachysira microcephala*; 6 – *Bacillaria paradoxa*; 7 – *Caloneis amphisbaena. var. subsalina*; 8 – *Campylodiscus clypeus*; 9 – *Cocconeis pediculus*; 10 – *Craticula ambigua*; 11 – *Ctenophora pulchella*; 12 – *Cyclotella meneghiniana*; 13 – *Cyclotella ocellata*; 14 – *Cyclotella stelligera*; 15 – *Cymatopleura elliptica*; 16 – *Cymatopleura solea*; 17 – *Cymbella neocistula*; 18 – *Cymbella naviculiformis*; 19 – *Diatoma moniliformis*; 20 – *Encyonema minutum*; 21 – *Encyonema silesiacum*; 22 – *Eunotia cataractarum*; 23 – *Fallacia pygmaea*; 24 – *Fragilaria capucina*; 25 – *Fragilaria ulna var. acus*; 26 – *Frustulia vulgaris*; 27 – *Gomphonema laticollum*; 28 – *Gomphonema olivaceum*; 29 – *Gomphonema parvulum*; 30 – *Gomphonema pumilum var rigidum*; 31 – *Gyrosigma acuminatum*; 32 – *Gyrosigma rautenbachiae*; 33 – *Hantzschia amphioxys*; 34 – *Hippodonta capitata*; 35 – *Hippodonta hungarica*; 36 – *Luticola kotschy*; 37 – *Luticola nivalis*; 38 – *Mastogloia braunii*; 39 – *Navicula capitatoradiata*; 40 – *Navicula gregaria*; 41 – *Navicula longicephala*; 42 – *Navicula radiosa*; 43 – *Navicula symmetrica*; 44 – *Navicula tripunctata*; 45 – *Neidium ampliatum*; 46 – *Neidium binodeforme*; 47 – *Neidium dubium*; 48 – *Neidium productum*; 49 – *Nitzschia bita*; 50 – *Nitzschia hantzschiana*; 51 – *Nitzschia palea*; 52 – *Nitzschia recta*; 53 – *Nitzschia sinuata var. tabellaria*; 54 – *Pinnularia obscura*; 55 – *Stauroneis gracilis*; 56 – *Surirella brebissonii*; 57 – *Surirella crumena*; 58 – *Surirella ovalis*; 59 – *Ulnaria ulna*.

Table 11. The ecological properties of the diatoms functional groups

Bioindicator scales	Functional groups				F-ratio	p-level
	A	B	C	D		
Trophy	5.43	4.70	4.80	4.63	2.43	0.08
Saprobic	2.43	2.10	2.35	2.13	0.65	0.59
Salinity	2.29	1.90	2.50	2.63	2.22	0.10
pH	3.90	2.90	3.40	4.38	11.74	0.00
Nitrogen	1.95	1.70	1.45	3.00	32.46	0.00
Oxygen	2.33	2.20	2.15	2.88	1.55	0.21
Moisture	2.43	3.40	2.30	2.50	4.06	0.01
Pollution CEE	8.05	7.70	9.60	6.50	3.35	0.03

Conclusion

In general, it can be concluded that the composition of the diatom communities of the wadi mina sub-basin is characterized by polysaprobic taxa namely, *Gomphonema parvulum*, *Cyclotellaocillata*, *Navicula radiosa*, *Nitzschia palea*, and *Cymbella neocistula*.

Both wadis are driven by variations of environmental factors, showing a dominance of halophytes, confirmed by the ordination results, whose epilithons diatoms distribution is closely related to the physicochemical elements of the water, especially to the conductivity, the pH, PO₄ and BOD, it's also associated with the different types and intensities of human activities that occur along the Mina wadi sub-basin. On the other hand, the study of diatoms and the application of OPI allowed to apprehend the quality of waters reflecting a high pollution, this is essentially due to the presence of species resistant to organic pollution.

The degradation of the studied waters follows a change in agricultural habits in this region, where the wide cereal areas of Tiaret have been replaced, especially along the wadis, by vegetable crops that require more chemical inputs (fertilizers and pesticides). Indeed, the irrational use of fertilizers in the region of Sidi Ouadah (SO) and Tagdemt (TT) and waste discharged by the ONAV unit (national office of poultry slaughterhouses), increase the concentration of NH₄ and NO₃, inducing a large pollution during autumn (table 04) of the sites MU, SO, MD1, MD2 and HA, whose OPI oscillates between 2.5 and 2.75. On the other hand, the remoteness of the BA1, BA2 and HA sites from the urban areas develops a moderate pollution for the two seasons, where the OPI oscillates between 3.25 and 3.5. For their part, Derradji et al. (2007) mention that the leaching of agriculture areas in winter allows a less significant state of pollution of the ecosystem in the spring season than that of autumn.

