

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Thèse de doctorat

En vue de l'obtention du grade de docteur en sciences de la mer

Option : Environnement marin et littoral

Thème :

Identification, caractérisation et applications des diatomées fossiles de la région de Mostaganem et Sig

Présentée par :

Mlle. TOUINA Amal

Soutenu le / /2021 devant le jury suivant :

Mme. ALOUACHE Souhila	Maitre de conférences A	(ENSSMAL)	Présidente
Mr. DRICHE Mohamed	Maitre de conférences A	(ENSSMAL)	Examineur
Mr. ATIF K. F. Tewfik	Maitre de conférences A	(Université d'Oran 2)	Examineur
Mr. KHELIFI Aissa	Professeur	(USTHB)	Examineur
Mme. CHERNAI Safia HAMDI	Professeur	(ENSSMAL)	Directrice
Mr. MANSOUR Bouhameur	Professeur	(Université d'Oran 2)	Co-Directeur
Mr. HAMDI Boualem	Professeur	(ENSSMAL)	Invité
Mme. HADJAR Hafida	Docteur	(CRAPC, Bou-Ismaïl)	Invitée

Promotion : 2015/2016

Résumé

La diatomite est une roche sédimentaire siliceuse d'origine marine. Elle est considérée comme une matière première de base au large champ d'application (telles que la cosmétique, la dépollution des eaux, pharmaceutique, le renforcement des polymères, la filtration des boissons, la purification et clarification des eaux, insecticides écologiques, etc...). Dans le but de valoriser ce produit naturel que recèle notre pays en grande quantité (Bassin du Bas Chelif) notamment dans la région de Mostaganem (Ouled Djilali et Irghbel) et Sig-Mascara, nous avons mené un travail systématique de caractérisation physico-chimiques et d'analyse de la composition microfloristique. L'objectif est d'identifier et de cibler les zones d'intérêts de ce gisement pour certaines applications industrielles.

Pour cela, diverses méthodes et techniques de caractérisation ont été appliquées sur l'ensemble des échantillons telles que: la microscopie optique (LM), la diffraction à rayons X (XRD), la spectrométrie de fluorescence à rayon X (XRF), la spectroscopie InfraRouge à transformées de Fourier (FTIR), N_2 adsorption-désorption, et la microscopie électronique à balayage (SEM), ainsi que d'autres tests analytiques complémentaires.

Les observations avec le microscope optique a permis d'exploiter qualitativement et quantitativement la composition microfloristique des diatomites étudiées. Une méthodologie fiable et reproductible pour l'extraction de ces dernières a été mise en point. Différents assemblages de diatomées décrivant les conditions paléo-environnementales au moment de sédimentation ont été identifiés. Elles sont toutes des espèces marines et accessoirement saumâtres-marines.

Les résultats XRD des échantillons montrent que les principaux minéraux étaient la calcite et la silice amorphe (Opal); une teneur élevée en phase cristalline a été également enregistrée. L'évaluation chimique a montré que les échantillons étaient principalement constitués de silice et des carbonates de calcium. L'analyse FTIR a permis de déterminer les bandes de base caractéristiques de la silice reflétant les groupements fonctionnels de la surface Si-O-H, $CaCO_3$, Al-O-Si et Si-O-Si. Alors que les enquêtes BET et SEM ont révélé que le matériau avait une structure poreuse élevée et très riche en diatomées.

Les différents échantillons de diatomite ont été testés pour l'élimination du colorant du bleu de méthylène (MB) en solution. L'effet de certains paramètres réactionnels qui peuvent influencer l'adsorption a été étudié. L'application des modèles de cinétique et d'équilibre d'adsorption a été détaillée. Les résultats des tests d'adsorption ont montré l'efficacité de la diatomite pour la décoloration du MB. Dans l'eau ultra-pure, la quantité maximale

adsorbée (Q_{\max}^0) du MB était de 125.64 mg/g (pour l'échantillon IGB04) à 25 °C et pH 7,0.

La diatomite naturelle du site Irghbel s'avère formée dans un milieu marin plus profond, elle est plus silicifiées et donc plus intéressantes de point de vue exploitation.

Mots clés: Diatomite, diatomées, Caractérisation, Paléoenvironnement, bassin Bas-Chélif adsorption, bleu de méthylène, modèles d'isotherme.

Abstract

Diatomite is a siliceous sedimentary rock of marine origin. It is considered as a basic raw material with a wide field of application such as cosmetics, water pollution control, pharmaceuticals, polymer reinforcement, drink filtration, water purification and clarification, ecological insecticides, etc...). In order to promote this natural product that our country contains in large quantities (Bas Chelif Basin), particularly in the region of Mostaganem (Ouled Djilali and Irghbel) and Sig-Mascara, we have carried out systematic work of physicochemical characterization and analysis of microfloristic composition. The objective is to identify and target the areas of interest of this deposit for certain industrial applications.

For that, various characterization methods and techniques were used such as: light microscopy (LM), X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence spectrometry (XRF), Fourier transform InfraRed spectroscopy (FTIR), N_2 adsorption-desorption, and scanning electron microscopy (SEM) as well as other complementary analysis tests.

The LM observations allow qualitative and quantitative microfloristic exploitation. A reliable and reproducible methodology for the extraction of diatoms has been developed. Different diatoms assemblages describing the paleo-environmental conditions in the sedimentation time were identified. They are all marine and incidentally brackish-marine species.

The XRD results of the diatomite samples in the investigated areas shows that the principal minerals were calcite, and amorphous silica (Opal); high content of crystal phases was also registered. Chemical evaluation showed that the samples were mainly constituted of silica and calcium carbonates. The FTIR spectra allowed determining the basic characteristic silica bands regarding of diatomite samples, the main peaks in the infrared spectra reflected Si-O-H, $CaCO_3$, Al-O-Si and Si-O-Si functional groups. While the BET and SEM investigations revealed that the studied diatomite material having a high porous structure and was very rich in diatoms.

The various diatomite samples were tested for the removal of the methylene blue dye (MB) in aqueous solution. Effect of some reaction parameters influencing adsorption was studied. The application of models of the kinetics and adsorption equilibrium was detailed. The adsorption test results showed the efficiency of the adsorbent employed for the MB discoloration. In ultra-pure water, the maximum adsorbed quantity (Q_{max}^0) of MB dye was 125.64 mg/g (for IGB04 sample) at 25 °C and pH 7.0.

The natural diatomite of the Irghbel site turns out to be formed in a deeper marine environment; it is more silicified and therefore more interesting from an exploitation point of view.

Keywords: Diatomite, diatoms, Characterization, Paleoenvironment, Lower Chélif bassin Adsorption, Methylene blue, Isotherm model.

ملخص

الدياتوميت هو صخرة رسوبية سيليسية من أصل بحري. تعتبر مادة خام أساسية ذات مجال واسع للتطبيق مثل مستحضرات التجميل ، ومكافحة تلوث المياه ، والمستحضرات الصيدلانية ، وتقوية البوليمر ، وترشيح المشروبات ، وتنقية المياه وتنقيتها ، والمبيدات الحشرية البيئية ، إلخ (...). من أجل الترويج لهذا المنتج الطبيعي الذي يحتويه بلدنا بكميات كبيرة (حوض باس شليف) ، ولا سيما في منطقة مستغانم (أولاد جيلالي وإرجبل) وسيف ماسكارا ، قمنا بعمل منهجي للتوصيف الفيزيائي والكيميائي وتحليل الميكروفلوريسنت تكوين. الهدف هو تحديد واستهداف مجالات الاهتمام بهذا الإبداع لبعض التطبيقات الصناعية. وهذا باستعمال طرق فزيائية وكيميائية مختلفة مثل: الفحص بالمجهر الضوئي (LM) ، حيود الأشعة السينية (XRD) ، مطياف الأشعة السينية (XRF) ، مطياف فورييه بالأشعة تحت الحمراء (FTIR) ، امتزاز (N2) ، المجهر الإلكتروني بالمسح (SEM) ، بالإضافة إلى اختبارات تحليلية تكميلية. تم أخرى. . كذلك مكنت الملاحظات ب (LM) من تصنيف مجموعات الطحالب المجهرية المرتبطة بالظروف البيئية. تطبيق منهجية موثوقة وقابلة للتكرار لاستخراج الدياتومات المستحثة. معظمها كانت بحرية. تظهر نتائج (XRD) أن المعادن الرئيسية المكونة هي الكالسييت والسيليس غير المتبلورة (أوبال)؛ كما تم تسجيل نسبة عالية من كرساتلات أخرى. اما المكون الكيميائي الاساسي فتمثل في كربونات الكالسيوم والسليسيوم. في حين حددت (FTIR) المجموعات الوظيفية للأسطح (Si-O-Al , CaCO3, Si-O-SiO, Si-H) . مكنت (SEM) من تعريف البنية المسامية العالية حيث كانت غنية جدا بالطحالب المجهرية. تم اختبار عينات الدياتومايت المختلفة لإزالة صبغة الميثيلين الزرقاء المنحلة في الماء والعوامل المؤثرة على الامتزاز. تم تطبيق عدة نماذج متعلقة بحركية وتوازن الامتزاز. أظهرت نتائج الاختبار المتحصل عليها الكفاءة العالية للمادة المستخدمة في ازالة بروميد الميثيل. ، تمثلت الكمية القصوى الممتازة ($Q^{\circ}max$) في 125.64مغ / غ لعينة(IGB04) عند 25 درجة مئوية ودرجة الحموضة 7.0. قد يكون الدياتوميت المستغانمي مادة ماصة واعدة منخفضة التكلفة لإزالة الأصباغ من الماء. **الكلمات المفتاحية:** الدياتومايت ، الدياتومي (الطحالب المجهرية) ، الخصائص ، البيئة القديمة ، امتزاز حوض الشلف السفلي، الميثيلين الأزرق ، نماذج متساوية الحرارة.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents, je vous remercie pour votre patience, amour et sacrifices...

À mon frère et mes chères sœurs.

À mon Professeur Chernai Safia Hamdi ; merci pour votre douceur, et votre soutien

À tous mes collègues et amis ;

À tous ceux qui me sont chers.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de conservation et de valorisation des ressources marines (LCVRM) annexe de l'École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), et les laboratoires de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnements (LPSP), Université d'Oran 2, sous la direction de Mme. CHERNAI Safia HAMDI, professeur à ENSSMAL et Mr. MANSOUR Bouhameur professeur à Université d'Oran 2, à qui j'adresse mes profonds respects et reconnaissances pour leurs aides, leurs confiances, leur soutien et leurs remarques fructueuses durant la réalisation de ce travail de recherche, qu'ils trouvent ici ma profonde gratitude.

Je ne saurais comment exprimer toute ma reconnaissance à professeur HAMDI Boualem, et Mme. HADJAR Hafida pour avoir suivi de très près ce travail.

Je tiens d'abord à remercier Mme. ALOUACHE Souhila enseignante à ENSSMAL, pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Mes vifs remerciements s'adressent au Mr. DRICHE Mohamed enseignant à ENSSMAL, Mr. ATIF K. F. Tewfik enseignant à l'université d'Oran 2, et Mr. KHELIFI Aissa professeur à USTHB pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et pour nous avoir accepté bien volontiers de juger cette thèse et d'en être examinateur. Je remercie également les invités.

Ma gratitude va aux Mr. OUAKOUM Abdelkader, Mme. HOUMA Fouzia et Mr. BACHARI Nour El Islam pour leurs aides permanentes.

Je remercie également tous les doctorants, les ingénieurs, les techniciens et l'équipe avec qui j'ai eu la chance de travailler à ENSSMAL et aux laboratoires de LPSP-Oran. Que mes remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Table des Matières

INTRODUCTION	20
--------------------	----

PARTIE A. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

A .1. Les diatomées fossiles	
A .1. 1. Qu'est-ce qu'une diatomée ?.....	24
A. 1. 2. Morphologie des diatomées.....	24
A. 1. 3. Symétrie du frustule.....	25
A. 1. 4. Ornementation du frustule.....	26
A. 1. 5. Cytologie des diatomées.....	27
A. 1. 6. Reproduction des diatomées.....	29
A. 1. 7. Ecologie des diatomées.....	30
A. 1. 8. Classification des diatomées.....	31
A. 1. 9. Intérêt des diatomées.....	34
A. 1. 10. Intérêt biostratigraphique et environnemental	34
A. 2. La diatomite.....	35
A. 2. 1. Origine de la diatomite.....	36
A. 2. 2. Propriétés physico-chimiques de la diatomite	36
A. 2. 3. Domaine d'utilisation de la diatomite.....	37
A. 2. 4. Production mondiale et nationale de la diatomite.....	39
A. 3. Application de la diatomite?.....	40
A. 3. 1. Définition et principe général de l'adsorption.....	40
A. 3. 2. Description du processus d'adsorption.....	41
A. 3. 3. Types d'Adsorption.....	42
A. 3. 4. Mécanisme d'adsorption.....	43
A. 3. 5. Les facteurs qui influencent l'adsorption.....	43
A. 3. 6. Techniques d'étude de l'adsorption.....	44
A. 3. 7. Aspect quantitatif de l'adsorption.....	44
A. 3. 8. Cinétique d'adsorption.....	45
A. 3. 9. Adsorption à l'équilibre.....	46
A. 3. 10. Les isothermes d'adsorption.....	47
A. 4. Les colorants	49
A. 4. 1. Classification des colorants.....	49
A. 4. 2. Bleu de méthylène.....	50
A. 4. 3. Impact des colorants sur l'environnement.....	50

PARTIE B. MATERIEL ET METHODES

B. 1. Zones d'étude	53
B. 1. 1. Introduction.....	53
B. 1. 2. Cadre géographique du bassin du Bas Chélif.....	53
B. 1. 3. Site d'Irghbel.....	54
B. 1. 4. Site d'Ouled Djilali	54
B. 1. 5. Site de SIG.....	55
B. 1. 6. Cadre géologique.....	56

B. 1. 7. Description faciologiques des échantillons.....	56
B. 2. Techniques d'identification des diatomées fossiles.	58
B. 2. 3. Montage et observation des lames.....	59
B. 2. 4 Détermination des taxons.....	60
B. 2. 5. Comptage.....	60
B. 3. Techniques et méthodes de caractérisation de la diatomite naturelle	61
B. 3. 1. Préparation des échantillons pour analyse physicochimique.....	61
B. 3. 2. Détermination de la perte au feu à 950 °C	61
B. 3. 3. Détermination de la composition chimique par la fluorescence à rayons X (XRF).....	62
B. 3. 4. Détermination des structures cristallines par la diffraction à rayons X (XRD).....	63
B. 3. 5. Spectroscopie Infra- Rouge à Transformée de Fourier (FTIR).....	64
B. 3. 6. Microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM).....	65
B. 3. 7. La méthode de Brunauer, Emmett et Teller (BET).....	66
B. 3. 8. Détermination de pourcentage de Chlorures par la méthode de MOHR.....	66
B. 3. 9. Caractéristiques types des échantillons diatomitiques	67
B. 3. 9. 1. La densité apparente.....	67
B. 3. 9. 2. Le pH.....	67
B. 3. 9. 3. Détermination du taux d'humidité résiduelle.....	67
B. 3. 9. 4. Détermination du taux d'adsorption de l'eau	68
B. 3. 9. 5. Détermination du taux d'adsorption des huiles.....	68
B. 4. Application de la diatomite	68
B. 4. 1. Dispositif expérimental.....	68
B. 4. 2. La spectroscopie d'absorption UV-Visible	69
B. 4. 3. Étalonnage.....	70
B. 4. 4. Cinétique d'adsorption.....	70
B. 4. 5. Isothermes d'adsorption.....	71
B. 4. 6. Effet de la variation de la quantité de l'adsorbant.....	71
B. 4. 7. Effet de la variation de la température.....	71
B. 4. 8. Effet de la variation du p H	71

PARTIE C. RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE C. I. DIATOMÉES ET RECONSTITUTIONS DES PALEOENVIRONNEMENTS

C. I. Diatomées et reconstitutions des paléoenvironnements	73
C. I. 1. Introduction	73
C. I. 2. Description des taxons.....	73
C. I. 2. 1. Diatomées.....	73
C. I. 2. 2. Silicoflagellés	109
C. I. 3. Groupes écologiques de diatomées.....	111
C. I. 4. Biodiversité des diatomées	118
C. I. 4.1. Site Ouled Djilali	118
C. I. 4.2. Site d'Irghbel.....	122
C. I. 4.3. Le site Sig.....	126
C. I. 5. Assemblages.....	130
C. I.5.1. Composition et signification des assemblages.....	130

C. I. 5.2. Discussion.....	133
C. I. 6. Analyse de paléoenvironnement des diatomites	134
C. I. 6. 1. Paléosalinité.....	134
C. I. 6. 2. Paléobathymétrie.....	135
C. I. 6. 3. Paléotempérature.....	136

CHAPITRE C. II CARACTERISTIQUES DE LA DIATOMITE

C. II. 1. Propriétés macroscopiques des échantillons.....	138
C. II. 2. La perte au feu à 950 °C	138
C. II. 3. Composition chimique par spectrométrie à Fluorescence X (XRF).....	139
C. II. 4. Composition minéralogique par diffraction aux rayons X (DRX).....	142
C. II. 5. Spectroscopie Infra- Rouge à Transformée de Fourier (IRTF).....	146
C. II. 6. Observation par le microscope électronique à balayage (MEB).....	149
C. II. 7. Etude de la texture poreuse par adsorption de N ₂ à 77 K.....	152
C. II. 8. Caractéristiques types des diatomites.....	155

CHAPITRE C. III. APPLICATION DELA DIATOMITE

C. III. 1. Cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur la diatomite.....	157
C. III. 1. 1. Modélisation linéaire de la cinétique.....	158
C. III. 2. Isothermes d'adsorption du BM	161
C. III. 3. Effet de la masse de diatomite sur l'adsorption.....	165
C. III. 4. Effet de la température sur l'adsorption.....	167
C. III. 5. Effet du pH de la solution sur l'adsorption.....	168
C. III. 6. Discussions.....	169

CONCLUSION	172
-------------------------	-----

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	176
--	-----

ANNEXES.

PLANCHES.

GLOSSAIRE

Liste des Tableaux

N°	Titre	Page
A.1	Comparaison des cinq classifications couvrant la période 1930-1979	32
A. 2	Composition chimique de la diatomite du Sig-Mascara (Balaska A. et al, 2012).	36
A. 3a	Production mondiale de la diatomite.	40
A. 3b	Production Algérienne de la diatomite.	
A. 4	Caractéristiques des deux types d'adsorption.	42
A. 5	Les différentes classes d'isothermes	47
B. 6	Description morphologiques des échantillons	57
B. 7	Gamme d'étalonnage.	70
C. II. 8	Pourcentage de la perte au feu pour les diatomites du site Irghbel.	138
C. II. 9	Pourcentage de la perte au feu pour les diatomites d'Ouled Djilali.	139
C. II.10	Pourcentage de la perte au feu pour les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	139
C. II.11	Composition chimique des diatomites du site d'Irghbel.	140
C. II.12	Composition chimique des diatomites d'Ouled Djilali.	140
C. II.13	Composition chimique des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	140
C.II.14	Composition minéralogique des diatomites naturelles d'Irghbel.	142
C.II.17	Composition minéralogique des diatomites naturelle d'Ouled Djilali.	145
C.II.18	Composition minéralogique des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	146
C. II.19	Tableau récapitulatif des propriétés texturales des diatomites analysées.	155
C. II.20	Caractéristiques types des diatomites d'Irghbel.	156
C. II.21	Caractéristiques types des diatomites d'Ouled Djilali.	156
C. II.22	Caractéristiques types des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	156
C.III.23	Paramètres calculés de la modélisation de la cinétique d'adsorption par le modèle du Pseudo second ordre type 1.	160
C.III.24	Equations et paramètres des modèles isothermes utilisés.	162
C.III.25	Paramètres des isothermes d'adsorption à l'équilibre de BM sur la diatomite d'Irghbel.	163
C.III.26	Paramètres des isothermes d'adsorption à l'équilibre de BM sur la diatomite d'Ouled Djilali.	164
C.III.27	Paramètres des isothermes d'adsorption à l'équilibre de BM sur la diatomite de la nouvelle exploitation Sig.	164
C.III.28	Comparaison de la capacité maximale d'adsorption de BM (Q^0_{max}).	165
C.III.29	Tableau comparatif et récapitulatif des résultats trouvés.	170

Liste des Figures

N°	Titre	Page
A. 1	Représentation du frustule d'une diatomée pennale (Gelabert A., 2005).	25
A. 2	Structure des Diatomées (Paulmier G., 1997).	28
A. 3	Figure: (1) : Illustration de la régression de taille du frustule lors des multiplications végétatives successives par bipartition. (2) : Schéma de la division mitotique et de la reproduction sexuée (auxosporulation) des Diatomées (Peng C. et al., 2012).	29
A. 4	Classification de Round et al. (1990).	33
A. 5	La diatomite algérienne.	35
A. 6	Les quatre principaux type d'isothermes selon Giles C.H. et al., 1960	47
B. 7	Situation géographique du bassin du Bas Chéelif.	54
B. 8	Situation géographique du secteur d'échantillonnage Irghbel.	55
B. 9	Situation géographique du secteur d'échantillonnage Ouled Djilali.	55
B. 10	Situation géographique du secteur d'échantillonnage Sig.	56
B. 11	Traitement physico-chimiques des échantillons pour l'observation au microscope optique.	59
B. 12	Montage des lames pour les observer au microscope optique.	60
B. 13	Critères d'unité de comptage.	61
B. 14	Illustration des équipements de la fluorescence à rayons X.	62
B. 15	Illustration des équipements du diffractomètre à rayons X.	64
B. 16	Dispositif d'adsorption en Batch.	69
C. I. 17	Pourcentage des espèces centriques et pennées dans les diatomites d'Ouled Djilali.	119
C. I. 18	Pourcentage des individus centriques et pennées dans les diatomites d'Ouled Djilali.	119
C. I. 19	Pourcentage des espèces centriques par genre dans les diatomites d'Ouled Djilali.	119
C. I. 20	Pourcentage des espèces pennées par genre dans les diatomites d'Ouled Djilali.	120
C. I. 21	Biodiversité des populations des diatomées du site Ouled Djilali.	121
C. I. 22	Pourcentage d'espèces centriques et pennées dans les diatomites d'Irghbel.	122
C. I. 23	Pourcentage des individus centriques et pennés dans les diatomites d'Irghbel.	122

C. I. 24	Pourcentage des espèces centriques par genre dans les diatomites d'Irghbel.	122
C. I. 24	Pourcentage des espèces pennées par genre dans les diatomites d'Irghbel.	123
C. I. 26a	Biodiversité des populations des diatomées du' Irghbel (la partie basale).	124
C. I. 26b	Biodiversité des populations des diatomées d'Irghbel (la partie supérieure).	125
C. I. 27	Pourcentage d'espèces centriques et pennées dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	126
C. I. 28	Pourcentage des individus centriques et pennés dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	126
C. I. 29	Pourcentage des espèces centriques par genre dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	126
C. I. 30	Pourcentage des espèces pennées par genre dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	127
C. I. 31	Biodiversité des populations des diatomées du site Sig.	128
C. I. 32	Diversité spécifique des diatomées dans les sites étudiés.	129
C. I. 33	Biodiversité des populations de diatomée dans les trois sites étudiés.	129
C. I. 34	Biodiversité des populations de diatomées marines, saumâtres et d'eau douce dans les trois sites.	134
C. I. 35	Biodiversité des populations de diatomées planctoniques. tychoplanctoniques et benthiques des trois sites.	135
C. I. 36	Biodiversité des populations de diatomées océanique, néritico-océaniques et néritico-littorales, des trois sites.	136
C. I. 37	Biodiversité des populations de diatomées ; formes chaudes et formes froides dans les trois sites.	137
C.II. 38	Les diffractogrammes des différents échantillons d'Irghbel.	143
C.II. 39	Les diffractogrammes des diatomites d'Ouled Djilali.	145
C.II. 40	Les diffractogrammes des diatomites de la nouvelle Exploitation Sig.	146
C.II.41a	Spectres IRTF des échantillons diatomitiques IGB01-IGB05 d'Irghbel.	148
C.II.41b	Spectres IRTF des échantillons diatomitiques IGB06-IGB10 d'Irghbel.	148
C.II. 42	Spectres IRTF des échantillons diatomitiques d'Ouled Djilali.	149
C.II. 43	Spectres IRTF des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.	149

C.II. 44	Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Irghbel (IGB09) : diatomée centrique (A) = <i>Coscinodiscus radiatus</i> . (B) = <i>Actinoptychus senarius</i> .	150
C.II. 45	Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Irghbel (IGB09) : (C) = épine cassé, (D) = diatomée centrique.	151
C.II. 46	Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Ouled Djilali (OD03) : (E) = vue de surface à faible grandissement, (F) = diatomées centriques.	151
C.II. 47	Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Ouled Djilali (OD03) : (G) = diatomée pennée, (H) = silicoflagellé = <i>Dictyota fibula</i> .	151
C.II. 48	Images MEB révélant la microstructure de la diatomite du Sig (Sig 01) : (I) = frustules cassées, (J) = diatomée pennée = <i>Thalassionema nitzschoides</i> .	152
C.II. 49	Images MEB révélant la microstructure de la diatomite du Sig (Sig 01) : (K) = diatomée pennée = genre <i>Nitzschia</i> , (L) = diatomée centrique = <i>C. curvatulus</i> .	152
C.II. 50	Isothermes d'adsorption-désorption des diatomites IGB01-IGB05 d'Irghbel.	153
C.II. 51	Isothermes d'adsorption- désorption des 5 derniers échantillons d'Irghbel.	154
C.II. 52	Isothermes d'adsorption- désorption des échantillons d'Ouled Djilali.	154
C.II. 53	Isothermes d'adsorption- désorption des échantillons de la nouvelle exploitation Sig.	154
C.II. 54	Cinétique d'adsorption du BM sur la diatomite d'Irghbel.	157
C.II. 55	Cinétique d'adsorption du BM sur la diatomite d'Ouled Djilali.	158
C.II. 56	Cinétique d'adsorption du BM sur la diatomite de la nouvelle exploitation Sig.	158
C.II. 57	Linéarisation du modèle du pseudo second ordre type 1 (OD05).	159
C.II. 58	Linéarisation du modèle du pseudo second ordre type 1 (IGB04).	159
C.II. 59	Linéarisation du modèle du pseudo second ordre type 1 (Sig02).	160
C.II. 60	Isothermes d'adsorption du BM sur la diatomite d'Ouled Djilali (OD05).	162
C.II. 61	Isothermes d'adsorption du BM sur la diatomite d'Irghbel (IGB04).	162
C.II. 62	Isothermes d'adsorption du BM sur la diatomite de la nouvelle exploitation Sig (SIG 02).	162

C.II. 63	Quantités adsorbées du BM en fonction de la masse de la diatomite (Ouled Djilali).	166
C.II. 64	Quantités adsorbées du BM en fonction de la masse de la diatomite (Irghbel).	166
C.II. 65	Quantités adsorbées du BM en fonction de la masse de la diatomite (nouvelle exploitation Sig).	166
C.II. 66	Quantités adsorbées du BM en fonction de la température (Ouled Djilali).	167
C.II. 67	Quantités adsorbées du MB en fonction de la température (Irghbel).	167
C.II. 68	Quantités adsorbées du BM en fonction de la température (nouvelle exploitation Sig).	167
C.II. 69	Quantités adsorbées du BM en fonction du pH (Ouled Djilali).	168
C.II. 70	Quantités adsorbées du BM en fonction du pH (Irghbel).	168
C.II. 71	Quantités adsorbées du BM en fonction du pH (nouvelle Exploitation Sig).	168

Liste des Formules

N°	Titre	Page
1	Concentration de surface	44
2	La quantité adsorbée	45
3	L'équation de Lagergren	45
4	L'intégration de l'équation Lagergren	45
5	Equation de Ho et McKay	46
6	L'intégration de l'équation de Ho et McKay	46
7	Relation de l'isotherme de Langmuir	48
8	Linéarisation de relation de l'isotherme de Langmuir	48
9	Equation de Freundlich	48
10	La linéarisation de l'équation de Freundlich	48
11	Le modèle de Brunauer, Emmet et Teller	49
12	Equation de la perte au feu	62
13	la loi de Bragg	63
14	Détermination de pourcentage de Chlorures par la méthode de MOHR	66
15	Equation de la densité apparente	67
16	Le taux d'humidité résiduelle	67
17	Taux d'adsorption de l'eau	68
18	Taux d'adsorption des huiles	68
19	Loi de BEER-LAMBERT	69
20	L'absorbance	69
21	Conversion des volumes	153
22	Modèle pseudo-premier ordre	158
23	Modèle pseudo-second ordre	159

Liste des Symboles

Symbole	Définition	Dimension
Mt	Millions de tonnes	
Γ	La concentration de surface	mol/m ²
t	Le temps	min
C _i	La concentration de la solution	mol/l
V	volume	ml, l
m	La masse	Mg, g
K ₁	La constant du vitesse d'adsorption pour le premier ordre	min ⁻¹
q _e	La quantité d'adsorbat à l'équilibre	mg g ⁻¹
log	Logarithme décimale	
K ₂	Constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre	g mol ⁻¹ min ⁻¹
C _e	La concentration à l'équilibre	mg/l
Q ⁰ _{max}	La capacité maximale d'adsorption.	mg/g
Kl	Constante d'équilibre (Langmuir)	
K _F	Constante de Freundlich	
n	Paramètre énergétique	
q _e	Capacité adsorbée à l'équilibre	mg/g
q _m	Capacité de rétention monomoléculaire	mg/g
C _s	Concentration du soluté dans la phase liquide	mg/l
λ	Longueur d'onde	nm
da(*)	La densité apparente	g/cm ³
H%	Le taux d'humidité résiduelle	
% Ads	Taux d'adsorption de l'eau	
H ₂ O		
% Ads huiles	Taux d'adsorption des huiles	
% Cl	Taux de chlorure	
A	Absorbance	
DO	Densité optique	
I	Intensité de l'énergie lumineuse	
ϵ	Coefficient d'extinction de la lumière	
L	Longueur	
S _{BET}	Surface BET	m ² /g
S _{ext}	Surface externe	m ² /g
ϕ	Diamètre	
L	Longueur	
l	Largeur	

Liste des Abréviations

Symbole	Définition
U.S.G.S	United States Geological Survey
IR	Infrarouge
RMN	Résonance magnétique nucléaire
pH	Potentiel d'hydrogène
ENOF	Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles
DiATAI	La société des diatomées d'Algérie
OFEV	L'Office fédéral de l'environnement
D.S.D.P.	Deep Sea Drilling Project
O.D.P.	Ocean Drilling Project
BET	Brunauer, Emmet et Teller
Min	Minimum
Max	Maximum
PAF	La perte au feu
<i>p</i>	Poids
XRF	Spectrométrie élémentaire par Fluorescence X
µm	Micromètre
nm	Nanomètre
DRX	La diffraction des rayons X
FTIR	Spectroscopie Infra- Rouge à Transformée de Fourier
MEB ou SEM	Microscopie électronique à balayage
kV	Kilovolt
HCl	Chlorure d'hydrogène
H ₂ O ₂	Eau oxygénée
B.M	Bleu de méthylène
T	Température
IGB	Irgobel
OD	Ouled Djilali
SIG	Sig
N ₂	Azote
P/P ₀	Pression relative
STP (TPN)	Standard Température Pression
EHR	Ehrenberg
CEMAGREF	Centre d'Étude du Machinisme Agricole et du Génie Rural des Eaux et Forêts

INTRODUCTION

Introduction

Le Miocène supérieur est marqué par de fortes accumulations de silice biogénique dans le monde. Par son extension géographique, les accumulations diatomitiques constituent un des événements sédimentaires les plus marquants et une des composantes importantes des dépôts du Messinien du pourtour méditerranéen (Pestrea S. *et al.*, 2002 ; Mansour B. *et al.*, 2008). Elles portent plusieurs appellations à savoir : kieselguhr, diatomées fossiles, farine fossile, terre d'infusoire, tripoli et farine de diatomées. C'est une roche sédimentaire siliceuse, constituée essentiellement des frustules de diatomées (Moret L., 1964). L'étude des associations des diatomées fossiles dans les dépôts diatomitiques, permis de préciser le milieu de sédimentation (température, salinité, luminosité, profondeur, ...), reconstituer les paléoenvironnements et retracer leurs évolutions au cours du temps, et d'établir de bonnes échelles stratigraphiques (Gasse F. *et Tékaïa F.*, 1979).

En Algérie, les dépôts de diatomées fossiles se situent dans un large bassin périphériques du méditerranée, appelé le bassin Bas de Chélif, accompagnent le développement de plateformes carbonatées à caractère récifal (Pestrea S. *et al.*, 2003).

En bio-géo-technologie, cette roche siliceuse par ses propriétés physicochimiques (porosité, sa faible densité, et richesse en silice ...), en plus de son faible coût économique et abondance dans le milieu naturel, trouve donc différentes applications en développement durable et environnement : purification des eaux potables ; agent de filtration ; absorption des pesticides ; fabrication des antibiotiques...Etc.

De nos jours, la pollution de l'eau et plus spécialement les eaux marines est devenue un enjeu important, qui peut provoquer une forte incidence environnementale (Rodier J., 1978 ; Alain A. *et Roger K.*, 2004 ; Bouras D. *et al.*, 2007). Cette agression des rejets altère la qualité de l'eau et de la biodiversité existante composante de cet écosystème aquatique et par conséquent, la santé publique. De plus, les insuffisances existantes dans la protection des eaux face à ces risques peuvent contribuer à l'altération des eaux de même les eaux destinées à la consommation (Afoufou F. *et Achour S.*, 2002). Parmi les différents contaminants affectant les écosystèmes aquatiques, les colorants appartiennent à l'un des groupes les plus grands et les plus importants généralement rejetés dans les eaux usées provenant de différents secteurs industriels tels que le textile, le cuir, l'impression, le plastique, et le cosmétique, utilisent des composés chimiques colorés naturels ou synthétiques pour la coloration de leurs produits (Chiou M-S. *et Li H-Y.*, 2003), et qui

Introduction

présentent une toxicité considérable pour les êtres humains et les organismes vivants ([Akti F., 2018](#) ; [Blanco S.P.D.M. et al., 2017](#) ; [Barakat M-A., 2011](#)), par ses rejets caractérisés par de fortes colorations, de fortes variations de pH et des charges organiques élevées ([Garg V-K. et al., 2004](#)).

Par conséquent, la dépollution de l'eau de ces colorants est devenue une préoccupation constante. En réponse, plusieurs méthodes ont été étudiées pour évaluer leur applicabilité et leur efficacité d'élimination telles que les méthodes biologiques ([Cemagref, 2004](#)), la précipitation chimique ([Tchobanoglous G. et al., 2003](#)), l'échange ionique ([Chen J-P. et al., 2002](#)), la coagulation-floculation ([Youcef L. et Achour S., 2005](#)), et l'adsorption, notamment sur charbon actif, qui a été considérée comme la plus efficace et la plus largement utilisée ([Namasivayam C. et al., 1998](#) ; [Sharma Y-C. et al., 2009](#)). Néanmoins, en raison du prix élevé et du processus de régénération difficile des charbons actifs, l'attention du monde entier s'est concentrée sur la découverte d'adsorbants alternatifs tels que la bentonite ([Ouakouak A. et al., 2020](#)), les boues de déchets ([Sarioglu M. et al., 2006](#)), les algues marines ([Tahir H. et al., 2008](#)), les cendres volantes de bagasse ([Gupta V-K. et al., 2000](#) ; [Albanis T-A., 2000](#)), et écorce d'amande ([Benaïssa H., 2008](#)). Dans ce contexte, nous avons rapporté l'application de diatomées fossiles comme adsorbant écologique d'origine marine qui allie efficacité, faible coût, et le concerne préoccupant de la valorisation des matériaux naturels.

Le travail présent dans ce manuscrit porte essentiellement sur la valorisation de la diatomite Messinienne (bassin Bas Chélif) ramenée de trois différents sites (Sig-Mascara, Ouled Djilali et Irghbel de Mostaganem), dans le but de comparer leurs propriétés et caractéristiques naturelles et de tirer une conclusion et cerner l'interface entre la nature chimique, la composition microfloristique de ce matériau ainsi l'environnement de sa formation.

Notre étude comprend :

- La première partie nommée « Recherche bibliographique », définit le cadre de cette thèse et introduit les différents thèmes abordés (les diatomées fossiles, la diatomite et son application dans le domaine de l'adsorption).
- La seconde partie nommée « Matériels et méthodes », sera consacrée à la présentation des zones d'études, l'identification de la composition microfloristique, et les essais

Introduction

expérimentaux, ainsi que les principaux protocoles et les outils utilisés au cours de ce travail.

- La troisième partie « Résultats et discussions », dans lesquelles nous discuterons les résultats relatifs à la deuxième partie. Elle sera divisée en trois chapitres, le premier chapitre comprend les résultats et les discussions de l'étude paléoenvironnementale des diatomées fossiles ; le deuxième chapitre comprend les caractéristiques physicochimiques de la diatomite ; et le troisième chapitre exposera les résultats de l'application de la diatomite dans l'élimination du bleu du méthylène. L'ensemble de nos résultats seront comparés à ceux de plusieurs travaux qui ont été publiés par différents chercheurs.

Enfin, nous terminerons ce travail par une conclusion générale qui donnera un rappel sur l'objectif de la thèse et qui rassemblera tous les résultats des essais réalisés avec une proposition de quelques perspectives.

PARTIE A
RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE

A. 1. Les diatomées fossiles

A. 1. 1. Qu'est-ce qu'une diatomée ?

Les diatomées ou de bacillariales, sont des micro-algues unicellulaires solitaires et/ou coloniales à plastes brunes ou jaunes appartenant à l'embranchement des Chromophytes et la classe des diatomophycées ou bacillariophycées (Ramade F., 2000 ; Gasse F. et Tékaiä F., 1979 ; Paulmier G., 1997), elles sont photosynthétiques, et très répandues dans toutes les eaux, quelles que soit douces, marines ou saumâtres, et même dans les gouttières (Mollo P. et Noury A., 2013). Elles vivent en suspension dans l'eau (planctoniques) en composant l'essentiel du phytoplancton (elles peuvent représenter jusqu'à 80 % du phytoplancton), ou fixées aux fonds (benthiques) à des supports divers (Loir M., 2004 ; Mollo P. et Noury A., 2013).

Les diatomées se caractérisent par la présence d'une paroi rigide faite de silice hydratée nommé frustule. Leur taille est variable de quelques micromètres à plus de 500 µm (Hamadai A., 2015). Les fossiles des diatomées les plus anciens remontent au Crétacé, il y a plus de 180 millions d'années (Lavoie I., et al., 2008 ; Sims et al., 2006 in Bussard A., 2015). Comme les valves de diatomées résistent mécaniquement et chimiquement longtemps (OFEV, 2007), les diatomées mortes, subfossiles et fossiles, peuvent encore être reconnues aujourd'hui et déterminées au niveau de l'espèce pour des études de paléolimnologie (Ruggiu, L. et al., 1998 in Bouchez A. et al., 2010). Le nombre d'espèces actuellement connu est proche de 11 000 (Mansour B., 2004 ; Poulin et Williams, 1998 in Bouchez A. et al., 2010).

A. 1. 2. Morphologie des diatomées

Les diatomées se caractérisent par une coque (test) siliceuse (opale $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), appelée le frustule inséré dans une matrice organique, perforée de trous minuscules pour assurer les échanges avec le milieu, dessinant des stries, des dentelles...avec une esthétique d'une grande finesse (Mollo P. et Noury A., 2013). Le frustule est formé de deux thèques distinctes, légèrement inégales emboîtables comme une boîte et son couvercle (Gasse F. et Tékaiä F., 1979) : la plus grande appelée l'épithèque et la plus petite appelée l'hypothèque (Moret L., 1964). Pour chaque thèque, on distingue une partie transversale (partie faciale) appelée valve, reliée latéralement par des bandes intercalaires appelées (bandes connectives) ceinture ou cingulum. Le frustule est composé donc d'une épithèque

(épivalve + épicingulum) et une hypothèque (hypoalve + hypocingulum) (**figure A. 1**). Dans l'ensemble, les frustules des diatomées montrent deux formes nettement distinguées : frustules circulaires (centrales), ou bilatérales (pennés). Les valves des frustules minérales se conservent dans le sédiment, et c'est à partir de sa géométrie particulière et caractéristique, et de leurs ornements très ordonnés que se font les identifications et les déterminations spécifiques (Bouttin M., 2012).

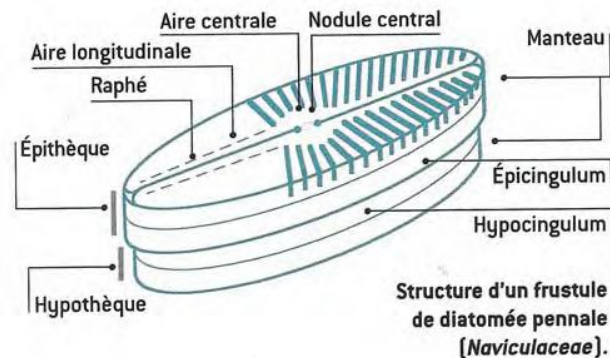


Figure A. 1 : Représentation du frustule d'une diatomée pennale (Gelabert A., 2005).

A. 1. 3. Symétrie du frustule

Le frustule est caractérisé par sa morphologie géométrique qui est définie par le rapport des plans et des axes de symétrie. On distingue deux sortes de diatomées (Peragallo M.M. H. et Peragallo M., 1897 ; Paulmier G., 1997) (**figure A. 2**):

Les diatomées centrales ou centriques : les frustules sont cylindriques et les valves généralement circulaires ou discoïdes, plus ou moins épaisses, mais on peut rencontrer également des formes « tri », « quadri » ou « pluri » angulaires. L'ornementation valvaire est constituée de ponctuations (aréoles), organisée autour d'un point et, généralement, d'aspect rayonnant ou radiaire. Les diatomées pennées : la forme du frustule est plus ou moins allongée, très variable (bâtonnet aux extrémités aciculées ou non au cercle presque parfait, en passant par les formes naviculoïdes, hétéropolaires, ovales, lancéolées, etc). L'ornementation est constituée par des stries, cotes, cloisons, ponctuations ou autres protubérances, et principalement organisée de part et d'autre d'un axe, faisant apparaître une symétrie bilatérale (Bourrelly P., 1981 ; Mathieu R., et Granier B., 2011 ; Ludes B. et Coste M., 1996). L'axe Médian est marqué par une fente longitudinale : le raphé. Selon la distribution de ce dernier, on distingue différentes formes :

- Les formes pennées Araphidées où le raphé est absent sur les deux valves (ex : *Dimerogramma*).
- Les formes Monoraphidées où le frustule est pourvu d'un raphé sur une seule valve alors que l'autre valve est dotée d'une aire axiale hyaline ou pseudo-raphé (ex : *Cocconeis*).
- Les formes Biraphidées où le raphé est présent sur les deux valves (ex : *Navicula* ; *Diploneis*)

Le raphé qui est une zone médiane non ornementée, et lui-même caractérisé par des éléments morphologiques suivants :

- Interrompu en son milieu par un épaississement appelé le nodule central.
- Se termine par des épaississements dans les zones polaires de la valve appelée nodule polaire.
- Présence des pores centraux et apicaux qui sont des fissures du raphé respectivement dans le nodule central et les nodules polaires.

Le raphé peut avoir des positions variables :

- Position centrale en suivant l'axe longitudinal (ex : *Navicula* ; *Diploneis*)
- Position excentrique, elle caractérise généralement les genres qui possèdent un frustule dorso-ventrale (ex : *Amorpha* ; *Epithemia*).
- Position marginale en suivant la circonférence de la valve.

Un cas particulier du raphé est le raphé canal est un raphé particulier qui consiste en un canal tubulaire séparé par des fibules (ex : *Surirella* ; *Epithemia*).

A. 1. 4. Ornementation du frustule

Le frustule présente des formes et des ornements variés, notamment des pores permettant aux cellules d'excréter des polymères. Les plus importants éléments d'ornementation sont (**figure A. 3**) :

- Les aréoles : ce sont des perforations régulières couvrant la surface valvaire. Elles sont généralement de forme circulaire ou polygonales plus ou moins larges arrangées en lignes radiales plus ou moins régulières, droites ou incurvées, ou en lignes excentriques, tangentielles ou encore fasciculées chez les Centriques.
- Les pores : sont substitués par des pores qui s'arrangent en stries (sortes de lignes très fines et ponctuées). Ces pores ou « points » (généralement circulaires) ou des perles sont disposés en lignes droites, rayonnantes ou convergentes constituant ainsi ce qu'on

appelle des stries. Elles sont disposées symétriquement de chaque côté du raphé, ou d'une aire hyaline (McLaughlin R-B., 2012).

- Éminences : sont des zones élevées à structure similaire à celle de la valve, et qui ne se projettent pas au-delà de la valve.
- Cornes : sont des zones élevées très longues et droites de la valve.
- Ocelles : elles représentent un champ siliceux avec un bord épaissi.
- Pseudo-ocelles : représentent un champ d'aréoles qui ont des tailles inférieures aux aréoles disposées sur le reste de la valve.
- Pseudo-nodules : ce sont des structures marginales qui se classifient ainsi :
 - Les pseudo-nodules aréolés : représentent un champ d'aréoles de petite taille dans une zone dépressionnaire au bord de la valve.
 - Les pseudo-nodules aréolés-operculés : une dépression située sur le plan valvaire couverte d'une membrane siliceuse (opercule) possédant une ouverture centrales (ex : *Hemidiscus cuneiformis*).
- Processus : le processus labié est limité, il consiste à un tube à travers la valve et qui se projettent à la surface valvaire. Il forme une fente droite ou couvée entourée de rebord de pores épaissis (ex : *Actinoptychus senarius*).

A. 1. 5. Cytologie des diatomées

Quelle que soit la forme ou la taille de la cellule, elle se compose des mêmes parties de base: le noyau, le cytoplasme, la membrane plasmique et la paroi cellulaire.

L'organisation cellulaire des diatomées est celle des eucaryotes dont elles font partie. Le contenu cellulaire (à l'intérieur du frustule qui ne présente pas d'originalité par rapport à une cellule végétale type) appelé, le protoplasme est composé de trois parties de base, la membrane plasmique, le cytoplasme (parfois appelé cytosome) et le noyau (McLaughlin R-B., 2012 ; Loir M., 2004).

Le cytoplasme est creusé de grandes vacuoles occupant souvent une grande part de la cellule. Le noyau contenant plusieurs nucléoles. Les chromatophores jaunes ou d'un brun doré, contiennent de la chlorophylle (chlorophylle a et b) et les caroténoïdes (xanthophylles, parmi lesquelles la plus abondante est la fucoxanthine, et le carotène), caractéristiques des cellules végétales autotrophes et nécessaires pour l'activité photosynthétique (Paulmier G., 1997). Ces chromatophores sont généralement petits et nombreux dans les diatomées planctoniques. Le métabolisme de la cellule produit principalement des gouttelettes de lipides et de grains de volutine. Ce dernier corps,

longtemps énigmatique, est une forme d'accumulation des phosphates à l'état de polyphosphates. Les diatomées ne produisent pas d'amidon (Bougis P., 1974).

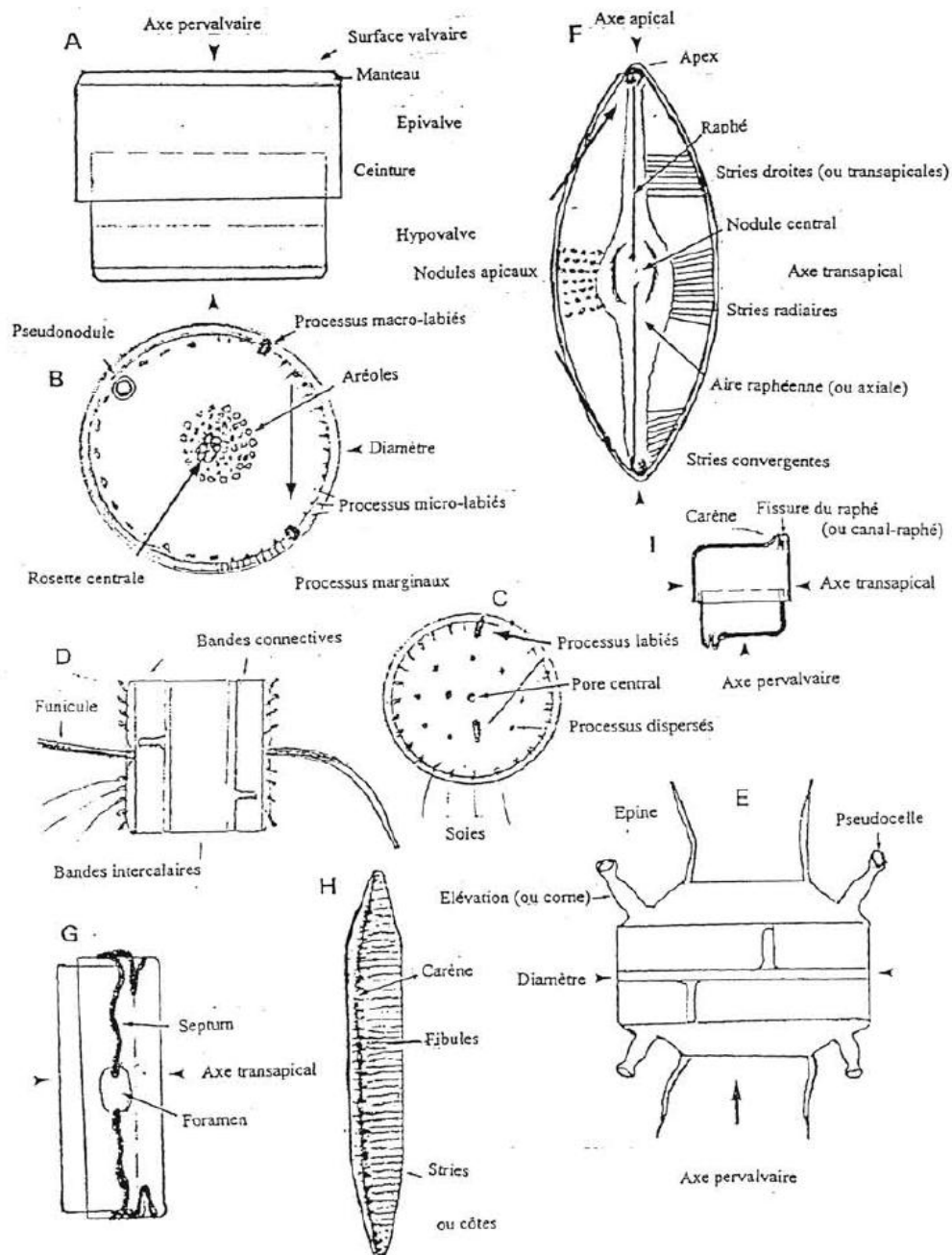


Figure A. 2 : structure des diatomées. A - centrale en vue connective montrant les 2 parties du frustule. B - centrale en vue valvaire (Coscinodiscée et Hemidiscacée). C – centrale (Thalassiosiracée) en vue valvaire. D - Idem en vue connective. E – centrale (Biddulphiacée) en vue connective. - F - pennale (Naviculacée) en vue valvaire. - G - pennale (Fragilariacée) en vue connective. Cellule avec septum (*Grammatophora*). H - pennale (Nitzschiée) en vue valvaire. I - Idem en vue cingulaire étroite ou apicale (Paulmier G., 1997).

A. 1. 6. Reproduction des diatomées

La reproduction est surtout asexuée par division mitotique de la cellule et seulement occasionnellement sexuée (lorsque la taille minimale de l'espèce est atteinte) (**figure A. 3**) (OFEV, 2007).

Dans la division binaire (**multiplication végétative**), les diatomées se reproduisent par écartement des deux valves du frustule et régénération d'une nouvelle hypovalve par sécrétion de la silice hydratée. Chaque division produit une cellule de même taille de la cellule-mère ainsi qu'une cellule plus petite (processus de bipartition). Comme les nouvelles hypothèques s'emboîtent à l'intérieur du frustule de la cellule mère, les divisions cellulaires successives impliquent donc une réduction progressive de la taille des cellules à chaque nouvelle génération (**figure A. 3 .1**). Lorsque la taille de l'espèce atteint un seuil minimal critique environ 30 - 40 % de la taille maximale (Roubeix V., 2007) ou lorsque les conditions environnementales ne sont pas favorables à la multiplication végétative, la reproduction se fait selon un mode sexué (production d'auxospores). La reproduction sexuée permet de regagner la taille maximale de l'espèce (Lavoie I., et al., 2008).

L'auxosporulation ou la reproduction sexuée consiste à la fusion des gamètes des deux diatomées de petite taille pour générer une cellule. Après un certain temps, elle grossit considérablement en devenant auxospore. Celle-ci se différencie en une cellule avec son frustule va se former, trois à quatre fois plus grande que celle de la cellule mère, à partir de laquelle la multiplication végétative peut se poursuivre (**figure A. 3 .2**) (Bottin M., 2012).

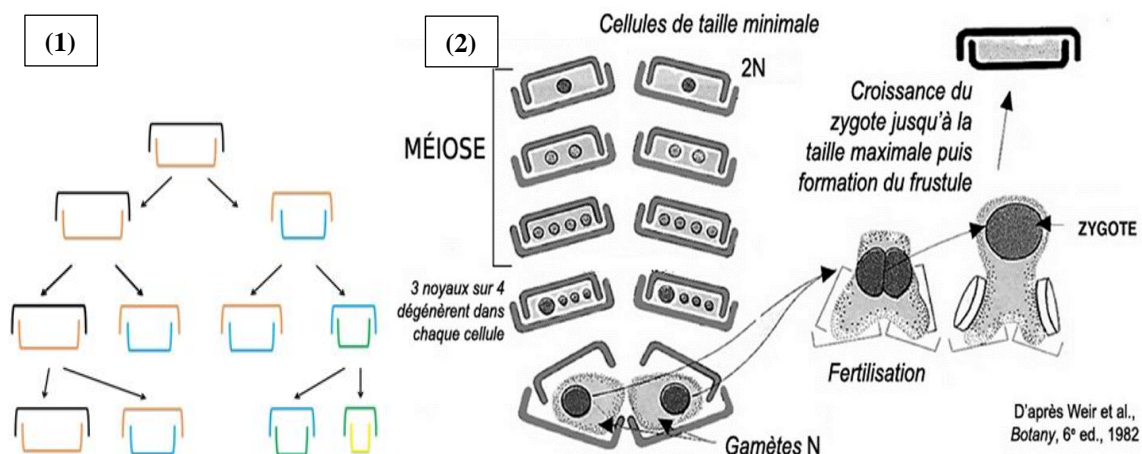


Figure A. 3 : (1) : Illustration de la régression de taille du frustule lors des multiplications végétatives successives par bipartition. (2) : Schéma de la division mitotique et de la reproduction sexuée (auxosporulation) des Diatomées (Peng C. et al., 2012)

A. 1. 7. Ecologie des diatomées

Les diatomées sont des organismes photosynthétiques occupant pratiquement tout l'espace du système phytal (ou photique) dans la plupart des biotopes aquatiques (Loir M., 2004), elles sont présentes aussi dans les milieux aériens et terrestres (Bernard *et al.*, 2004 *in* Debenest T., 2007). Lorsque les conditions deviennent trop défavorables, des spores de repos sont produites par la cellule, dès que les conditions optimales sont rétablies, ces spores germent pour donner une cellule identique (Quéguiner, 2007 *in* Debenest T., 2007). Dans le domaine marin, les diatomées vivent dans la masse d'eau et sont dites planctoniques, tandis que d'autres reposent sur le fond ou sur des supports variés et sont dites benthiques (Loir M., 2004 ; Gardette D., 1979 ; Paulmier G., 1993). Les diatomées planctoniques peuvent être holoplanctoniques, dont la totalité de leur cycle de vie se déroule sans contact avec un substrat ou bien méroplanctoniques lorsqu'une partie de leur cycle de vie nécessite la proximité du rivage.

Selon la répartition des formes planctoniques dans les domaines océaniques et néritiques, on distingue en général :

- Les diatomées planctoniques littorales, ils sont généralement des espèces méroplanctoniques, elles colonisent les environnements littoraux (bande côtière).
- Les diatomées planctoniques néritico-littorales, sont des formes planctoniques connues dans la zone néritique, mais également dans les provinces littorales.
- Les diatomées planctoniques néritico-océaniques, sont des formes holoplanctoniques connues dans la zone néritique, mais également dans les provinces océaniques.
- Les diatomées planctoniques océaniques, sont des formes holoplanctoniques connues dans le domaine océanique (dont la profondeur dépasse les 200 m).
- Les diatomées tychoplanctoniques, ce sont des espèces littorales arrachées de leur substrat et qui se trouvent vivantes dans le plancton, mais sans pouvoir s'y reproduire.
- Les diatomées benthiques, sont des espèces que ce soit sessiles ou vagiles qui vie sur le fond.

Les diatomées centriques sont généralement planctoniques (Debenest T., 2007). Quel que soit le milieu, les diatomées pennales sont en général benthiques. Il est à noter que certaines sont planctoniques comme nombreuses espèces du genre *Nitzschia*, Les diatomées benthiques sont soit fixées (et souvent coloniales), soit pour beaucoup d'espèces, libres et capables de mouvements autonomes (Loir M., 2004).

Les diatomées marines constituent un groupe majeur du phytoplancton et sont à la base de la chaîne alimentaire, supposé être responsable de près de 35 % de la production primaire nette dans les océans (Suroy M., 2013).

Les diatomées sont des organismes très ubiquistes, elles peuplent tous les environnements aquatiques quelles qu'en soient la salinité. La tolérance écologique aux variations de ce paramètre a permis de distinguer deux formes de diatomées. Les diatomées sténohalines qui ne supportent pas les variations de salinité (milieu d'eau douce ou marin), et les diatomées euryhalines avec son pouvoir d'osmorégulation élevé peuvent supporter les conditions variables de salinité (milieu marin ou saumâtre).

En terme de température des eaux, les diatomées peuvent être rencontrées sur toutes les latitudes, depuis l'équateur (les zones chaudes) jusqu'à l'antarctique (les zones les plus froides). Ce qui permet de distinguer différentes catégories selon la tolérance aux variations de températures : les diatomées sténothermes (où les variations de température ne dépassent pas les 5 °C), métathermes (des variations de température de 5 °C à 15 °C), et les eurythermes (les variations de température dépassent les 15 °C).

A. 1. 8. Classification des diatomées

La classification des diatomées s'appuie sur des critères variés tels que leurs modes de vie, en colonie ou cellules isolées, le type de fixation, ou sur la morphologie des plastes et du contenu cellulaire (Ludes B. et Coste M., 1996), et elle est basée sur les caractéristiques morphologiques du frustule en vue valvaire et en vue connective, et sur l'ornementation des valves. Ces caractères morphologiques sont extrêmement variables selon les espèces, mais restent permanents au sein d'une même espèce, transmissibles d'une génération à l'autre (Gold C., 2002).

Les diatomées appartiennent à l'embranchement des Chromophytes (Bouchez A. et al., 2010) classe des Bacillariophyceae (encore appelées Diatomophyceae). La classification des diatomées a évolué au cours du temps, le **tableau A. 1** illustre les classifications proposées durant la période 1930–1979 (Williams D.M. et Patrick Kociolek J., 2011).

Dans l'ensemble, les diatomées se montrent à nous comme divisées en deux sections nettement séparées actuellement, que Grunow a le premier distingué et les avait appelées centrales et bilatérales ; Schutt, qui les a reprises et les a fait finalement prévaloir, les appelées et nous les appellerons comme lui Centriques et Pennées (Peragallo M.M. H. et Peragallo H., 1897).

Tableau A. 1 : Comparaison des cinq classifications couvrant la période 1930-1979

Hustedt (1930a)	Hendey (1937)	Hendey (1964)	Patrick and Reimer (1966)	Simonsen (1979)
Centrales	Discineae Aulacodiscineae Auliscineae Biddulphineae Solenineae [Rutilarioideae]	Coscinodiscineae Aulacodiscineae Auliscineae Biddulphineae Rhizosoleniineae	[Orders] Eupodiscales Biddulphiales Rhizosoleniinales	centrales Coscinodiscineae Biddulphineae Rhizosoleniineae
pennales	Araphidineae Raphidioideineae Monoraphidineae Biraphidineae Surirellineae	Fragilarineae Eunotiineae Achnanthineae Naviculainaeae Surirellineae	Fragilariales Eunotiales Achnanthiales Naviculales	pennales Araphidineae Raphidioideineae

Encore une fois, bien qu'elle ne soit pas claire, la classification [Round et al. \(1990\)](#) pourrait être représentative de cette époque. Elle est la plus adoptée dans tous les travaux récents. Elle consiste à diviser les diatomées en trois classes, tous du même rang (**figure A. 4. a**). Il est clair que les diatomées «araphides» sont plus étroitement liées aux diatomées raphidées (**figure A. 4. b**). Donc, une fois de plus, un grave décalage est généré entre l'arbre et la classification, ce qui rend la classification au niveau de la classe presque sans valeur ([Williams D-M. et Patrick Kociolek J., 2007](#)).

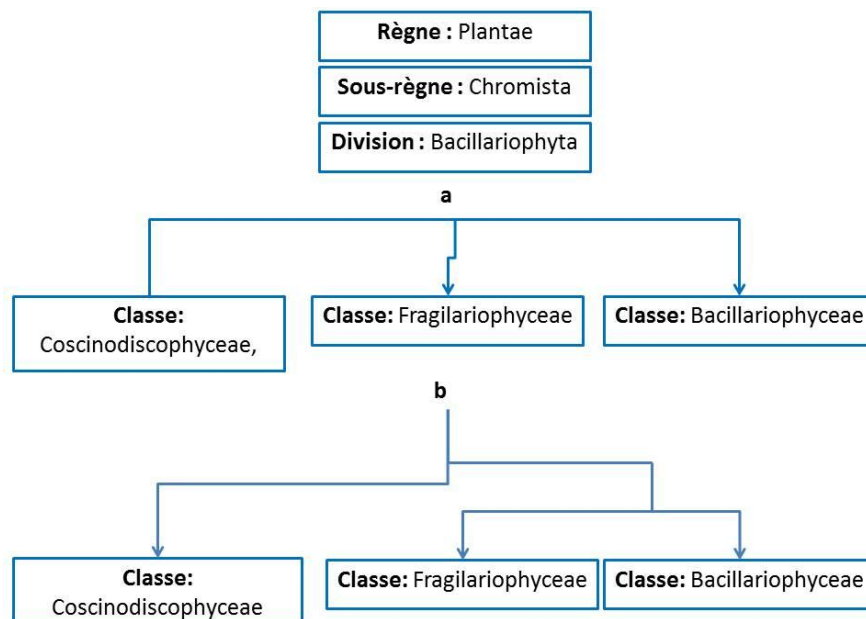


Figure A. 4 : (a) Classification de Round et al. (1990) comme un diagramme de branchement ; (b) une interprétation possible de la «phylogénie» de Round et al. (1990), sous forme de diagramme de branchement ([Williams D-M. et Kociolek J-P., 2007](#)).

Dans la classification de [Round et al. \(1990\)](#), les diatomées (Bacillariophyta) ont été divisées en trois classes : Coscinodiscophyceae, Fragilariophyceae et Bacillariophyceae. Ces trois sont facilement identifiables. Les Coscinodiscophyceae égalaient plus ou moins aux Centrales (Centrobacillariophyceae) et comprenait toutes ces diatomées avec organisation radiale du modèle de valve primaire, centrée sur un petit anneau (anneau). Les Fragilariophyceae et Bacillariophyceae constituaient ensemble les Pennales (Pennatibacillariophyceae) des classifications antérieures, toutes ayant une organisation semblable à une plume (côtes transversales et rangées de pores, sous-tendues par un sternum longitudinal). Les deux classes ont été séparées par l'absence (Fragilariophyceae) ou la présence (Bacillariophyceae) d'un système de raphé ([Mann D-G. et Round F-E., 2016](#)). Par la suite, en 1995, [Van den Hoek et al.](#) ont proposés deux grands groupes de

diatomées, centrales et pennales. Coscinodiscophyceae et les Centrales sont plus ou moins synonymes et sont plus informellement connu sous le nom de diatomées «centriques». Fragilariophyceae et Bacillariophyceae ensemble correspondent aux Pennales et comprennent les diatomées dites «pennées» (Malviya S., 2016).

A. 1. 9. Intérêt des diatomées

Dans les écosystèmes aquatiques, les diatomées participent à une part majeure de la productivité primaire mondiale, elles sont aussi à la base des chaînes alimentaires dont elles assurent un rôle clé. Ainsi, les diatomées ont une importance majeure dans les cycles biogéochimiques à l'échelle planétaire (Bottin M., 2012). Elles sont considérées comme responsables d'une grande partie de l'exportation de carbone vers l'océan profond à la mort des organismes ; c'est ce qu'on appelle la pompe biologique de CO₂ (Gelabert A., 2005). Cependant, l'intérêt de l'étude des diatomées dépasse le domaine de l'écologie fondamentale. Les diatomées sont utilisées dans de nombreuses études géochimiques, environnementales, écotoxicologiques, ou encore économiques tel que : le contrôle de la qualité des eaux et de la santé des écosystèmes (toxicité et biodisponibilité des polluants) grâce, à la sensibilité spécifique des diatomées à la pollution ; comme agent de biorémédiation ou phytoremédiation par biosorption (application des propriétés accumulatrices des diatomées à des fins de dépollution) ; transport des métaux (Gelabert A., 2005 ; Lavoie I., et al., 2008).

A. 1. 10. Intérêt biostratigraphique et environnemental

Les diatomées qui répondent de manière instantanée aux changements d'environnements a mené à la reconnaissance de ces derniers en tant que moniteurs de contrôle et des marqueurs des changements des conditions des eaux (température, salinité et bathymétrie), et elles peuvent aussi servir comme des traceurs des courants froids ou chauds (Eetvelde Y-V., 2005).

En milieu marin comme en milieu continental, cette cellule, qui ne mesurant que quelques microns constitue un excellent outil stratigraphique et s'avère particulièrement utile en biochronologie. Elle permet d'établir une chronologie précise des variations des bilans en eau (Nguetsop F. et Servant-Vildary S., 2000). Leur utilisation a été fortement accentuée pour les corrélations biostratigraphiques entre des régions éloignées et les reconstitutions paléo-environnementales et paléo-océanographiques au cours des trente dernières années,

où elle a marqué un grand succès dans le cadre des travaux D.S.D.P. (Deep Sea Drilling Project), et le O.D.P. (Ocean Drilling Project) (Mansour B. *et* Saint Martin J-P., 1998 ; Mansour B. *et al.*, 2008), Elles sont qualifiées des bio-marqueurs, l'évolution et le différenciation spécifique des diatomées a déjà conduit à établir des bonnes échelles stratigraphiques (Gasse F. *et* Tékai F., 1979).

Les diatomées centriques sont connues avec certitude depuis le Crétacé Inferieur et les pennées depuis le début de Tertiaire. L'apparition et la disparition des taxons marqueurs, ont permet la définition des biozones (Mansour B., 2004).

A. 2. La diatomite

Elle est définie par Ramade comme étant une roche sédimentaire riche en diatomées qui s'est formée au fond des lacs ou des abysses (Ramade F., 2002 ; Ramade F., 1998).

C'est une roche sédimentaire, poreuse, et légère, d'origine biogénique (Meradi H. *et al.*, 2014, SEE. , 2013), constituée quasi-exclusivement des frustules des diatomées. Elle est également connue sous plusieurs appellations : kieselgühr en allemand (Antonides L-E., 1997 ; 1998), tripoli (près de Tripoli, en Libye) (Giot J-L., 2013 ; USGS., 2019), moler (une forme danoise impure) (USGS., 2019), ou terre d'infusoire (Vargas A-A., 2007)...etc. La diatomite est constituée principalement de silice et d'autres impuretés (composés organiques, carbonate de calcium et magnésium, etc...). Elle est utilisée comme abrasif ou comme absorbant par exemple dans la dynamite (Foucaut A. *et* Raoult J-F., 2005).

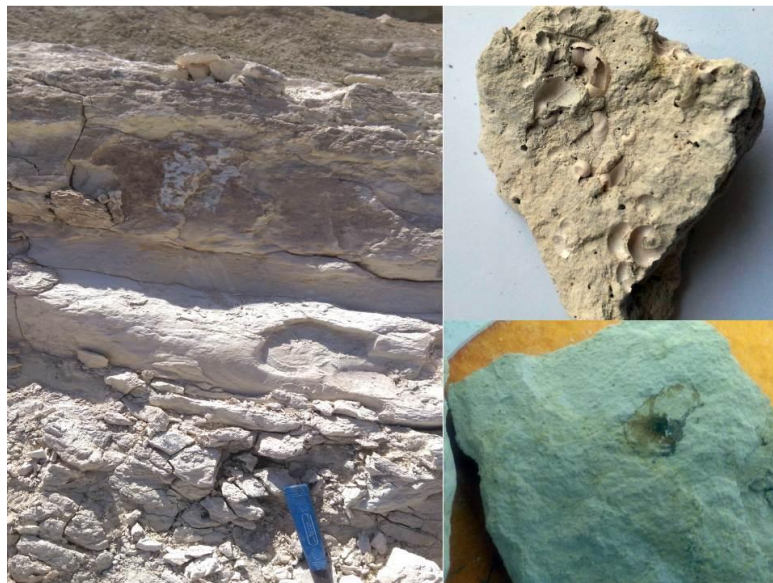


Figure A. 5 : La diatomite Algérienne.

A. 2. 1. Origine de la diatomite

L'origine de la diatomite est l'accumulation en milieu aquatique des frustules des diatomées (Verdeja G-L-F., 1992 ; Torres J-C-R., 2012 ; Hamouda A. et Balaska A., 2012 ; Chamley H., 2000). Cependant, au cours des temps géologiques, elle se trouve actuellement comme des vastes couches sédimentaires de plus de dizaines de mètres d'épaisseur.

A. 2. 2. Propriétés physico-chimiques de la diatomite

La diatomite est une roche de grande porosité permettant le passage du liquide en piégeant les particules en suspension, ainsi légère, tendre (Vatan A., 1967), crayeuse, friable, terreuse, à grains très fins et habituellement de couleur claire (blanche si pure, couramment chamoise à grise in situ, et rarement noire), sa coloration est due à la présence d'impuretés organiques, y compris des résidus des végétaux (Ivanov S-E. et al., 2008).

Elle est de très faible densité et essentiellement chimiquement inerte dans la plupart des liquides et des gaz. La diatomite possède également une faible conductivité thermique et un point de fusion assez élevé (Dolley T-P., 2000).

La diatomite est constituée essentiellement de dioxyde de silicium (SiO_2 , $n\text{H}_2\text{O}$) (Hamdi B., 1998), et de CaCO_3 comme principale impureté qui contamine la surface du matériau brut. Toutefois, en plus des molécules d'eaux, ces silices sont souvent associées à des impuretés de diverses natures (minérales ou organiques) tel que, Al_2O_3 , et Fe_2O_3 , les alcalins, les alcalinoterreux, des oxydes comme MgO , ainsi des faibles quantités de TiO_2 et K_2O (Balaska A. et al, 2010 ; Meradi H. et al, 2015). Le **tableau A. 2** résume certaines caractéristiques de la diatomite de Sig-Mascara. La nature et la quantité des impuretés sont très variables entre les gisements et dépendent des conditions de sédimentation des terres diatomées.

Tableau A. 2 : Composition chimique de la diatomite du Sig-Mascara (Balaska A. et al, 2012).

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	K_2O	TiO_2	MgO	MnO	PAF
diatomite%	62.16	3.63	1.73	14.77	0.71	0.198	0.60	0.04	19,76

La silice existe sous deux formes ; à l'état amorphe hydraté (Opal), ainsi, elle peut prendre d'autres phases cristallines (quartz, calcite, dolomite, pyrite, illite, chlorite, kaolinite, and albite).

La surface siliceuse est essentiellement formée de SiO_2 renfermant des liaisons Si-O, trois types de sites (trois groupements) sont dénombrés (figure I.2) (Despas C., 1998) :

- Les groupements silanol (Si-O-H) : sont les principaux groupements de surface, fonction chimique commune de toutes les variétés des silices, provenant de la chimisorption des molécules d'eau à la surface de la silice. Ils sont liés, les uns aux autres par des ponts siloxanes (Si-O-Si) étalés en surface (Despas C., 1998 ; Hamdi B., 1998). Et c'est grâce à ces structures des silanols que la silice possède une surface polaire hautement active (Hadjar H., 2012).
- Les groupements siloxanes (Si-O-Si) possèdent un caractère hydrophobe et leur configuration électronique engageant les doublets libres de l'oxygène, sont responsables de leur faible réactivité. Cependant, ces ponts peuvent intervenir dans la rétention des molécules non-polaires.
- Et une quantité trace de radicaux de surface pouvant provenir de la rupture de la liaison Si-O.

Mais ce sont essentiellement les groupements silanol qui conditionnent les propriétés de la silice.

La spectroscopie IR est probablement le plus important des outils employés. Elle permet de distinguer les groupements Si-O-H libres, les Si-O-H liés par liaison hydrogène, les groupements internes, et l'eau moléculaire physiosorbée (Despas C., 1998).

A. 2. 3. Domaine d'utilisation de la diatomite

Ce matériau par ces propriétés physiques et biologiques (porosité, grand pouvoir d'adsorption...) trouve donc différentes applications notamment sur le plan du développement durable et de l'environnement. On compte parmi les plus importantes applications son utilisation en tant que produit adsorbant. Grâce aux groupements de surface (silanol), ainsi que sa charge de surface négative, dans la gamme de pH comprise entre 2 et 14, font de la diatomite un adsorbant potentiel des cations. Les métaux lourds comme le cadmium, chrome, plomb sont non biodégradables et tendent à s'accumuler dans les organismes causant des décès et des désordres (Nenadovic S. et al., 2009). Ce qui nécessite la mise au point des procédés de dépollution efficaces qui visent à réduire le pouvoir toxiques des polluants. Parmi ces procédés on note l'utilisation des diatomées fossiles comme un biosorbant naturel, ayant subi ou non des modifications physicochimiques, a donné des résultats encourageants dans plusieurs études (Chernai S. et al., 2010 ; Hadjar H. et al., 2004 ; Chaqroune A. et al., 2009 ; ...).

L'utilisation de la diatomite n'a pas été réservée uniquement à la contamination par les métaux lourds mais aussi à d'autres contaminants. Elle peut effectivement adsorber les textiles basiques à partir des solutions aqueuses en plus d'être peu coûteuse (Ababou N. et al., 2002). En raison de l'activité des sites actifs superficiels et sa résistance thermique la diatomite a été employée comme support de catalyseurs dans des réactions de dégradation des colorants où elle a montré sa performance comparable et même de meilleurs résultats que ceux signalés dans la littérature dont les catalyseurs utilisés sont coûteux (Hamdi B. et Kessaissia Z., 1996 ; Inchaurredo N. et al., 2015). Elle a été aussi combinée à d'autres composants dans différentes applications, au charbon actif pour l'élimination du phénol dans les eaux usées (Tzvetkova PG. et al., 2016), avec un composés aluminosilicates pour l'adsorption de la fluorine d'une solution hyper concentrée (Datsko T-Y. et Zelentsov V-I., 2016) ...etc.

Leurs propriétés naturelles telles que : sa porosité, sa faible densité, et sa forte inertie chimique combinées à l'évolution des technologies de calcination et sélection granulométrique font des diatomites d'excellents supports de filtration pour toutes sortes de liquides des industries agro-alimentaires, chimiques et pharmaceutiques (Négroni J-M., 2007), la filtration du sucre, les huiles et les graisses, et les boissons (Antonides L-E., 1997 ; BRGM., 1996), ainsi que pour la filtration et la clarification des liquides (raffineries, brasseries), ce qui constitue leur domaines d'utilisation privilégié (Jaques G., 2006 ; BRGM., 1996).

En industrie pharmaceutique, la diatomite est utilisée comme un ingrédient actif contenant du silicium ou un excipient dans les formulations pharmaceutiques (dont paracétamol, antibiotiques et édulcorants) (Rocher P-H., 1995). Un autre avantage de la diatomite est qu'elle est biologiquement inerte, elle interagit rarement avec le corps humain, et même si l'interaction a lieu, elle est bénéfique pour l'organisme. La terre de diatomées n'est pas absorbée dans le corps et elle est excrétée sous forme inchangée.

La diatomite a été utilisée dès l'antiquité comme adjuvant minéral dans certaines poteries ou dans la fabrication des briques légères (Négroni J-M., 2007). Ainsi, ce matériau peut être employé dans le domaine des bétons, avec sa structure alvéolaire et sa grande surface spécifique lui permettent de retenir une grande quantité d'eau de gâchage, en la fixant dans les pores. De plus, sa richesse en silice amorphe qui en se combinant à la portlandite et à la

silicate dicalcique, conduit à des améliorations des résistances à long terme (Mellak A. et al., 2007).

Une autre utilisation liée à sa nature amorphe et à sa structure fortement poreuse est son application dans le domaine de l'isolation thermique, du fait que ces caractéristiques structurales vont induire une forte diffusion des phonons et une faible conductivité thermique (Meradi H. et al., 2014).

Cette roche est utilisée également comme abrasifs, meules et revêtements abrasifs notamment pour le polissage des métaux ferreux (Maubert F., 1989), et en raison de ses propriétés adsorbantes la diatomite a servi à Nobel pour la stabilisation de la nitroglycérine (dynamite)(Pomerol C. et Renard M., 1989 ; Négroni J-M., 2007 ; Rocher P-H., 1995).

La terre de diatomite peut servir aussi comme un insecticide non toxique utilisé pour la protection des produits stockés et le contrôle des insectes dans les maisons et les jardins (Quarles W., 1992), dont la structure de la diatomite joue un rôle important en absorbant les lipides de la cuticule des insectes, ce qui cause leur morte. Le choix de la diatomite naturelle se justifie par sa faible toxicité, la sûreté des ouvriers, les faibles risques des résidus alimentaires, et le développement de la résistance des insectes avec l'utilisation des insecticides chimiques, en plus de son faible coût économique (Galović I. et al., 2017).

L'extension de son utilisation a attiré aussi le domaine agricole. Une synthèse d'une couche de matériau économique et environnemental composée de différents polysaccharides naturels et biodégradables et la diatomite, couvrant l'urée pour synthétiser une urée fertilisante ayant une capacité élevée d'adsorption et de rétention de l'eau, dans le but d'améliorer la libération lente des nutriments durant l'utilisation du fertilisant, ainsi que de minimiser les émissions dans l'air (pollution) issues de la dégradation de l'urée (Mukerabigwi J-F. et al., 2015).

A. 2. 4. Production mondiale et nationale de la diatomite

La production mondiale de la diatomite s'élève en 2019 à 2,9 Mt. En tête des pays producteurs, les Etats Unis réalisent près de 33.79 % de la production mondiale (**tableau A. 3**). La diatomite est l'un des principaux gisements miniers en Afrique en général et en Algérie en particulier (CEA., 2011). La diatomite est produite par le groupe public ENOF (Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles), et la société des diatomées d'Algérie (DiATAI), qui exploite un gisement de diatomées fossiles localisé à Sig dans la Wilaya de Mascara (Mowafa T., 2019).

Tableau A. 3a : Production mondiale de la diatomite.

Production mondiale					
	Etats Unis	Chine	Danemark	Mexique	Japon
2009 (1,84 Mt) (USGS., 2011)	31,25 %	23,91 %	12,23 %	6,30 %	5,98 %
	Etats Unis	Chine	Turque	Korè du Sud	Poland
2017 (2 Mt) (Reichl C., et Schatz M., 2019)	34,30 %	19,6 %	8,30 %	6,55 %	0,02 %
	Etats Unis	Danemark	Chine	Turque	Korè du Sud
2018 (2,84 Mt) (USGS., 2020)	33,7 %	15,49 %	14,79 %	6 %	4,72 %
2019 (2.9Mt) (USGS., 2020)	33.79	15,49 %	14,79 %	6 %	4.58 %

Tableau A. 3b : Production Algérienne de la diatomite.

Production Algérienne (tonnes)						
2009	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1847 tonnes (DGM., 2010)	2 124	2 426 (Reichl C., et Schatz M., 2019 ; 2020)	2 360	2 535	2 439	2468

A. 3. Application de la diatomite

L'un des importantes applications de la diatomite est son utilisation comme un adsorbant naturel. La technique d'adsorption est une procédure de séparation très importante des polluants comme les colorants des eaux usées (Losi M-E. *et al.*, 1994). En effet, l'adsorption détermine donc leur comportement et leur biodisponibilité (Puls R-W. *et al.*, 1994), ainsi que leur répartition dans les trois phases du milieu (solide, liquide et gazeuse). L'adsorption des polluants organiques dans les sols fait intervenir un grand nombre de facteurs qui peuvent agir séparément ou simultanément, elle dépend du sol et de ses propriétés, de la nature du polluant, et des conditions physico-chimiques (Record, 1997).

A. 3. 1. Définition et principe général de l'adsorption

Par le terme adsorption, on désigne un phénomène physico-chimique spontané de fixation réversible de soluté d'un fluide ou gaz à l'interface d'un solide, sans pénétration (Clause M., 2003 ; Robert J., 2004 ; Mouton-Chazel V., 1994). Il s'agit donc du passage de l'état de dissous à celui d'adsorbé. Donc la composition de la région proche de la surface est différente de celle de l'ensemble de la solution (Jones R-A-L. *et* Richard R-W., 1999 ; Slasli M-A., 2002 ; Tardat-Henry M., 1992). En effet, c'est un changement de

concentration (enrichissement) à une interface du fait de l'intervention de forces superficielles (Duval C. *et* Duval R., 1978). Ce processus est toujours exothermique (Somorjai G-A. *et* Delplancke M-P. 1995 ; Soubeyrand-Lenoir E., 2012). Le phénomène inverse se nomme la désorption.

La matière solide qui fournit la surface d'adsorption est considérée comme adsorbant ; les espèces qui seront adsorbées sont nommées les adsorbats.

En général, l'adsorption repose sur trois ensembles de données expérimentales (Gherbi N., 2008) :

- La quantité adsorbée à l'équilibre, formalisé par les isothermes d'adsorption.
- La vitesse d'adsorption obtenue par la cinétique d'adsorption.
- Les propriétés des molécules adsorbées en relation avec leur structure et leur aptitude à repasser en solution (leur désorption).

A. 3. 2. Description du processus d'adsorption

L'un des buts poursuivis par la recherche dans le domaine de l'adsorption est d'établir des équations permettant de décrire le processus d'adsorption. Les principales hypothèses décrivant l'adsorption sur les solides sont : l'hypothèse de la couche monomoléculaire, l'hypothèse de la couche multimoléculaire et l'hypothèse de la condensation pelliculaire (Koller E., 2009).

A. 3. 2. 1. La théorie de la couche monomoléculaire

Cette théorie, développée par **Langmuir**, admet la formation d'une couche monomoléculaire de l'adsorbat à la surface de l'adsorbant. Ainsi, suite à leur attraction réciproque, les molécules de l'adsorbat entrant en contact avec la surface du solide y sont retenues (Langmuir I., 1918).

A. 3. 2. 2. La théorie de la couche multimoléculaire

Cette théorie, proposée par **Langmuir** et **Brunaur**, est basée sur le dépôt successif de plusieurs niveaux de molécules qui forment plusieurs couches. Cela s'explique par l'attraction des molécules adsorbées, ainsi que par l'attraction exercée par la surface du solide au-delà de la première couche (Koller E., 2009).

A. 3. 2. 3. La théorie de la condensation pelliculaire

Cette théorie considère que l'adsorption résulte de la condensation de la vapeur d'une substance adsorbée suite à la diminution de la pression de la saturation dans les pores et les capillaires du solide. Lorsque les adsorbants contiennent des pores de très petit diamètre, il

peut se superposer à l'adsorption proprement dite une condensation capillaire de l'adsorbat (Koller E., 2009).

A. 3. 3. Types d'Adsorption

Il existe deux types d'adsorption qui se différencient complètement par les énergies mises en jeu et par leur nature (**tableau A. 4**): l'adsorption physique ou la physisorption (ou adsorption de Van der Waals) et l'adsorption chimique ou la chimisorption ou encore adsorption activée (Chitour S-E., 1981).

Tableau A. 4 : Caractéristiques des deux types d'adsorption.

Physisorption	Chimisorption
<ul style="list-style-type: none"> - Réversible (Logan S., 1998). - Processus non-spécifique (Chitour S-E., 1981), ne dépend pas de la nature chimique de l'adsorbant (Raouf A., 1998). - L'énergie d'interaction mise en jeu est faible (jusqu'à 50 kJ) (Couderc, 2002 <i>In Errais E., 2011</i>). - Température voisine de la température de liquéfaction de l'adsorbat (Raouf A., 1998). - Il n'y a pas de formation de liaisons (Couderc, 2002 <i>In Errais E., 2011</i> ; Atkins P-W., 1998). - Entre dans le cadre des interactions qui font intervenir les forces de dispersion de London et éventuellement des forces liées aux polarités permanentes (Gilot B. et Guiraud R., 2004) ainsi qu'à la présence de forces intermoléculaires d'attraction et de répulsion qui agissent entre deux particules voisines (Couderc, 2002 <i>In Errais E., 2011</i>). - Formations de multicouches (Barrow G-M., 1976). 	<ul style="list-style-type: none"> - Irréversible (Raouf A., 1998). - Processus spécifique (Chitour S-E., 1981), dépend de la nature chimique de l'adsorbant (Raouf A., 1998). - Les énergies d'interaction sont élevées (de 40 kJ à 400 kJ) (Couderc, 2002 <i>In Errais E., 2011</i>). - Température très supérieure à la température de liquéfaction de l'adsorbat (Raouf A., 1998). - On peut rencontrer tous les types de liaisons chimiques : ioniques, covalentes (Chitour S-E., 1981), et par transfert de charge (Gilot B. et Guiraud R., 2004). - Une seule couche d'atomes ou de molécules est adsorbée (Landolt D., 1997).

A. 3. 4. Mécanisme d'adsorption

L'adsorption d'un composé sur un solide poreux peut être décrite par les étapes suivantes (Cardot C., 2010):

- Etape 1 (très rapide) : transfert des molécules de la couche externe d'hydratation vers l'interne ;
- Etape 2 (rapide) : diffusion de l'adsorbat à travers le film liquide vers la surface des grains. Cette étape limite la vitesse d'adsorption.
- Etape 3 (lente) : transfert intra granulaire de la matière sous l'effet de gradient de concentration. La molécule peut diffuser d'un site d'adsorption à un autre.
- Etape 4 (très rapide) : réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

A. 3. 5. Les facteurs qui influencent l'adsorption

La quantité de gaz ou de substances dissoutes, adsorbés par une quantité déterminée d'un adsorbant donné, dépend de la nature du gaz ou de la solution et des conditions du déroulement du processus (Kiréev V., 1975). En outre, il est important de préciser que cette distribution n'est pas figée, mais, bien au contraire, varie dans le temps sous l'influence de très nombreux paramètres. Dont les principaux sont décrits ci-après :

A. 3. 5. 1. Facteurs caractérisant l'adsorbat

Toutes les substances ne sont pas adsorbables au même titre. La capacité de rétention d'un polluant est fonction de : la concentration de l'adsorbat dans le milieu ambiant ; l'énergie de liaison de la substance à adsorber ; sa structure et la taille des molécules ; sa solubilité (moins une substance est soluble, mieux elle est adsorbée).

A. 3. 5. 2. Facteurs caractérisant l'adsorbant

Un adsorbant est caractérisé par des propriétés physicochimiques, mécaniques et géométriques, les plus importantes sont les propriétés géométriques.

- La surface spécifique : la surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. L'efficacité d'un adsorbant est liée à sa surface spécifique (exprimée en m^2/g), et qui dépend de sa porosité. Elle est généralement déterminée par la méthode BET.
- La structure de l'adsorbant : la porosité de l'adsorbant joue un rôle important dans le processus d'adsorption. En effet, la plus ou moins grande diffusion dans les pores sera

influencée par le diamètre des pores (Everelt D-H., 1979). L'adsorption d'une substance croît avec la diminution de la dimension des pores de l'adsorbant.

- La polarité : l'adsorption est plus intense quand les solutés polaires auront plus d'affinité pour les adsorbants polaires, et les adsorbants apolaires adsorbent les composées apolaires (Everelt D-H., 1979).

A. 3. 5. 3. Autres facteurs

- L'adsorption est un phénomène exothermique, et théoriquement, la quantité adsorbée à l'équilibre augmente quand la température diminue, elle est donc favorisée par les basses températures. Une élévation de température déplace l'équilibre dans le sens de la désorption (Pétrov M. et al., 1984).
- Le pH est un paramètre très important dans toute étude d'adsorption du fait qu'il peut influencer à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbat, ainsi que le mécanisme d'adsorption.
- La présence de plusieurs molécules dans la solution va induire une compétition entre celles-ci.

A. 3. 6. Techniques d'étude de l'adsorption

Il existe un certain nombre de techniques plus ou moins complexes qui permettent d'évaluer l'adsorption des solutés sur des matrices solides poreux. Les approches suivies consistent soit à réaliser des mélanges d'adsorbants/adsorbats dans des systèmes parfaitement agités (tests en batch), soit à mettre en œuvre des écoulements de solutions en soluté à adsorber dans des systèmes de colonnes ou des lysimètres contenant l'adsorbant, dans des conditions plus ou moins saturées en eau.

A. 3. 7. Aspect quantitatif de l'adsorption

Comme l'adsorption est un processus de surface, il est raisonnable d'exprimer la rétention de l'adsorbat par la surface adsorbante en tant que concentration de surface Γ (mol/m²), qui est donnée par l'équation suivante (Worch E., 2012) :

$$\Gamma = n_a/A \quad \text{et} \quad q = n_a/ma \quad (1)$$

Où, n_a : la quantité adsorbée ; A : la surface spécifique de l'adsorption; ma : la quantité de l'adsorbant.