Finally, to a better knowledge, preservation, development, and using these diatomic resources with maximum efficiency in the field of bioindication of water quality, future prospects will be made: prospection a high number of sites along the Oued Mina, to control urban and agricultural pollution in order to optimize the development of water treatment centres along this highly anthropized hydrographic network. To improve the quality of water for the well-being of people who depend on this hydrosystem, through the implementation of a drainage program and installation of waste water treatment.

References

- Baudrimont, R.(1974). Recherches sur les Diatomées des eaux continentales de l'Algérie. Ecologie et paléo-écologie. Mémoire, Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, nouvelle, 12.
- Bennion, H., Kelly, M. G., Juggins, S., Yallop, M. L., Burgess, A., Jamieson, J., Krokowski, J. (2014). Assessment of ecological status in UK lakes using benthic diatoms Source. *Freshwater Science*, 33(2), 639–654.
- Chaïb, N., Alfarhan, A. H., Al-Rasheid, K.A.S., Samraoui, B. (2011). Environmental determinants of diatom assemblages along a north African wadi, the Kebir-East, northeast Algeria. *Journal of Limnology*, 70 (1), 33–40.
- Chaïb, N., Tison-Rosebery, J. (2012). Water quality assessment and application of the biological diatom index in the Kebir-East wadi, Algeria. *African Journal of Aquatic Science*, 37 (1), 59–69. DOI: <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2011.33>
- Ciniglia, C., Cennamo, P., De Stefano, M., Pinto, G., Caputo, P., Pollio, A. (2007). *Pinnularia obscura* Krasske (Bacillariophyceae, Bacillariophyta) from acidic environments: characterization and comparison with other acid-tolerant *Pinnularia* species. *Fundamental and Applied Limnology Archiv für Hydrobiologie*, 170 (1), 29–47.
- Della Bella, V., Puccinelli, C., Marcheggiani, S., Mancini, L. (2007). Benthic diatom communities and their relationship to water chemistry in wetlands of central Italy. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, 43 (2), 89–99. DOI : <https://doi.org/10.1051/limn/2007021>
- Derradji, F., Bousnoubra, H., Kherici, N., Romeo, M., Caruba, R. (2007). Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est algerien. *Secheresse*, 18, 23–27.
- Dray, S. & Dufour, A.B. (2007). The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22(4): 1–20. DOI: [10.18637/jss.v022.i04](https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04)
- Jahn, R., Kusber, W.H., Romero, O.E. (2009). *Cocconeis pediculus* Ehrenberg and *C.Placentula* Ehrenberg var. *placentula* (Bacillariophyta). Typification and taxonomy. *Fottea*, 9, 275–288.
- Krammer, K., Langebertalot, H. (1988). Bacillariophyceae. Bacillariaceae, Epithemiaceae et Surirellaceae. *Semper Bonis Artibus* 1988. Tome 2. 596 p.