A un instant donné (t), si la concentration de la solution est C_t (mol/l), alors la quantité adsorbée sur le solide est $V \times (C_0 - C_t)$ (mol). Si cette variation est due à l'adsorption, la

quantité adsorbée q_i par unité de masse de l'adsorbant à l'instant (t) est alors (Gherbi N., 2008) :

$$q_i = \frac{V(C_0 - C_t)}{ms} \quad (2)$$

Où, V : le volume de la solution ; ms : la masse de l'adsorbant.

A. 3. 8. Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est l'une des plus importantes caractéristiques définissant l'efficacité d'une adsorption au cours de l'opération industrielle, elle est définie par l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps de contact adsorbant/adsorbat. La plupart des travaux effectués montrent que l'adsorption est un phénomène rapide où souvent plus de 50 % du soluté est adsorbé en quelques minutes (Record, 1997). La cinétique d'adsorption est en général du premier ou du second pseudo-ordre.

A. 3. 8.1. Modèle pseudo-premier ordre

Le modèle cinétique du premier ordre connu par l'équation de Lagergren (Lagergren S. et Svenska B-K., 1898) a été établi pour l'adsorption en phase liquide. Il suggère que de rétention d'un soluté est proportionnelle à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre et celle adsorbée à un instant (t) (Gherbi N., 2008). Il est applicable que dans les premières minutes du phénomène, et suggère que l'adsorption est réversible.

$$dq_t/dt = K_1(q_e - q_t) \quad (3)$$

Où, K_1 : constant du vitesse d'adsorption pour le premier ordre (min^{-1}) ; q_e : quantité d'adsorbat à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg g^{-1}), t : le temps de contact (min).

L'intégration de l'équation (3) donne :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{K_1}{2.303} t \quad (4)$$

Les paramètres cinétiques de ce modèle peuvent être obtenus en traçant la droite :

$\log(q_e - q_t) = f(t)$, avec $(-K_1/2.303)$ est la pente de cette droite.

A.3. 8.2. Modèle pseudo-seconde ordre

Le modèle cinétique du second ordre ou modèle de Ho et McKay, il est basé sur les hypothèses suivantes (Ho Y-S. et al., 2000) :

- L'adsorption se déroule sur des sites localisés et il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées.

- Le maximum d'adsorption correspond à la formation d'une monocouche d'adsorbats sur la surface de l'adsorbant.
- La vitesse de désorption est négligeable devant celle d'adsorption.

Peut-être exprimé par l'équation :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \quad (5)$$

L'intégration de l'équation (5) donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (6)$$

Où, K_2 constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre ($\text{g mol}^{-1} \text{min}^{-1}$) ;

q_e : la quantité d'adsorbât à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg.g^{-1}).

Ces deux paramètres (q_e , K_2) peuvent être déterminés expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de t/q_t en fonction de t .

A. 3. 9. Adsorption à l'équilibre

L'étude de l'adsorption d'un gaz par un solide est en général destinée à fournir des informations sur la surface spécifique et sur la structure poreuse du solide. Plusieurs chercheurs ont proposé des molécules, théoriques ou empiriques, pour d'écrire la relation entre la variation de la quantité adsorbée q_e (mg/g) sur un solide en fonction de la concentration C_e (mg/l) du composé adsorbable à l'équilibre ($q_e = f(C_e)$), à une température donnée. Il s'agit de relation non-cinétique $q_t = f(C_e)$, que l'on nomme isothermes.

Ces isothermes sont exprimées généralement sous formes des équations mathématiques, non-cinétiques, lesquelles sont obtenues à partir des expériences réalisées en réacteur statique (Bouziane N., 2007). La forme des isothermes d'adsorption dépend de la nature du polluant, du solvant et du solide (Record, 1997). Plusieurs auteurs ont proposé une classification des isothermes de sorption. En, se basant sur la forme et la pente de la courbe d'isotherme d'adsorption (Giles C-H. et al., 1960), on peut distinguer quatre principaux types d'isothermes maintenant utilisées comme les principales formes d'isothermes fréquemment observés (figure A. 8).

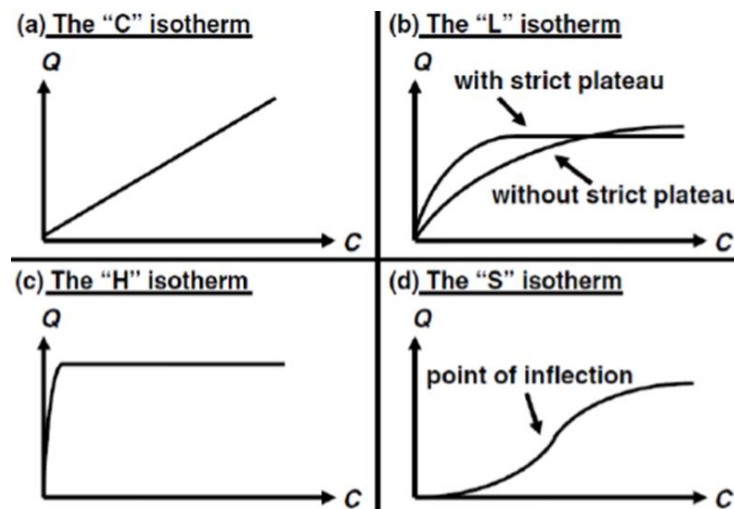


Figure A. 6 : Les quatre principaux types d'isothermes selon [Giles C-H. et al., 1960](#)

Le type d'isotherme obtenu permet de tirer des conclusions qualitatives sur les interactions entre l'adsorbant et l'adsorbant dont les plus importantes sont citées dans le **tableau A. 4** ([Giles C-H. et al., 1974](#)).

Tableau A. 5 : Les Différentes classes d'isothermes

Classe	Commentaire
L	Dite de « Langmuir » : présente, à faible concentration en solution. De forme convexe. Suggère une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Quand ce tend vers le zéro, la pente de l'isotherme est constante.
S	Dite « sigmoïdale » : les isothermes de cette classe présentent, un point d'inflexion révélateur de deux mécanismes d'adsorption. C'est le cas par exemple, quand une première couche de soluté est d'abord adsorbée puis quand l'adsorption d'une ou plusieurs couches supplémentaires devient favorisée.
H	Dite de « haute affinité » : est un cas particulier de la forme L, ou la partie initial de la pente est très élevée (presque verticale).
C	Dite de « partition constante » : les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat (rapport q_e/C_e constant).

A. 3. 10. Les isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption peuvent donc être décrites par des fonctions mathématiques plus ou moins complexes. Ces modèles d'estimation s'appuient sur l'étude des corrélations entre l'adsorption de la molécule et les propriétés et la composition du sol ou bien les propriétés du polluant considéré ([Record, 1997](#)). Parmi ces modèles, on peut distinguer trois modèles d'adsorption :

A. 3. 10. 1. Isotherme de Langmuir (1916)

Langmuir fit une étude détaillée de l'adsorption des divers gaz sur des surfaces métalliques, ce qui lui valut le prix Nobel (Logan S., 1998). A température constante, Langmuir a montré que le volume du gaz adsorbé augmentait en fonction de sa pression jusqu'à tendre vers une limite correspondant à une valeur maximum V_m . L'isotherme de Langmuir répond à la relation (Frémaux B., 1998) :

$$q_e = Q_{max}^0 \frac{KlC_e}{1+KlC_e} \quad (7)$$

Où, Q_{max}^0 : représente la capacité maximale d'adsorption ; Kl : constante d'équilibre, égale au rapport des vitesses d'adsorption et de désorption.

Cette équation peut être linéarisée sous la forme suivante :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_{max}^0 Kl} + \frac{C_e}{Q_{max}^0} \quad (8)$$

Ce modèle fait les hypothèses suivantes (Langmuir I., 1918 ; Duong D-D., 1998):

- La surface de l'adsorbant comportait un nombre déterminé et constant de sites d'adsorption, la surface est homogène (c-à-d que tous les sites sont équivalents) (Fripiat J. et al., 1971).
- L'adsorption peut avoir lieu lorsqu'une molécule du gaz rencontre un site libre avec un coefficient d'adhérence indépendant de la proportion des sites déjà occupés (Logan S., 1998).
- La probabilité de désorption d'une molécule adsorbée est également indépendante de la proportion des sites déjà occupés (Logan S., 1998).

A. 3. 10. 2. Isotherme de Freundlich (1906)

Le modèle de Freundlich (1906) est fréquemment utilisé pour décrire l'adsorption sur une surface hétérogène. Il est donné par l'équation suivante :

$$q_e = K_F \cdot C_e^n \quad (9)$$

Où, q_e : la quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre. K_F : constante de Freundlich associée à la capacité d'adsorption. n : paramètre énergétique de Freundlich, c-à-d l'affinité du soluté vis-à-vis de l'adsorbant. C_e : concentration de l'adsorbant à l'équilibre dans la phase liquide.

La linéarisation de l'isotherme de Freundlich est obtenue par représentation des données en coordonnées logarithmiques selon :

$$\ln q_e = \ln K_F + n \ln C_e \quad (10)$$

A. 3. 10. 3. Isotherme de Brunauer, Emmet et Teller (BET)

Le modèle développé par Brunauer, Emmet et Teller tient compte de la formation d'une multicouche d'adsorbat, une distribution homogène des sites sur la surface de l'adsorbant et l'existence d'une énergie d'adsorption qui retient la première couche de molécules adsorbées et une deuxième énergie qui retient les couches suivantes (Gherbi N., 2008 ; Ouakouak A., 2017). Ce modèle est exprimé par l'équation suivante :

$$\frac{C_e}{q_e(C_s - C_e)} = \frac{1}{qm.K} + \frac{K-1}{qm.K} \left[\frac{C_e}{C_s} \right] \quad (11)$$

Où, q_e : capacité adsorbée à l'équilibre (mg/g) ; qm : capacité de rétention monomoléculaire (mg/g) ; C_e : concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/l) ; C_s : concentration du soluté dans la phase liquide à la saturation de l'adsorbant (mg/l).

A. 4. Les colorants

Un colorant proprement dit est une substance qui possède deux propriétés spécifiques, et indépendantes l'une de l'autre, la couleur et l'aptitude à être fixée sur un support (Perrin R. et Scharff J-P., 1999). Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur, appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation : auxochromes, assemblés à un noyau aromatique (Cycles benzéniques, anthracène...Etc.).

Les colorants sont employés pour l'impression et la teinture des fibres textiles, des papiers, des cuirs, des fourrures, des bois, des matières plastiques et des élastomères. Ils servent aussi à préparer des peintures, des encres d'imprimerie, des vernis, et comme additifs, à colorer des produits alimentaires et pharmaceutiques. Ils sont utilisés dans l'industrie des cosmétiques...etc.

A. 4. 1. Classification des colorants

Les colorants peuvent être classés selon leur structure chimique ou leur méthode d'application aux différents substrats (Hedayatullah M., 1976). Parmi ces deux classifications proposées par les auteurs, on va citer dans ce chapitre la classification tinctoriale des colorants basée sur la nature du groupe auxochrome, s'intéresse essentiellement à la solubilité des colorants dans le bain de teinture et détermine le type de la liaison colorant-substrat (Bentahar Y., 2016), parmi eux, on cite :

A. 4. 1. 1. Colorants acides ou anioniques

Les colorants anioniques sont des colorants solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonâtes ou carboxylates. Ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. Leurs interactions avec la fibre sont basées principalement sur des liaisons ioniques entre les anions sulfonâtes et les groupes d'ammonium de la fibre.

A. 4. 1. 2. Colorants basiques ou cationiques

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. Ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt, car ils peuvent présenter un impact dangereux sur l'environnement ([Errais E., 2011](#) ; [Bentahar Y., 2016](#)).

A.4. 1. 3. Colorants de cuve :

Insolubles et résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés, à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim.

A. 4. 1. 4. Colorants à mordant

Ce sont des colorants organiques à complexe métallique très solides et stables. Un mordant est donc un sel métallique ou un acide avec lequel est traitée, avant la teinture.

A. 4. 1. 5. Colorants réactifs

Ce type de colorants est caractérisé par la présence des groupements fonctionnels capables de former des liaisons covalentes fortes avec les fibres. Ils sont capables de teindre les fibres cellulosiques, les fibres d'origine animale, et les fibres polyamides.

A. 4. 2. Bleu de méthylène

Le bleu de méthylène ($C_{16}H_{18}ClN_3S$), colorant cationique, est une molécule organique appartenant à la famille des Xanthines. Elle est choisie comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne utilisée pour tester le pouvoir adsorbant des solides ([Wilson T-M., 1907](#) ; [Karim A-B. et al., 2010](#)).

A. 4. 3. Impact des colorants sur l'environnement

Les colorants sont des composés persistants, difficilement biodégradables par les microorganismes, et qui tendent à se bioaccumuler le long de la chaîne alimentaire ([Errais E., 2011](#)). En dehors de l'aspect inesthétique, leur présence dans les rejets d'effluents des

industries textiles, dans les milieux aquatiques peuvent nuire grandement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux ([Bentahar Y., 2016](#)). Les nitrates et Les phosphates libérés par les colorants engendrent une eutrophisation des milieux aquatiques ce qui provoque par la suite un appauvrissement en oxygène par inhibition de la photosynthèse dans les strates les plus profondes des eaux ([Errais E., 2011](#)).

PARTIE B
MATERIEL ET
METHODES

B. 1. Zones d'étude

B. 1. 1. Introduction

La formation diatomitique messinienne également connue sous le nom de « Tripoli » de Sicile (Blanc-Valleron M-M. *et al.*, 2002), représentent un des termes habituels de l'un des composants sédimentaires dominantes formé à la transition entre les conditions de mer ouverte du Messinien basal et le début de la crise de salinité dans la presque totalité des bassins périphériques du Méditerranée (Pestrea S., *et al.*, 2002) en général et dans le bassin du Chélif, en Algérie, en particulier, de plus des plates-formes carbonatées et les dépôts évaporitiques (Mansour B., 2004).

En Algérie, les premier dépôts diatomitiques coïncident globalement avec l'apparition des marqueurs du Messinien *Globorotalia mediterranea* / *Globorotalia conomiozea* (Mansour *et al.*, 1995). Au sens large des autres divers bassins méditerranéens, les premiers niveaux diatomitiques suivent de très peu l'apparition de ces mêmes marqueurs estimée récemment à 7.1 Ma (Krijgsman *et al.*, 1995 *in* Mansour B., 2008).

Dans le bassin du Bas Chélif (et au même titre que les bassins périphériques méditerranéens), les diatomites sont en relation avec les plates-formes carbonatées (où s'intercalent à leur base) dans la partie occidentale du bassin, notamment dans le littoral oranais, les Tessala et les Beni Chougrane et dans la partie sud orientale du bassin (Ouarsenis) (Rouchy J-M., 1982 ; Saint Martin S. *et* Rouchy J-M., 1990 ; Saint Martin S., 1992 ; Saint Martin S. *et al.*, 1992). En s'éloignant des hauts fonds ou bordures, et sur la bordure sud occidentale du Dahra et dans certaines régions des Beni Chougrane, ces dépôts passent progressivement à une sédimentation de bassin (marnes et diatomites) évoluant en milieu confiné (gypse). Cette évolution est le résultat d'une restriction importante des détroits ou couloirs (due aux mouvements tectoniques et au comblement sédimentaire qui sont intervenus au cours du Messinien) et par conséquent une forte réduction des échanges mer-océan.

B. 1. 2. Cadre géographique du bassin du Bas Chélif

Le bassin du Bas Chélif se situe sur la région nord-ouest de l'Algérie est l'un des grands bassins marginal du méditerranée (Rouchy J-M. *et al.*, 2007), il fait partie intégrante des bassins néogènes sublittoraux d'Algérie (**figure B. 7**). Dans cette étude Trois sites ont été choisis pour des raisons géologiques : le site d'Irghbel et le site d'Ouled Djilali.

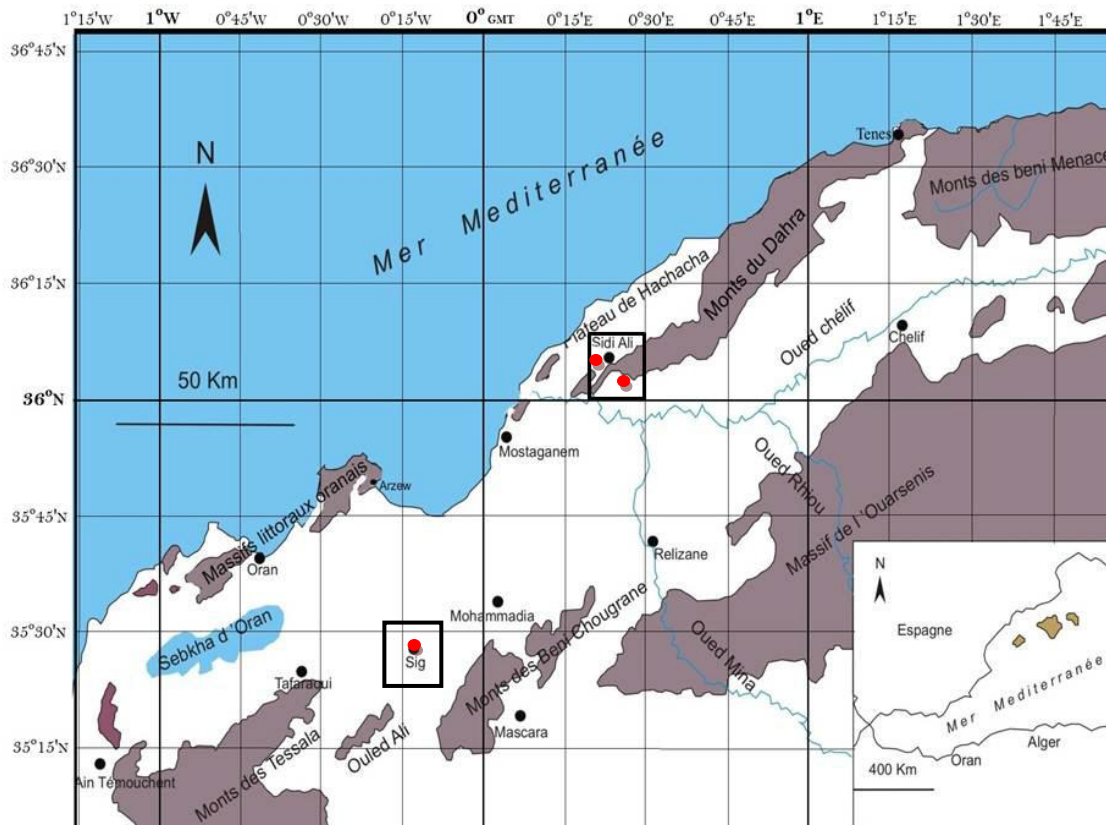


Figure B. 7 : Situation géographique du bassin du Bas Chélif (● site d'étude).

Le bassin du Bas Chélif correspond à une vaste dépression à une superficie d'environ 350 km² et orientée ENE-WSW. Il est limité au nord par les massifs littoraux oranais (Djebel Murdjadjo, Monts d'Arzew et Djebel Diss) et séparé de la mer par le massif du Dahra. Les massifs du Tessala, des Ouled Ali, des Beni Chougrane et de l'Ouarsenis constituent l'ossature de sa bordure méridionale.

B. 1. 3. Site d'Irghbel

Le site étudié est situé sur la marge nord du bassin du Bas Chélif (**figure B. 7**) et au Nord du massif du Dahra. IL se localise au Nord-Est du Daïra de Sidi Ali à une distance de 5.28 km. La zone (où la coupe et/ou l'échantillonnage a été effectuée) est limitée au nord par Douar Ouled Razi et Douar Ouled Amraoun. Au Sud par Douar Sidi Moussa et à l'Est par Douar Ouled Aissa et à l'Ouest par Douar N'aimia (**figure B. 8**).

B. 1. 4. Site d'Ouled Djilali

Ce deuxième secteur faisant toujours partie de la marge nord du bassin mais est situé en bordure sud du massif du Dahra (**figure B. 7**), dans la partie Sud-Est du Daïra de Sidi Ali à une distance de 11.92 km. La zone est limitée au nord par Douar Gouassmia, Djebel Chaïf

Dahmane et Douar El B'Hara. Au Sud par Douar Ouled Fellouh et Douar Ouled Mokhtar. A l'Est par Douar Haddou et à l'Ouest par Douar Soualmia et Douar Torche (**figure B. 9**).

B. 1. 5. Site de SIG

La coupe de Sig est située sur la retombée nord-occidentale des Beni Chougrane, 1,5 km au sud de la ville de Sig, sur la rive droite de l'oued Sig en amont du barrage (**figure B. 10**).

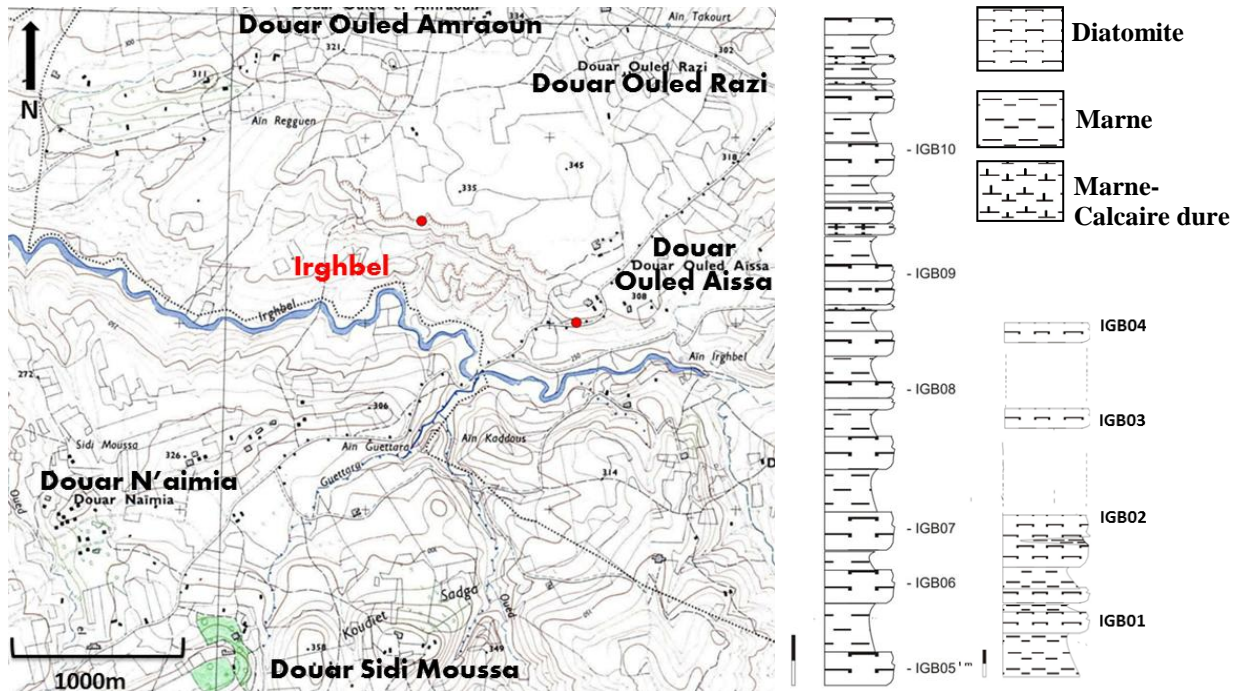


Figure B. 8 : Situation géographique du secteur d'échantillonnage Irghbel (extrait de la carte Hadjadj 3-4, au 1/25.000 ; ● site d'étude).

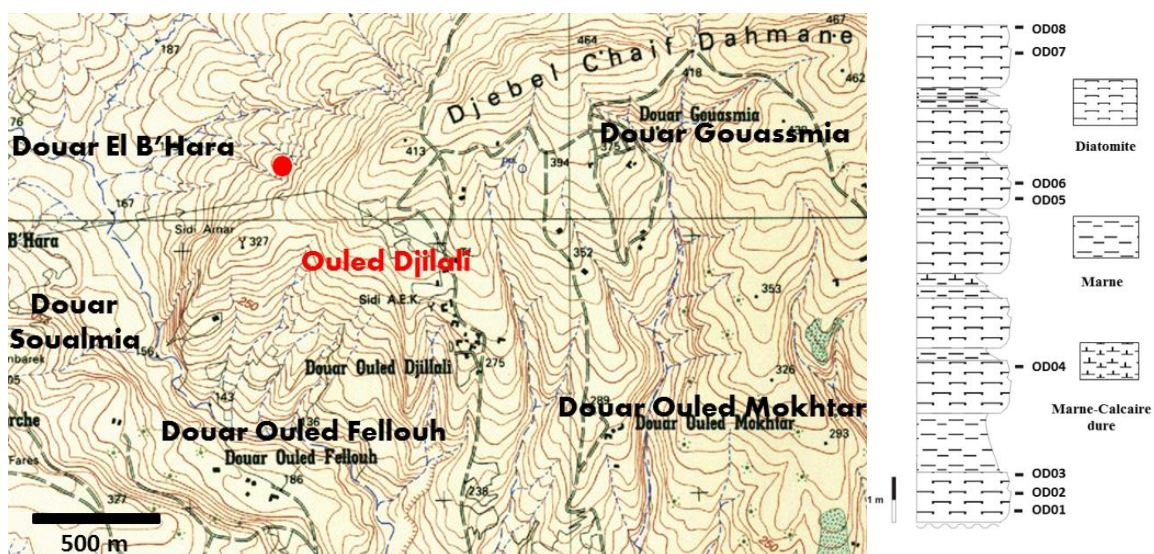


Figure B. 9 : Situation géographique du secteur d'échantillonnage Ouled Djilali (extrait de la carte Mazouna, au 1/25.000 ; ● site d'étude).

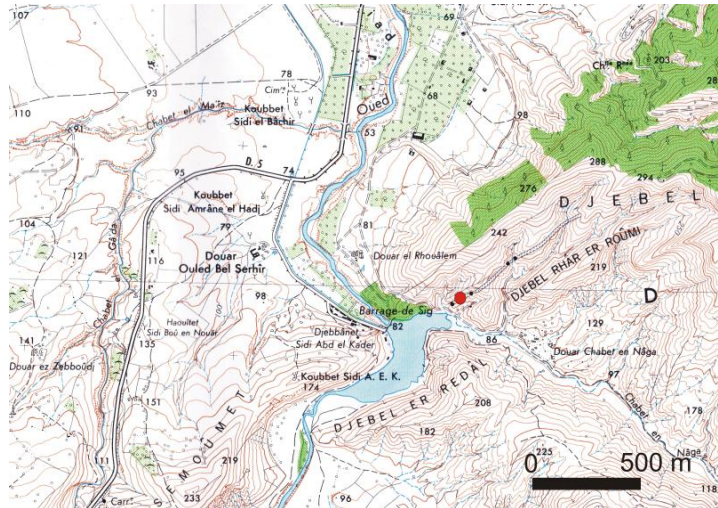


Figure B. 10 : Situation géographique du secteur d'échantillonnage Sig (extrait de carte de Sig ; 1/25 000 (● site de prélèvement)).

B. 1. 6. Cadre géologique du bassin Bas Chélif

En Méditerranée occidentale, le bassin du Bas Chélif fait partie des bassins néogènes qui s'alignent parallèlement à la côte méditerranéenne (sublittoraux) d'Algérie, il est caractérisé par une épaisse sédimentation généralement continue au centre du bassin, et constitué par deux cycle de sédimentation (cycle miocène et cycle pliocène), le cycle sédimentation miocène qui occupe presque tout le bassin avec des interruptions sur les marges dues aux tectoniques provoqués par les orogénèses, il est subdivisé en deux étages le miocène inférieur et supérieur.

La sédimentation diatomitique (formation à Tripolis) sur la bordure sud du Dahra (partie centrale du bassin du Bas Chélif), est représenté par des alternances marno-diatomitiques caractérise le miocène terminal (Messinien) du cycle supérieur, elle est limitée au sommet par la formation gypseuse et une épaisse formation post-gypseuse (Messinienne et Pliocène) et à la base par des marnes grises Messiniennes et marnes bleues d'âge Tortonien. Il est à noter que des niveaux cinéritiques s'intercalent dans les diatomites et les marnes Tortoniennes, témoignant de manifestations volcaniques à cette époque dans le bassin.

Dans les zones marginales ces formations diatomitique sont surmontées par des plates-formes carbonatées à algues et à coraux (où s'intercalent à leur base).

B. 1. 7. Description faciologiques des échantillons

Les échantillons ont été désignés par des lettres selon le nom du site, et noté en plus avec un nombre qui représente le numéro du banc géologique (IGB : IRGHBEL ; OD : Ouled Djilali ; SIG : la nouvelle exploitation au Sig wilaya de Mascara). Et décrits dans le **tableau B. 6**.

Tableau B. 6 : Description morphologiques des échantillons

	Epaisseur	Nature	Couleur	Morphologie
OD01 (à la base du 1 ^{er} banc)	1.2 m	Diatomites ± marneuses	Blanchâtre vers beige	± feuilletée pulvérulente
OD02 (au milieu du 1 ^{er} banc)		Diatomites marneuses	Beige	Indurée, massive, pulvérulente
OD03 (Au sommet du 1 ^{er} banc)		Diatomites	Blanchâtre	Feuilletée, légère, pulvérulente
OD04 (Au sommet du 4 ^{ème} banc)	1.35 m	+ Diatomites	Blanchâtre	+ feuilletée, légère, pulvérulente
OD05 (à la base du 5 ^{ème} banc)	0.9 m	Diatomites marneuses	Beige	Indurée, massive
OD06 (au milieu du 5 ^{ème} banc)		Diatomites marneuses	Beige	Indurée, + légère, massive
OD07 (au milieu du 7 ^{ème} banc)	1.8 m	Diatomites ± marneuses	Beige	± feuilletée, pulvérulente
OD08 (Au sommet du 7 ^{ème} banc)		Diatomites ± marneuses	Beige	± feuilletée, pulvérulente
IGB01	0.5 m	Diatomites	Blanchâtre à beige	± laminée massive
IGB02	0.5 à 1.1m	Diatomites ± marneuses	Beige	Massive, indurée et non feuilleté Banc lenticulaire (0, 5 m à 1.1 m d'épaisseur)
IGB03	0.5 m	Diatomites ± marneuses	Beige	Laminées
IGB04	0.5 m	Marne diatomitique	Beige foncé à grise	Faciès type Laminite
IGB05	0.65 m	Diatomites marneuse	Beige foncé à grise	Non feuilletée, massive
IGB06	0.7 m	Diatomites ± marneuses	beige	Massive, pulvérulente
IGB07	0.75 m	Diatomites ± marneuses	Blanchâtre	+ pulvérulente ± feuilletée
IGB08	0.6 m	Diatomites légèrement marneuses	Blanchâtre	Massive pulvérulente
IGB09	0.5 m	Diatomite Présence de traces fossiles (Zoophychos)	+ Blanchâtre	Friable
IGB10	0.75 m	Diatomites	Blanchâtre à beige	La base du banc est massive (0.4 m) Le sommet (0.35 m) est feuilleté, pulvérulente, friable
Sig01	0.9-1 m	Diatomitique	Blanchâtre à beige	± laminée, massive
Sig02	0.9-1 m	Diatomitique	Blanchâtre à beige	± laminée, massive

B. 2. Techniques d'identification des diatomées fossiles

L'ensemble des résultats présentés dans ce travail reposent sur le traitement et l'observation sous microscope optique de plusieurs échantillons prélevés sur les trois régions (ou sites) étudiées. L'échantillonnage a été effectuée d'une manière éparse en raison de un à trois échantillons par banc géologique. Le choix des échantillons a été effectué en fonction de la nature du sédiment (diatomites plus appropriées) tout en levant une suite de séquences dans la formation diatomitique.

Les techniques utilisées ont été mises au point et affinées lors des études préalables adoptées par [Gardette \(1979\)](#), et [Mansour \(1991\)](#). Elles consistent en un traitement physico-chimique du sédiment et un montage du résidu obtenu sur lame et lamelle pour l'observation en microscope optique (**figure B. 11**). Le traitement physico-chimique a pour but d'éliminer les éléments non siliceux associés aux diatomées (les carbonates, des matières organiques et les éléments détritiques).

B. 2. 1. Elimination de la fraction carbonatée et la matière organique

L'élimination de la fraction carbonatée et la matière organique, nécessitent d'attaquer à chaud à l'acide Chlorhydrique (50ml de HCl à 20%) pour éliminer les carbonates et à l'eau oxygénée (50ml de peroxyde d'hydrogène à 110 volumes) pour l'élimination de la matière organique, une quantité (environ 1g) de chaque échantillon de diatomite dans un bécher. La réaction est terminée lorsque la solution vire vers le jaune. L'acide en excès est éliminé par des rinçages successifs à l'eau distillée après plusieurs décantations (au minimum trois fois et quand en sentira plus l'odeur de l'acide).

B. 2. 2. Elimination de la fraction détritique

La fraction détritique est composée de détritique fin (particules argileuses en suspension ou piégées dans les frustules), et de détritiques grossiers (grains de quartz, cendres...). Remarque : L'élimination de la fraction détritique fin en utilisant une solution de Hexamétaphosphate de sodium et le passage aux ultra-sons ont été écartés pour éviter l'éclatement et la destruction des frustules.

L'élimination de la fraction détritique grossière se fait par homogénéisation et décantation de la solution (environ 30 à 35 seconde) et le surnageant est versé lentement dans un tube à décanter. Ainsi, le détritique grossier décanter rapidement tandis que les diatomées et les silicoflagellés (du fait de leur forme et leur densité) descendent moins rapidement. Cette

opération est répétée trois à quatre fois car certaines formes grossières de diatomées peuvent se déposer rapidement. Le culot est ensuite récupéré dans d'autres tubes en plastique afin de savoir s'il y a encore des diatomées. En prévention d'une activité bactérienne, il est préférable d'ajouter dans les solutions obtenues quelques gouttes d'aldéhyde formique (formol).

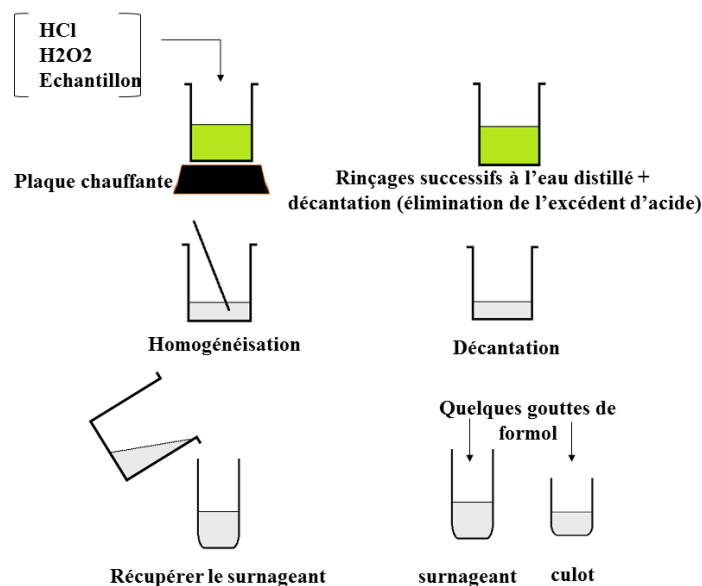


Figure B. 11 : Traitement physico-chimiques des échantillons pour l'observation au microscope optique.

B. 2. 3. Montage et observation des lames

Après avoir bien homogénéisé la solution, une goutte est prélevée et délicatement étalée sur une lamelle (24× 32 mm). Une goutte d'eau distillée mélangée au détergent est déposée aussi sur la lamelle pour bien étaler la solution. La préparation est ensuite placée sur une plaque chauffante pour accélérer le séchage de la lamelle.

Le collage de la lame et lamelle se fait en déposant quelques gouttes de résine (baume de Canada à indice de réfraction 1,71) sur une lame de verre biologique de (76× 26 mm), l'ensemble est mis sur une plaque chauffante jusqu'à ébullition de la résine. La lamelle sur laquelle est déposée le résidu siliceux est placée délicatement sur la lame pour éviter de la casser, de briser les grandes formes d'organismes ou de laisser des bulles d'air piégées entre la lame et la lamelle.

La lame préparée est ensuite nettoyée avec l'acétone afin de l'observer sous un microscope photonique (**figure B. 12**).

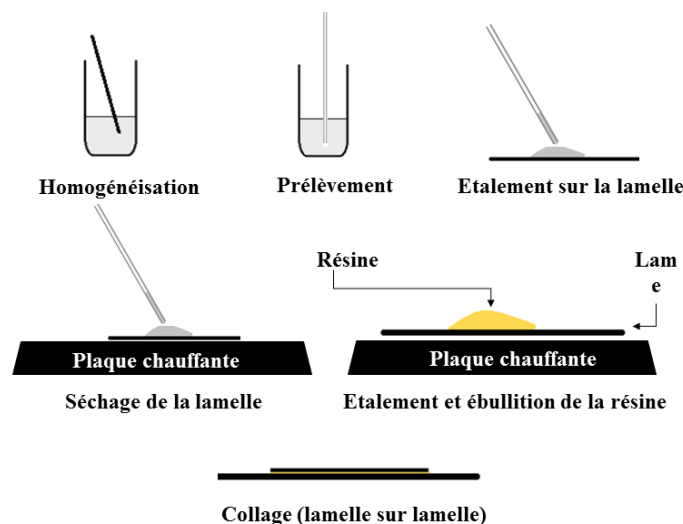


Figure B. 12 : Montage des lames pour les observer au microscope optique.

B. 2. 4. Détermination des taxons

Pour la détermination des diatomées, on a largement référé aux travaux de : [Peragallo H. et M. \(1897-1908\)](#) ; [Cupp E.E., 1943](#) ; [Frydas D. \(1999, 2004, 2006, 2007\)](#) ; [Gardette D., 1979](#) ; [Whiting M-C. et Schrader H., 1985](#) ; [Mahood A-D. et Barron J-A., \(1996, 2006\)](#) ; [Mansour B. \(2004 ; 1991\)](#) ; [Paulmier G. \(1993 : 1997\)](#) [Schrader H-J., \(1974, 1973\)](#) ; [Schrader F., 1976](#) ; [Andrews G-W., 1976](#) ; [Sournia A., 1968](#) ; [Glandenkov A-Y., 1994](#) ; [Glandenkov A-Y. et Barron J-A., 1995](#) ; [Abbott W-H., 1980](#) ; [Andrews G-W. et Abbott W-H., 1985](#) ; [Baldauf J-G. et Barron J-A., 1982](#) ... ainsi que d'autres. Ces travaux de recherches décrivent les taxons ainsi l'évolution de leurs nominations et classifications taxonomiques au cours du temps.

B. 2. 5. Comptage

Pour chaque échantillon, les variations verticales des pourcentages des taxons des diatomées rencontrées sont établies à partir d'un comptage sur lames observées au microscope optique, à un grossissement de X 500. L'abondance absolue des taxons pour chaque échantillon est fixée à 500 individus.

B. 2. 5. 1. Critères de quantification

Les critères utilisés pour la quantification des taxons (diatomées et silicoflagellés) dépendent de l'ornementation et la géométrie de la valve (frustule). Dans ce travail la méthode adoptée est basée sur les travaux de Schrader et Gersonde 1978 (*in* [Mansour B., 2004](#)) (**figure B. 13**).

Que ce soit pour les diatomées ou les silicoflagellés, seront retenues comme unité de comptage pour les différents taxons, seulement les formes entières ou les fragments identifiables égaux ou supérieurs à la moitié de la frustules sont retenues.

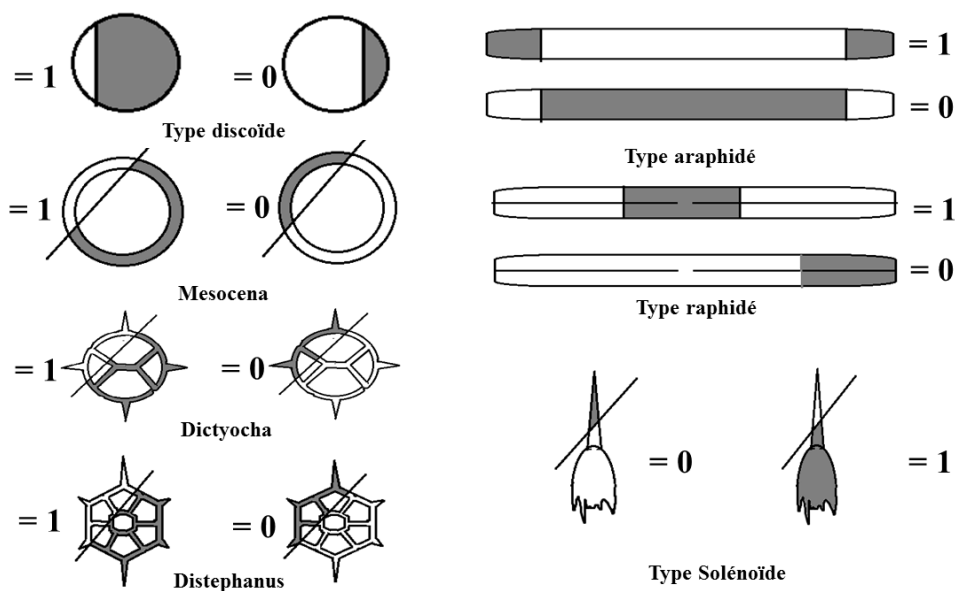


Figure B. 13 : Critères d'unité de comptage.

B. 3. Techniques et méthodes de caractérisation de la diatomite naturelle

B. 3. 1. Préparation des échantillons pour analyse physicochimique

La préparation d'échantillon est l'étape la plus importante pour les techniques de spectroscopie par fluorescence X et diffraction de rayons X. Les échantillons de diatomite ont subi le même traitement. À savoir, ils ont été séchés à une température de 110 °C pendant 12 heures. Après avoir cassé à la main les agglomérats compacts de diatomite ou avec un concasseur à mâchoires si nécessaire, et après avoir retiré si besoin les morceaux de végétaux visibles (tiges), la totalité des échantillons a été broyé au broyeur HERZOG dans un bol en tungstène (3 minutes à 700 tours), ensuite, tamisés à 63µm (aucun refus ne doit subsister). Après tamisage, ils sont homogénéisés et enfin analysés.

B. 3. 2. Détermination de la perte au feu à 950 °C

La perte au feu (PAF) représente, après séchage du produit à 105 °C, le pourcentage de matière éliminée au cours de la calcination à l'air d'un échantillon, elle peut être appliquée sur toutes les matières solides. La matière éliminée par calcination est constituée par la matière organique, l'eau cristallisée, et les éléments oxydables éventuellement présents peuvent être

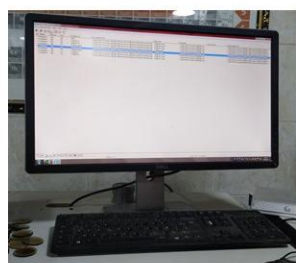
oxydés. Elle est déterminée comme suit :

$$PAF = \frac{(m1+Pe)-m3}{Pe} \times 100 \quad (12)$$

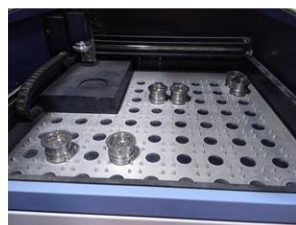
Où, **PAF** : perte au feu ; **m1** : masse de creuset vide en g ; **Pe** : prise d'essai 2 g ; **m3** : masse après calcination (creuset + matière calcinée).

B. 3. 3. Détermination de la composition chimique par la fluorescence à rayons X (XRF)

Les analyses ont été réalisées à l'aide du spectromètre à fluorescence X **S8 TIGER** de **Bruker** (**figure B. 14**). L'analyse spectrométrique élémentaire par Fluorescence X est une méthode qui permet l'analyse qualitative et quantitative d'un élément. Son principe est basé sur la mesure de l'intensité de la radiation caractéristique de l'élément à doser (**Tertian R., 1968**). Lorsqu'un spécimen du disque de verre fusionné (perle), est irradié par un X de haute énergie du faisceau de rayons, les éléments présents vont entrer dans un état excité. La fluorescence X analyse le rayonnement émis par les atomes après cette excitation. Les intensités sont mesurées par des détecteurs appropriés aux différentes longueurs d'onde par élément (**Camarillo R-D., 2007**). Les concentrations des éléments sont déterminées en rapportant le rayonnement mesuré de spécimens inconnus de courbes analytiques de XRF.



Ordinateur Système



Cellules de mesure



Spectromètre à fluorescence X **S8 TIGER**



Perleuse



Perle et Support



Creuset en platine

Figure B. 14 : Illustration des équipements de la fluorescence à rayons X

VI. 3. 3. Préparation des « perles »

Tous les matériaux conducteurs ou non peuvent être analysés par la spectrométrie de fluorescence X. Une perle est un cylindre de verre de 37 mm de diamètre et d'environ 2 mm d'épaisseur. Elles sont obtenues en mélangeant 1 g d'une préparation de diatomite calcinée (à 950 °C pendant 30 min) à 7 g du fondant de Dilithium tétraborate et en portant ce mélange à haute température dans un creuset en platine inoxydable placé dans la machine à fusion. La montée en température se déroule en plusieurs étapes : une phase d'oxydation de 2 minutes à 550 °C pendant laquelle tous les éléments du sol vont être portés dans leur état d'oxydation maximum et une phase de fusion progressive de deux paliers à 780 et 1050 °C de 6 minutes chacun. Pendant la fusion, l'agitation du creuset va permettre d'inclure les éléments dans le borate de manière homogène (température de fusion du mélange de borate 875 °C). Après la fusion, le contenu est ensuite « coulé » dans un moule et la perle est obtenue après refroidissement. Les perles sont directement analysables par Fluorescence X.

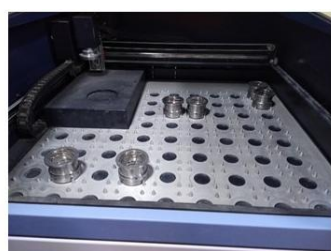
B. 3. 4. Détermination des structures cristallines par la diffraction à rayons X (XRD)

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un diffractomètre à rayon X **D4 ENDEAVOR** de **Bruker** (figure B. 15). La diffraction des rayons X est une puissante technique d'analyse permettant principalement de déterminer qualitativement et quantitativement la phase cristalline des échantillons poly cristallins. Cette technique repose sur les interactions de la structure cristalline d'un échantillon avec des radiations de courte longueur d'onde (rayons X). L'impact d'électrons, émis par une cathode chauffée et accélérée par un champ électrique, sur une cible métallique, l'anticathode (cuivre, cobalt...) provoque l'émission de rayons X. Lorsque les rayons X entrent en contact avec la matière, chaque atome du cristal dévie ce faisceau et diffuse une onde qui se propage dans toutes les directions. Si les rayons diffusés sont en phase, on obtient des interférences constructives. Selon la direction de l'espace, le flux de photons sera plus ou moins important : ces variations selon les directions forment le phénomène de diffraction X (Serna F. *et al.*, 2014 ; Gravereau P., 2012). Les directions dans lesquelles les interférences sont constructives, appelées pics de diffraction, peuvent être déterminées par la loi de Bragg :

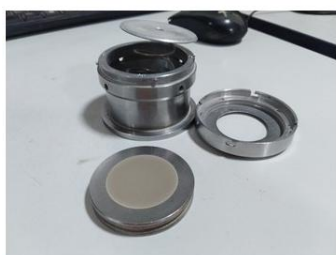
$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (13)$$

Où, λ : longueur d'onde (nm) ; d : distance inter réticulaire (nm) ; θ : angle entre le rayon incident et le plan diffractant ; n : ordre de diffraction

Le résultat de l'analyse est représenté par un diffractogramme (ensemble de pics qui correspondent aux différents rayons diffractés). La forme et la position d'un certain nombre de pics caractéristiques permettent d'identifier le minéral et renseigner sur son état de cristallisation. Pour un matériau contenant plusieurs minéraux, la hauteur des pics est grossièrement proportionnelle à leur quantité.



Cellules de mesure



Pastilles et Support



Diffractomètre à rayon X D4 ENDEAVOR



Module de préparation automatique des pastilles

Figure B. 15 : Illustration des équipements du diffractomètre à rayons X.

B. 3. 5. Spectroscopie Infra- Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)

Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre Infra rouge de type « **IRTF Bruker alpha** ». La spectroscopie IR est probablement le plus important des outils employés pour appréhender la chimie de surface de la silice (Despas C., 1998). La spectrométrie IR est une technique de caractérisation rapide et sensible de la plupart des molécules existantes. Elle s'utilise principalement pour l'analyse quantitative d'une molécule. Cette méthode d'analyse physico-chimique, par accumulation dans un temps raisonnable d'un grand nombre de spectres, permet en évidence la présence des groupements chimiques de surface des adsorbants préparés et leurs arrangements (Bouanaka F., 2008). Le principe d'une spectroscopie IR est d'envoyer des radiations IR sur un échantillon à analyser. Certaines longueurs d'onde sont alors absorbées par les liaisons chimiques des molécules se trouvant dans l'échantillon. Un spectre IR est généré, qui permet de déterminer ces liaisons chimiques.

Deux types d'informations peuvent être tirés des spectres :

- Informations qualitatives sur les différents groupes chimiques existants : les groupes chimiques présents dans le matériau analysé absorbent le rayonnement infrarouge à des longueurs d'onde caractéristiques, qui permettent à l'aide des tables de les identifier.
- Informations quantitatives : la détermination de la concentration du groupe chimique via la mesure de l'intensité de l'absorption à la longueur d'onde caractéristique. En mesurant l'aire du signal caractéristique, on peut, si on connaît l'épaisseur de la couche, comparer la proportion d'un groupement chimique donné dans plusieurs échantillons ou si on a une composition constante avoir une idée de l'épaisseur des films les uns par rapport aux autres.

B. 3. 6. Microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM)

Le microscope électronique à balayage est un instrument d'observation, qui permet d'obtenir des images de la topographie des surfaces de pratiquement tous les matériaux solides. Cette technique est caractérisée par un effet de relief de l'image. (Faerber J., 2004). Le terme « électronique » témoigne de l'utilisation d'électrons et celui de « balayage » rappelle que c'est au cours du déplacement du faisceau d'électrons sur la surface de l'échantillon que se construit l'image de l'échantillon sur l'écran de visualisation.

Le principe de fonctionnement du microscope est fondé sur la détection des signaux provenant de leur interaction avec l'échantillon sous l'impact d'un faisceau d'électrons. Ces électrons projetés se déplacent la surface à analyser et pénètrent profondément dans le matériau ce qui permet de construire des images avec, d'une part, un pouvoir séparateur souvent inférieur à 5 nm, et d'autre part, une grande profondeur de champ (Hadjar H., 2003 ; 2012).

L'analyse des différents échantillons de diatomite a été réalisée dans un appareil de type « Philips XL 30 model ESEM-FEG » fonctionnant à 8 kV. Une fois placé dans la chambre du microscope, l'échantillon reçoit un flux d'électrons très important. L'observation d'échantillons électriquement isolants a été faite grâce à un dépôt préalable d'une fine couche conductrice de carbone transparente aux électrons, servant aussi à coller la petite surface de l'échantillon de diatomite sur un support (disquettes magnétiques).

B. 3. 7. La méthode de Brunauer, Emmett et Teller (BET)

On désigne, usuellement par un solide poreux, une matrice composée de grande surface spécifique et un réseau de pores très important. La description des propriétés texturales d'un solide fait intervenir des grandeurs telles que la surface spécifique S , la porosité, et la distribution des pores (répartition du volume poreux en fonction du diamètre ou du rayon des pores) (Hadjar H., 2003 ; Weiland E., 2015). La surface spécifique d'une poudre est estimée à partir de la quantité de diazote N_2 adsorbée en relation avec sa pression à la température d'ébullition de l'azote liquide et sous une pression atmosphérique normale. Les informations sont interprétées selon le modèle de Brunauer, Emmett et Teller (méthode BET) développée en 1938 (Brunauer S. et al., 1938). Le modèle de surface spécifique (BET) est le plus utilisé pour décrire l'adsorption d'un élément gazeux ou liquide sur un solide.

Le principe de l'analyseur de surface par adsorption d'azote N_2 à 77 K (-196 °C), est basé sur la mesure volumétrique impliquant la variation de pression dans la chambre d'adsorption. Ce principe consiste à programmer une série de pression absolue d'adsorption injectée au fur et à mesure.

Le dispositif utilisé est un système volumétrique de type « ASAP-2420 V2.09 (V2.09 J) ». Avant de commencer l'adsorption de N_2 , les échantillons ont été d'abord séchés, pesés et dégazés (à 300 °C pendant une durée minimale de 12 h).

B. 3. 8. Détermination du pourcentage de chlorures par la méthode de MOHR

Afin d'extraire les ions chlorure, nous avons préparé un mélange de sédiment/d'eau distillée par la suite porté à ébullition jusqu'à l'obtention d'un volume de 50 ml. Après refroidissement, l'extrait a été filtré et titrer avec une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) de concentration $C = 0.015$ (mol/l), suivant la méthode de MOHR.

Calcul :

$$Cl\% = \frac{V \cdot C_1 \cdot M_{Cl} \cdot f}{m} \quad (14)$$

Où, V : consommation du titrant en ml ; m : masse de l'échantillon 1g. ; M_{Cl} : masse molaire du chlore 35.453g/mol ; C_1 : molarité du titrant 0.015(mol/l) ; f : 0.1 (facteur de conversion pour %).

B. 3. 9. Caractéristiques types des échantillons diatomitiques

Dans cette partie, les échantillons de diatomite ont été broyés manuellement dans un mortier en porcelaine, dans le but d'homogénéiser le matériau et d'uniformiser la taille de ses particules. La plus grande portion après tamisage est de 200 µm.

B. 3. 9. 1. La densité apparente

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol (Oro G. *et* Godo G., 1990). Quand on remplit un récipient avec une matière, le volume qu'elle occupe dépend de la taille et la disposition de ces composants (grains), la densité apparente permet de rendre compte de ce phénomène.

Selon Hamdi B. *et al.* (1998), la détermination de la densité apparente du matériau consiste à mettre une quantité M du matériau (<200 µm) correspondant à un volume V dans une éprouvette de 5 ml, préalablement séchée à 105 °C pour la déshydrater. Trois essais sont réalisés pour chaque densité.

$$da(*) = m / V \quad (15)$$

Où, **da(*)**: la densité apparente en g/cm³ ; **V** : le volume de récipient (éprouvette) en ml ; **m** : Masse de la diatomite en g.

B. 3. 9. 2. Le pH de la diatomite

L'analyse consiste à agiter continuellement un mélange d'eau/sédiment pendant 6 h, ensuite la mesure de pH se fait dans le surnageant ou immédiatement après l'agitation de façon à faire la mesure dans une solution homogène.

B. 3. 9. 3. Détermination du taux d'humidité résiduelle

La détermination du taux d'humidité résiduelle représente la différence de masse entre l'échantillon humide (de 2 à 3 g environ) et l'échantillon séché à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante de la masse du sédiment étudié.

Pour déterminer du taux d'humidité résiduelle, on a utilisé deux méthodes, la première consiste à lyophiliser l'échantillon pendant 48 heures, alors que la deuxième consiste à déterminer la différence de masse chaque une heure pendant 24 h. Le taux d'humidité résiduelle exprimé en pourcentage, est déterminé par l'équation :

$$H\% = \left(\frac{m_0 - m_t}{m_0} \right) \times 100 \quad (16)$$

Où, **H %** : Le taux d'humidité résiduelle ; **m₀** : la masse de la diatomite humide étudiée ;

m_t : la masse de la diatomite après séchage ou au temps (t).

B. 3. 9. 4. Détermination du taux d'adsorption de l'eau

C'est une opération qui consiste à déterminer la quantité maximale de l'eau adsorbée sur la diatomite par rapport à sa masse.

$$\% \text{ Ads H}_2\text{O} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2} \right) \times 100 \quad (17)$$

Où, % Ads H₂O: taux d'adsorption de l'eau ; m₁ : la masse de la diatomite sèche ; m₂ : masse de diatomite après un max d'adsorption de l'eau.

B. 3. 9. 5. Détermination du taux d'adsorption des huiles

Du même que la détermination du taux d'adsorption de l'eau, la détermination du taux d'adsorption des huiles consiste à calculer le rapport entre la quantité maximale de l'huile (l'huile de tournesol) adsorbé sur la diatomite et sa masse.

$$\% \text{ Ads huiles} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1} \right) \times 100 \quad (18)$$

Où, % Ads huiles : taux d'adsorption des huiles ; m₁ : la masse de la diatomite sèche ; m₂ : masse de diatomite après un max d'adsorption de l'huile.

B. 4. Application de la diatomite

Comme mentionné précédemment, l'élimination du bleu de méthylène par adsorption a été choisie comme application. Au cours de cette partie, nous donnerons tout d'abord un aperçu sur le dispositif expérimental et décrire la méthode de dosage adoptée. Nous allons ensuite décrire le mode opératoire des essais d'adsorption du bleu de méthylène sur la diatomite naturelle sans aucune modification physicochimique.

Différents paramètres réactionnels (temps d'agitation, pH de traitement, dose de la diatomite, température de traitement) seront testés. De même plusieurs modèles étudiant la cinétique et l'équilibre d'adsorption seront appliqués afin de mieux comprendre le mécanisme en jeu.

Les essais d'adsorption ont été faits au laboratoire de conservation et valorisation des ressources marines à Sidi Fredj (LCVRM).

B. 4. 1. Dispositif expérimental

Les expériences d'étude de l'adsorption du bleu de méthylène sur la diatomite naturelle sont réalisées en batch, cette méthode est fréquemment utilisée pour étudier le comportement de

polluants à l'interface liquide-solide par l'étude de l'évolution naturelle du système "substrat solide - solution polluante" dans le temps (**figure B. 16**).

Le montage du dispositif expérimental comprend un bain thermostaté dans lequel plongent des erlenmeyers contenant les mélanges réactionnels (solutions colorées et l'adsorbant). L'ensemble est mis sous agitation pendant un temps nécessaire pour atteindre l'équilibre. On effectue des prélèvements de la solution que l'on filtre sous vide pour déterminer la concentration résiduelle du colorant.

Durant ces expériences, les principaux paramètres à fixer sont : la température du système ; le temps de contact ; et les conditions d'agitation afin d'assurer une agitation correcte des particules dans la solution tout en évitant le relargage des polluants adsorbés ; le ratio liquide/solide ; la composition du liquide et la séparation liquide/solide (la filtration).

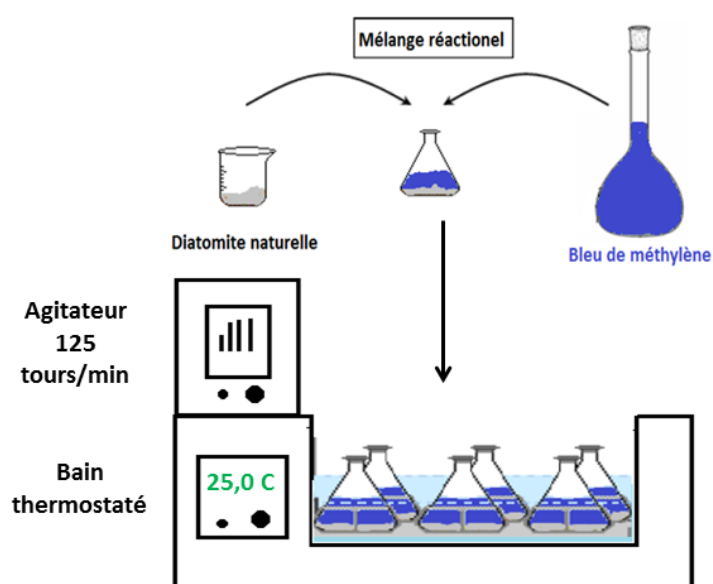


Figure B. 16 : Dispositif d'adsorption en Batch.

B. 4. 2. La spectroscopie d'absorption UV-Visible

La spectrophotométrie d'absorption UV-Visible est une méthode analytique à la fois quantitative et qualitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique. Elle est largement appliquée, bien adaptée, et recommandée pour le dosage des colorants. L'intensité de l'absorption dépend directement de la quantité de la molécule qui absorbe la lumière, selon la loi de BEER-LAMBERT :

$$A = DO = \log (I_0/I) = \epsilon l C \quad (19)$$

$$A = C.l. \epsilon \quad (20)$$

Où, **A** : absorbance ; **DO** : densité optique ; **I_o** : intensité de l'énergie lumineuse transmise ; **I** : intensité de l'énergie lumineuse émise ; **ϵ** : coefficient d'extinction de la lumière ; **l**: longueur de trajet ; **C**: concentration de l'élément à doser.

B. 4. 3. Étalonnage

La gamme d'étalonnage doit autant que possible être comprise autour des valeurs des concentrations des échantillons à doser. La solution mère du bleu de méthylène a été préparée à une concentration de 1 g/l en utilisant l'eau ultra pure. Cette solution est utilisée par la suite pour la préparation des étalons (solutions filles) à des concentrations connus et de volume de 50 ml.

Tableau B. 7 : Gamme d'étalonnage.

Flacon	1	2	3	4	5	6
Volume prélevé ml	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0,5
Concentration [C]mg/l.	1	2	3	4	5	10

Leur absorbance est ensuite mesurée en utilisant le spectrophotomètre UV-Visible à une longueur d'onde $\lambda = 665$ nm, afin de pouvoir tracer la courbe d'étalonnage $A = f(C_e)$ qui nous permette de déduire les concentrations résiduelles des mélange réactionnels.

B. 4. 4. Cinétique d'adsorption du bleu de méthylène

La cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur la diatomite a été réalisée en mettant en contact, par une agitation continue dans un bain thermostaté (Mammert WNB 22) (figure ci-dessus) mené d'un agitateur mécanique à vitesse variable (25°C, 125 oscillations/min), pendant des temps variables de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, et 180 minutes, dans différents erlenmeyers (100 ml), contenant des masses identiques des diatomites étudiées 0.1g, avec un volume constant d'une solution du bleu de méthylène de concentration connue (50 ml) de concentration de 50mg/l, et fermées par un parafilm. Le résiduel, récupéré après filtration, est ensuite analysé par spectrophotométrie d'absorption UV Visible.

La cinétique exprime alors la quantité du BM éliminé par la diatomite naturelle en fonction du temps.

B. 4. 5. Isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est un rapport entre la concentration dans la phase liquide et la quantité adsorbée par les adsorbants à une température et un pH donnés. Elle consiste à mettre en contact dans différents erlenmeyers pendant le temps d'équilibre déterminé par la cinétique (une heure), différentes concentrations croissantes de la solution du bleu de méthylène (10-200 mg/l), et une masse constante de la diatomite naturelle (0.1 g), à une vitesse d'agitation de 125 tr/min et une température de 20 °C.

B. 4. 6. Effet de la variation de la quantité de l'adsorbant

Afin de mettre en évidence l'effet de la quantité de l'adsorbat (la diatomite naturelle) sur l'adsorption du BM, des essais ont été menés sur des masses de diatomite allant de 0.1 à 1g pour chaque échantillon.

B. 4. 7. Effet de la variation de la température

L'effet de variation de la température sur l'adsorption du BM a été déterminé en faisant une série d'essais à trois températures différentes : 20 °C, 30° C, 40 °C.

B. 4. 8. Effet de la variation du p H

Le pH initial de la solution est un paramètre important qui doit être pris en considération pendant toute étude d'adsorption. L'effet de ce facteur sur l'évolution de la capacité d'adsorption a été analysé sur une gamme de pH allant de 3 à 12 de la solution colorée de bleu de méthylène.

Toutes mesures d'adsorption pour tous paramètres ont été faites au moyen de trois répliqués par échantillon.

PARTIE C
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

C. I. Diatomées et reconstitutions des paléoenvironnements

C. I. 1. Introduction

Tout écosystème aquatique confondu : eau douce ; saumâtre et salé, il est largement peuplé par les diatomées. Elles répondent d'une manière instantanée à ces variations, permettant d'être un excellent indicateur de milieux.

Les diatomées fossiles constituent la composante essentielle de la microflore siliceuse de la formation diatomitique messinienne. Il est à noter que la plupart des taxons de diatomées identifiées dans ces sédiments sont représentés actuellement et sachant leur écologie et conditions environnementales sont bien connues donc la fonction transfert nous permettent de bien cerner le paléoenvironnement. Les diatomées fossiles sont donc qualifiées de marqueur potentiel des variations paléoécologiques et paléocéanographiques et indice de paléocourantologie.

Le but de ce chapitre est de faire un inventaire des diatomées fossiles identifiées et décrites et de tirer profit de ce potentiel d'indicateur biologique pour reconstituer les paléoenvironnements des diatomites des sites étudiés dans la région de Mostaganem comme celle du Sig (Mascara).

Cet inventaire (**annexe V**) est suivi d'un renvoi à des représentations photographiques (planches) correspondantes pour les taxons les plus communs ou dominants, d'une synonymie, d'une description ou diagnose du taxon, de données écologiques et éventuellement des remarques.

La classification taxonomique adoptée dans ce travail est celle de [Round et al. 1990](#) (*in* [Mansour B., 2004](#)).

C. I. 2. Description des taxons

C. I. 2. 1. Diatomées

Règne : Plantae

Sous-règne : Chromista

Division : Bacillariophyta

Classe : Coscinodiscophyceae

Sous classe: Biddulphiophycidae

Ordre: Anaulales Round & R.M. Crawford (1990)

Famille: Anaulaceae Lemmerm. (1899)

Genre : *Anaulus*

***Anaulus birostratus* (Grunow) Grunow in Van Heurck, 1882**

Synonymie :

- *Anaulus birostratus* (Grun.) Grun. in Van Heurck, 1882, Pl. XVI, Fig. 7 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve allongée et articulée bipolaire. L'ornementation consiste à des petites aréoles disposées en côtes transversales droites ou courbées continues. Rimoportula unique et centrale.

Dimension : L : 14,5 - 58 µm ; l : 11 – 12 µm.

Ecologie : espèce fossile, sessile littoral des mers chaudes.

Ordre : Biddulphiales

Famille : Biddulphiaceae

Genre : *Biddulphia* Gray, 1821

***Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper, 1959**

Synonymie :

- *Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper, 1959, Pl. 37, Fig. 6 ([Mansour B., et al., 1995](#))
- *Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper, 1959. Pl. 2, Fig. 12 ; Pl.3, Fig.12a ([Frydas D.,1999](#)).
- *Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper, 1959, Pl. 6, Fig. 2 ([Baldauf J-G. et Barron J-A., 1982](#)).
- *Biddulphia tridens* (Ehr) Ehr, 1840. Pl. XVI, Fig. 6,7 ([Gardette D., 1979](#))

- *Biddulphia tuomeyi* (Bailey) Roper, 1959, Pl. 1, Fig.10 (El Ouahabi F-Z. et al., 2007).

Description : la valve présente trois compartiment hémisphériques ou plus (aspect mamelonné) avec des appendices recourbés et renflés aux extrémités. Le compartiment médian est plus élevé que les latéraux. La surface valvaire est couverte de grosses aréoles décroissantes de taille vers les extrémités. Le manteau présente des fines aréolations parallèles à la crête marginale.

Dimension : L : 30 - 80 μm ; l : 16 - 20 μm .

Ecologie : espèce tytopélagique, littorale des mers chaudes et subtropicales (Gardette D., 1979).

Ordre: Triceratiales Round et Crawford

Famille: Triceratiaceae (Schut) Lemmerman 1899

Genre: *Triceratuim* Ehrenberg, 1841

Triceratuim sp.1 in Gardette D., 1979

Synonymie :

- *Triceratuim sp.1* Pl. XXVII, Fig. 9 (Gardette D., 1979).
- *Triceratium balearicum* Cleve et Grunow fa. *Biquadrata* (Janisch) Hustedt. Pl. 2, Fig., 18; Pl. 3, Fig. 21 (Frydas D., 1999).
- *Triceratium balearicum* (Cleve et Grunow) Hustedt. Pl. 2, Fig. 20 (Frydas D., 2004).

Description: valve possède quatre cotés à bords concaves. La surface valvaire est couverte d'aréoles disposées en cercle plus au moins concentriques au centre puis devenant radiant vers les pôles. On distingue des nervures renforçant ces deux orientations. Les pôles sont munis d'une ouverture (Ocelle) légèrement en relief par rapport à la surface (Gardette D., 1979).

Dimension : Φ 40 - 60 μm .

Ecologie : espèce marine, benthique, polyhalobe, littoral, avec une préférence aux environnements d'eaux chaudes (Frydas D., 1999 ; Schrader H-J., Fenner J., 1976).

Sous-classe : Coscinodiscophycidae Round et Crawford.

Ordre : Aulacoseirales Crawford.

Famille : Aulacoseiraceae Crawford.

Genre : *Aulacoseira* Thwaites, 1848

***Aulacoseira granulata* (Ehr) Simonsen, 1979**

(Pl. III, Fig. 5, 6)

Synonymie :

- *Melosira granulata* (Ehr) Ralfs. Pl. 1, Fig.14, 15 ([Hajós M., 1970](#)).
- *Aulacoseira granulata* (Ehr) Simonsen, 1979, (Pl. IV, Fig. 3) ([Mansour B., 2004](#)).

Description : les valves des espèces étudiées ont été identifiées en vue connective. Elles se présentent sous forme cylindrique toujours en chaîne. La surface valvaire est ornée de grosses ponctuations.

Dimension : Φ 10 - 15 μ m.

Ecologie : espèce planctonique, euryhaline en milieu saumâtre et largement répandue en eau douce. Elle est Oligohalobe, meioeuryhaline et alcaliphile ([Gersonde, 1980 in Mansour B., 2004](#)).

Ordre : Asterolamprales Round *et* Crawford.

Famille : Asterolampraceae HL Smith 1872.

Genre : *Asterolampra* Ehrenberg 1844.

***Asterolampra acutiloba* Forti, 1913, in Mansour B., 2004**

Synonymie :

- *Asterophalus aff. hyalinus* Karsten (1905), Pl. 4, Figs. 17-19 ([Schrader H. et al., 1976](#)).
- *Asterolampra acutiloba* Forti, 1913, Pl. XV, Figs. 1-2, ([Gardette D., 1979](#)).
- *Asterolampra acutiloba* Forti, Pl. 1, Fig. 1 ([Gersonde R. et Schrader H., 1984](#)).

Description : valve circulaire caractérisée par une aire hyaline centrale qui se prolonge vers la marge par 4 à 5 rayons hyalins identiques, conférant à la valve une symétrie radiale. Les rayons hyalins sont comblés de fines aréolations. L'aire centrale est marquée par des lignes droites aux mêmes nombres que les rayons.

Dimension : Φ 30 - 55 μm .

Ecologie : marine, planctonique et fossiles ([Gardette D., 1979](#)).

***Asterolampra marylandica* Ehr. Schrader, 1973**

Synonymie :

- *Asterolampra marylandica* Ehr. 1844. Pl.1, Fig.2 ([Baldauf J-G., 1984](#)).
- *Asterolampra marylandica* Ehr. 1844. Pl.21, Fig.2 ([Schrader H-J., 1973](#)).
- *Asterolampra marylandica* Ehr. 1844. Pl. XV, Fig.3 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve circulaire et plate caractérisée par une aire hyaline centrale qui se prolonge vers la marge par 7 rayons hyalins identiques. Les rayons hyalins sont comblés de fines aréolations. L'aire centrale est marquée par des lignes droites aux mêmes nombres que les rayons.

Dimension : Φ 35 – 60 μm .

Ecologie : planctonique, néritique, des mers tempérées chaudes et tropicales ([Gardette D., 1979](#)).

Ordre : Coscinodiscales Round et Crawford.

Famille : Coscinodiscaceae Kützing 1844.

Genre : *Coscinodiscus* Ehrenberg emend. Rattray.

***Coscinodiscus asteromphalus* Ehr., 1844**

Synonymie :

- *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. Pl. 1, Fig. 3 ([Frydas D., 2006](#)).
- *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. Pl. 1, Fig. 9, 10, 13 ([Frydas D., 2007](#)).
- *Coscinodiscus asteromphalus* Ehr. Pl. XVII, Fig. 10 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve de grande taille circulaire, caractérisée par des grandes aréoles au centre disposées sous forme de rosette. La surface valvaire est couverte d'aréoles polygonales de même taille, disposées en rangées rayonnantes, devenant plus petites à la marge.

Dimension : Φ 80 - 150 μm .

Ecologie : cosmopolite, marine, néritique (Compère P. *et* Riaux-Gobin C., 2009 ; Fenner J. *et al.*, 1976).

***Coscinodiscus curvatulus* (Janisch) *in* Gardette, 1979**

(Pl. IV, Fig. 4)

Synonymie :

- *C. curvatulus* (Grunow). Pl. 7, Fig. 9 (Andrews G-W. *et* Abbott W-H. 1985).
- *C. curvatulus* (Grunow). Pl. 2, Fig. 6 (Abbott W-H. *et* Andrews G-W. 1979).
- *C. curvatulus* (Grunow). Pl. XVII, Fig. 15,16 (Gardette D., 1979).
- *C. curvatulus* (Grunow). Pl.1, Fig. 2 (Cupp E.E., 1943).
- *C. curvatulus* (Grunow *in* Schmidt A., 1878), Pl. 19, Fig. 1 (Paulmier G., 1993).
- *C. curvatulus* (Grunow) var. *arcuata*. Hajós, Pl. 4, Fig. 8, 9 (Hajós M., 1970).
- *C. curvatulus* (Grunow). Pl. 37, Fig. 1 (Mansour B., *et al.*, 1995).

Description : cette espèce à valve circulaire et plate, divisée en plusieurs secteurs courbés d'aréoles (faisceaux) (Paulmier G., 1993), qui s'étendent de la marge vers le centre. Chaque secteur ou faisceau est rempli de courtes rangées d'aréoles parallèles, cet agencement montre donc des lignes d'aréoles courbées et décussées en même temps (Andrews G-W. *et* Abbott W-H., 1985 ; Abbott W-H. *et* Andrews G-W., 1979 ; Mansour B., 1991). Le centre de la valve est occupé par des aréoles déposées en cercle laissant la place à un anneau hyalin (Mansour B., 1991). Le bord marginal est finement strié (Andrews G-W. *et* Abbott W-H., 1985 ; Abbott W-H. *et* Andrews G-W., 1979 ; Mansour B., 1991). Au M.E.B l'extrémité de la surface valvaire présente des processus labiés (Mansour B., 1991).

Dimension : Φ 22 - 65 μm .

Ecologie : pélagique, cosmopolite, eaux tempérées froides (Gardette D., 1979).

***Coscinodiscus lineatus* (Ehr) 1839 in Mansour B., 1991**

(Pl. V, Fig. 5)

Synonymie :

- *C. lineatus* Ehr. 1839. Pl. 3, Fig. 3 (Mansour B., 1991).
- *C. lineatus* s.l. Ehr. 1839 Pl. XVIII, Fig 7-8, 10-11 ; Pl. XXIX, Fig. 15 (Gardette D., 1979).
- *C. lineatus* Ehr. Pl. 3, Fig. 1 (Abbott W-H. et Andrews G-W., 1979).
- *C. lineatus* (Ehr. 1838). Pl. 5, Fig. 3-4 (Paulmier G., 1993).

Description : espèce à valve circulaire, plate ou presque plate. Ornée d'aréoles circulaires ou hexagonales déposées en lignes droites dans tous les sens sur toute la surface valvaire. Le bord marginal étroit et finement strié (Mansour B., 1991 ; Abbott W-H. et Andrews G-W., 1979).

Dimension : Φ 40 – 90 μm .

Ecologie : c'est une espèce cosmopolite, très courante dans le plancton néritique et océanique (Sournia A., 1968 ; Cupp E.E., 1943). D'après Lohman (1941), l'espèce est souvent rencontrée dans les eaux tempérées et subtropicales, tandis que Kanaya et Koizumi ont limité sa présence aux eaux tropicales (*in* Gardette D., 1979). Dans une autre citation, l'espèce est commune dans les écosystèmes estuarien et littoral de la Guyane (Paulmier G., 1993) et les côtes du Brésil (Müller-Melchers, 1953 *in* Paulmier G., 1993).

***Coscinodiscus marginatus* Ehr. 1841 in Gardette D., 1979**

Synonymie :

- *C. marginatus* Ehr. 1841. Pl. XIX, Fig. 1-5; 10-11, Pl. XX, Fig. 1 (Gardette D., 1979).
- *C. marginatus* Ehr. 1843. Pl. 3, Fig. 4-5 (Mansour B., 1991).
- *C. marginatus* Ehr. Pl. 4, Fig. 1 (Whiting M.C. et Schrader H., 1985).
- *C. marginatus* Ehr. Pl. 2, Fig. 10 (Sancetta C., 1982).
- *C. marginatus* Ehr. 1843 Fig. 10E-F. (Mansour B. et al., 2008).
- *C. marginatus* Ehr. Pl. 1, Fig. 3 (Cupp E.E., 1943).
- *C. marginatus* Ehr. Pl. 6, Fig. 5; Pl. 8, Fig. 4-5 (Paulmier G., 1997).

- *C. marginatus* Ehr. Pl. 37, Fig. 4 (Mansour B., et al., 1995).

Description : valve circulaire, légèrement convexe. La surface valvaire est caractérisée par des grosses aréoles hexagonales déposées sans ordres bien défini et dont la taille se décroît du centre vers la marge (Sancetta C., 1982 ; Baldauf J-G. et Barron J-A., 1982 ; Mansour B., 1991), air central non différencié, pas de rosette (Cupp E.E., 1943). Le bord marginal proéminent est couvert de fines stries radiales (Andrews G-W. et Abbott W-H., 1985 ; Mansour B., 1991).

Dimension : Φ 40 – 90 μm .

Ecologie : planctoniques, eaux marines boréales à températures chaudes. Leur présence dans les milieux chauds est plus incertaine (Schrader et Gersonde, 1978 in Gardette D., 1979).

***Coscinodiscus nitidus* Gregory, 1857 in Mansour B., 1991**

Synonymie :

- *C. nitidus* Greg. 1857. Pl. 3, Fig. 6 (Mansour B., 1991).
- *C. nitidus* Greg. 1857. Pl. XVII, Fig. 3, 6, 7 (Gardette D., 1979).
- *Psammodiscus nitidus* Greg. Round & Mann. Pl. 6, Fig. 3 (Paulmier G., 1997).
- *C. nitidus* Greg. Pl. 3, Fig. 6 (Hajós M., 1970).

Description : valve circulaire avec des aréoles libres circulaires (distantes), plus petites à proximité de la marge (Cupp E.E., 1943). Les aréoles forment des lignes plus au moins radiantées avec deux séries marginales concentriques (Mansour B., 1991).

Dimension : Φ 25 – 50 μm .

Ecologie : néritique, benthique, tychopélagique (Gardette D., 1979 ; Cupp E.E., 1943).

***Coscinodiscus oculus-iridus* (Ehr) in Gardette D., 1979**

Synonymie :

- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl. 3, Fig. 1, 2, 5 (Hajós M., 1970).
- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl.2 Fig. 8. (Andrews G-W., 1976).
- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl.5, Fig. 1(Baldauf J-G. et Barron J-A., 1982).
- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl.3, Fig. 7(Mansour B., 1991).

- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl.2, Fig. 11(Sancetta C., 1982).
- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl. VIII, Fig. 54, 55 (Sournia A., 1968).
- *C. oculus-iridis* Ehr., 1839. Pl. 13, Fig. 1 (Paulmier G., 1993).
- *C. oculus-iridis* Ehr. Pl.6, Fig.5 ; Pl. 8, Fig. 1 ; Pl. 12, Fig. 1-3(Paulmier G., 1997).

Description : frustule circulaire, large et plate. Les aréoles suivent deux orientations : l'une en lignes radiales et l'autre en lignes courbés décussées. Le centre de la valve est caractérisé par une 'rosette' faite de grandes aréoles. Le bord marginal est strié (Andrews G-W. et Abbott W-H., 1985 ; Mansour B., 2004 ; Andrews G-W., 1976).

Dimension : Φ 90 – 140 μm .

Ecologie : cosmopolite, océanique (Sournia A., 1968), principalement planctonique dans les mers tempérées, elle est présente aussi dans les mers septentrionales (Gardette D., 1979). Fréquente dans les eaux américaines (Paulmier G., 1993).

***Coscinodiscus aff. radiatus* (Ehr), in Mansour B., 2004**

(Pl. III, Fig. 4, 7)

Synonymie :

- *Coscinodiscus aff. radiatus* (Ehr). Pl. XXII, Fig. 7 (Gardette, 1979)
- *Coscinodiscus aff. radiatus* (Ehr). 1841, Pl. I, Fig. 9-12 (Mansour B., 2004).

Diagnose : valve circulaire un peu convexe. La surface valvaire est occupée par des grosses aréoles polygonales sub-égales suivant deux orientations : en lignes radiales et en lignes courbées décussées. Le bord marginal proéminent est couvert de fines stries radiales.

Remarque : le centre de la valve est parfois occupé par une seule aréole subégale aux aréoles voisines et parfois occupé par un amas d'aréoles (cinq aréoles) subégales. Espèces ressemble à *C. marginatus* au niveau du bord marginal, la taille et la forme des aréoles et de la valve.

Dimension : Φ 40 – 110 μm .

Ecologie : pélagique, ubiquiste, habite de préférence les eaux tempérés et subtropicales (Mansour B., 2004 ; Gardette D., 1979).

***Coscinodiscus radiatus* Ehr. 1841**

Synonymie :

- *C. radiatus* Ehr. 1841. Pl. 37, Fig. 5 ([Mansour B., et al., 1995](#)).
- *C. radiatus* Ehr. Pl. 6, Fig. 4 ([Paulmier G., 1997](#)).
- *C. radiatus* Ehr. (1841b). P1. 1, Fig. 9; Pl. 3, Fig. 5 ([Frydas D., 1999](#)).

Description : valve circulaire un peu convexe à la marge. La surface valvaire est occupée par des aréoles polygonales sub-égales suivant deux orientations : en lignes radiaires et en lignes courbées décussées. Le bord marginal est finement strié ([Mansour B., et al., 1995](#)).

Dimension : Φ 40 - 50 μm .

Ecologie : c'est une espèce commune avec une large distribution dans les océans actuels ([Frydas D., 1999](#)).

***Coscinodiscus plicatus* Grunow in Gardette D., 1979**

Synonymie:

- *Coscinodiscus* “*plicatus-yabei*” in [Gardette D., 1979](#). Pl. XVII, Fig. 5, 5, 9, 15
- *Coscinodiscus plicatus* Grunow in Schmidt. Pl. 6, Fig. 23 ([Schrader H-J., 1973](#)).

Description: valve circulaire, présence d'une plissure rectiligne de la surface valvaire qui passe du centre et qui s'amenuise au bord. La surface valvaire est couverte d'aréoles dont la taille croit légèrement à partir du centre puis décroît faiblement vers le bord. La disposition de ses aréoles montre deux orientations : l'une en rangées radiaires et l'autre en rangées légèrement incurvés. Pas de zone centrale hyaline. Bord marginal étroit, et orné de plusieurs processus marginaux régulièrement espacés.

Dimension : Φ 30 - 40 μm .

Ecologie : marine planctonique ([Mansour B., 2004](#)).

***Coscinodiscus stellaris* s.l. Roper, 1858**

Synonymie :

- *Coscinodiscus stellaris* Roper. Pl. 19, Fig. 3 ([Paulmier G., 1997](#)).

- *Stellarima stellaris* (Roper) Hasle. Pl. 2, Fig. 2 ([Saint Martin S. et al., 2003](#)).
- *Coscinodiscus stellaris* Roper. Pl. 1, Fig. 12 ([Sancetta C., 1982](#)).

Description : valve circulaire, mince et convexe, couverte de fines aréoles disposées en deux orientations : en rangées radiaires et en rangées courbes décussées, elles montrent ainsi un aspect fasciculaire. L'aire centrale hyaline de forme irrégulière, est dotée de trois à six bras étendus (cornes), formant un modèle grossièrement étoilé ([Mansour B., 2004](#)).

Dimension : Φ 60 – 175 μm .

Ecologie : espèce planctonique, néritico-oceanique. Elle préfère les eaux tempérées et tropicales ([Fenner et al., 1976](#)).

Coscinodiscus sp.1 in Gardette D., 1979

Synonymie :

- *Coscinodiscus sp.1*. Pl. XVII, Fig. 8, 11, 14 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve plate ornée d'aréoles disposées en faisceaux devenant curvilignes vers le bord. Leurs tailles diminuent progressivement et lentement du centre vers le bord, qui paraît, chez certains spécimens, crénelé ([Gardette D., 1979](#)).

Formes affines : *C. neorenulatus* Van. Landing. (= *C. crenulatus* Grunow)

C. curvatulus Var. minor (Ehr.) Grun.

Dimension : Φ 20 – 35 μm .

Ecologie : pélagique des eaux tempérées ([Gardette D., 1979](#)).

Coscinodiscus sp.2 in Gardette D., 1979

Synonymie :

- *Coscinodiscus sp.2*. Pl. 4, Fig. 2 ([Mansour B., 1991](#))
- *Coscinodiscus sp.2*. Pl. XX, Fig. 3-6 ([Gardette D., 1979](#))

Description : valve circulaire, plate. La surface valvaire est occupée de grosses aréoles croissante du centre jusqu'au demi-rayon, puis décroissantes vers un bord strié. Le centre présente une aire hyaline de taille variable. Des petits granules apparaissent épars sur la surface valvaire entre les aréoles ([Gardette D., 1979](#) ; [Mansour B., et al., 1995](#)).

Dimension : Φ 50 – 120 μm .

Formes affines actuelles et écologie :

Coscinodiscus argus Ehr. 1854 : pélagique, néritique et littorales. Les zones tempérées à tropicales ([Gardette D., 1979](#))

Coscinodiscus obscurus Schmidt, 1878 : pélagique, tempérée ([Gardette D., 1979](#)).

Coscinodiscus robustus Greville, 1886 : pélagique, cosmopolite ([Gardette D., 1979](#))

Endictya oceanica : planctonique (néritique et littorale), cosmopolite ([Gardette D., 1979](#))

Coscinodiscus sp.3 in Gardette D., 1979

(Pl. IV, Fig.5)

Synonymie :

- *Coscinodiscus sp.3*. Pl. XXI, Fig. 7 ([Gardette D., 1979](#)).
- *Coscinodiscus sp.3*. Pl.4, Fig. 2 ([Mansour B., 1991](#)).

Description : valve circulaire faiblement convexe. Aréoles subégales décroissantes du centre vers la marge, elles sont agencées en faisceaux peu marqués, et elles semblent devenir dichotomiques vers la marge valvaire. Pas de rosette, pas d'aire centrale hyaline ([Gardette D., 1979](#) ; [Mansour B., et al., 1995](#)).

Dimension : Φ 40 – 60 μm .

Remarque (diagnose) : présence des petite taches (une tache elle a à peu près la taille d'une aréole) hyalines épars sur la surface valvaire. *C. sp.3* présente des caractères intermédiaires de *C. divisus* et *C. radiatus* ([Gardette D., 1979](#)).

Famille : Helicopeltace HL Smith, 1872

Genre: *Actinoptychus* Ehrenberg, 1839

***Actinoptychus aff. minitus* Greville, 1866**

Synonymie :

- *Actinoptychus aff. minitus* Greville. Pl. 3, Fig. 7 ([Abbott W-H., 1980](#)).

- *Actinoptychus aff. minutus* Greville. Pl. 1, Fig. 2 ([Barron J-A., 1976](#)).
- *Actinoptychus sp.* Pl. II, Fig. 8 ([Mansour B., 2004](#)).

Description : valve circulaire divisée en quatre secteurs alternativement élevés et abaissés. Chaque secteur est régulièrement rempli de rangées parallèles d'aréoles. Aire hyaline centrale hexagonale. Bord marginal assez épais et finement strié.

***Actinoptychus senarius* Ehr. 1843 in Mansour B., 2004**

(PL. III, Fig. 2, 3 ; Pl. VII, Fig. 3, 4)

Synonymie :

- *Actinoptychus senarius* (Ehr) [= *A. undulatus* (Ehr.) Kützinger]. Pl. 47, Fig. 9,10 ; Pl. 48, Fig. 1-3 ([Paulmier G.1997](#)).
- *Actinoptychus senarius* (Ehr) Her. Pl. 5, Fig. 2, 3 ([Hajos M., 1970](#)).
- *Actinoptychus senarius* (Ehr) Her. Pl. II, Fig. 9-11 ([Mansour B., 2004](#)).
- *Actinoptychus senarius* (Ehr). Pl. 37, Fig. 3 ([Mansour B., et al., 1995](#))
- *Actinoptychus senarius* (Ehr) Ehr. Pl. 1, Fig. 13 ([Frydas D., 1999](#)).
- *Actinoptychus undulates s.l.*(Bailey)Ralfs in Pritchard,1961. Pl. XIV, Fig. 1, 2, 5 ; Pl. XXIX, Fig. 1, 2, 4, 5, 7, 8 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve circulaire divisée en six secteurs alternativement en relief ou déprimée. Chaque secteur est régulièrement rempli de rangées parallèles d'aréoles. Aire hyaline centrale hexagonale. Bord marginal assez épais et finement strié.

Dimension : Φ 20 - 70 μ m.

Ecologie : espèce marine planctonique eurytherme et euryhaline, sublittoral ([Sow E-H., 2001](#) ; [Pestrea S., Blanc-Valleron M-M. et Rouchy J-M., 2002](#)).

***Actinoptychus splendidus* (Shadbolt) Ralfs in Pritchard 1961**

Synonymie :

- *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs in Pritchard 1961. Pl. 49, Fig. 2-4 ([Paulmier G., 1997](#)).
- *Actinoptychus reinholdii* Hajòs. Pl. 4, Fig. 11 ([Hajos M., 1970](#)).

- *Actinoptychus splendidus* (Shadbolt) Ralfs in Pritchard 1961. Pl. III, Fig. 1-2 ([Mansour B., 2004](#)).

Description : ce spécimen (taxon) regroupe les *Actinoptychus* qui possèdent plus de six secteurs alternativement élevés et abaissés.

Dimension : Φ 50 - 80 μm .

Ecologie : tychoplanctonique, ubiquiste à la faveur des eaux tempérées et tropicales ([Gardette D., 1979](#)).