- Krammer, K., Langebertalot, H. (1991a). Bacillariophyceae. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. *Semper Bonis Artibus*. Tome 3. 576 p.
- Krammer, K., Langebertalot, H. (1991b). Bacillariophyceae: Achnanthaceae. *Semper Bonis Artibus*. (Tome 4). 437 p.
- Krammer, K., Langebertalot, H. (2000). Bacillariophyceae *Semper Bonis Artibus*. English and French translation of the Keys 2000. Tome 5, 311 p.
- Laidani, Y., Henini, G., Khatmi, B., Dellal, A. (2009). Evaluation de la pollution des eaux du sous bassin versant de l'oued mina Y. 2ème colloque international de chimie. CIC2 Algérie - du 1 au 3 décembre.
- Lange-Bertalot, H. (2001). Diatoms of Europe. Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. *Navicula sensu stricto*, 10 genera separated from *Navicula sensu lato*, Frustulia. Koeltz Scientific Books, Frankfurt, 526 p.
- Lange-Bertalot, H., Fumanti, B., Cavacini, P., Tagliaventi, N. (2009). The genus *Navigiolum* (Bacillariophyceae) in Mediterranean and North African rock pool habitats: Description of four new species from Algeria. *Fottea*, 2, 179–185.
- Lavoie, I., Hamilton, P.B., Campeau, S., Grenier, M., Dillon, P.J. (2008). Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est du Canada. Presses de l'Université du Québec, Canada.
- Leclercq, L. (2001). Intérêt et Limites des Méthodes d'Estimation de la Qualité de l'Eau. Station Scientifique des Hautes-Fagnes. Belgique.
- Legendre, P., Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species. *Oecologia*, 271–280. DOI <https://doi.org/10.1007/s004420100716>
- Leland, H., Vet S., Porter D. (2000). Distribution of benthic algae in the upper Illinois River basin in relation to geology and land use. *Freshwater Biology*, 44, 279–301.
- Miara, M., Ait Hammou, M., Hadjadj-Aoul, S., Hamerlain, A.S. (2013). Bioclimats, étages de végétation et zonation altitudinale des groupements végétaux dans les monts de Tiaret (groupements forestiers et preforestiers du massif de Guezoul). *Revue Ecologie-Environnement*, 9. <http://fsnv.univ-tiaret.dz/revues.php>
- Minchin, P.R. (1989). Montane vegetation of the Mt. Field Massif, Tasmania: a test of some hypotheses about properties of community patterns. *Vegetatio*, 83, 97–110. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00031683>
- Moonsin, P., Peerapornpisal, Y., Rott, E., Pipp, E., Aranya, P. (2013). Diversity of Benthic Diatoms and Water Quality of the Mekong River Passing Through Ubon Ratchathani Province, Thailand. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 5(2), 58–66.
- Ndiritu, G.G., Gichuki, N.N., Triest, L. (2006). Distribution of epilithic diatoms in response to environmental conditions in an urban tropical stream, Central Kenya. *Biodiversity and Conservation*, 15, 3267–3293.
- Nehar, B., Blanco, S., Hadjadj-Aoul, S. (2015). Diversity and ecology of diatoms in northwest of Algeria: case of el-hammam stream and estuary of Cheliff river. *Applied ecology and environmental research*, 13(1), 37–52.
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P.R., O'Hara, R.B., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M. H. H. & Wagner, H. (2017). Community Ecology Package. R package. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>
- Prygiel, J., Coste, M. (2000). Guide méthodologique pour la mise en œuvre de l'Indice Biologique Diatomées 2000 ; NFT 90-354. Agences de l'Eau-Cemagref, France.
- R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <https://www.R-project.org/> Accessed on 20.12.2017.
- Round, F.E. (1991). Use of diatoms for monitoring rivers. In: Whitton, B.A., Rott, E., Friedrich, G. (eds.). *Use of Algae for Monitoring Rivers*. Institut für Botanik, Universität Innsbruck, Innsbruck, Austria, 25–32.
- Takamura, N., Kasai, F., Watanabe, M. M. (1989). Effects of Cu, Cd and Zn on photosynthesis of freshwater benthic algae. *Journal of Applied Phycology*, 1, 39–52. DOI <https://doi.org/10.1007/BF00003534>
- Teresa, N., Jadwiga, S.T., Anita, P., Łukasz, P., Natalia, K. (2013). Ecological characterization of diatom communities in the Wisłok river with application of their indicatory role to the evaluation of water quality. *Journal of Ecological Engineering*, 14 (4), 18–27.
- Teresa, N., Jadwiga, S.T., Anita, P., Natalia, K., Łukasz, P. (2014). Ecological assessment of the san river water quality on the area of the san valley landscape park. *Journal of Ecological Engineering*, 15 (4), 12–22.
- Thi Thuy, D., Coste, M., Feurtet-Mazel, A., Boudou, A. (2007). Thi Phuong Q., Dinh Kim D. Les communautés de diatomées du périphyton: un outil d'évaluation de la qualité des eaux dans le Fleuve Rouge et les rivières de Nhué et de Tolich. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 nov 2007.
- Touaïbia, B. (2003). Contribution à la cartographie de l'érosion spécifique du bassin versant de l'Oued Mina en zone semi-aride de l'Algérie septentrionale. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, 48, 235–242.
- Van Dam, H., Mertens, A., Sinkeldam, J. (1994). A coded checklist and ecological indication values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28, 117–133.
- Wolfe, A.P., Kling, H.J. (2000). A consideration of some North American soft-water *Brachysira* taxa and description of *B. arctoborealis* sp. nov. In: Jahn, R., Kocielek, J.P., Witkowski, A. & Compere, P. (eds): *Studies On Diatoms*. Lange-Bertalot-Festschrift, Gantner, Ruggell, 243–264.

Citation:

Negadi, M., Hassani, A., Ait Hammou, M., Dahmani, W., Miara, M.D., Kharytonov, M., Zhukov, O (2018). Diversity of Diatom epilithons and quality of water from the subbasin of Oued Mina (district of Tiaret, Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 103–117.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0. License