Genre: *Actinocyclus* Ehr, 1837

***Actinocyclus Cubitus* Hanna et Grant in Schrader H-J., 1973**

Synonymie :

- *Actinocyclus cubitus* Hanna et Grant. Pl. 1, Fig. 9 ([Saint Martin S. et al., 2003](#)).
- *Actinocyclus cubitus* Hanna et Grant, 1926 Pl. III, Fig. 3 ([Mansour B., 2004](#)).
- *Actinocyclus cubitus* Hanna et Grant, 1926 Pl. 2, Fig. 1 ([Mansour B., 1991](#)).

Description : petite valve circulaire, presque plate. La surface valvaire est divisée en quatre secteurs bien marqués par des rangées radiales d'aréoles qui s'étendent de la marge vers le centre. Ces secteurs sont occupés par un nombre égal d'aréoles.

Dimension : Φ 15 – 25 μm .

Ecologie : planctonique, néritique et littorale.

***Actinocyclus tenellus* Brebisson in Andrews G-W., 1976**

(Pl. VII, Fig. 1)

Synonymie :

- *Actinocyclus tenellus* Andrews G-W., 1976. Pl. 6, Figs. 2, 3 ([Andrews G-W. et Abbott W-H. 1985](#)).
- *Actinocyclus tenellus* Andrews G-W., 1976. Pl. III, Figs. 4, 8-10 ([Mansour B., 2004](#)).
- *Actinocyclus tenellus* Andrews G-W., 1976. Pl. 2, Fig. 3-4 ([Mansour B., 1991](#)).

Description : petite valve circulaire, presque plate. La marge est légèrement courbée ornée de fines aréoles disposées en rangées radiaires. La surface valvaire est divisée en cinq à six secteurs par des rangées radiaires des aréoles qui s'étendent de la marge vers le centre. Présence d'un petit pseudonodulus (Ocelle) sur la marge.

Dimension : Φ 30 – 60 μm .

Ecologie : planctonique, néritique, polyhalobe, euryhaline et cosmopolite ([Gersonde, 1980 in Mansour B., 2004](#)).

***Actinocyclus octanarius* Ehr. in Andrews G-W., 1985**

(Pl. III, Fig. 3; Pl. VI, Fig. 3)

Synonymie :

- *Actinocyclus octanarius* Ehr. (1837) (Pl. 2, Fig. 1,4 ; Pl. 4, Fig. 1 ([Frydas D., 1999](#)))
- *Actinocyclus octanarius* Ehr. Pl.5, Fig. 8,4,5,10 ([Hajos M., 1970](#))
- *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenellus* (Brebisson) Hustedt. Pl. 1, Fig. 13 ([Saint Martin S. et al., 2003](#))
- *Actinocyclus octanarius* Ehr. Pl. 6, fig. 1 ([Andrews G-W. et Abbott W-H. 1985](#)).
- *Actinocyclus octanarius* Ehr. Pl. 23, Fig. 4-5 ; Pl. 24, Fig. 2-4 ; Pl. 25, Fig. 1-2 ([Paulmier G., 1997](#)).

Description: valve circulaire, plate, mince et fragile souvent fragmentée. La zone marginale est couverte de rangées de fines aréoles disposées en quinconce. La surface valvaire est divisée en secteurs marqués par des lignes (rangées) d'aréoles qui s'étendent de la zone marginale vers le centre. Chaque secteur est rempli par des lignes d'aréoles parallèles entre elles mais non parallèles aux rangées principales. La densité des aréoles diminue légèrement de la marge vers le centre.

Dimension : Φ 50 – 110 μm .

Ecologie : planctoniques, néritiques, non dans la province océanique, polyhalobe, euryhaline et eurytherme ([Schrader et Gersonde, 1978 in Mansour B., 2004](#)).

***Actinocyclus curvatulus* Janisch, 1878 in Schmidt**

Synonymie :

- *Actinocyclus curvatulus* Janisch 1878 in Schmidt et al. (1874-1959). Pl. 1, Fig. 9 ; Pl. 2, Fig. 8 (Baldauf J-G., 1984).
- *Actinocyclus aff. curvatulus* Janisch 1878 in Schmidt. Pl. XIII, Fig. 6 (Gardette D., 1979).

Description : valve circulaire plate. La surface valvaire est divisée en plusieurs faisceaux par des lignes (rangées) d'aréoles qui s'étendent de la zone marginale vers le centre. Ces secteurs sont occupés par des courtes rangées d'aréoles parallèles. Cette disposition montre des rangées courbes et en même temps décussées. Le centre est caractérisé par des aréoles disposées en cercle laissant la place à un anneau hyalin. Ce spécimen est caractérisé par la présence d'ocelle marginale ponctué, et la coloration irisée des aréoles à faible grossissement.

Ecologie : planctonique, néritico-oceanique très fréquente dans les eaux froides (Pestrea S. et al., 2002).

***Actinocyclus sp.2* in Whiting M-C et Schrader H., 1985**

Synonymie :

- *Actinocyclus sp.2*. Pl. 1, Fig. 6,7 (Whiting M-C et Schrader H., 1985).

Description et diagnose: valve circulaire plate. La surface valvaire est couverte d'aréoles disposées en lignes sigmoïdes-tangentiels à sigmoïdes-excentriques. Pseudonodulus non visibles (Whiting M-C et Schrader H., 1985).

Ecologie : côte de l'Oregon et plateau continental (Whiting M-C et Schrader H., 1985).

Genre: *Azpeitia* Peragallo (1912)

***Azpeitia nodulifera* (Schmidt A., 1878) Fryxell & Sims (1986)**

Synonymie :

- *Azpeitia nodulifer* (Schmidt A.) Fryxell and Sims. Pl. 2, Fig. 7, 8 (Frydas D., 1999).

Description: valve circulaire. Aréoles hexagonales disposées sans ordre et diminuent de taille vers la marge. Le bord est finement strié en raison de la présence d'une couronne de processus labiés de dimensions semblables. Présence d'un nodule central.

Dimension : Φ 31 - 55 μm .

Ecologie : marine polyhalobe, planctonique des mers chaudes subtropicales.

Genre: *Hemidiscus* Wallich, 1860

***Hemidiscus cuneiformis* s.l Wallich, 1860 in Gardette D., 1979**

(Pl. IV, Fig. 6)

Synonymie :

- *Hemidiscus coneiformis* s.l Wall. Pl. XXIV ([Gardette D., 1979](#)).
- *Hemidiscus cuneiformis* Wall. Pl. 1, Fig. 6,7 ([Baldauf J-G., 1984](#)).
- *Hemidiscus cuneiformis* Wall. (1860). Pl. 2, Fig. 9 ([Frydas D., 1999](#)).
- *Hemidiscus coneiformis* Wall. Pl 19, Fig. 20-25([Schrader H-J. 1974](#)).
- *Hemidiscus coneiformis* Wall.1860, Pl. XIII, Fig. 85 ([Sournia A. 1968](#)).
- *Hemidiscus coneiformis* Wall. Pl. 5, Fig 8 ([Abbott W-H., 1980](#)).
- *Hemidiscus cuneiformis* Wall. 1860. Pl. I, Fig. f ([Wu R. et al., 2013](#)).

Description: valve semi-circulaire à extrémités arrondies et à longueur variable. La face dorsale est arrondie, face ventrale légèrement renflée au centre et ornée d'aréoles montrant une structure légèrement fasciculée. Dans chaque faisceau, les rangées sont parallèles aux rayons inter-fasciculaires. Présence d'un nodule central sub-marginal et une couronne de processus labiés sur le bord.

Dimension : L : 42 - 50 μm ; l : 16 – 20 μm .

Ecologie : espèce polyhalobe, holoplanctonique océanique dans les eaux tempérées chaudes à tropicales ([Gardette D., 1979](#) ; [Mansour B., 2004](#) ; [Romero O.E. et al., 2005](#)).

Ordre : Melosirales Crawford

Famille : Hyalodiscaceae Crawford

Genre : *Hyalodiscus* Ehrenberg 1845

***Hyalodiscus radiatus* (O'Meara) Grunow, 1880**

Synonymie :

- *Hyalodiscus radiatus* (O'Meara) Grun.Pl. 1Fig. 4 ([Saint Martin S. et al., 2003](#)).
- *Hyalodiscus radiatus* (O'Meara) Grun. in Cleve et Grun., 1880. Pl. 1, Fig. 4 ([El Ouahabi F.Z. et al., 2007](#)).

Description : valve circulaire, finement ponctuée aux contours irréguliers. La surface valvaire est occupée de fines aréoles disposées en rangées radiaires et décussées. La valve est bordée d'un anneau.

Dimension : Φ 40 – 60 μm .

Ecologie : marine- saumâtres, planctonique littorale, euryhaline ([Saint Martin S. et al. 2003](#)).

Ordre : Paraliales Crawford.

Famille : Paraliaceae Crawford, 1988.

Genre : *Paralia* Heiberg, 1840.

***Paralia sulcata* (Ehr) kützing, 1844**

(Pl. VI, Fig. 5, 6)

Synonymie :

- *Mélosira sulcata* (Ehr.) kützing. Pl. XXV, Fig. 13 ([Gardette D., 1979](#)).
- *Mélosira sulcata* (Ehre.) kützing. Pl. 20, Fig. 09 ([Schrader H-J., 1973](#)).
- *Paralia sulcata* (Ehr.) cleve. Pl. 1, Fig. 5, 6 ([Andrews G-W., 1976](#)).
- *Paralia sulcata* (Ehr.) cleve. Pl. 3, Fig. 13, 14 ([Sancetta C., 1982](#)).
- *Gaillonella sulcata* Ehr. 1839. Pl. 2. Fig. 4 ([Paulmier G., 1993](#)),
- *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve. Pl. XV, Fig. 7 ([Sow E-H., 2001](#)).
- *Melosira sulcata* Grun. Pl. 1, Fig. 1 ([Lortie G., 1983](#)).
- *Mélosira sulcata* (Ehr.) kützing 1844. Pl. I, Fig. a, b ([Wu R. et al., 2013](#)).
- *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve. Pl. 2, Fig. 8 ; Pl. 3, Fig.6 ([Paulmier G., 1997](#)).

Description : valve circulaire, presque plate, le bord extérieur est oculé de grosses aréoles succédés par des aréoles plus fines arrangées en modèle quinconce suivi par une bande

hyaline de 1 µm de largeur, ainsi succédé par un anneau de stries radiales qui se dirigent vers une aire centrale hyaline.

Dimension : Φ 10 – 46 µm.

Ecologie : cette une espèce tychoplanctonique, cosmopolite (Sournia A. 1968), avec une large distribution (McQuoid M-R. et Nordberg K., 2002) qui se présente de l'arctique aux tropiques (Loir M., 2004), c'est une espèce qui peut se trouver à la fois dans les communautés littorales planctoniques et benthiques (McQuoid M-R. et Nordberg K., 2002 ; Sow E-H., 2001). Selon Abrantes (1988) et Sancetta (1979,1981), *Paralia sulcata* est un marqueur de zones d'upwelling (in Pestrea S. et al., 2002).

Sous-classe : Rhizosoleniophycidae Round et Crawford.

Ordre : Rhizosoleniales Silva 1962.

Famille : Rhizosoleniaceae De Toni 1890.

Genre : *Rhizosolenia* Ehrenberg emend. Brightwell, 1858.

***Rhizosolenia hebatata* Grun. 1904**

(Pl. V, Fig. 2, 3)

Synonymie :

- *Rhizosolenia hebatata* forma *hiemalis* Grun. Pl. 2, Fig. 1, 2 (Baldauf J-G., 1984).
- *Rhizosolenia hebetata* fa. *semispina* (Hensen) Gran. Pl. 2, Fig. 35 (Frydas D., 1999).
- *Rhizosolenia hebatata* forma *hiemalis* Gran .Pl.7, Fig. 5, 7 (Mahood A-D. et Barron J-A., 1996).
- *Rhizosolenia* sp. Pl. 2, Fig. 13 (Saint Martin S. et al., 2003).
- *Rhizosolenia hebetata* *Lsemispina* (Hensen) Gran, Pl.90 fig6-9 (Paulmier G., 1997).

Description: valve très allongée, composée de nombreux articles présentant une disposition imbriquée (Gardette D., 1979). Chaque valve se termine par un calypstre trapu (épine longue et épaisse) surmontée d'une terminaison effilée (mucron) large et sigmoïde.

Ecologie : planctonique, polyhalobe, meioeur haline, cosmopolite (Frydas D., 1999).

***Rhizosolenia bergonii* in Schrader H-J., 1973**

Synonymie :

- *Rhizosolenia cf bergonii* Perag. Pl. 9, Fig. 12 (Schrader H-J., 1973).

Description: valve étroite avec quatre articles et termine avec un processus pointu apparaissant fentes au Microscope optique. Valve et valvocopula profondément coniques avec apex longs et étroits habituellement fortement silicifiées. Pas d'octarie (Thomas C-R., 1996).

Sous-classe : Thalassiosirophyceae Round et Crawford

Ordre : Thalassiosirales Gleser et Makarova 1986

Famille : Thalassiosiraceae Lebour 1930

Genre: *Thalassiosira* Cleve, 1873

***Thalassiosira convexa* Muchina, 1965**

Synonymie :

- *Thalassiosira convex* Muchina 1965. Pl. 5, Fig. 10 ; Pl. 7, Fig 9 (Baldauf J-G., 1984).
- *Thalassiosira convexa* Muchina, Pl. 1, Fig. 2 (Frydas D., 1999).
- *Thalassiosira convexa* Muchina, Pl. 1, Fig. 3, 4 (Frydas D., 2004).
- *Thalassiosira convexa* Muchina. Pl. II, Fig.13, 14 (Barron J-A., 1976).

Description : petite valve circulaire convexe ornée de fines aréoles disposées en rangées légèrement courbes vers le bord. Pas d'épines marginales.

Ecologie : marine, planctonique, polyhalobe des eaux tempérées et chaudes.

***Thalassiosira eccentrica* (Ehr) Cleve.**

(Pl. V, Fig. 4 ; Pl. VI, Fig. 1, 2)

Synonymie_:

- *Coscinodiscus eccentricus* (Ehr) Cleve, 1904, Pl. XXIII, Fig.7 ; Pl. XXVII, Fig.1,3 (Gardette D.,1979)
- *Coscinodiscus excentricus* Ehr. Pl. 1, Fig. 1(Cupp E-E., 1943)
- *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cleve. Pl. III, Fig. 9 (Sow E-H., 2001)

- *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cleve. 1903. Fig. 6C (Pestrea S. *et al.*, 2002).
- *Thalassiosira eccentrica* (Ehr.) Cleve. Pl. 35, Fig. 3 ; Pl. 38, Fig. 1, 4, 3 (Paulmier G., 1997).
- *Coscinodiscus excentricus* Ehr. Pl. 3, Fig. 3, 4 (Hajos M., 1970)

Description : valve circulaire plate ou presque plate ; la surface valvaire est remplie de fines aréoles hexagonales et régulière, avec une seule aréole au centre de la valve entourée de sept aréoles en formant un cercle. La valve présente un bord marginale étroit et finement strié (Mansour B., 1991 ; Andrews G-W. *et* Abbott W-H., 1985). Processus microlabiés difficilement observable, aléatoirement repartis sur la surface valvaire (Gardette D., 1979).

Dimension : Φ 30 – 65 μm .

Ecologie : c'est une espèce d'origine marine, planctonique, polyhalobe (Mansour B., 1991) et euryhaline, sa distribution est similaire à celle de l'espèce *T. longissima* (Wu R. *et al.*, 2013).

***Thalassiosira oestrupii* (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko (1956) in Frydas D., 1999.**

Synonymie :

- *T. oestrupii* (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko (1956). Pl. 1, fig. 17 (Frydas D., 1999).
- *T. oestrupii* (Ostenfeld) Hasle. Pl. III, Fig. 10-11 (Sow E-H., 2001).
- *T. oestrupii* (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko. Pl. 2, Fig. 7-8 (Hajos M., 1970).
- *T. oestrupii* var. *oestrupii* (Ostenfeld) Hasle. Fig. 6, 7 (Fryxell G-A. *et* Hasle G. R., 1980).
- *T. oestrupii* (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko. Pl. 1, Fig. 1, 2 (Koç N., *et al.*, 1999).

Description: valve circulaire, faiblement convexe ou plat de petite taille, elle ressemblait à *Coscinodiscus*, et que les épines marginales étaient manquantes. Les aréoles disposées en rangées légèrement courbes et un peu nombreuses et grandes, elles diminuent de taille progressivement vers la marge. Le centre est occupé par un processus labié avec un autre à une distance de 1 à 3 aréoles (Fryxell G-A. *et* Hasle G-R., 1980).

Dimension: Φ 10 – 30 μm .

Ecologie: la première apparition de *T. oestrupii* est notée par Schrader (1973) et Barton (1976) (Frydas D., 1999). C'est une espèce marine, cosmopolite, polyhalobe qu'on peut la

trouver dans les environnements subpolaire et tropicales ([Sow E-H., 2001](#) ; [Romero O-E. et al., 2005](#) ; [Yanagisawa Y. et Akiba F., 1998](#)).

***Thalassiosira hyalina* (Grun.) Gran. in Sancetta C., 1982**

Synonymie :

- *T. hyalina* (Grun.) Gran. Pl. 5, Fig. 4-5 ([Sancetta C., 1982](#)).
- *T. hyalina* (Grun.) Gran. Pl. 34, Fig. 3 ([Paulmier G., 1997](#)).

Description et diagnose : valve circulaire et plate. Caractérisée par des lignes de ponctuations radiales laissant un petit point rond (petite surface) au centre, groupé de sorte que des nouvelles lignes de ponctuations plus courtes, sont insérées à partir du périphérique (non fasciculées). Les lignes radiales n'arrivent pas complètement au centre. Marge légèrement inclinée ([Sancetta C., 1982](#)).

Dimension : Φ 19 – 45 μm .

Ecologie : *T. hyalina*, c'est une espèce océanique, néritique qui se produit dans l'océan Arctique et les feuilles de glaces (seulement en printemps), les courants froids et non dans les courants chauds ([Sancetta C., 1982](#)). Gulf de Anadyr, mer Béring ouest ([Jousé, 1962 in Sancetta C., 1982](#)).

***Thalassiosira praeconvexa* Burckle, 1972**

Synonymie :

- *T. praeconvexa* Burckle 1972. Pl. 1, Fig. 32 ([Frydas D., 2006](#)).
- *T. praeconvexa* Burckle 1972. Pl. 2, Fig. 6, 7 ([Schrader H-J., 1974](#)).

Description : valve petite ornée d'aréoles hexagonales disposées en rangées rayonnantes courbées, agencées en structure excentrique. La taille des aréoles diminue légèrement du centre vers la marge.

Dimension : Φ 10 – 20 μm .

Ecologie : marine et océanique, planctonique, polyhalobe des eaux tempérées et chaudes.

***Thalassiosira symboliphora* Schrader, 1974**

Synonymie :

- *Thalassiosira symboliphora* Schrader, Pl. XIV, Fig. 3 ; Pl. XX, Fig. 2 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve circulaire ornée de fines aréoles disposées en fines rangées fasciculaires de taille plus petit vers la marge. L'aire centrale est dépourvue de cornes, ce qui la distingue de *Stellarima stellaris*. Le bord étroit est finement strié ([Mansour B., 2004](#)).

Dimension : Φ 40 - 80 μm .

Ecologie : marine, planctonique, néritico-oceanique, des eaux tempérées chaudes à subtropicales.

***Thalassiosira sancettae* Akiba, 1985 in Gladenkov A-Y., 1994**

Synonymie:

- *Thalassiosira sancettae* Akiba 1985. Pl. 1, Fig. 12 ([Gladenkov A-Y., 1994](#)).
- *Thalassiosira sancettae* Akiba 1985, Pl.7, Fig.1, 3 ([Akiba F., 1985](#)).
- *Thalassiosira lacustris* (Grunow) Hasle. Pl. 5, Fig. 6-7([Sancetta C., 1982](#)),

Description: valve circulaire à très largement elliptique, tangentielllement ondulé. La surface valvaire est couverte d'aréoles quadrangulaires de même taille disposées radialement.

Aréoles sont bien disposées sur presque toute la valve sauf au creux partie de la plicature où ils sont plutôt isolés. Marge large clairement strié. Un anneau de courts épines se montre clairsemées ([Akiba F., 1985](#)).

Dimension : Φ 20 μm (une seule espèce).

***Thalassiosira sp.1* in Gardette D., 1979**

(Pl. V, Fig. 7 ; Pl. VII, Fig. 5, 6)

Synonymie_:

- *Coscinodiscus excentricus* Ehr. Var. *micropora* Grun. Pl. 2, Fig.16 ([Hajós M., 1970](#))
- *Thalassiosira sp.1* ([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve petite et légèrement convexe. Des aréoles irrégulières qui diminuent de taille progressivement vers la marge ([Lopes C. et al., 2006](#)). Le centre est caractérisé par une

aréole entourée par des aréoles relativement plus petites suivant une circonférence. Le bord marginal est finement strié (Mansour B., 1991 ; Gardette D., 1979).

Dimension : Φ 20 - 10 μm

Ecologie : pélagique, eaux tempérées et subtropicales (Gardette D., 1979).

Thalassiosira sp. 2 in Gardette D., 1979

(Pl. V, Fig. 7)

Synonymie :

- *Thalassiosira sp.2.* Pl. 4, Fig. 15 (Mansour B., 1991).

Description : valve circulaire, petite et légèrement convexe. Des aréoles de taille relativement constante et nettement plus petites que celle de *T. sp1* agencées en lignes obliques (Mansour B., 1991 ; Gardette D., 1979).

Ecologie : pélagique, néritique, eaux tempérées et subtropicales (Gardette D., 1979).

Classe : Bacillariophyceae Haeckel 1878 (Pennée Raphidée).

Sous classe: Bacillariophycidae D. G. Mann.

Ordre : Achnanthes Silva 1962.

Famille : Cocconeidaceae Kützing 1844.

Genre: *Cocconeis* Ehrenberg 1837.

***Cocconeis pseudomarginata* Gregory, 1857**

Synonymie :

- *Cocconeis pseudomarginata* Gregory, 1857. Pl. 5, Fig. 7 (Mansour B., 1991).
- *Cocconeis pseudomarginata* Gregory, 1857. Pl. II, Fig. 4, 5 (Gardette D., 1979).
- *Cocconeis pseudomarginata* Gregory, 1857. Fig. 1-6, 13-15, 20-31 (Romeo O-E. et Navarro N-J., 1999).

Description : valve de forme elliptique. L'ornementation est constituée de faibles punctuations disposées en stries radiales. L'épivalve est bordée par un pseudo-anneau

finement strié. Aire centrale étroite, lancéolée, bordée de chaque côté par un sillon arqué et large. L'hypovalve présente en plus un raphé et des nodules médians et terminaux.

Dimension : L : 50 -70 µm ; l : 35 – 50 µm.

Ecologie : marine, littoral, benthique, polyhalobe et cosmopolite des mers tempérées.

***Cocconeis scutellum s. l.* EHR., 1838**

(Pl. IV, Fig. 2, 4)

Synonymie :

- *Cocconeis scutellum* Ehr. Pl. 2, Fig. 25 (Frydas D., 1999).
- *Cocconeis scutellum* Ehr. Pl. II, Fig. 21, 26, 29 (Gardette D., 1979).
- *Cocconeis scutellum* Ehr. Fig. 1-1 (Romero O-E. et al., 2008).
- *Cocconeis scutellum s. l.* Ehr. 1838. Pl. 5, Fig. 8 (Mansour B., 1991).

Description : valve de forme lancéolée ou elliptique, bordé par une couronne marginale. La surface valvaire est caractérisée par un pseudo-raphé étroit et droit, avec un nodule central rond. L'ornementation est constituée de grosses aréoles sub-quadrangulaires disposées en stries rayonnants.

Dimension : L : 20 – 50 µm ; l : 15 – 40 µm.

Ecologie : épiphytique benthique, cosmopolite dans le domaine marin littoral. Polyhalobe, meio- à pleioeuryhaline (Pankow, 1976 in Frydas D., 1999).

Ordre : Bacillariales Hendey 1937.

Famille : Bacillariceae Ehrenberg 1831.

Genre: *Nitzschia* Hassall, 1845.

***Nitzschia marina* Grunow 1880**

Synonymie :

- *Nitzschia marina* Grun. 1880. Pl. 2, Fig. c (Wu R. et al., 2013).
- *Nitzschia marina* Grun. Pl. 5. Fig. 1, 2 (Baldauf J-G., 1984).
- *Nitzschia marina* Grun. 1880. Pl.6, Fig. 7 (Mansour B., 1991).

Description : valve linéaire légèrement arquée à extrémités arrondies peu réduites. La surface valvaire est caractérisée par des aréoles en côtes transverses stries intercôstales.

Dimension : L : 70 – 90 µm ; l : 6 – 9 µm.

Ecologie : néritico-littoral.

***Nitzschia fossilis* Freng in Kanaya**

Synonymie :

- *Nitzschia fossilis* (Frenguelli) Kanaya. Pl. 4, Fig. 14, 15 ([Baldauf J-G., 1984](#)).
- *Nitzschia cf. fossilis* (Frenguelli) Kanaya. Pl. 4, Fig. 16, 17 ([Baldauf J-G., 1984](#)).
- *Nitzschia cf. fossilis* (Frenguelli) Kanaya. Pl. 4, Fig.9-11([Scrader H-J., 1973](#)).

Description : valve lancéolée, renflée au centre à extrémités striées et légèrement aigues. Les bords sont convexes. La surface valvaire est ornée d'aréoles en côtes transverses stries intercôstales, dont il n'est pas possible de distinguer les aréoles en microscopie optique.

Dimension : L : 40 – 56 µm ; l : 6 – 9 µm.

Ecologie : marine planctonique.

***Nitzschia reinholdii* Kanaya et Koizumi**

Synonymie :

- *Nitzschia reinholdii* Kanaya et Koizumi Pl. 3, Fig. 1([Ciesielski P-F., 1985](#)).
- *Nitzschia reinholdii* Kanaya et Koizumi; Pl. 4, Fig.5-7 ([Baldauf J-G., 1984](#)).
- *Nitzschia reinholdii* Kanaya et Koizumi; Pl. IX, Fig. 14 ([Mansour B., 2004](#)).
- *Nitzschia reinholdii* Kanaya et Koizumi; Pl. IX, Fig. 3-4 ([Gardette D., 1979](#)).
- *Fragilariopsis reinholdii*. Pl. I, Fig. 3, 4. ([Zielinski U., et Gersonde R., 2002](#)).

Description : valve elliptique lancéolée, isopolaire large au centre et à symétrie bilatérale. La surface valvaire est ornée d'aréoles en côtes transverses reliant les bords.

Dimension : L : 50 – 70 µm ; l : 8 µm.

Ecologie : marine, planctonique prolifère dans les eaux chaudes ([Gersonde R., 1980 in Mansour B., 2004](#)).

***Nitzschia maleinterpretaria* Schrader H-J., 1976**

Synonymie :

- *Nitzschia maleinterpretaria* sp in Schrader. Pl. 2, Fig. 11, 18, 19 (Schrader H-J., 1976).
- *Nitzschia maleinterpretaria* sp in Schrader. Pl. 9, Fig. 20, 21 (Barron J-A., 2006).
- *Nitzschia maleinterpretaria* in Schrader. Pl. 2, Fig. 13-16 (Gersonde R. et Burckle L., 1990).

Description : valve elliptique à linéaire elliptique avec des extrémités arrondies. La surface valvaire est ornée d'aréoles en stries transapicales. Elle ressemble à *Denticulopsis nirobarica*, elle diffère d'elle par l'absence de pseudoseptum (Barron J-A., 1985).

***Nitzschia fasciculata* (Grunow) Grunow**

Synonymie :

- *Nitzschia fasciculata* (Grun.) Grun. Pl. 166, Fig. 9 ; Pl. 186, Fig. 18 (Paulmier G., 1997).

Description : valve linéaire-lancéolée, en vue valvaire la forme est légèrement sigmoïde. Les marges sont parallèles à extrémités pointues légèrement arrondie. Raphé excentrique et pas de nodule central. La surface valvaire est caractérisée par une seule rangée d'aréolés marginale.

Ecologie : marine et saumâtre, planctonique, sub-cosmopolite (Compère P. et Riaux-Gobin C., 2009).

***Nitzschia* sp. 1 in Gardette D., 1979**

Synonymie :

- *Nitzschia* sp. 1. Pl. IX, Fig. 11-14 (Gardette D., 1979).

Description : valve allongée à bord linéaire faiblement convexe. Les terminaisons sont émoussées. La surface valvaire est caractérisée par des stries transverses devenant légèrement obliques vers les extrémités. Pas de ponctuation interne visible. La valve présente un nodule carénal médian (Gardette D., 1979).

Ecologie : marine, planctonique, fossile

Ordre : Naviculales Bessey, 1907 sensu emend.

Famille : Diploneidinae D. G. Mann.

Genre: *Diploneis* Ehrenberg ex Cleve, 1804.

***Diploneis bombus* (Ehr) Cleve, 1894**

Synonymie :

- *Navicula bombus* Pl. XVIII, Fig. 10 (Perragallo M. et MM. 1897-1908).
- *Diploneis bombus* (Ehr) Ehr ex Cleve. Pl.130, Fig. 6-8 (Paulmier G., 1997).
- *Diploneis bombus* Ehr. Pl. 8, Fig. 8 (Hajos M., 1979).
- *Diploneis bombus* Ehr. 1844. Pl. 3, Fig. 19 (El Ouahabi F-Z. et al, 2007).
- *Diploneis bombus* Ehr. 1845. Pl. 2, Fig. 15 (Frydas D., 1999).
- *Diploneis bombus s. l.* Ehr. Pl. 2, Fig. 1 (Saint Martin S. et al., 2003).

Description : valve fortement contractée, montrant deux lobes subobriculaires ou elliptiques. Le raphé divise la valve longitudinalement en deux parties symétriques avec un nodule central hyalin carré, le « Stauros » s'étendant sous formes de corne vers les extrémités. Aréoles donnant un aspect perlé disposées en rangées transversales alternant avec les côtes.

Dimension : L : 40 - 70 µm ; l : 15 - 30 µm.

Ecologie : polyhalobe, cosmopolite, marine (Compère P. et Riaux-Gobin C., 2009).

***Diploneis crabro* Mansour et al., 1994**

Synonymie :

- *Diploneis crabro* (Ehr.). Pl. 37, Fig. 8 (Mansour et al., 1994).
- *Navicula crabro* Ehr. Pl. XV, Fig. 6 (Peragallo MM H. et Peragallo M., 1897-1908).

Description : valve courte fortement contractée au milieu, avec des extrémités obtuses ou arrondies. Nodule central plus au moins carré prolongé en chaque côté en deux fourches qui embrassent le raphé qui divise la valve longitudinalement en deux parties symétriques. Aréoles donnant un aspect perlé disposées en rangées transversales alternant avec de grosses punctuations arrondies « les ocelies » formant une bande marginale qui au centre se rapproche du nodule.

Dimension : L : 76 - 100 µm ; l (lobes) : 25 - 30 µm ; l (milieu) : 14 - 16µm.

Ecologie : espèce marine, principalement littorale.

Sous-Ordre : Naviculineae Hendeby, 1937.

Famille : Naviculaceae Kützing, 1844.

Genre: *Navicula* Bory de Saint-Vincent, 1822.

Navicula hennedyi Smith W.

Synonymie :

- *Navicula hennedyi* W. Smith. Pl. 3, Fig. 7 (Frydas, 1999).
- *Navicula hennedyi* var. *schleinitzii* Janisch. Fig. 1 (Höbel P. et Sterrenburg F-A-S., 2011).
- *Navicula hennedyi*. Pl. XXIV, Fig. 18 (MM H. et Peragallo M., 1897-1908).

Description : la valve est de forme ovale, légèrement elliptique. Le raphé se trouve entouré d'une aire hyaline étroite, élargie en Stauros près du nodule médian. L'ornementation est constituée de ponctuations en stries disposées sous deux formes séparées par une dépression hyaline lisse en forme de croissant :

- Stries marginales : plus larges, peu à peu radiantes au milieu de la valve.
- Stries axiales : disposées du part et d'autre du raphé formant deux bandes longitudinales.

Dimension : L : 50 - 90 µm ; l : 25 - 45 µm.

Ecologie : benthique, polyhalobe, meioeuryhaline, cosmopolite (Pankow, 1976 in Frydas, 1999).

Navicula spp. Section des *fusiformis* Cleve

Synonymie :

- *Navicula* spp. Section des *fusiformis* Cleve. Pl. VIII, Fig. 4, 5 (Gardette D., 1979).

Description : la valve est de forme linéaire, lancéolée. L'ornementation est constituée de stries transverse (parfois légèrement obliques) et de fines ponctuations longitudinalement en accord avec la classification proposée par Cleve (1894-1895) in Gardette D., 1979.

Remarque : l'espèce a été observée en vue connective.

***Navicula* spp. Section des *lyratae* in Gardette 1979**

Synonymie :

- *Navicula* spp. Section des *lyratae*. Pl. VI, Fig. 17-22 (Gardette D., 1979).
- *Navicula lyra* Ehr. 1843. Pl. VIII, Fig. 8 (Mansour B., 2004).

Description : la valve est de forme largement elliptique à extrémités resserrées sub-rostrées. Le raphé se trouve entouré d'une aire hyaline étroite, élargie en Stauros près du nodule médian. L'ornementation est constituée de ponctuations en stries disposées sous deux formes :

- Stries marginales : incurvées au milieu de la valve de façon que l'aire hyaline simule une lyre.
- Stries axiales : disposés du part et d'autre du raphé formant deux bandes longitudinales.

Ecologie : marine, littoral, meioeuryhaline, polyhalobe des eaux tempérées à tropicales (Gardette D., 1979).

Sous-classe: Urneidophycidae L.K. Medlin, 2016.

Ordre: Rhabdonematales F.E. Round & R.M. Crawford.

Famille: Rhabdonemataceae F.E. Round & R.M. Crawford.

Genre: *Rhabdonema* F.T. Kützing, 1844.

***Rhabdonema adriaticum* Kützing, 1844**

Synonymie

- *Rhabdonema adriaticum* Kützing, 1844. Pl. 3, Fig. 4. (El Ouahabi F-Z. et al., 2007).
- *Rhabdonema adriaticum* Kützing, 1844. Pl. 1, Fig. 8. (Frydas D., 2006).
- *Rhabdonema adriaticum* Kützing, 1844. Pl. 2, Fig. 4. (Frydas D., 2007).

Description: valve de forme linéaire elliptique, étroite à extrémités arrondies. L'ornementation consiste à des cotes transverses irrégulières apparues comme des petits pores très rapprochés. Les frustule sont souvent accolés (colonies).

Dimension : L : 40 – 85 µm ; l : 8 - 10µm.

Ecologie : benthique sessile, polyhalobe et méioeuryhaline des eaux tempérées chaudes à subtropicales et plus rares dans les milieux tempérées.

Classe : Fragillariophyceae (Pennée Araphidé).

Sous classe : Fragillariophycidae Round.

Ordre : Fragillariales Silva, 1962 sensu emend.

Famille : Fragillariaceae Greville, 1833.

Genre: *Synedra* Ehrenberg, 1830.

***Synedra fulgens* (Greville) Smith W. (1856)**

Synonymie :

- *Synedra fulgens* (Greville) W. Smith. P1. 2, Fig. 30 (Frydas D., 1999).
- *Synedra aff. fulgens* in Gardette. P1. XII, Fig. 13 (Gardette D., 1979).
- *Synedra fulgens*. Fig. 31(Poulin M. et al., 1986).

Description: valve linéaire, lancéolée, étroite et allongée à extrémités arrondies. La surface externe de la valve est caractérisée par une seule rangée d'aréoles poroïdes. La ponctuation est caractérisée par des stries de fines aréoles chambrées allongées ouvertes délimitées par des côtes transverses longitudinales. Pas de processus labiés ou de pores apicales (Poulin M. et al., 1986).

Ecologie : espèce commune des côtes européenne, et Caribéennes (Foged, 1986 in Frydas D., 1999). Benthique polyhalobe à mésahalobe (Frydas D., 1999).

***Synedra tabulata* (Agardt) Kützing (1844)**

Synonymie :

- *Synedra tabulata* (Agardit) Kützing (1844). P1. XII, Fig. 19 (Gardette D., 1979).

Description : valve lancéolée avec des extrémités en forme de bec minces et avec des pôles légèrement arrondis. L'ornementation présente une double rangée de fines aréoles quinconce. Pseudo raphé large de forme lancéolée (Pankow, 1976 in Frydas D., 1999).

Ecologie: forme benthique, mésohalobe, euryhaline, cosmopolite (Pankow, 1976 in Frydas D., 1999).

***Synedra sp. 1* Gardette D., 1979**

Synonymie :

- *Synedra sp. 1*. Pl. XII, Fig. 7, 8 (Gardette D., 1979).

Diagnose : valve lancéolée étroite et allongée large aux extrémités, avec des pôles arrondis. L'ornementation présente de fines aréoles disposées en stries transversales.

Famille : Plagiogrammaceae De Toni, 1890.

Genre: *Dimerogramma* Ralfs in Pritchard, 1861.

***Dimerogramma distans* (Greg.) Ralfs in Pritchard**

Synonymie :

- *Dimerogramma distans* (Greg.) Ralfs in Pritchard. Pl. III, Fig. 7 (Gardette D., 1979).

Description : valve elliptique lancéolée, isopolaire large au centre et à symétrie bilatérale. L'ornementation est constituée d'une seule ligne marginale de très grosses ponctuations. Aire hyaline centrale lancéolée (dilaté au centre).

Dimension : L : 30 – 90 µm ; l : 9 – 12 µm.

Ecologie : marine littorale euryhaline des eaux tempérées a subtropicales (Gardette D., 1979).

***Dimerogramma marinum*(Gregory) Ralfs in Pritchard**

Synonymie :

- *Dimerogramma marinum* (Gregory) Ralfs in Pritchard. Pl. 13, Fig. 9 (Mansour et al., 1994).
- *Dimerogramma marinum* (Gregory) Ralfs. Pl. 3, Fig. 10-11(Frydas D., 1999).

- *Dimerogramma marinum* (Gregory) Ralfs. Pl. 2, Fig. 4 ([Saint Martin S. et al., 2003](#)).

Description : valve de forme linéaire renflée au centre, atténuée aux extrémités. Elle présente un pseudo-raphé linéaire et étroit légèrement dilaté au centre. L'ornementation consiste à des côtes à deux ou trois grosses ponctuations disposées de part et d'autre du pseudo-raphé.

Ecologie : benthique, polyhalobe, cosmopolite ré pondue le long du littoral des mers tempérées ([Mansour B., 2004](#)).

Ordre: Rhaphoneidales Round.

Famille : Rhaphoneidaceae D. G. Mann.

Genre: *Rhaphoneis* Ehrenberg, 1844.

***Rhaphoneis amphiceros* Ehr., 1844**

Synonymie :

- *Rhaphoneis amphiceros* (Ehr) Ehr. Pl. 96, Fig. 1, 2; Pl. 105, Fig. 3([Paulmier G., 1997](#))
- *Rhaphoneis amphiceros* Ehr. Pl. 6. Fig. 1-3 ([Ciesielski P-F., 1985](#)).
- *Rhaphoneis amphiceros* Ehr. Pl. 2, Fig. 7 ([Saint Martin S. et al., 2003](#)).

Description : valve lancéolée, à extrémités rostrées et parfois subcaptiées. La surface valvaire présente un pseudo-raphé étroit souvent rétréci vers les extrémités (moins visible), elle est couverte de grosses aréoles régulières de taille égale disposées en stries relativement courbées et radiant es et montrant ainsi des lignes longitudinales presque droites.

Dimension : L : 20 – 62 µm ; l : 18 – 27 µm.

Ecologie : largement répandue au littoral marin européen et méditerrané, et peuple également les eaux des embouchures ([Gardette D., 1979](#)).

***Rhaphoneis nitida* (Gregory) Grunow, 1867**

Synonymie :

- *Rhaphoneis nitida* (Gregory) Grun. 1867. Pl. 6, Fig. 12 ([Mansour B., 1991](#)).
- *Rhaphoneis nitida* (Gregory) Grun. 1867. Pl. X, Fig. 6-5([Gardette D., 1979](#)).

Description : valve de forme largement elliptique à extrémités arrondies et parfois légèrement ponctuées. La surface valvaire présente un pseudo-raphé étroit souvent rétréci vers les extrémités (moins visible). Elle est couverte de grosses aréoles distantes de taille égale disposées en stries excentriques et qui constituent longitudinalement des lignes courbées.

Dimension : L : 25 – 50 µm ; l : 20 – 40 µm.

Ecologie : largement répandue au littoral marin européen et méditerrané, et peuple également les eaux des embouchures.

Ordre: Striatellales Round.

Famille : Striatellaceae Kützing, 1844.

Genre: *Grammatophora* Ehrenberg, 1839.

***Grammatophora marina*(Lyngbye)Kützing**

Synonymie :

- *Grammatophora* spp.2 in [Gardette D., 1979](#), Pl. V, Fig. 9, 10, 21.
- *Grammatophora marina* (Lyngbye) kützing. Pl. 4, Fig. 14 ([William H-A. et Andrews G-W., 1979](#)).
- *Grammatophora marina* (Lyngbye) kützing. Pl. 7, Fig. 14, 15 ([Andrews G-W., 1976](#)).
- *Grammatophora* sp.2 in [Mansour B., 1991](#). Pl. 67, Fig. 1.

Description : valve allongée- linéaire à extrémités arrondies. Elle présente une seule ouverture elliptique au centre de la valve et des renflements aux extrémités. En vue connective, la forme est quadrangulaire à angles arrondis. Elle présente deux paires de fausses cloisons (Septas) rectilignes, parfois légèrement ondulées au début, puis redevenant de nouveau droites et semblant terminées en boules courbées vers l'intérieur. Les stries transversales sont parfois visibles ([Mansour B., 1991](#)).

Dimension : L : 20 - 60 µm ; l : 4 - 16 µm.

Ecologie : littorale, benthiques dans les mers tempérées et subtropicales. Polyhalobe, méioeuryhaline et cosmopolite ([Gersonde R., 1980 in Mansour B., 1991](#)).

***Grammatophora undulata* (Ehr), 1840**

Synonymie :

- *Grammatophora undulata* Ehr. Pl.6, Fig. 7, 8 (Hajos M., 1979).
- *Grammatophora undulata* Ehr. Pl. V, Fig. 5-6 (Gardette D., 1979).

Description : valve allongée- linéaire à extrémités arrondies renflées au centre. Des stries décussées sont parfois visibles.

Dimension : L : 50 – 80 µm ; l : 5 – 10 µm.

Ecologie : littorale, d'eaux généralement tempérés chaudes, mais elle peut peupler des milieux plus froides (Gardette D., 1979).

***Grammatophora angulosa* (Ehr), 1841**

(Pl. V, Fig. 1)

Synonymie :

- *Grammatophora angulosa* Ehr. (1841b). Pl. 3, Fig. 20 (Frydas D., 1999).
- *Grammatophora angulosa* Ehr. Pl. 7, Fig. 12 (Andrews G-W., 1976).
- *Grammatophora angulosa* Ehr. Pl. 2, Fig. 9-10 (Saint Martin S. et al., 2003).
- *Grammatophora* spp. 1 in Gardette D., 1979. Pl. V, Fig. 17.

Description : valve linéaire à oblongue elliptique à extrémités droit ou ondulés, couverte des aréoles disposées en stries transapicales. En vue connective, la forme est quadrangulaire. Elle présente deux paires de fausses cloisons (Septas) droits ou sinueux

Dimension : L : 28 – 70 µm ; l : 7 – 20 µm.

Ecologie : littorale de mers tempérées et subtropicales (Gardette D., 1979).

Ordre: Thalassionematales Round.

Famille : Thalassionemaceae Round.

Genre: *Thalassionema* Grunow ex Mereschkowsky, 1902.

***Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Husted, 1932**

(Pl. VI, Fig. 4; Pl. VII, Fig. 2)

Synonymie :

- *Thalassionema nitzschioides* (Rop.) Grun. 1880. Pl.2, Fig. f (Wu R. et al., 2013).
- *Thalassionema nitzschioides* Grun, Pl. 3. Fig.17 (Ciesielski P-F., 1985).
- *Thalassionema nitzschioides* Grun. Pl. 7, Fig. 2(Hajos M., 1979).
- *Thalassionema nitzschoides* Grun. Pl. 6, Fig. 2, 3 (Baldauf J-G., 1984).
- *Thalassionema nitzschioides* Grun. Pl. 2, Fig. 6 (Saint Martin S. et al., 2003).
- *Thalassionema* sp. cf. *T. nitzschioides*. Pl. 9, Fig. 8 (Barron J-A., 2006).
- *Thalassionema nitzschioides* (Grun.) Grun. ex Hustedt, 1932. Annexe F, Fig. b (Murray B-H., 2005).

Description : Valve linéaire étroite à extrémités arrondies. La surface valvaire est caractérisée par une seule rangée d'aréolés marginale et une aire axiale hyaline.

Dimension : L : 15 – 80 µm ; l : 4 – 6 µm.

Ecologie : *Thalassionema nitzschioides* est une espèce planctonique, cosmopolite qui peut caractériser les milieux océaniques, Selon Abrantes (1988) et Sancetta (1979, 1981), *Paralia sulcata* et *Thalassionema nitzschioides* sont des marqueurs de zones d'upwelling. (Pestrea S. et al., 2002). Elles se prolifèrent dans les eaux tempérées chaudes à tropicales influencées par des remontées d'eaux « Upwelling » (Gardette D., 1979 ; Mansour B., 2004 ; Mansour B. et al., 2008).

Genre: *Thalassiothrix* Cleve et Grunow, 1880.

***Thalassiothrix longissima* Cleve et Grunow, 1880.**

(Pl. V, Fig. 8; Pl.VI, Fig. 7)

Synonymie :

- *Thalassiothrix* cf. *longissima* Cleve et Grun. (1880). P1. 2, Fig. 36; P1. 3, Fig. 13 (Frydas D., 1999).
- *Thalassiothrix longissima* Cleve et Grun. (1880). P1. X, Fig. 8-10 (Gardette D., 1979).

- *Thalassiothrix longissima* Cleve et Grun. (1880). Pl. VI, Fig. 12-13 ([Mansour B., 2004](#)).

Description : valve extrêmement allongée, étroite à extrémités arrondies. La surface valvaire est caractérisée par des stries transverses, marginales et courtes. Les contours présentent des épines souvent mal conservés. On la trouve souvent fragmentée.

Dimension : 190 µm (un fragment) ; l : 3 – 6 µm.

Ecologie : planctonique, polyhalobe peuple de préférence les eaux tempérées froides. Leur présence est un indice de remontées d'eaux profondes Upwellings ([Pestrea S. et al., 2002](#) ; [Gardette D., 1979](#) ; [Mansour B., 2004](#) ; [Mansour B. et al., 2008](#)).

C. I. 2. 2. Silicoflagellés

Dans les différentes zones étudiées les Silicoflagellés sont représentées par sept espèces :

***Dictyocha ausonia* Deflandre, 1941**

(Pl. VIII, Fig. 1)

Synonymie :

- *Dictyocha ausonia* Deflandre. 1941. Pl. XXVIII, Fig. 16 ([Gardette D., 1979](#)).
- *Dictyocha fibula attsonia* (Deflandre) 1941. Pl. 1, Fig. 1, 2 ([Frydas D. et Avramidis P., 2001](#)).
- *Dictyocha fibula ausonia* (Deflandre). Pl. 4 Fig. 6 ([Frydas D., 2004](#)).
- *Dictyocha fibula ausonia* (Deflandre). Pl. 1 Fig. 4, 5, 38, 39 ([Frydas D., 2006](#)).

Description : squelette en forme de filet. La barre apicale est plus longue que les bielles à l'anneau basal.

***Dictyocha fibula s. l.* Ehr. 1954**

(Pl. VIII, Fig. 2, 3, 7)

Synonymie :

- *Dictyocha fibula* Ehr. Pl. 3 Fig. 7–9 ; Pl. 4, Fig. 5 ([Frydas D., 2004](#)).
- *Dictyocha fibula* Ehr. Pl. 1, Fig. 1 ([Frydas D., 2006](#)).
- *Dictyocha fibula* Ehr. Pl. 4, Fig. 3 ([Frydas D. et Hemleben C., 2007](#)).
- *Dictyocha fibula* Ehr. Fig. 6A ([Frydas D. et Keupp H., 2015](#)).

- *Dictyocha fibula s. l.* Ehr. 1954. Pl. 7, Fig. 6 ([Mansour B., 1991](#)).

Description : squelette en forme de filet. Au-dessus d'un anneau basal polygonal s'élèvent des baguettes convexes en forme des tubes donnant à la frustule une allure de pyramide ce qui laisse apparaître ainsi des fenêtres latérales. Présence de quatre épines ou cornes sur l'anneau basal.

Dimension : L : 48 - 70 μm ; l : 30 - 60 μm (épines comprises).

***Distephanus crux* (Ehr.), Haekel, 1899**

(Pl. VIII, Fig. 4)

Synonymie :

- *Distephanus crux crux* (Ehr.) Zakyntos. Fig. 7 T ([Frydasa D. et Keupp H., 2015](#)).
- *Distephanus crux crux* (Ehr.) Haekel, 1899. Pl. XXVIII, Fig. 41-42 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : squelette formée d'un anneau basal polygonal à quatre coté ou légèrement elliptique, au-dessus duquel se relie un autre anneau apical à quatre cotés par des baguettes latérales. Présence des épines ou cornes sur l'anneau basal.

Dimension : L : 55 - 60 μm ; l : 50 - 58 μm .

***Distephanus speculum s.l.* Ehr., 1854**

(Pl. VIII, Fig. 5)

Synonymie :

- *Distephanus speculum speculum* (Her.). Pl. 3, Fig. 2-4 ([Frydas D., 2004](#)).
- *Distephanus speculum speculum* (Ehr.). Pl. 4, Fig. 7, 8 ([Frydas D. et Hemleben C., 2007](#)).
- *Distephanus speculum speculum* (Her.). Fig. 6 E, F, H ([Frydasa D. et Keupp H., 2015](#)).

Description : squelette formé de deux anneaux basaux polygonaux (apical et basal) reliés par des baguettes latérales tubiformes forment une structure en forme de pyramide et montrant aussi des fenêtres latérales. Présence des épines ou des cornes sur l'anneau basal.

Dimension : longueur du côté : 10 – 20 µm ; longueur des épines : 10 – 18 µm.

***Mesocena circulus* Ehr., 1840**

Synonymie :

- *Paramesocena circulus* (Ehr.) Pl. 4 Fig. 16, 17 ([Frydas D., 2004](#)).
- *Paramesocena* (*Mesocena*) *circulus* (Ehr.). Fig. 7U ([Frydas D. et Keupp H., 2015](#)).
- *Mesocena circulus* (Ehr.) Pl. XXVIII, Fig. 20-22 ([Gardette D., 1979](#)).

Diagnose: squelette formé d'un anneau basal circulaire avec de nombreuses épines ou cornes.

***Mesocena elliptica* Ehr.**

(Pl. VIII, Fig. 6)

Synonymie:

- *Mesocena elliptica* Ehr. Fig. 7P ([Frydas D. et Keupp H., 2015](#)).
- *Mesocena elliptica* var. *triangula* (Ehr) Lemm. Pl. XXVIII, Fig. 25-26 ([Gardette D., 1979](#)).

Description: squelette formé d'un anneau basal strié circulaire légèrement triangulaire avec trois cornes. Diamètre : 45 – 60 µm.

***Schroedrella delicatula* (Peragallo H.) Pavillard, 1913**

Synonymie:

- *Schroedrella delicatula* (Peragallo H.) Pavillard, 1913. Pl. XXV, Fig. 1, 3, 4 ([Gardette D., 1979](#)).

Description : petite Valve circulaire (diamètre < 35µm). Présence d'une épine centrale où se trouve une brève dépression. La couronne marginale est constituée de processus en « double entonnoir » visible par le M.E.B décrites par [Gardette D., 1979](#).

Ecologie : néritique, des eaux chaudes comme la méditerranée à celles plus tempérées de l'Atlantique.

C. I. 3. Groupes écologiques de diatomées

Pour la détermination de ces groupes écologiques de diatomées on a largement référé aux différents travaux :

Peragallo MM H. *et* Peragallo M. (1897-1908), Cupp E-E. (1943), Andrews G-W. (1976), 1980), Gardette D. (1979), Sancetta C. (1979, 1982), Andrews G-W. *et* Abbott W-H. (1985), Sancetta C. *et al.* (1992), Mansour B. (1991,2004, 2008), Paulmier G. (1993, 1997), Saint Martin S. *et al.* (2003), ainsi que d'autres.

C. I. 3. 1. Mode de vie

Plusieurs groupes écologiques ont été définis outre que les espèces cosmopolites : espèces planctoniques littorales, espèces planctoniques néritico-océaniques, espèces planctoniques océaniques, et les espèces benthiques:

C. I. 3. 1. a. Planctoniques néritico-littorales (méroplanctoniques)

Actinocyclus cubitus Hanna et Grant.

Actinocyclus octanarius Ehr.

Actinocyclus tenellus Brebisson

Actinoptychus senarius Ehr. 1843.

Actinoptychus splendidus (Shadbolt) Ralfs *in* Pritchard, 1961.

Coscinodiscus nitidus Gregory, 1857 *in* Mansour B., 1991.

Hyalodiscus radiatus (O'Meara) Grun, 1880 .

Melosira granulata (Ehr.) Simonsen, 1979.

Paralia sulcata (Ehr) kützing, 1844.

Nitzschia marina Grun. 1880

Thalassionema nitzschioides (Grun.) Hustedt, 1932.

C. I. 3. 1. b. Planctoniques néritico-océaniques

Actinocyclus curvatulus Janisch, 1878 *in* Schmidt

Coscinodiscus asteromphalus Ehr. 1844.

Coscinodiscus curvatulus (Janisch)

Coscinodiscus aff. radiatus Ehr. 1841

Coscinodiscus lineatus Ehr. 1839

Coscinodiscus marginatus Ehr. 1841.
Coscinodiscus radiatus Ehr. 1841.
Coscinodiscus stellaris s.l. Roper, 1858.
Coscinodiscus sp.2 in Gardette, 1979
Coscinodiscus sp.3 in Gardette, 1979
Rhizosolenia bergonii in Schrader H-J. ,1973.
Rhizosolenia habetata Grun, 1904.
Thalassiosira symboliphora in Schrader, 1974.

C. I. 3. 1. c. Planctoniques océaniques

Asterolampra acutiloba Forti, 1913.
Asterolampra marylandica Ehr. Schrader, 1973.
Azpeitia nudilifera (A. Schmidt, 1878) Fryxell & Sims (1986).
Coscinodiscus oculus-iridus Ehr.
Hemidiscus cuneiformis s.l Wallich, 1860.
Thalassiosira eccentrica (Ehr) Cleve, 1903.
Thalassiosira oestropii (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko (1956).
Thalassiosira pareaconvexa Burckle, 1972.
Thalassiosira sp.1 in Gardette D., 1979
Thalassiosira sp.2 in Gardette D., 1979
Nitzschia fossilis (Frenguelli) Kanaya.
Nitzschia reinholdi Kanaya et Koizumi.
Thalassiothrix longissima Cleve et Grunow (1880).

C. I. 3. 1. d. Benthiques

Anaulus birostratus (Grunow) Grunow in Van Heurck, 1882.
Biddulphia tuomeyi (Bailey) Roper, 1959.
Cocconeis pseudomarginata Gregory, 1857
Cocconeis sculletum s. l. Ehr. 1838.
Dimerogramma marinum (Gregory) Ralfs in Pritchard.
Diploneis bombus (Ehr.) Cleve, 1894.
Diploneis crabo Ehr. In Mansour et al., 1994.
Grammatophora angulosa Ehr. 1841.

Grammatophora marina (Lyngbye) Kützing.

Grammatophora undulata Ehr. 1840.

Navicula fusiformis Cleve in Gardette D., 1979.

Navicula hendyii Smith. W.

Navicula spp Section des Iyratae in Gardette 1979.

Rhabdonema adriatum Kützing, 1844.

Rhaphoneis amphiceros Ehr. 1838.

Rhaphoneis nitida (Gregory) Grunow, 1867.

Synedra fulgens (Greville) Smith. W.

Triceratium sp. I in Gardette D., 1979.

C. I. 3. 2. Diatomées et la température

Outre que les espèces eurythermes certains taxons caractérisent des milieux subtropicaux à tropicaux (formes chaudes), et des taxons à influences boréales (formes froides).

C. I. 3. 2. a. Formes d'eau froides ou tempérées froides

Actinocyclus curvatulus Janisch, 1878 in Schmidt A..

Coscinodiscus curvatulus (Janisch) in Gardette D., 1979.

Coscinodiscus marginatus Ehr. 1841 in Gardette D., 1979.

Coscinodiscus oculus-iridis (Ehr.) in Gardette D., 1979.

Thalassiothrix longissima Cleve et Grunow (1880).

C. I. 3. 2. b. Formés d'eaux chaudes appartenant aux complexes subtropicales à tropicales

Anaulus birostratus (Grunow) Grunow in Van Heurck, 1882.

Asterolampra acutiloba Forti, 1913 in Mansour B., 2004.

Asterolampra marylandica Ehr. Schrader H-J., 1973.

Azpeitia nudilifera Schmidt A., (1878) Fryxell et Sims (1986).

Biddulphia tuomeyi (Bailey) Roper 1959.

Coscinodiscus asteromphalus Ehr. 1844.

Hemidiscus cuneiformis s.l Wallich, 1860 in Gardette D., 1979.

Thalassiosira convexa Muchina, 1965.

Thalassiosira eccentrica (Ehr) Cleve, 1903.

Thalassiosira parvaconvexa Burckle, 1972.

Thalassiosira symboliphora Schrader, 1974.

Nitzschia fossilis (Frenguelli) Kanaya.

Nitzschia marina Grunow, 1880.

Nitzschia reinholdi Kanaya et Koizumi.

Rhabdonema adriatum Kützing, 1844.

C. I. 3. 2. c. Formes eurythermes (cosmopolites)

Actinocyclus octanarius Ehr. Andrews G-W., 1985.

Actinocyclus tenellus Brebisson Andrews G-W., 1976.

Actinoptychus senarius Ehr. 1843.

Coscinodiscus aff. radiatus Ehr. 1841.

Coscinodiscus radiatus Ehr. 1841.

Melosira granulata (Ehr.) Simonsen, 1979.

Paralia sulcata(Ehr.) kützing, 1844.

Rhizosolenia habetata Grun. 1904.

Cocconeis pseudomarginata Gregory, 1857.

Cocconeis sculletum s. l. Ehr. 1838.

Dimerogramma distans (Greg.) Ralfs in Pritchard.

Dimerogramma marinum (Gregory) Ralfs in Pritchard.

Diploneis crabo Ehr. In Mansour et al., 1994.

Diploneis bombus (Ehr.) Cleve, 1894.

Grammatophora angulosa Ehr. 1841.

Grammatophora marina (Lyngbye) kützing.

Navicula fusiformis Cleve in Gardette D., 1979.

Navicula hendyii Smith W.

Navicula spp Section des lyratae in Gardette D., 1979.

Nitzscha sp.1 in Gardette D., 1979.

Rhaphoneis nitida (Gregory) Grunow, 1867.

Thalassionema nitzschioides (Grunow) Hustedt, 1932.

*Triceratium sp.1*in Gardette D., 1979.

C. I. 3. 3. Diatomées et la salinité

Sous le terme de la salinité plusieurs groupes écologiques ont été définis : les formes marines, les formes saumâtres et les formes d'eau douce (aucune espèce n'a été trouvée).

C. I. 3. 3. a. Formes marines

- Actinocyclus cubitus* Hanna et Grant in Schrader, 1973.
Actinocyclus curvatulus Janisch, 1878 in Schmidt.
Actinocyclus octanarius Ehr. Andrews G-W., 1985.
Actinocyclus tenellus Brebisson Andrews G-W., 1976.
Actinocyclus sp.2 in Whiting M-C et Schrader H., 1985.
Actinoptychus aff. minutus Greville, 1866.
Actinoptychus senarius Ehr., 1843.
Actinoptychus splendidus (Shadbolt) Ralfs in Pritchard, 1961.
Anaulus birostratus (Grunow) Grunow in Van Heurck, 1882.
Asterolampra acutiloba Forti, 1913, in Mansour B., 2004.
Asterolampra marylandica Ehr. Schrader, 1973.
Azpeitia nudilifera Schmidt A., (1878) Fryxell & Sims (1986).
Biddulphia tuomeyi (Bailey) Roper, 1959.
Coscinodiscus asteromphalus Ehr. 1844.
Coscinodiscus curvatulus (Janisch) in Gardette D., 1979.
Coscinodiscus aff. radiatus Ehr., 1841.
Coscinodiscus lineatus (Ehr.) 1839 in Mansour B., 1991.
Coscinodiscus marginatus Ehr. 1841 in Gardette D., 1979.
Coscinodiscus nitidus Gregory, 1857 in Mansour B., 1991.
Coscinodiscus oculus-iridus (Ehr.) in Gardette D., 1979.
Coscinodiscus plicatus GRUNOW in Gardette D., 1979.
Coscinodiscus radiatus Ehr., 1841.
Coscinodiscus stellaris s.l. Roper, 1858.
Coscinodiscus sp.1 in Gardette D., 1979.
Coscinodiscus sp.2 in Gardette D., 1979.
Coscinodiscus sp.3 i in Gardette D., 1979.
Hemidiscus cuneiformis s.l Wallich, 1860 in Gardette D., 1979.
Hyalodiscus radiatus (O'Meara) Grunow, 1880.

- Paralia sulcata* (Ehr) Kützing, 1844.
Rhizosolenia bergonii in Schrader H-J., 1973.
Rhizosolenia habetata Grun, 1904.
Thalassiosira convexa Muchina, 1965.
Schroedrella delicatula (Peragallo H.) Pavillard, 1913.
Thalassiosira eccentrica (Ehr) Cleve, 1903.
Thalassiosira oestropii (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko (1956).
Thalassiosira paraeconvexa Burckle, 1972.
Thalassiosira symboliphora Schrader H-J., 1974.
Thalassiosira sp.1 in Gardette D., 1979.
Thalassiosira sp.2 in Gardette D., 1979.
Cocconeis pseudomarginata Gregory, 1857.
Cocconeis sculletum s. l. Ehr. 1838.
Dimerogramma distans (Greg.) Ralfs in Pritchard.
Dimerogramma marinum (Gregory) Ralfs in Pritchard.
Diploneis crabo Ehr. In Mansour et al., 1994.
Diploneis bombus (Ehr.) Cleve, 1894.
Grammatophora angulosa Ehr. 1841.
Grammatophora marina (Lyngbye) Kützing.
Grammatophora undulata Ehr. 1840.
Navicula fusiformis Cleve in Gardette D., 1979.
Navicula hendyii W. Smith.
Navicula spp Section des Iyrateae in Gardette D., 1979.
Nitzschia fasciculata (Grunow) Grunow.
Nitzschia fossilis (Frenguelli) Kanaya.
Nitzschia marina Grunow, 1880.
Nitzschia reinholdi Kanaya et Koizumi.
Nitzschia sp.1 in Gardette D., 1979.
Rhabdonema adriatum Kützing, 1844.
Rhaphoneis ampiceros Ehr. 1838.
Rhaphoneis nitida (Gregory) Grunow, 1867.
Thalassionema nitzschoides (Grunow) Hustedt, 1932.
Thalassiothrix longissima Cleve et Grunow, 1880.
Synedra fulgens (Greville) Smith W.

Synedra sp. 1 in Gardette D., 1979.

Synedra tabulata (Agardit) Kützing, (1844).

Triceratium sp. 1 in Gardette D., 1979.

C. I. 3. 3. b. Formes saumâtres

Melosira granulata (Ehr.) Simonsen, 1979.

C. I. 4. Biodiversité des diatomées

L'approche développée dans cette partie ci-dessous est basé sur l'exploitation quantitative de 500 individus dénombrés par échantillons. La fréquence ou l'abondance relative des taxons ou des groupe de taxons ont été calculée par rapport l'ensemble des individus comptés dans chaque échantillon. Les représentations graphiques sont établies en fonction du mode et milieux de vie des espèces et ainsi en fonction de la paléobathymétrie et la paléotempérature, afin de reconstituer le milieu de sédimentation.

La biodiversité des diatomées des sites étudiés permet d'apporter une meilleure connaissance des peuplements de la microflore siliceuse des dépôts diatomitiques durant le Messinien dans le bassin du Bas Chélif. La microflore de diatomées analysée sur les trois sites a fourni 70 espèces réunies en 26 genres, dont 43 espèces centriques (réparties en 14 genres) et 27 pennées (12 genre), ainsi que 07 espèces de silicoflagellés.

C. I. 4. 1. Site d'Ouled Djilali

Les deux classes de diatomées (Centriques et Pennées) dans ce site, sont en général bien représentées mais les centriques sont plus diversifiées que les pennées en nombre de genres et en espèces (avec 30 espèces réunies en 10 genres). Les pennées par contre ne représentent que 14 espèces regroupées en 07 genres (**figure C. I. 17**).

Il est à noter aussi que les centriques sont plus dominant que les pennées en nombre d'individu (**figure C. I. 18**).

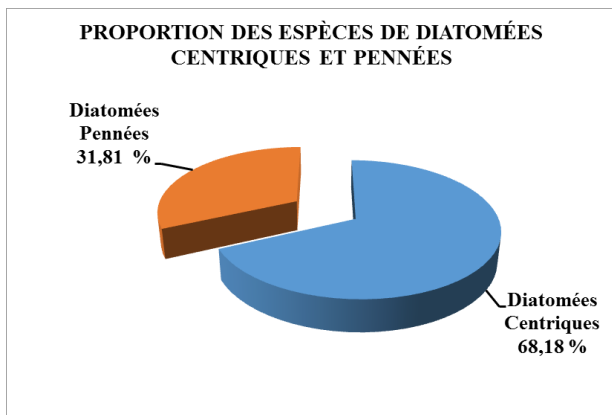


Figure C. I. 17: Pourcentage des espèces centriques et pennées dans les diatomites d'Ouled Djilali.

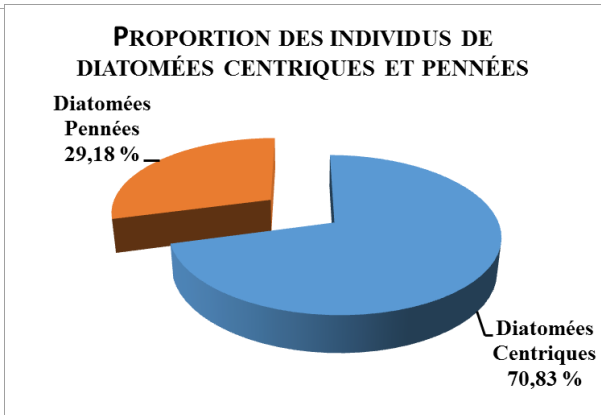


Figure C. I. 18 : Pourcentage des individus centriques et pennées dans les diatomites d'Ouled Djilali.

Au sein de la classe des Centriques, le genre *Coscinodiscus* Ehr., 1838, suivi par *Actinocyclus* Ehr., 1837, et *Thalassiosira* Cleve, 1873, sont les mieux représentés au point de vue spécifique (**figure C. I. 19**).

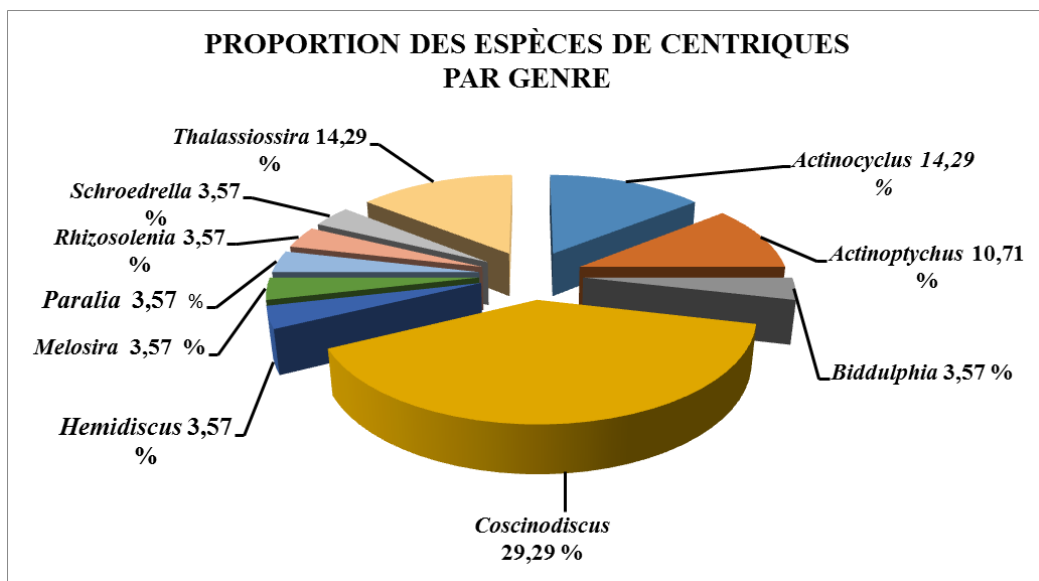


Figure C. I. 19 : Pourcentage des espèces centriques par genre dans les diatomites d'Ouled Djilali.

Dans la classe des Pennées, le genre *Nitzschia* Hassall, 1845 a le est le mieux représenté en nombre d'espèces, suivis du genre *Grammatophora* Ehr., 1840 (**figure C. I. 20**). Tandis que les autres genres ne sont représentés que par une seule espèce.

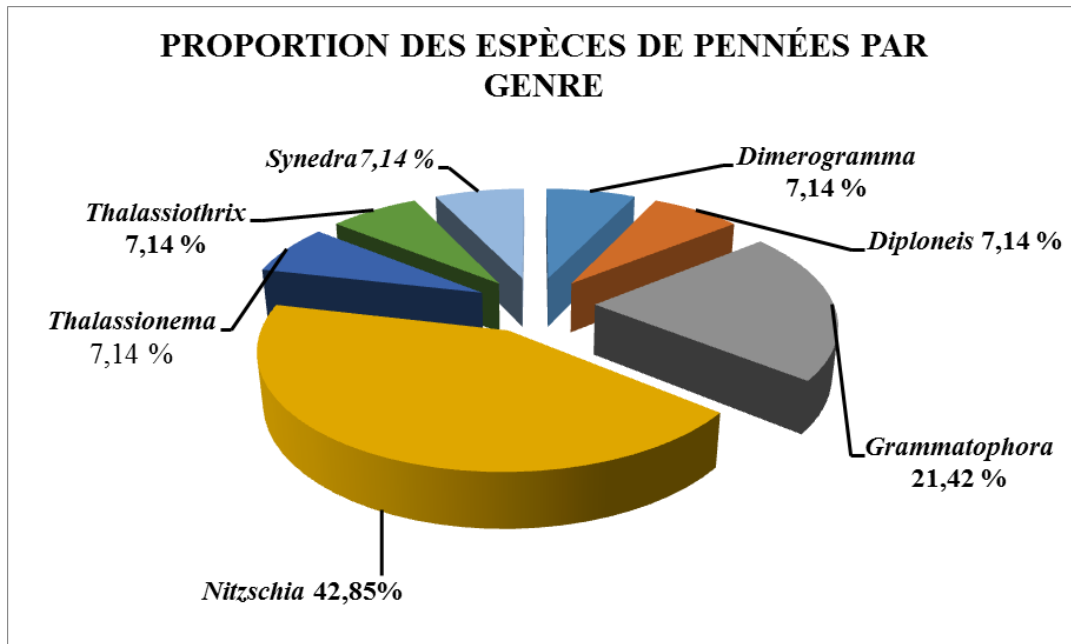


Figure C. I. 20 : Pourcentage des espèces pennées par genre dans les diatomites d'Ouled Djilali.

L'analyse de la diversité de population de diatomées d'Ouled Djilali, a montré que le site étudié est purement marin du fait que les espèces marines dominent quasi largement la microflore diatomique (**figure C. I. 21**). Les formes saumâtres ne sont représentées que par une seule espèce (*Mélosira granulata*) et ceci uniquement dans le premier banc.

Du point de vue mode de vie, les espèces planctoniques sont les plus dominantes suivies par les tychoplantoniques (**figure C. I. 21**), alors que les espèces benthiques ne sont représentées que par que par 05 espèces avec de très faibles fréquences (*Biddulphia tuomeyi*, *Diploneis bombus*, *Grammatophora angulosa*, *Grammatophora marina* et *Grammatophora undulata*).

Les formes neritico-littorales et néritico-océaniques sont les mieux représentées en espèces et en nombre d'individus dans tout les prélèvements, mais avec un nombre variable d'un échantillon à un autre (**figure C. I. 21**).

Il faut signaler aussi qu'il y a une dominance en nombre d'espèces des formes chaudes alors que en nombre d'individus les formes froides sont les mieux représentées (**figures C. I. 37, 21**).

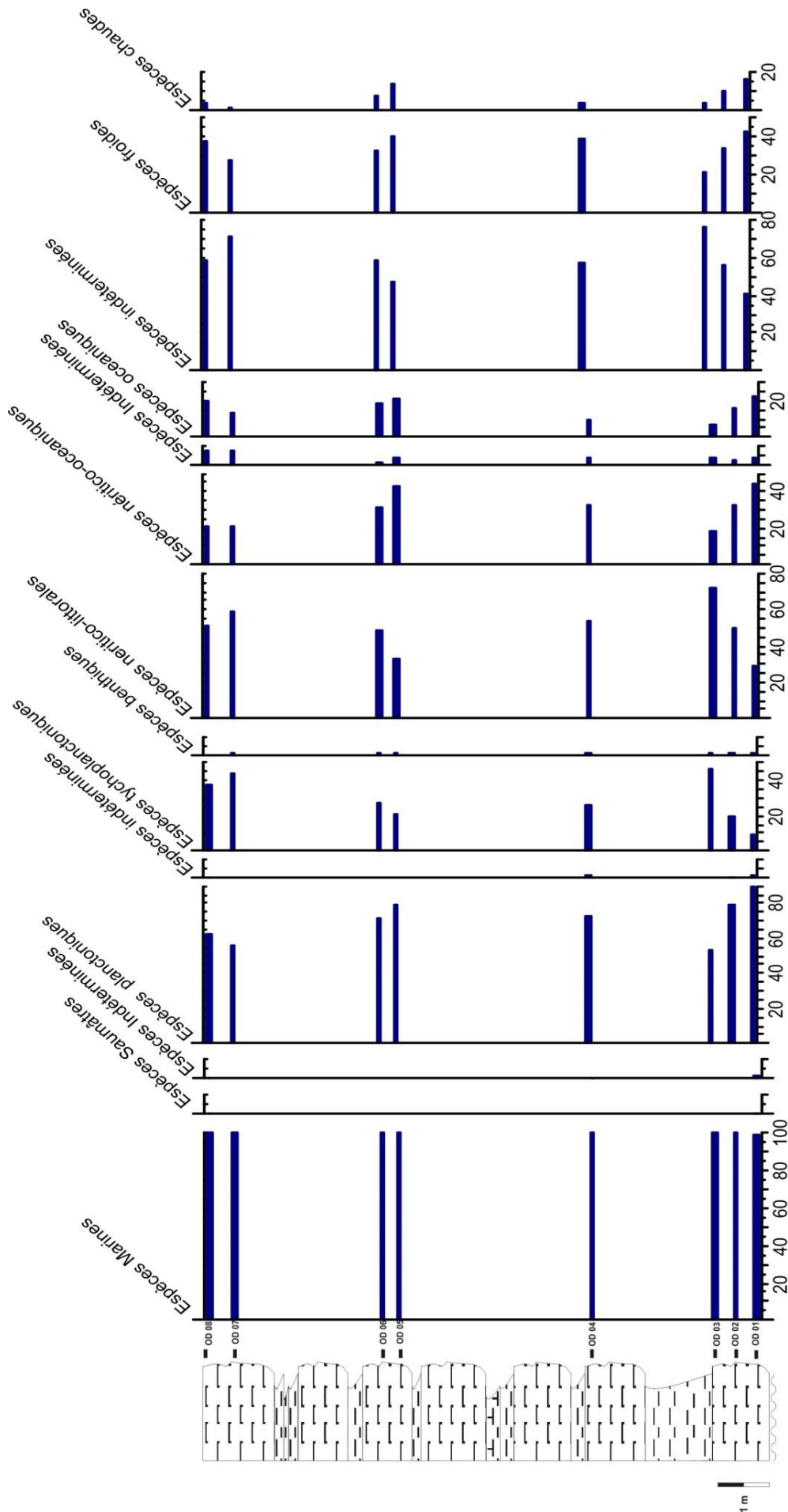


Figure C. I. 21 : Biodiversité des populations de diatomées du site Ouled Djilali

C. I. 4.2. Site d'Irghbel

54 espèces au total y ont été identifiées où les deux classes de diatomées sont bien représentées, et dont les diatomées centriques sont les plus diversifiées (en nombre de genres et en espèces) (36 espèces de formes centriques réunies en 14 genres et 18 espèces de pennées représentant 09 genres) (**figure C. I. 22, 23**).

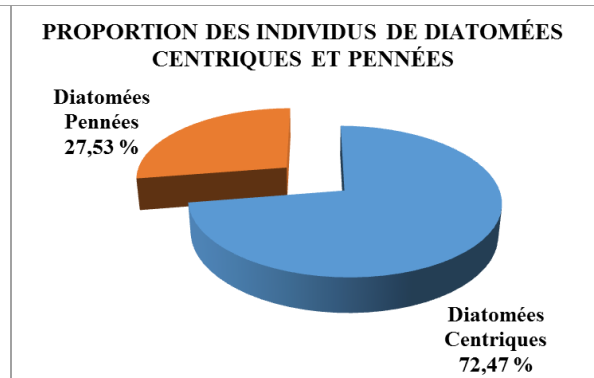
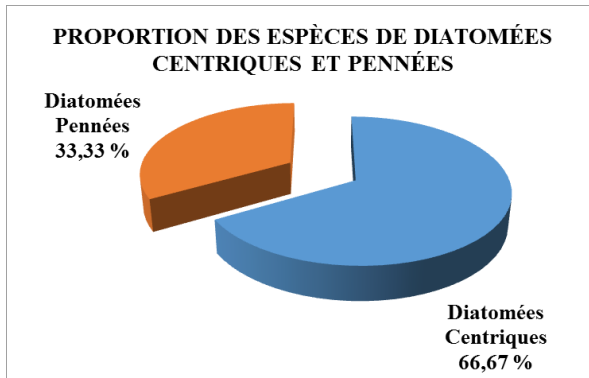


Figure C. I. 22: Pourcentage d'espèces centriques et pennées dans les diatomites d'Irghbel.

Figure C. I. 23: Pourcentage des individus centriques et pennés dans les diatomites d'Irghbel.

En même titre que le site précédent (Ouled Djilali) les diatomées centriques, sont les mieux représentées du point de vue spécifique. Il s'agit respectivement de genres *Coscinodiscus* Ehrenberg, 1838, *Actinocyclus* Ehrenberg, 1837, et *Thalassiosira* Cleve, 1873 (**figure C. I. 24**).

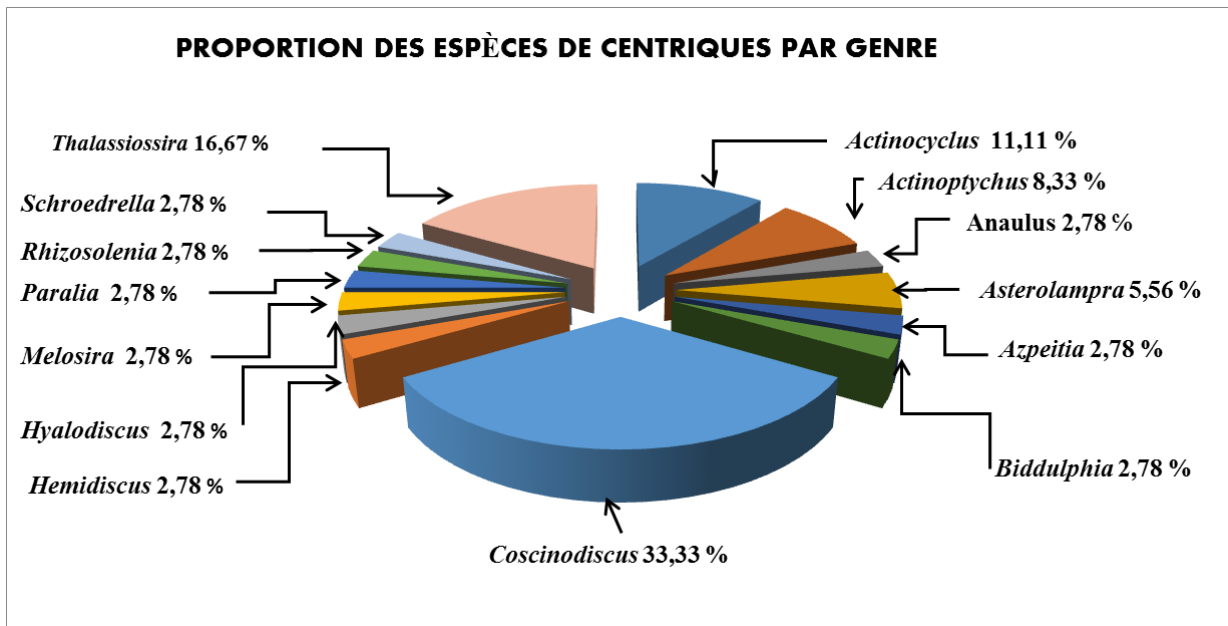


Figure C. I. 24: Pourcentage des espèces centriques par genre dans les diatomites d'Irghbel.

Dans ce site et dans la classe des Pennées, le genre *Nitzschia* Hassall, 1845 a le plus grand nombre d'espèces. Il est suivi respectivement par les taxons *Grammatophora* Ehrenberg, 1840 et *Synedra* Ehrenberg 1830 (**Figure C. I. 25**).

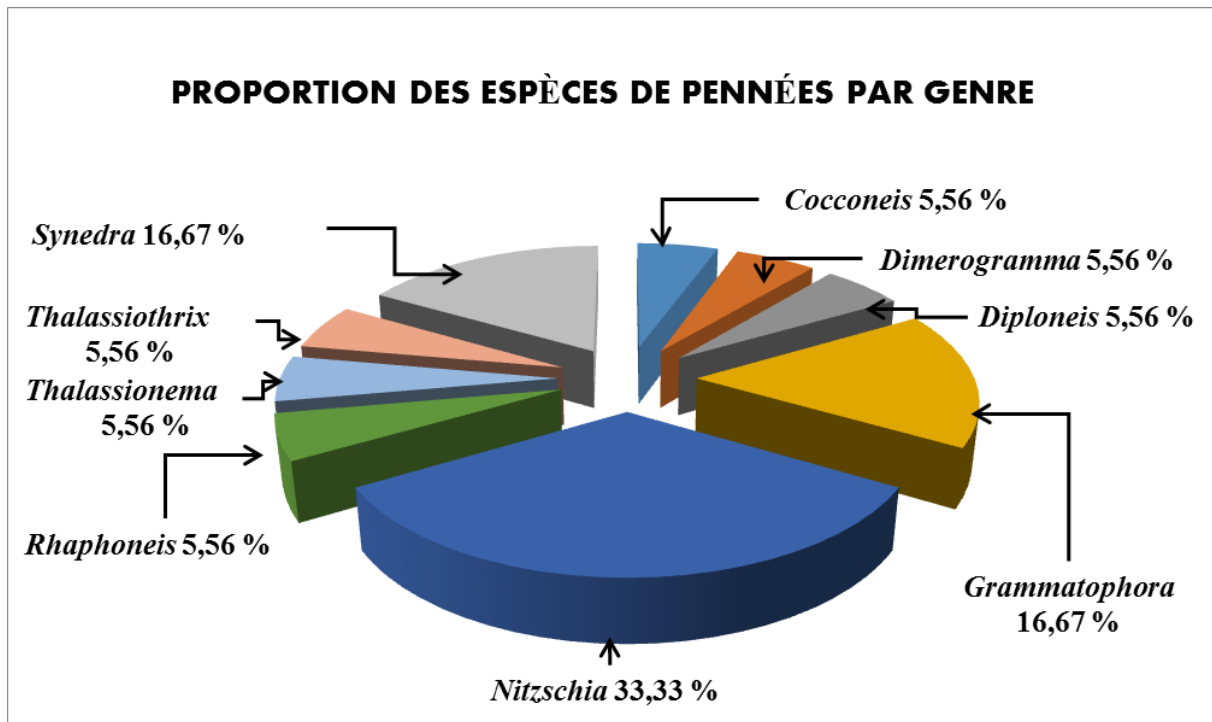


Figure C. I. 25: Pourcentage des espèces pennées par genre dans les diatomites d'Irghbel.

Dans ce site aussi, l'analyse de la diversité de population de diatomées d'Irghbel, a montré un milieu de sédimentation marin. Les espèces marines dominent largement la microflore diatomique (**figure C. I. 37**), les formes saumâtres ne sont représentées que par une seule espèce (*Mélosira granulata*) dans seulement le septième et le huitième banc (échantillon).

En fonction du mode de vie, les espèces planctoniques sont les plus dominantes avec les tychoplanctoniques (**figure C. I. 33**). Les formes benthiques sont de faibles fréquences, représentées par *Anaulus birostratus*; *Biddulphia tuomeyi*; *Cocconeis sculletum*; *Diploneis bombus*; *Grammatophora angulosa*; *Grammatophora marina*, *Grammatophora undulata*, *Rhaphoneis amphiceros*; *Synedra fulgens*.

Les formes planctoniques neritico-littorales et néritico-océaniques dominent les formes benthiques dans tous les échantillons de ce site (**Figure C. I. 26a**).

Les formes chaudes sont les plus diversifiées alors qu'en nombre d'individus les formes froides sont les mieux représentées (**figures C. I. 37, 26b**).

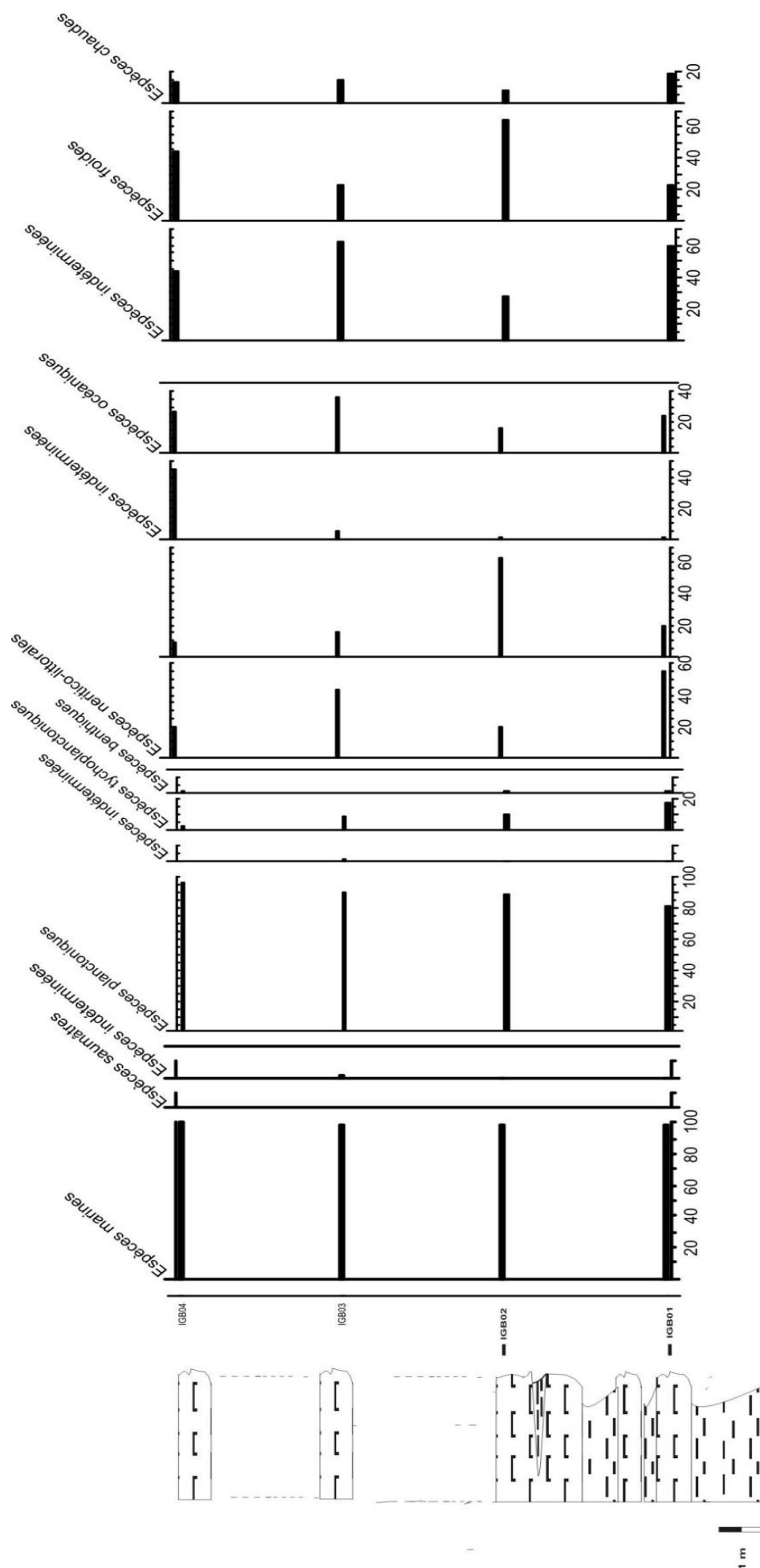


Figure C. I. 26a :
Biodiversité des populations des diatomées du site Irghbel (la partie basale)

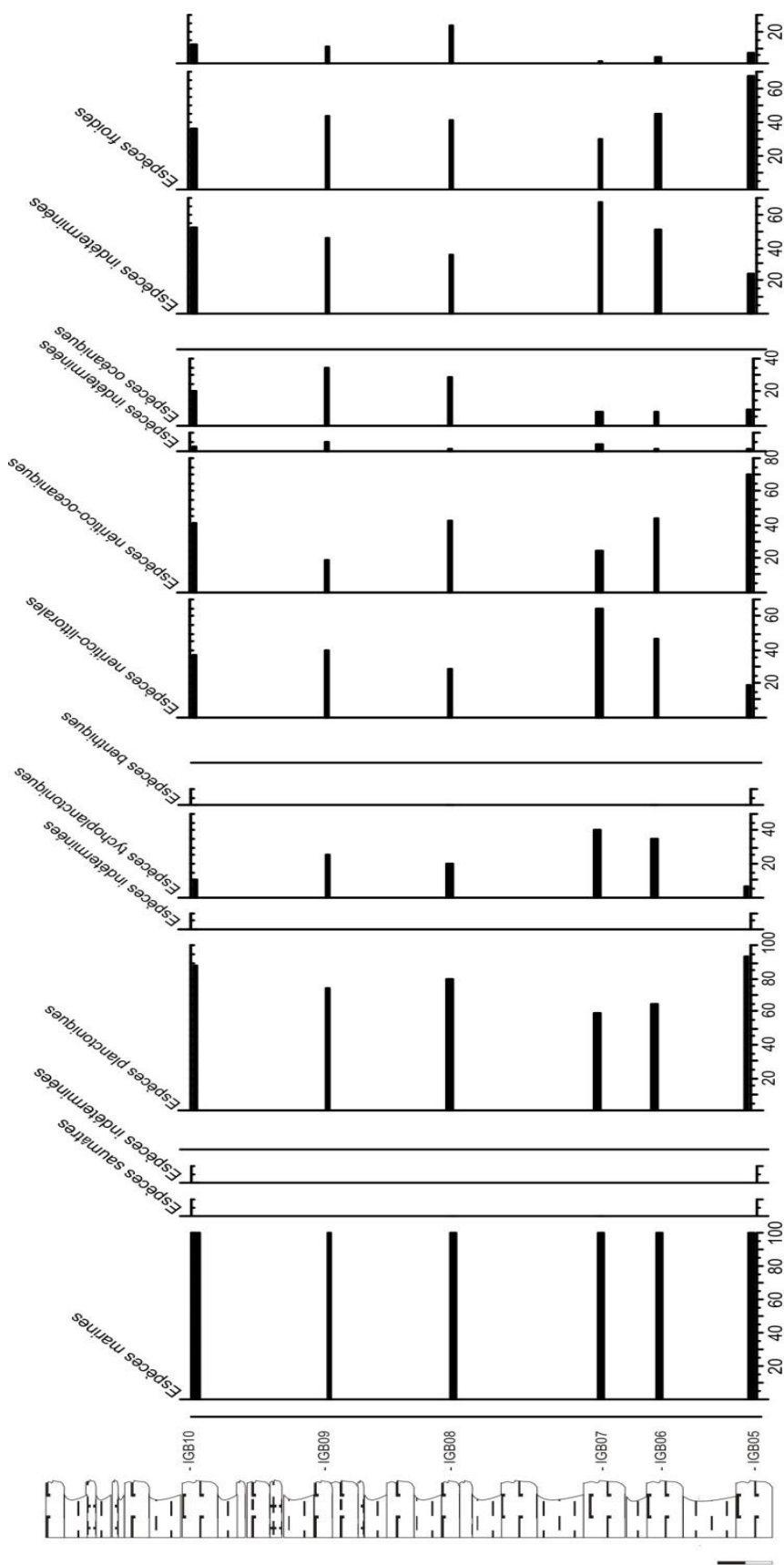


Figure C. I. 26b :
Biodiversité des populations de diatomées du site Irghbel (la partie supérieure)

C. I. 4. 3. Le site de Sig

Dans les deux échantillons prélevés dans ce site, la composition diatomique est formée de 52 espèces au total. La classe des centriques domine en nombre d'individus et est plus diversifiées en nombre de genres et d'espèces (figure C. I. 27, 28).

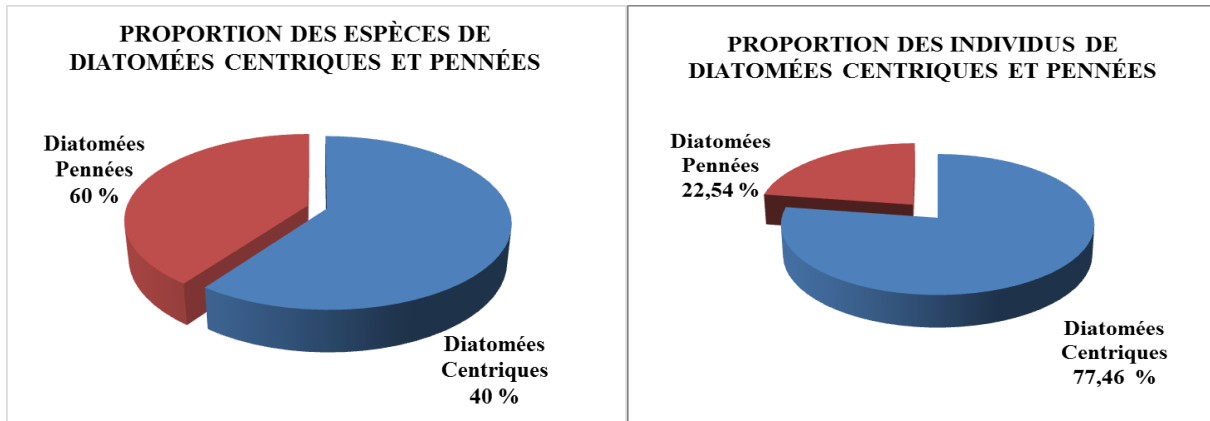


Figure C. I. 27: Pourcentage d'espèces centriques et pennées dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Figure C. I. 28: Pourcentage des individus centriques et pennés dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Chez les centriques, les genres *Coscinodiscus* Ehrenberg suivi par *Thalassiosira* Cleve, 1873 et *Actinocyclus* Ehrenberg, 1837, sont les mieux représentés au point de vue spécifique (figure C. I. 29).

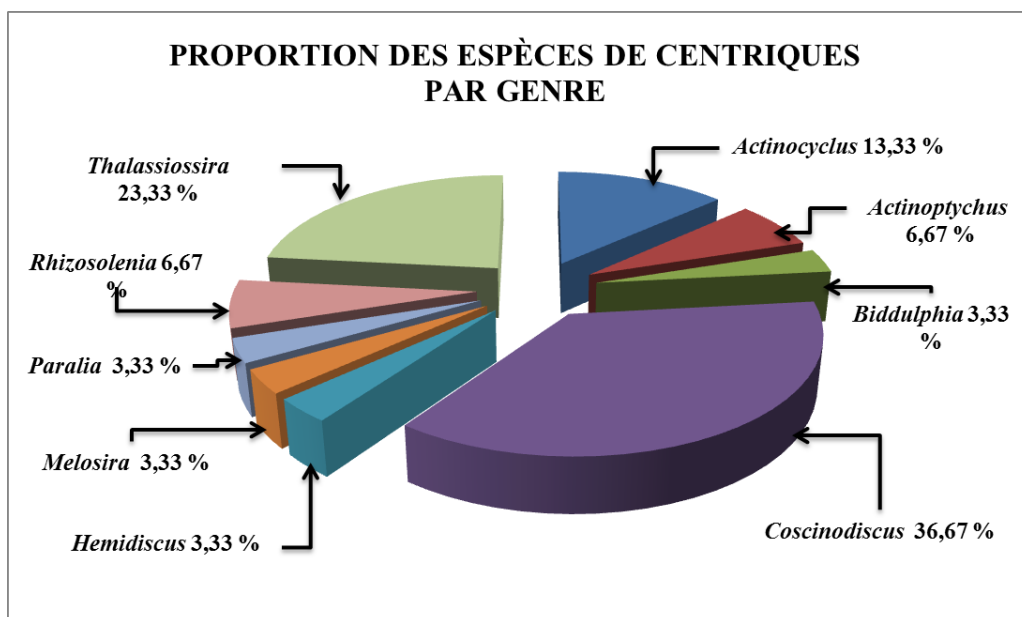


Figure C. I. 29: Pourcentage des espèces centriques par genre dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Dans la classe des pennées, le genre *Nitzschia* Hassall, 1845 a le plus grand nombre d'espèces, suivis par le genre *Grammatophora* Ehrenberg, 1840, et *Navicula* Bory de Saint-Vincent, 1822 (**figure C. I. 30**).

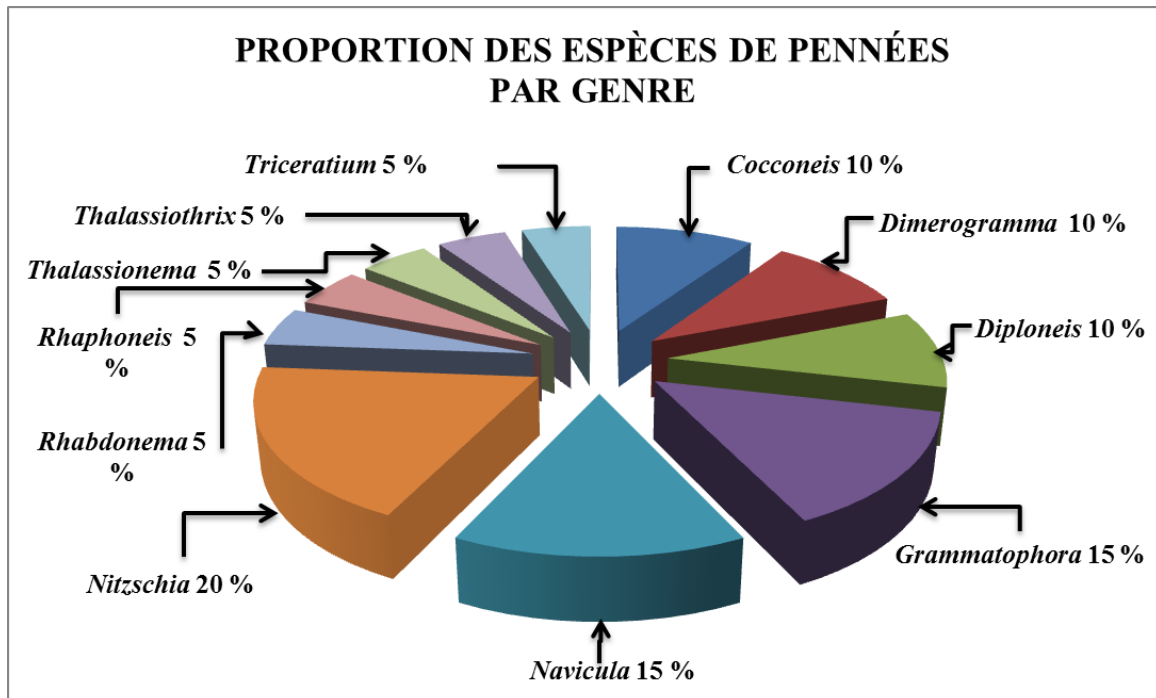


Figure C. I. 30: Pourcentage des espèces pennées par genre dans les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

La diatomite de l'exploitation Sig est aussi purement marine avec une absence totale des espèces d'eau douce (**figure C. I. 34**), alors que la seule forme saumâtre *Mélosira granulata* n'apparaît pas au moment au comptage.

Le site enregistre une dominance des espèces planctoniques (**figure C. I. 31, 35**), avec des très faibles fréquences des espèces tychoplanctoniques et benthiques.

En remarque que le premier échantillon est dominé par les formes néritico-océaniques suivi par des formes océaniques alors que les formes néritico-littorales arrivent en derniers avec des faibles fréquences. Tandis qu'au deuxième échantillon, les formes océaniques dominent la population suivi respectivement par les formes néritico-océaniques et les formes littorales avec des fréquences considérables (**Figure C. I. 31, 36**).

Une dominance en nombre des formes froides (**Figure C. I. 31, 37**).

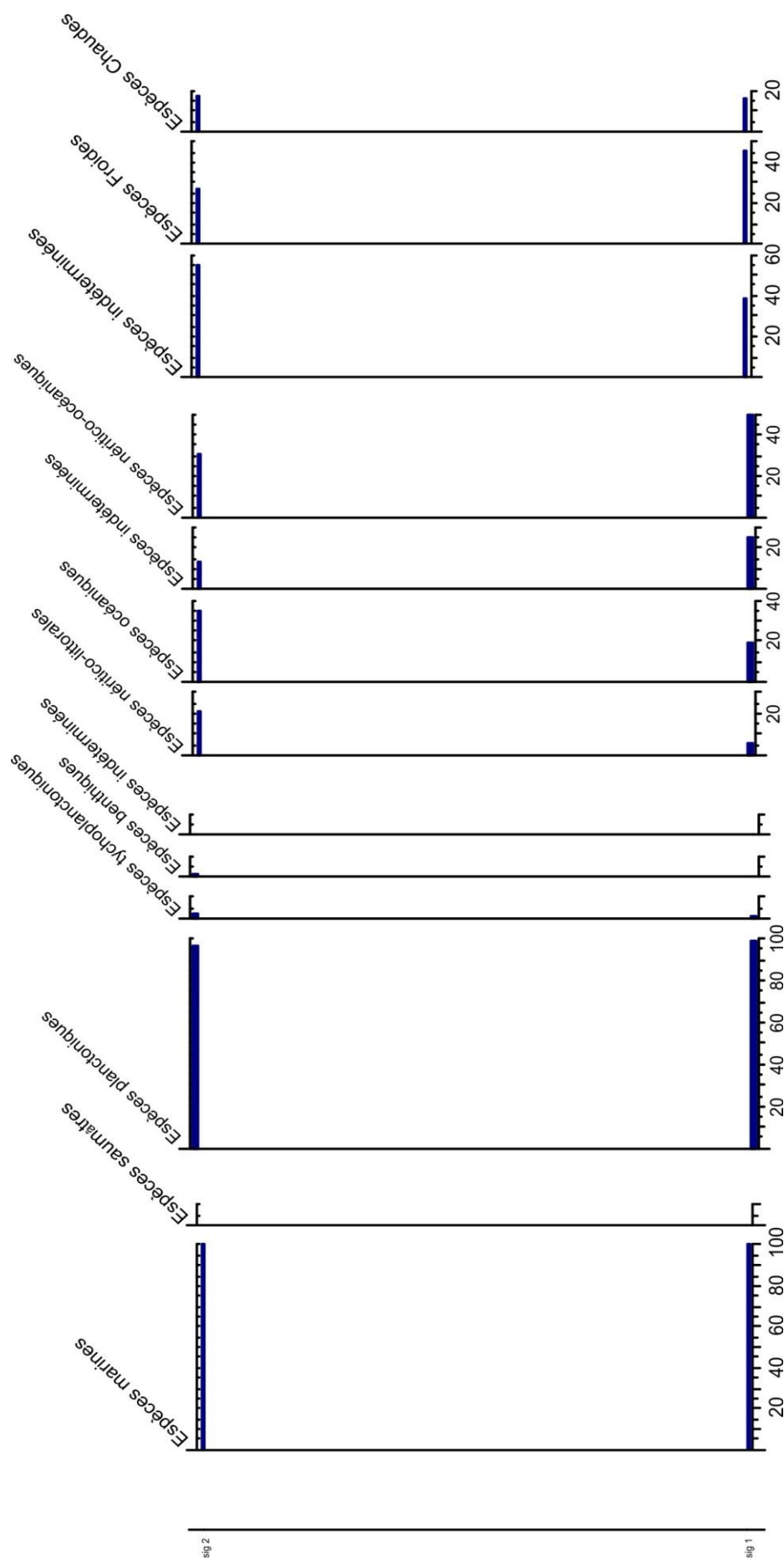


Figure C. I. 31:
Biodiversité des populations des diatomées du site Sig.

A titre comparatif de la composition diatomique des trois sites, le site Irghbel montre une grande diversité (54 espèces) comparée à celui de Sig et d'Ouled Djilali respectivement 52 et 44 espèces (**figure C. I. 32**).

La composition diatomique montre 34 espèces de diatomées sont communes dans les trois sites. Par ailleurs, il faut signaler que l'ensemble des sites sont dominés (en pourcentages) par les formes planctoniques, tychoplanctoniques. Et aussi en nombre d'espèces et en nombres d'individus (**Figure C. I. 33**).

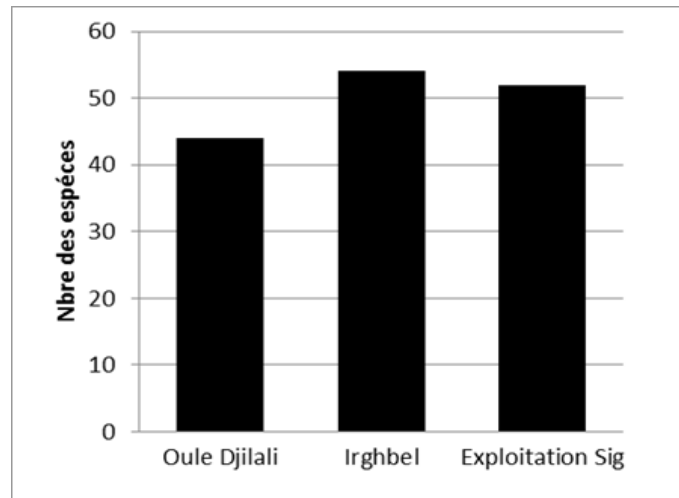


Figure C. I. 32: Diversité spécifique des diatomées dans les sites étudiés.

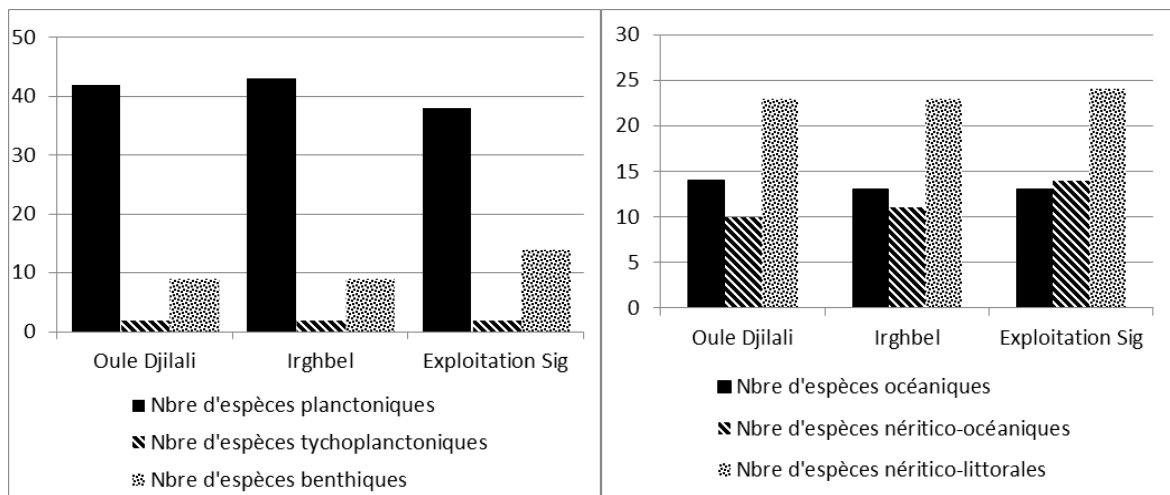


Figure C. I. 33: Biodiversité des populations de diatomée dans les trois sites étudiés.

Il faut noter également la présence constante le long de la coupe des silicoflagellés à une très faible fréquence seulement que ces fréquences marquent une augmentation dans les échantillons OD07, OD08 d'Ouled Djilali et l'échantillon SIG01 de l'exploitation Sig ou une dominance dans l'échantillon IGB04 d'Ighebel. Ainsi que des spicules d'éponges et les spores.

On remarque aussi que les échantillons de la coupe renferment beaucoup des frustules de diatomées cassées surtout l'échantillon OD07.

C. I. 5. Assemblages

Plusieurs assemblages principaux en fonction des espèces dominantes ont été définis, et désignés par une lettre et par deux et parfois trois taxons sélectionnés parmi les plus abondants (**annexe VI**). Il est possible que certaines espèces dominantes et sous-dominantes soient présentes dans plusieurs assemblages distincts où leurs fréquences varient d'un assemblage à l'autre.

Dans la majorité des échantillons étudiés, la composition microfloristique est caractérisée par la présence de *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Husted, qui domine la pluparts des assemblages avec un pourcentage important et qui varie au sein de chaque niveau. *Thalassionema nitzschioides* est une espèce planctonique littorale, cosmopolite qui peut caractériser également les milieux océaniques, indiquant des fortes productivités ([Saint Martin S. et al., 2003](#)). Selon Abrantes (1988) et Sancetta (1979, 1981), *Thalassionema nitzschioides* est l'un des marqueurs de zones d'upwelling ([Pestrea S. et al., 2002](#) ; [Mansour B., 2004](#) ; [Mansour B. et al., 2008](#)).

Les assemblages de diatomées montrent des variations le long de la coupe autant en ce qui concerne les espèces dominantes, que les espèces sous-dominantes (accompagnatrices). Ce qui permet de distinguer des séries d'alternances d'espèces dominantes d'un échantillon à l'autre. Plusieurs assemblages principaux en fonction des espèces dominantes ont été définis, et désignés par une lettre et par deux et parfois trois taxons sélectionnés parmi les plus abondants. Il est possible que certaines espèces dominantes et sous-dominantes soient présentes dans plusieurs assemblages distincts où leurs fréquences varient d'un assemblage à l'autre.

C. I. 5. 1. Composition et signification des assemblages

Assemblage A à *Coscinodiscus marginatus* / *Thalassionema nitzschioides*

Elles sont accompagnées parfois par deux espèces sous dominantes : *Hemidiscus cuneiformis*, *Actinoptychus senarius*. Cet assemblage suggère une sédimentation dans un milieu marin plus au moins profond avec une influence océanique chaude (*Hemidiscus cuneiformis*), et une influence littorale faible qui se confirme avec l'espèce planctonique littorale *Actinoptychus senarius*.

Assemblage B à *Thalassionema nitzschioides* / *Coscinodiscus marginatus* / *Actinoptychus senarius*.

Elles sont parfois accompagnées par les espèces sous dominante *Coscinodiscus curvatulus*. Cet assemblage suggère une sédimentation dans un milieu marin plus au moins profond avec une influence froide prononcée marquée notamment par l'espèce néritico-océaniques *Coscinodiscus marginatus* à fréquences localement très fortes et par l'espèce *Coscinodiscus curvatulus*.

Assemblage C à *Actinoptychus senarius* / *Thalassionema nitzschioides* ou *Thalassionema nitzschioides* / *Actinoptychus senarius*

Cet assemblage est défini par l'abondance, soit de *Thalassionema nitzschioides* suivi d'*Actinoptychus senarius* soit par *Actinoptychus senarius* suivi de *Thalassionema nitzschioides*. Elles sont accompagnées par *Coscinodiscus marginatus* ou *Thalassiosira eccentrica*. Cet assemblage suggère une sédimentation dans un milieu marin côtier perturbé par des influences océaniques.

Assemblage D à *Actinoptychus senarius* / *Coscinodiscus marginatus* / *Thalassionema nitzschioides*.

Cet assemblage est défini par un mélange de formes néritico-océaniques appartenant au complexe boréales et des formes littorales. Elles sont accompagnées par l'espèce planctonique froide *Thalassiothrix longissima*. Suggérant un milieu de sédimentation dans une tranche d'eau relativement importante en communication avec la mer ouverte.

Assemblage E à *Coscinodiscus marginatus*

Cet assemblage est défini par un mélange de formes néritico-océaniques, océaniques et néritico- littorales. Elles sont accompagnées par *Thalassionema nitzschioides* et l'espèce planctonique chaude *Thalassiosira eccentrica*.

Les formes néritico-océaniques sont plus abondantes que les formes littorales suggérant ainsi un milieu en communication aisée avec la mer ouverte et un milieu sans doute relativement profond au moment de la sédimentation, avec une influence océanique le plus souvent chaude (tempérée chaude à subtropical) par l'espèce océanique *Thalassiosira eccentrica*.

Assemblage F à *Actinoptychus senarius*

Cet assemblage se caractérise par la fréquence plus élevée d'*Actinoptychus senarius* qui pourrait suggérer des influences plus littorales. Elle est accompagnée par plusieurs taxons sous-dominants qui varient d'un échantillon à un autre et sont représentés par *Thalassionema nitzschoides*, *Coscinodiscus marginatus*, *Thalassiothrix longissima*. Il est caractérisé par la présence un peu plus fréquente par rapport le long de la coupe de l'espèce silicoflagellé *Distephanus speculum* Bachmann.

Assemblage G à *Coscinodiscus marginatus* / *Actinoptychus senarius*

Au sein de cet assemblage les deux espèces *Coscinodiscus marginatus* présente des fréquences beaucoup, plus élevés qu'*Actinoptychus senarius*. Elles sont accompagnées souvent par *Thalassionema nitzschoides* avec des fréquences qui varient d'un niveau à un autre. Cet assemblage suggère des connexions aisées avec l'océan et un milieu de sédimentation marin profond.

Assemblage H à *Thalassionema nitzschoides* et espèces océaniques

Cet assemblage est défini par la dominance de *Thalassionema nitzschoides* accompagnées par des espèces océaniques, représentées par *Thalassiosira eccentrica* et *Thalassiothrix longissima*. Suggérant un milieu ouvert plus au moins profond et à forte productivité organique.

Assemblage I à espèces silicoflagellés et *Thalassionema nitzschoides*

Cet assemblage présente des fréquences plus élevées des espèces silicoflagellés accompagnées par *Thalassionema nitzschoides*. Les espèces silicoflagellés sont représentées par *Distephanus speculum* et *Dictyocha fibula*.

Assemblage J à *Actinoptychus senarius* / *Coscinodiscus marginatus*

Cet assemblage diffère du précédent (Assemblage G) par la fréquence plus élevée d'*Actinoptychus senarius* qui pourrait suggérer des influences plus littorales. Elles sont accompagnées par *Thalassionema nitzschoides*.

Assemblage K à *Coscinodiscus marginatus* / *Thalassiosira eccentrica*

Bien que cet assemblage soit dominé par *Coscinodiscus marginatus* d'autres espèces sous dominantes (*Thalassiosira eccentrica*, *Actinoptychus senarius*) sont enregistrées. Cet

assemblage pourrait témoigner d'une forte influence océanique et donc un milieu ouvert et relativement plus profond.

Assemblage L à *Actinoptychus senarius* / *Thalassiothrix longissima*

Cet assemblage est constitué d'un mélange de formes littorales et néritico-océaniques, accompagnées par *Coscinodiscus marginatus*, *Thalassionema nitzschioides*. Il pourrait suggérer un milieu de sédimentation marin côtier ouvert sur le large.

Assemblage M à *Coscinodiscus Curvatulus* / *Coscinodiscus Lineatus* / *Thalassiosira Eccentrica*

Cet assemblage est constitué de formes néritico-océaniques et de l'espèce silicoflagellé *Distephanus speculum*. Suggérant un milieu ouvert et relativement plus profond.

C. I. 5. 2. Discussion

Les différents assemblages de diatomées montrent des variations le long de chaque coupe (sur les différents échantillons de chaque site) en ce qui concerne les espèces dominantes, que les espèces sous-dominantes.

L'étude détaillée menée sur ces assemblages ne permet pas de déceler une logique éco-stratigraphique et donc une corrélation verticale ou horizontale n'est pas encore possible. Par contre, elle a permis de mettre en évidence des niveaux généralement alternés à abondance ou à fréquence significative des espèces : *Coscinodiscus marginatus*, *Actinoptychus senarius*, *Thalassionema nitzschioides*, qui peuvent être témoigné d'une montée ou descente du niveau de mer.

L'analyse des assemblages de diatomées suggère et déduit plusieurs influences principales souvent superposées et correspondant soit à des variations bathymétriques soit à des variations courantologiques :

- Une influence littorale constante sur un milieu marin permanent suggérée soit par l'apparition des espèces planctoniques littorales (*Actinocyclus cubitus*, *Actinoptychus senarius*, *Hyalodiscus radiatus* et *Paralia sulcata*), benthiques chaudes (*Rhabdonema adriaticum*, *Grammatophora oceanica* et *Grammatophora angulosa*), et des espèces néritico-océaniques (*Coscinodiscus asteromphalus*, *Coscinodiscus sp. 1* Gardette ;) soit par l'augmentation de leurs fréquences et surtout par celle de *Actinoptychus senarius* ;
- une influence océanique froide (boréale) avec *Thalassiothrix longissima* et *Coscinodiscus oculus irridis* dans un milieu de sédimentation chaude représenté par des espèces océaniques « chaudes » (*Thalassiosira eccentrica*, et *Hemidiscus cuneiformis*), suggérant des communications aisées avec l'océan atlantique

- l'influence possible de système d'upwellings marquée par la dominance de *Thalassionema nitzschioides* et *Thalassiothrix longissima* dans la majorité des assemblages diatomiques.

C. I. 6. Analyse de paléoenvironnement des diatomites

C. I.6. 1. Paléosalinité

En général, la microflore diatomique analysée dans les différents sites étudiés est principalement constituée par des espèces planctoniques marines, représentant une fréquence entre 95 et 100 % (figure C. I. 34). Cependant, elles sont accompagnées par quelques formes (planctoniques ou benthiques) pouvant supporter une salinité plus faible que celle de l'eau de mer. Cette fréquence négligeable a été observée à la base de la coupe de d'Ouled Djilali (OD01) et au sommet de la coupe de d'Irghbel (IGB07, IGB08), tandis qu'elle est nulle dans le site de Sig (l'exploitation Sig).

La présence constante de silicoflagellés (formes exclusivement marines) dominant même parfois certains niveaux (IGB04 et Sig01), semble conforter les données diatomiques. Ceci confirme un milieu de dépôt marin permanent soumis à de très faibles dessalures ou des influences littorales et témoigne d'une ouverture constante sur l'océan.

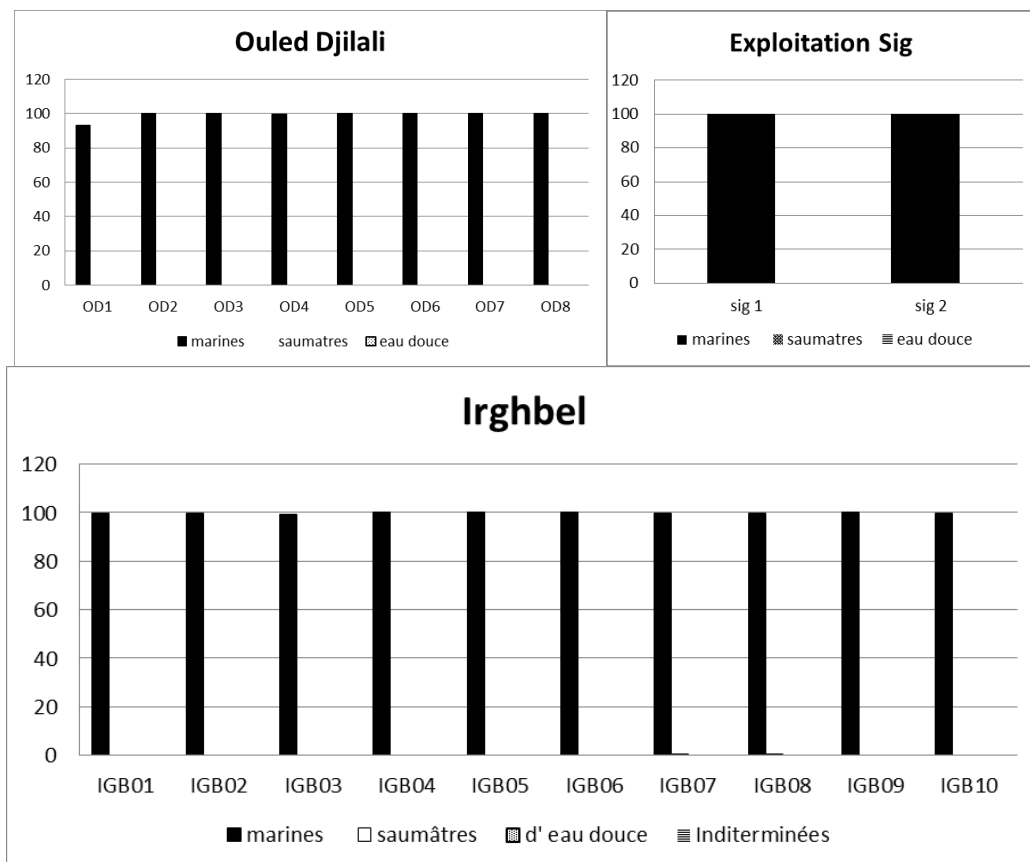


Figure C. I. 34: Biodiversité des populations de diatomées marines, saumâtres et d'eau douce dans les trois sites.

C. I.6.2. Paléobathymétrie

Les formes planctoniques prédominent tous les niveaux et dans tous les sites étudiés avec des fréquences très élevées (allant de 53,4 à 81,2 % à Ouled Djilali et de 59 à 96,4 % à Irghbel et 96,2 à 99,4 % à Sig). Les formes tychoplanctoniques sont plus ou moins bien représentées et tout dépend des niveaux. Elles sont de : 8,8 à 46,4 % à Ouled Djilali ; 2,8 à 34,6 % à Irghbel. Alors qu'à Sig, de très faibles fréquences, elles ne sont que de 0,6 à 2,6 %. Quant aux formes benthiques, elles n'accusent qu'un pourcentage négligeable ne dépassant pas les 1,6 % (**figure C. I. 35**).

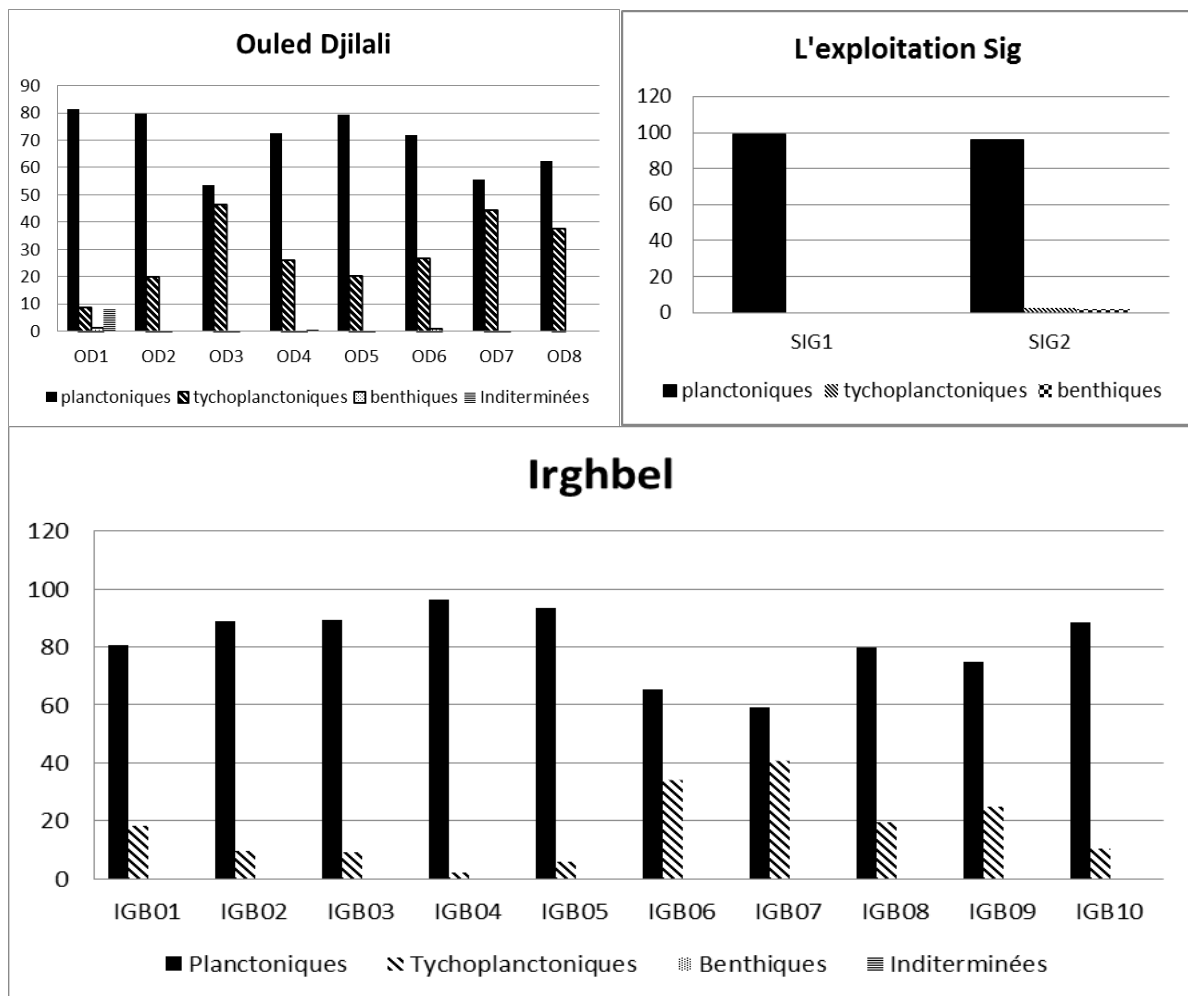


Figure C. I. 35: Biodiversité des populations de diatomées planctoniques, tychoplanctoniques et benthiques des trois sites.

L'assemblage planctonique est largement dominé par un mélange de formes planctoniques néritico-littorales, néritico-océaniques. Leur fréquence varie d'un échantillon à un autre, dans chaque site, suggérant ainsi un milieu en communication aisée avec la mer ouverte et un milieu sans doute relativement profond au moment de la sédimentation (**figure C. I. 36**).

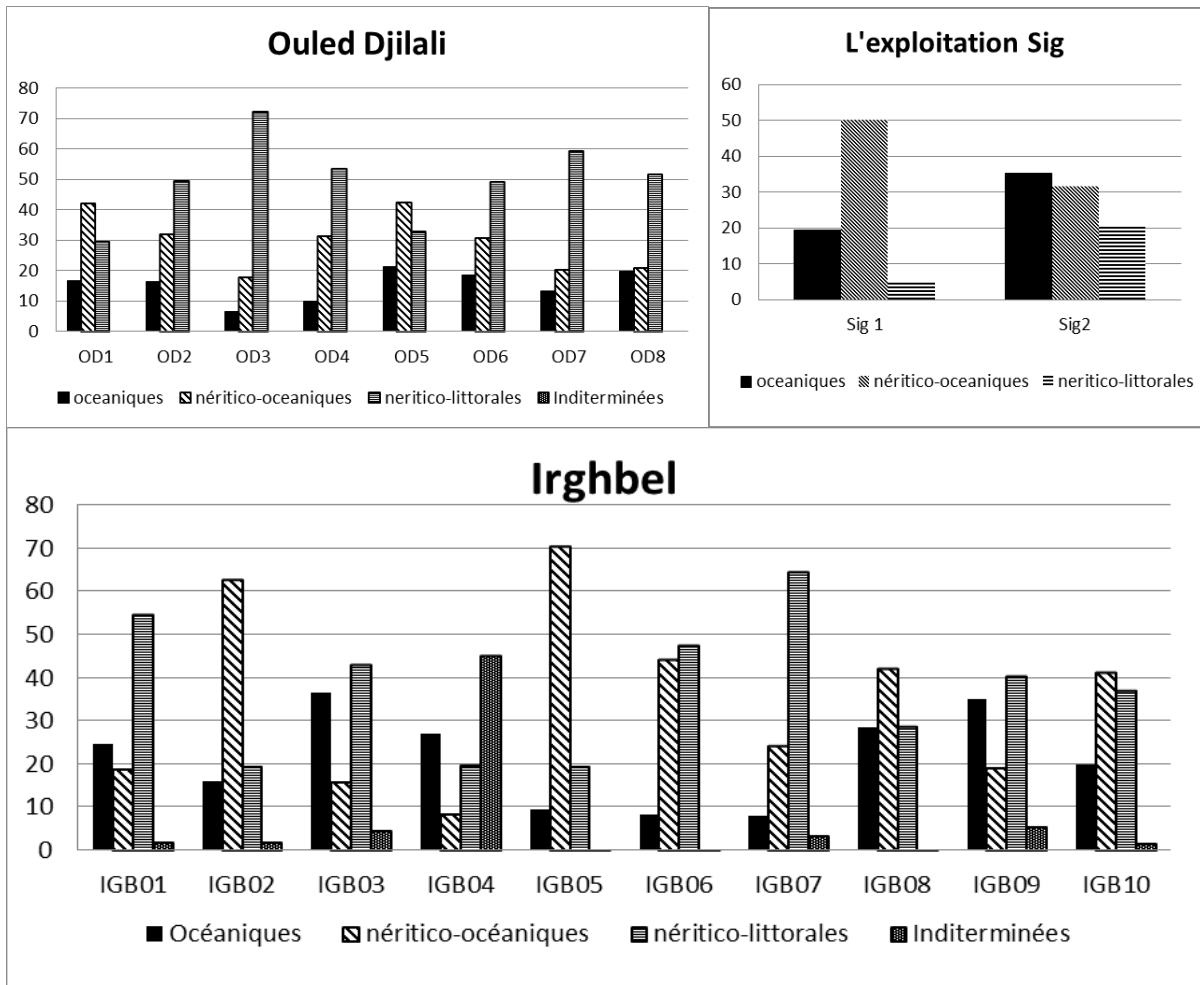


Figure C. I. 36: Biodiversité des populations de diatomées océanique, néritico-océaniques et néritico-littorales, des trois sites.

C. I .6. 3. Paléotempérature

Les assemblages des diatomées montrent un mélange de formes planctoniques appartenant au complexe boréal dites « froides » et des formes « chaudes » appartenant aux complexes subtropical et tropical. Leur fréquence varie d'un échantillon à un autre, dans chaque site, mais les formes froides prédominent largement les assemblages dans l'ensemble des sites étudiés (**figure C. I. 37**), confortant l'hypothèse du milieu marin en communication aisée avec la mer ouverte au moment de la sédimentation des diatomites dans les trois sites.

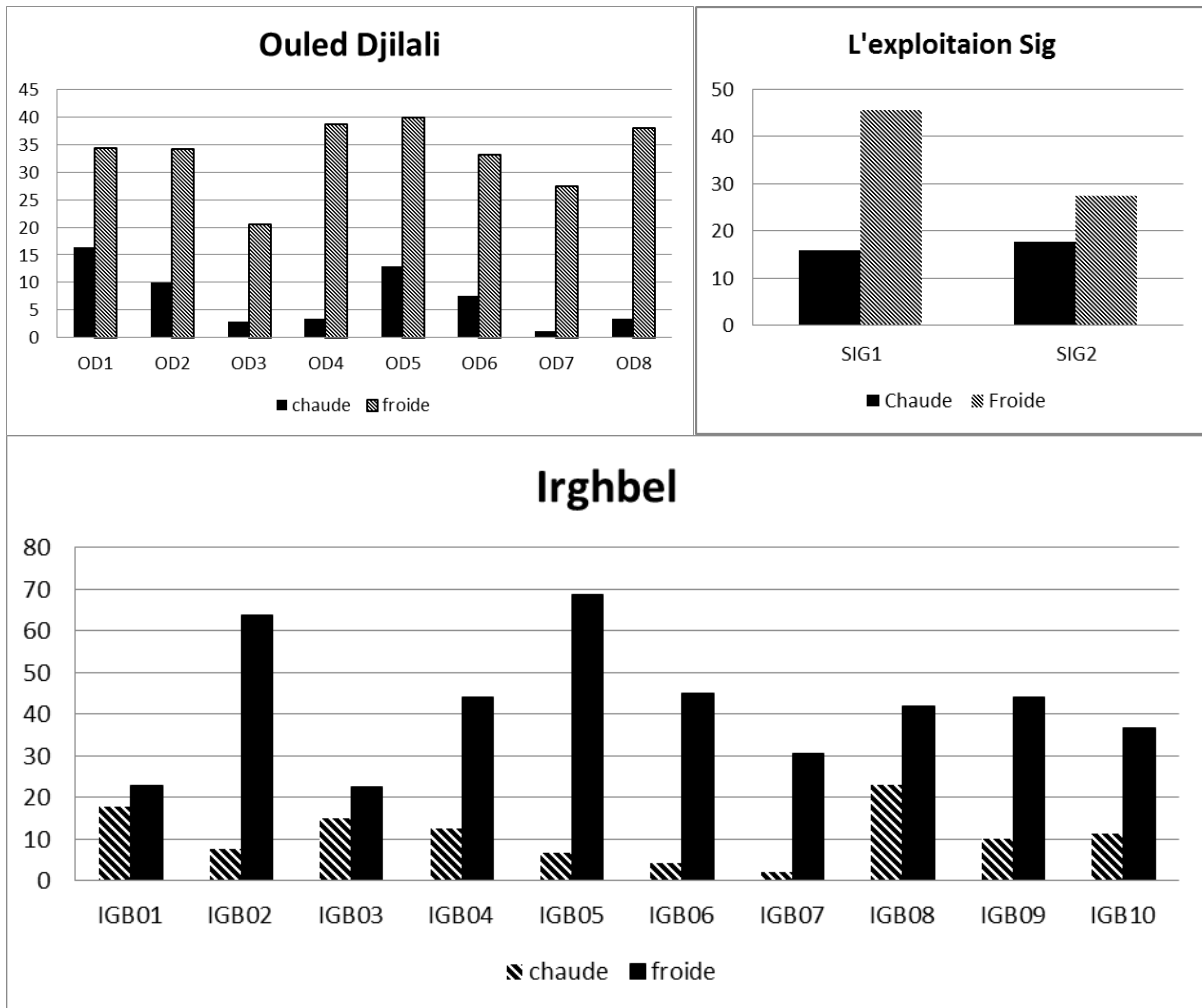


Figure C. I. 37: Biodiversité des populations de diatomées ; formes chaudes et formes froides dans les trois sites.

C. II. 1. Propriétés macroscopiques des échantillons

Les échantillons de diatomite blanchâtre ont une structure stratifiée, avec des grains fins qui se détachent facilement en main. Elle peut être cassée sans résistance significative. Alors que les échantillons les plus sombres sont massifs, indurés et très résistants, leur broyage nécessite parfois l'usage d'un appareil approprié (broyeur HERZOG). Cette matière brute est une roche sédimentaire légère ayant une forte capacité d'absorption de l'eau, ce qui met l'accent sur une porosité élevée. Comme l'échantillonnage a été effectué pendant une période de pluie, les échantillons contenaient un grand volume d'eau ; il a donc fallu un temps significatif pour libérer l'eau absorbée par les échantillons (séchées à l'étuve 105 °C, 48 h).

C. II. 2. Perte au feu à 950 °C

Les **tableaux C. II. 8 - 10** expriment les résultats obtenus pour la perte au feu à 950 °C dans les trois sites d'échantillonnage. Les valeurs du pourcentage de la perte au feu varient d'un échantillon à un autre sur une gamme allant de 13,48 à 27,53 %. La valeur la plus importante des matières éliminées par calcination a été enregistrée dans le site Ouled Djilali pour l'échantillon OD05, avec un pourcentage de 27,53 %. La valeur minimale a été, pour sa part, enregistrée dans le site Irghbel pour l'échantillon IGB09, avec un pourcentage de 13,48 %.

Le site d'échantillonnage Irghbel présente des valeurs plus ou moins proches, contrairement au site Ouled Djilali, où les valeurs présentent de grandes variations. Quant au Sig, les pourcentages sont presque identiques.

Tableau C. II. 8 : Pourcentage de la perte au feu pour les diatomites du site Irghbel.

Ech	IGB	IGB	IGB	IGB	IGB	IGB	IGB	IGB	IGB	IGB
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
PAF %	17,14	22,2	23,22	22,21	26,16	16,5	17,5	18,21	13,48	24,65

Tableau C. II. 9 : Pourcentage de la perte au feu pour les diatomites d'Ouled Djilali.

Ech	OD03	OD04	OD05	OD08
PAF %	15.85	17.20	27.53	20.69

Tableau C. II. 10 : Pourcentage de la perte au feu pour les diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Ech	SIG01	SIG02
PAF %	17.57	17.91

C. II. 3. Composition chimique par spectrométrie à Fluorescence X (FRX)

Les différents échantillons de diatomites prélevées ont été analysés par spectrométrie à Fluorescence X (FRX). Les résultats expérimentaux, exprimés en pourcentages des éléments présents ou des formes oxydés d'espèces détectées, sont reportés sur les **tableaux C. II. 11 - 13**. L'analyse FRX, d'après les valeurs obtenues, montre que la diatomite naturelle des trois sites d'étude est constituée majoritairement de silice (SiO_2), en plus de quantités importantes de Ca. Le calcium, se trouvant principalement sous forme de carbonate est analysé sous forme d'oxyde (CaO). D'autres composants minéraux contribuant au reste de la composition, sont présents à de faibles pourcentages (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , SO_3 , K_2O , NaO_2 , P_2O_5 , TiO_2 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , ZnO , SrO).

Les teneurs en silice varient de 34,34 % (IGB05) à 69,96 % (IGB09), au site Irghbel. Et de 32,84 % (OD05) à 61,52 % (OD03) au Site Ouled Djilali. Tandis qu'au Sig les deux échantillons analysés présentent des pourcentages assez proches (SIG01 : 60,27 % ; SIG02 : 58,39 %). L'échantillon IGB09 de la diatomite d'Irghbel s'avère être le plus riche en silice, du fait d'une présence moindre en Ca et en autres impuretés.

En comparant les valeurs de la perte au feu à celles des pourcentages en silice, nous remarquons que l'échantillon qui présente le plus grand pourcentage de silice (IGB09 : 69,96%), possède une valeur minime de la perte au feu (13,48 %) et vice-versa ; le pourcentage le plus faible en silice (OD05 : 32,84 %), correspond à la valeur la plus grande de la perte au feu (27,53 %).

Bien que les échantillons de diatomite bruts soient situés dans le même site d'échantillonnage, les résultats FRX montrent des différences significatives dans la teneur en SiO_2 et en CaO , contrairement aux autres teneurs en mélanges dont les pourcentages ne sont pas aussi variables.

Tableau C. II. 11 : Composition chimique des diatomites du site d'Irghbel.

Ech/%	IGB0 1	IGB0 2	IGB0 3	IGB0 4	IGB0 5	IGB0 6	IGB0 7	IGB0 8	IGB0 9	IGB1 0
SiO ₂	57,89	47,04	42,79	42,45	34,34	45,06	61,54	59,34	69,97	55,26
Al ₂ O ₃	2,42	3,28	3,56	7,52	3,59	3,73	2,00	2,38	2,90	2,16
Fe ₂ O ₃	1,30	1,31	1,16	1,70	1,53	1,58	1,03	0,87	1,52	1,80
CaO	16,5	22,71	25,59	20,4	29,87	30,26	16,07	17,14	9,40	14,37
MgO	1,29	1,00	0,77	1,69	1,23	1,03	0,40	0,43	0,77	0,45
SO ₃	1,13	1,20	0,18	0,36	0,2	0,14	0,11	1,18	0,16	0,11
K ₂ O	0,50	0,62	0,04	1,03	0,52	0,65	0,38	0,5	0,48	0,44
NaO ₂	0,26	0,83	1,16	1,28	2,04	0,49	0,48	0,45	1,00	0,19
P ₂ O ₅	0,08	0,09	0,06	0,32	0,08	0,07	0,05	0,08	0,13	0,06
TiO ₂	0,12	0,16	0,17	0,37	0,17	0,18	0,10	0,12	0,14	0,11
Cr ₂ O ₃	0,003	0,005	0,004	0,011	0,005	0,005	0,003	0,003	0,004	0,003
Mn ₂ O ₃	0,03	0,03	0,045	0,018	0,047	0,07	0,023	0,029	0,01	0,041
ZnO	0,002	0,003	0,001	0,00	0,003	0,003	0,00	0,001	0,00	0,002
SrO	0,05	0,06	0,08	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04

Tableau C. II. 12 : Composition chimique des diatomites d'Ouled Djilali.

Ech/%	OD03	OD04	OD05	OD08
SiO ₂	61,52	58,9	32,8	49,49
Al ₂ O ₃	3,88	3,55	5,70	3,44
Fe ₂ O ₃	1,66	1,50	2,26	1,53
CaO	13,81	15,16	25,94	21,71
MgO	1,53	1,42	3,14	0,40
SO ₃	0,10	0,10	0,15	0,12
K ₂ O	0,84	0,79	0,49	0,70
NaO ₂	0,21	0,22	1,26	0,32
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,07	0,07
TiO ₂	0,19	0,18	0,29	0,17
Cr ₂ O ₃	0,006	0,005	0,007	0,005
Mn ₂ O ₃	0,01	0,01	0,02	0,03
ZnO	0,004	0,004	0,005	0,004
SrO	0,05	0,05	0,09	0,08

Tableau C. II. 13 : Composition chimique des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Ech/%	SIG01	SIG02
SiO ₂	60,27	58,39
Al ₂ O ₃	1,90	2,12
Fe ₂ O ₃	0,88	1,08
CaO	12,71	13,06
MgO	2,95	3,17
SO ₃	0,68	0,41
K ₂ O	0,39	0,44
NaO ₂	1,48	1,09
P ₂ O ₅	0,11	0,11
TiO ₂	0,11	0,12
Cr ₂ O ₃	0,003	0,005
Mn ₂ O ₃	0,01	0,01
ZnO	0,00	0,00
SrO	0,07	0,06

Vu leur apparence différente (couleur, dureté et structure), nous avons proposé trois catégories de diatomite: diatomite pure (blanchâtre, feuilletée, pulvérulente, et légère), diatomite marneuse (beige, indurée et massive), et une marle diatomitique (de couleur beige foncé à gris, laminée et friable).

Nous avons pu constater une relation entre la nature de ces trois catégories de diatomite et leurs compositions chimiques, ainsi que leurs couleurs. La diatomite de couleur plus claire est plus riche en silice que celles de couleurs foncées (beige foncé et grisâtre). Ce constat peut également être expliqué sur la base des résultats de la perte au feu. En effet, les échantillons de couleurs plus foncées ont les valeurs les plus élevées de pourcentages de perte au feu. Ceci est fort probablement lié à la présence d'une quantité importante en matière organique. Ce résultat est bien illustré dans les **tableaux C. II. 8 -13** où le taux de perte au feu est corrélé à celui de CaO qui représente la teneur en Ca (Ca existant dans le produit naturel de la terre de diatomée sous forme de carbonate (CaCO_3) qui se décompose en CaO et CO_2 par effet de la température).

La présence et la teneur élevée en SiO_2 dans les échantillons de diatomite font de ce matériau un adsorbant intéressant dans divers domaines. La nature et la quantité des impuretés sont très variables entre les différents gisements de même qu'entre les bancs géologiques d'un même gisement. Ceci dépend probablement des conditions de sédimentation des terres à diatomées.

Dans les étages géologiques les plus profonds (IGB09 : présentant le banc le plus profond du site par la présence des *cancelllophycus*), les biomasses des organismes benthiques diminuent rapidement avec les profondeurs, tels que c'est le cas pour les espèces à coquilles et squelettes calcaires à l'image des mollusques et des gastéropodes. Ceci implique donc une diminution des composants calcaires dans les sédiments profonds, ce qui peut expliquer les teneurs élevées en CaO dans certains échantillons par rapport à d'autres. Les bancs géologiques étudiés dans ce travail étant de profondeurs variées, cette variation bathymétrique a été mise en évidence par l'étude de la composition en marqueurs biologiques « les diatomées ». Ces limitations bathymétriques par les diatomées laissent également penser à la précipitation en milieu continental.

La richesse des diatomites algériennes en CaO par rapport à d'autres diatomites dans les alentours de la Méditerranée peut être expliquée par le fait que l'environnement de sa déposition avait une abondance importante des espèces calcaires (aux faibles profondeurs) sur son plateau continental. Ceci peut probablement distinguer la diatomite algérienne des autres formations diatomitiques sur la base de la profondeur.

C. II. 4. Composition minéralogique par diffraction aux rayons X (DRX)

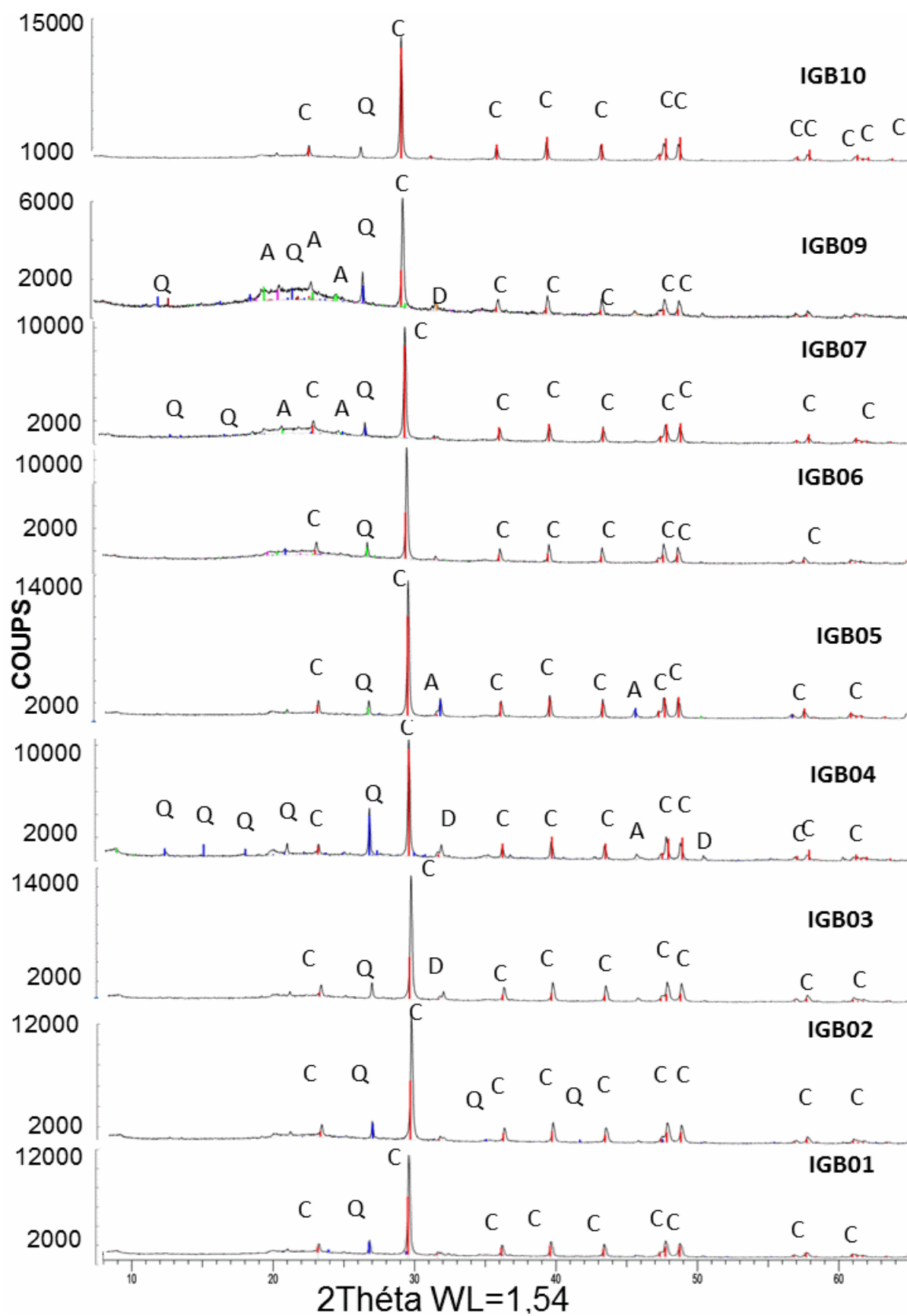
L'examen minéralogique des spectres DRX de l'ensemble des échantillons de diatomites est illustré sur les **figures** ci-dessous **C. II. 38 - 39**. Ces analyses montrent que la diatomite naturelle est constituée de calcite, dolomite, quartz, pyrite, illite, chlorite, kaolinite, et d'albite, à des pourcentages différents. Notons en plus, que certains cristaux disparaissent de la liste pour certains bancs géologiques (dolomite, pyrite, chlorite).

C. II. 4.1. Composition minéralogique des diatomites naturelles d'Irghbel

Les pourcentages des cristaux présents dans les diatomites étudiées ont été répertoriés dans le **Tableau IX.14.**, tandis que leurs diffractogrammes révélateurs sont illustrés dans la figure **C. II.38** (excepté celui de IGB08).

Tableau C. II. 14 : Composition minéralogique des diatomites naturelles d'Irghbel.

Ech/ %	Calcite	Dolomite	Quartz	Pyrite	Illite	Chlorite	Kaolinite	Albite
IGB01	70,74	0,21	4,13	-	12,98	-	8,86	3,08
IGB02	68,39	0,74	3,98	-	12,98	-	9,73	4,18
IGB03	71,61	-	4,05	-	12,49	0,82	8,05	2,98
IGB04	51,59	-	9,8	-	24,03	0,77	10,45	3,37
IGB05	71,29	-	3,21	0,08	13,8	2,56	7,76	1,31
IGB06	58,38	-	3,62	-	15,65	-	15,71	6,63
IGB07	61,37	-	2,78	-	15,75	-	14,65	5,45
IGB09	44,6	-	5,47	-	21,25	0,45	22,58	5,65
IGB10	75,65	0,27	3,6	-	9,87	-	7,80	2,81



Figures C. II. 38 : Diffractogrammes des diatomites d'Irghbel ((Q: Quartz, C: Calcite, D: Dolomite, A: Alumina)

Typiquement pour tous les échantillons analysés, la forme spécifique des diffractogrammes (épaulement) et le niveau élevé de la ligne de base suggèrent une grande quantité de phase amorphe (opale) dans la gamme entre 19 et 32 °C (2 Thêta). Cette phase est beaucoup plus prononcée pour les échantillons IGB09, IGB07, IGB06, IGB04, tandis que ces mêmes échantillons présentent des valeurs minimales en calcite par rapport au reste des échantillons.

Aussi, les cristaux se présentant sous forme de calcite, quartz, illite, kaolinite, et d'albite, sont présents dans tous les bancs géologiques, alors que la dolomite, la pyrite, et le chlorite sont présents seulement dans certains échantillons avec:

- La dolomite étant présente dans les échantillons IGB01, IGB02, et IGB10 avec de très faibles pourcentages allant de 0,21 % à 0,74 %.
- La pyrite étant présente seulement dans le banc IGB05 à 0,08 %.
- Le chlorite étant présente dans les échantillons IGB03, IGB04, IGB05, et IGB09 avec de très faibles pourcentages allant de 0,45 % à 2,56 %.

Nous avons également pu vérifier que la calcite était le cristal le plus répandu, à des proportions pouvant atteindre 75,65 % (IGB10). L'échantillon IGB09, ayant un maximum de silice (69,97 %), possède un minimum de CaO (9,4 %), ainsi que des valeurs très faibles voire des traces ou des valeurs nulles des autres impuretés. Il faut noter aussi que ce banc a été identifié comme étant le plus profond du site Irghbel par la présence des *cancelllophycus* (voir les résultats de la biodiversité et les assemblages des diatomées). Les faibles pourcentages de la calcite et des autres cristaux dans ce banc peuvent être expliqués alors par la disponibilité de ces composants chimiques.

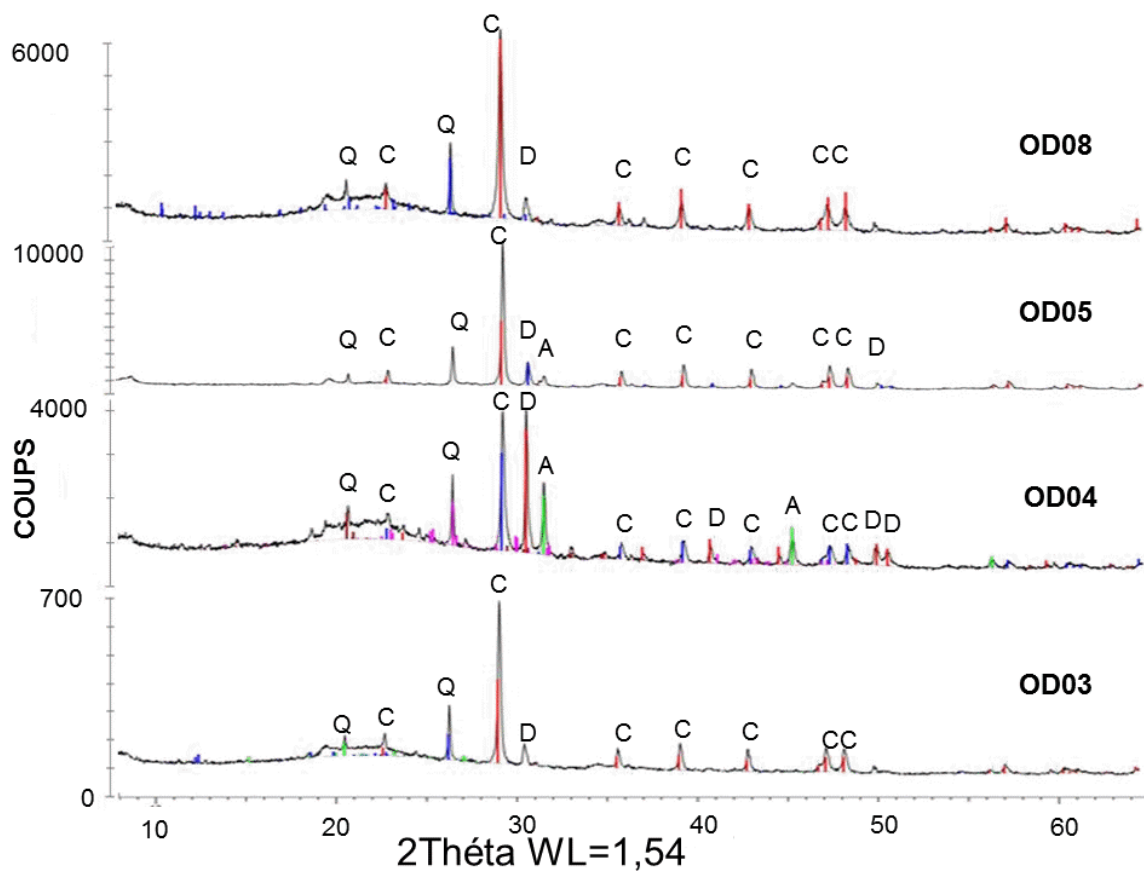
C. II. 4. 2. Composition minéralogique des diatomites naturelles d'Ouled Djilali

La **figure C. II.39** illustre les diffractogrammes des différents échantillons d'Ouled Djilali, tandis que les pourcentages des cristaux ont été mentionnés dans le **tableau C. II. 17**. Semblablement aux remarques mentionnées pour le site d'Irghbel, les échantillons d'Ouled Djilali qui ont des valeurs maximales de silice présentent des valeurs minimales de calcite. La phase amorphe est cependant beaucoup plus prononcée pour les échantillons OD04 et OD08 de ce site, représentée par les valeurs essentiellement élevées de la calcite. De la même liste des cristaux identifiés, certains ne figurent pas sur tous les bancs géologiques ;

- La pyrite se retrouve seulement dans le banc OD04 avec 0,15 %.
- Le chlorite est présente uniquement dans les échantillons OD04 (2,33 %) et OD05 (1,81 %).

Tableau C. II. 17 : Composition minéralogique des diatomites naturelle d'Ouled Djilali.

Ech%	Calcite	Dolomite	Quartz	Pyrite	Illite	Chlorite	Kaolinite	Albite
OD03	47,54	6,66	7,03	-	19,26	-	13,82	5,69
OD04	33,96	24,4	4,66	0,15	18,34	2,33	13,78	2,36
OD05	55,72	8,69	6,61	-	20,25	1,81	4,78	2,13
OD08	49,1	7,16	5,76	-	17,79	-	14,26	5,93



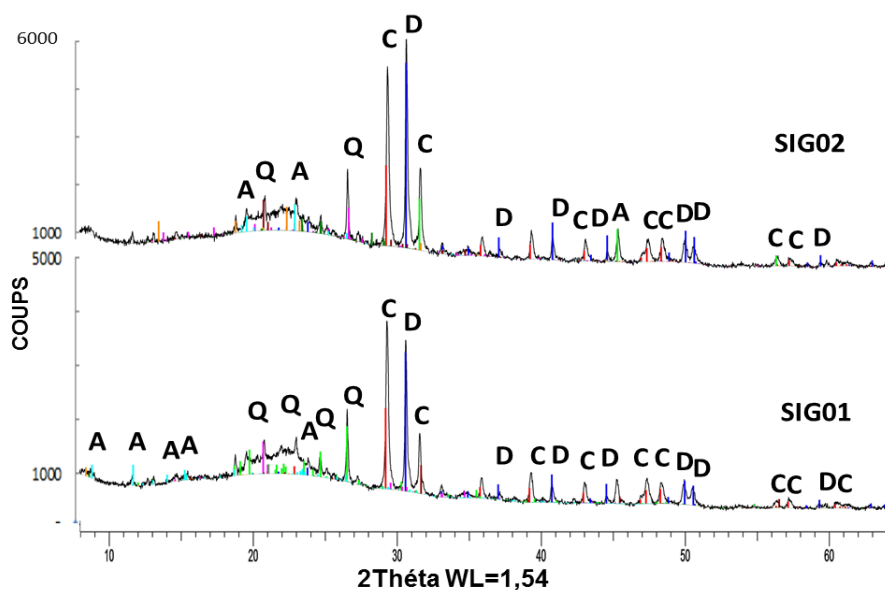
Figures C. II. 39: Diffractogrammes des diatomites d'Ouled Djilali (Q: Quartz, C: Calcite, D: Dolomite, A: Alumina)

C. II. 4. 3. Composition minéralogique des diatomites de la nouvelle exploitation Sig

La figure C. II. 40 illustre les diffractogrammes des deux échantillons de la nouvelle exploitation Sig, identifiant les phases cristallines détectées, lesquelles sont représentées en pourcentages dans le tableau C. II. 18. La composition minéralogique des deux échantillons du Site est presque identique, et les pourcentages de tous les cristaux sont assez proches. Un très faible pourcentage de pyrite dans l'échantillon SIG02, et une valeur nulle au SIG01 ont cependant été enregistrés.

Tableau C. II. 18: Composition minéralogique des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Ech/%	Calcite	Dolomite	Quartz	Pyrite	Illite	Chlorite	Kaolinite	Albite
SIG01	36,27	24,43	5,20	-	16,35	1,72	12,85	3,18
SIG02	35,68	25,49	4,75	0,18	17,46	1,88	12,17	2,4



Figures C. II. 40: Diffractogrammes des diatomites de la nouvelle exploitation Sig (Q: Quartz, C: Calcite, D: Dolomite, A: Alumina)

C. II. 5. Spectroscopie Infra- Rouge à Transformée de Fourier (IRTF)

Les résultats de l'observation qualitative par analyse infrarouge à transformée de fourrier IRTF ont été obtenus sous forme de spectres séparés. Toutefois, une superposition a été effectuée en rassemblant l'ensemble des spectres des structures diatomitiques pour une

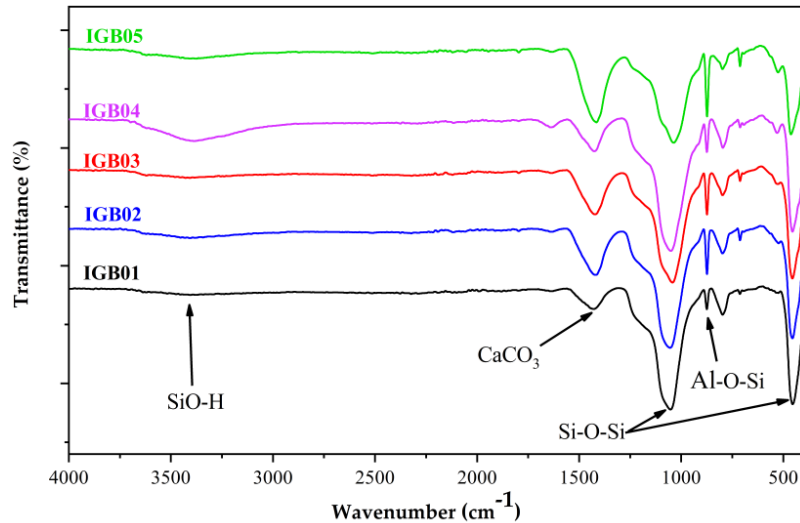
meilleure comparaison et afin de montrer au mieux les différences entre les échantillons étudiés en terme de groupements fonctionnels.

En effet, la superposition des spectres de la **figure C. II. 41** permet la mise en évidence des différences existant entre les échantillons des bancs géologiques de la diatomite brute d'Irghbel, et rend l'étude plus facile. Ainsi, les **figures C. II. 42** et **43** rassemblent les spectres des échantillons d'Ouled Djilali, et ceux de la nouvelle Exploitation de Sig, respectivement.

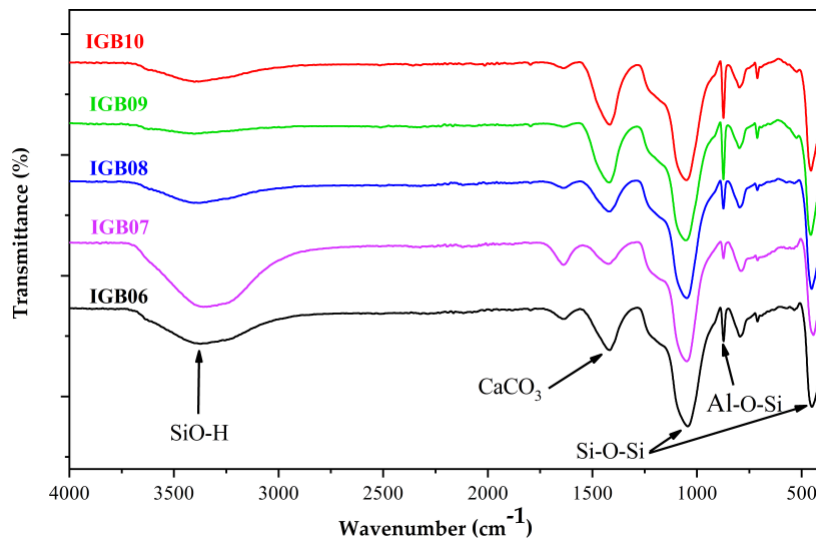
D'après les séries des différents spectres enregistrés sur les **figures C. II. 41 - 43**, il n'a d'abord été observé aucune différence significative entre les positions des bandes existantes correspondant aux échantillons diatomitiques. Ceci dit, il est intéressant de noter, sur la base de l'examen des données afférentes, que les spectres en question sont fortement dominés par un ensemble de bandes d'absorptions IR très apparentes, caractéristiques des diatomites naturelles, relevées à **1426**, **1070**, et **454** cm^{-1} succédant à d'autres plus faibles à 3435 et 800 cm^{-1} :

- Une bande très apparente à 1456 cm^{-1} caractérisant les groupements carbonates et montrant de façon irrécusable la contamination du matériau de diatomite brute par ces espèces (Hadjar H., 2004; 2012). L'intensité de la bande est légèrement variée d'un banc à un autre dans les deux sites de Mostaganem (**figures C. II. 41 ; 42**), alors qu'elle est fortement affaiblie sur les deux spectres des diatomites de Sig (**figure C. II. 43**), ainsi que pour l'échantillon IGB09, exceptionnellement (**figure C. II. 41b**).
- La vibration d'étirement asymétrique du groupe siloxane (-Si-O-Si-) dans la diatomite apparaît à 1070 cm^{-1} avec un pic de forte intensité pour tous les échantillons sans exception (Zhang S. et al., 2016; Yuan P. et al., 2003; Benkacem T. al., 2016).
- Par ailleurs, un pic de faible intensité, situé vers 3435 cm^{-1} est dû à l'absorbance de la bande d'élongation des groupes hydroxyles O-H des molécules d'eau physiquement adsorbées dans la diatomite (Fu et al., 2016; Yuan P. et al., 2003; Inchaurredo et al., 2016). L'intensité de cette absorbance est cependant significativement importante pour les deux échantillons IGB06 et IGB07 d'Irghbel. Ce qui pourrait, compte tenu de la largeur relativement suffisante des deux pics, pourrait éventuellement cacher une bande d'élongation des silanols libres (Si-OH).

- Une bande à 454cm^{-1} , également caractéristique de la silice, est liée aux vibrations de flexion de Si-O-Si (Yu *et al.*, 2015), alors que le pic situé à 800 cm^{-1} serait lié à la silice et/ou au quartz libre (Éirement symétrique et flexion intertétraédrique Si-O-Si) (Inchaurredo *et al.*, 2016; Yu *et al.*, 2015), quoiqu'il peut aussi être attribué à la vibration d'étirement d'Al-O-Si (Vassileva P. *et al.*, 2011). Ce pic est de très faible intensité dans la diatomite de Sig, contrairement aux échantillons des autres sites.



Figures C. II. 41 a : Spectres IRTF des échantillons diatomitiques IGB01-IGB05 d'Irghbel.



Figures C. II. 41 b : Spectres IRTF des échantillons diatomitiques IGB06-IGB10 d'Irghbel.

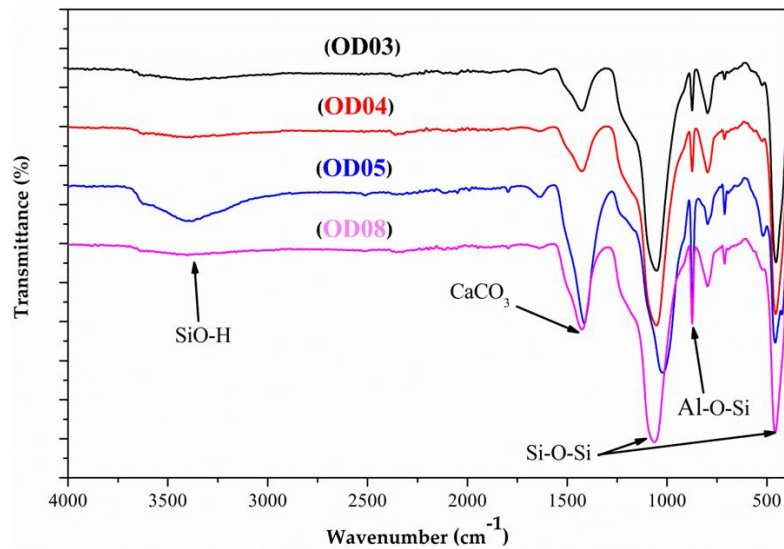
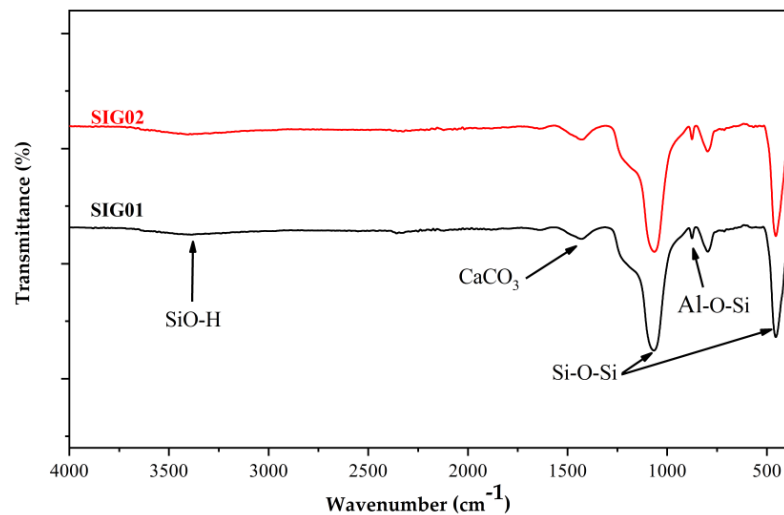


Figure C. II. 42 : Spectres IRTF des échantillons diatomitiques d'Ouled Djilali.



Figures C. II. 43: Spectres IRTF des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

C. II. 6. Observation par microscopie électronique à balayage « MEB »

Les observations par MEB ont été utilisées pour nos diatomites afin de mettre en évidence sa microstructure et sa morphologie. Nous avons cependant pu caractériser et présenter un seul échantillon de chaque site de prélèvement.

Comme nous pouvons le constater d'après les micrographes, d'abord des images MEB de faible agrandissement, les échantillons de diatomite sont constitués de différents types morphologiques, affichant clairement une structure poreuse bien développée et principalement préservée. Ces observations nous ont également montré que les

échantillons diatomiques étaient très riches en diatomées et ce, suite à la teneur visiblement très dense de ces espèces qui se présentent sous deux classes : diatomées centriques (**Figures C. II. 44. A et B, 46. D, 46. F**), et diatomées pennées (**Figures C. II. 47. G, 48. J**). Nous observons également que les formes des diatomées sont majoritairement brisées, mais leurs structures restent globalement bien conservées (**Figures C. II. 48. I**).

Les images microscopiques au plus fort grossissement dans les **figures C. II. 44 ; 495**, des trois échantillons représentatifs, ont, quant à elles, permis de révéler la présence de squelettes (frustules), constitutifs de la diatomite, et de constater leurs formes intactes. L'identification de ces espèces et leur biodiversité sont cependant étudiées en détail par microscopie optique (**chapitre C. I**).

Ceci étant, la surface valvaire des diatomées est ornée d'aréoles très variées en taille et en forme, et disposées suivant des plans et des formes bien définis. Cette disposition et ces symétries constituent la base de l'identification des diatomées. La présente microstructure explique la porosité de la diatomite naturelle, dont la spécificité lui offre un grand volume de vide, d'où la légèreté de cette roche sédimentaire.

En plus des diatomées, et dans la plupart des échantillons, d'autres structures siliceuses ont pu être détectées et identifiées, se présentant sous diverses formes telles que les silicoflagellés (**figures C. II. 47. H**), ou les spicules des spongiaires et des spores (**figures C. II. 45.C**).

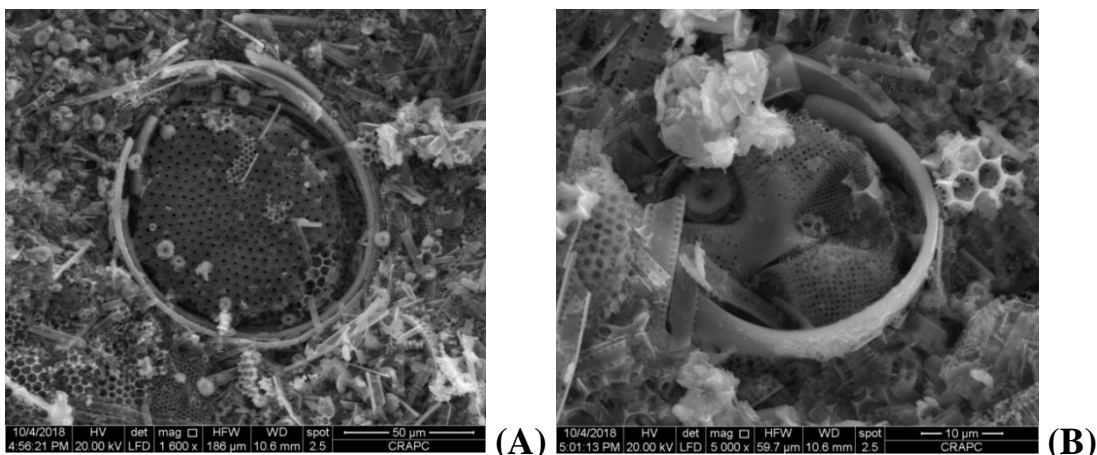


Figure C. II. 44 : Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Irghbel (IGB09) : diatomée centrique (A) = *Coscinodiscus radiatus*. (B) = *Actinoptychus senarius*

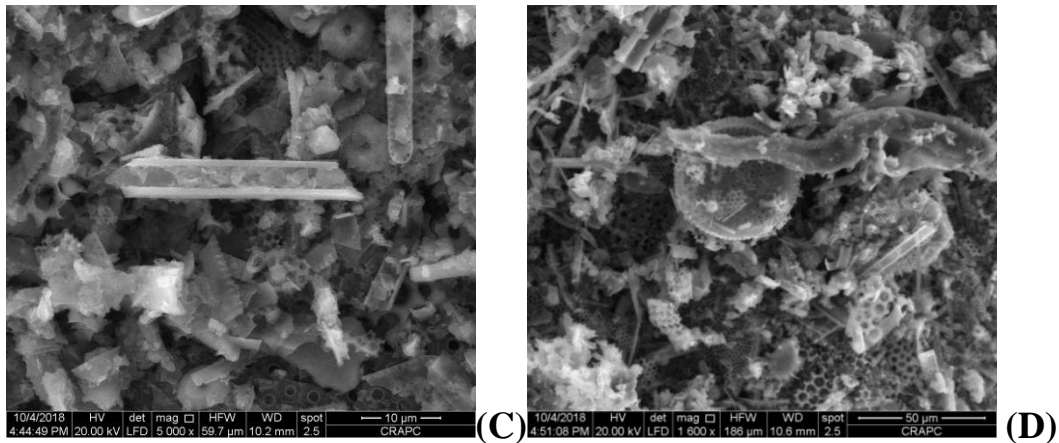


Figure C. II. 45 : Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Irghbel (IGB09) : (C) = épine cassée, (D) = diatomée centrique

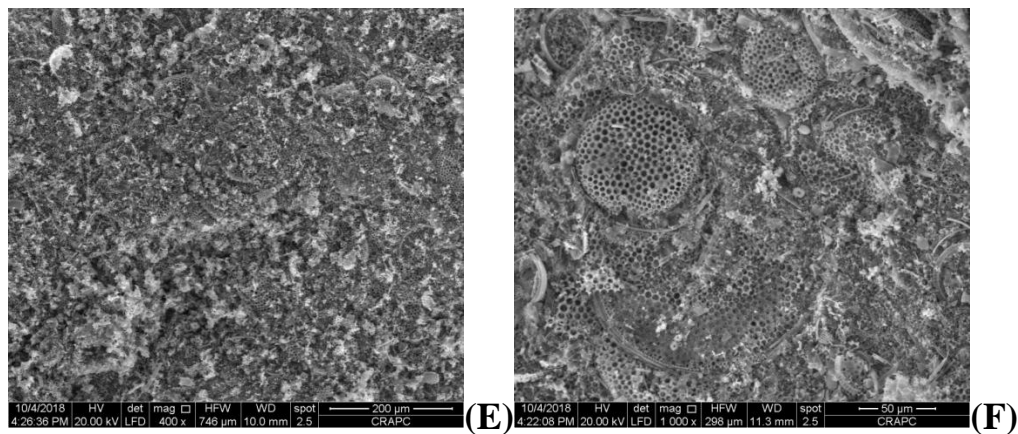


Figure C. II. 46: Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Ouled Djilali (OD03) : (E) = vue de surface à faible grandissement, (F) = diatomées centriques

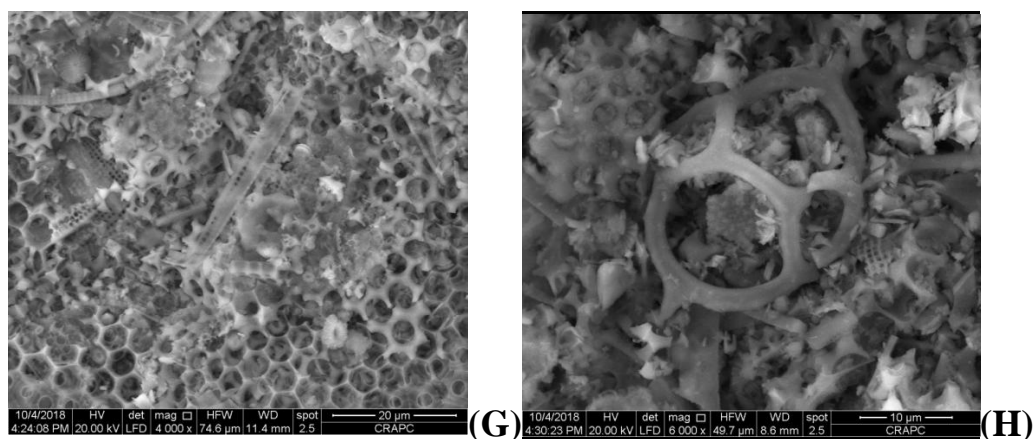


Figure C. II. 47: Images MEB révélant la microstructure de la diatomite d'Ouled Djilali (OD03) : (G) = diatomée pennée, (H) = silicoflagellé = *Dictyota fibula*

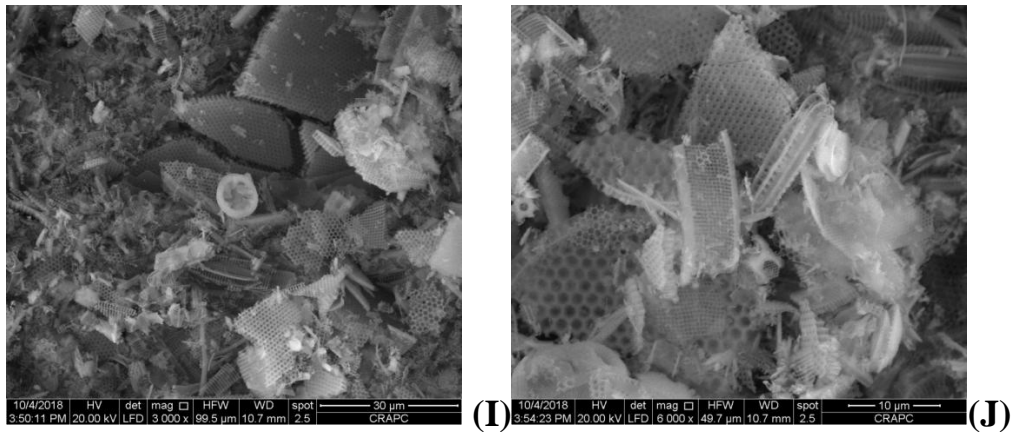


Figure C. II. 48: Images MEB révélant la microstructure de la diatomite du Sig (Sig 01) :

(I) = frustules cassées, (J) = diatomée pennée = *Thalassionema nitzschoides*.

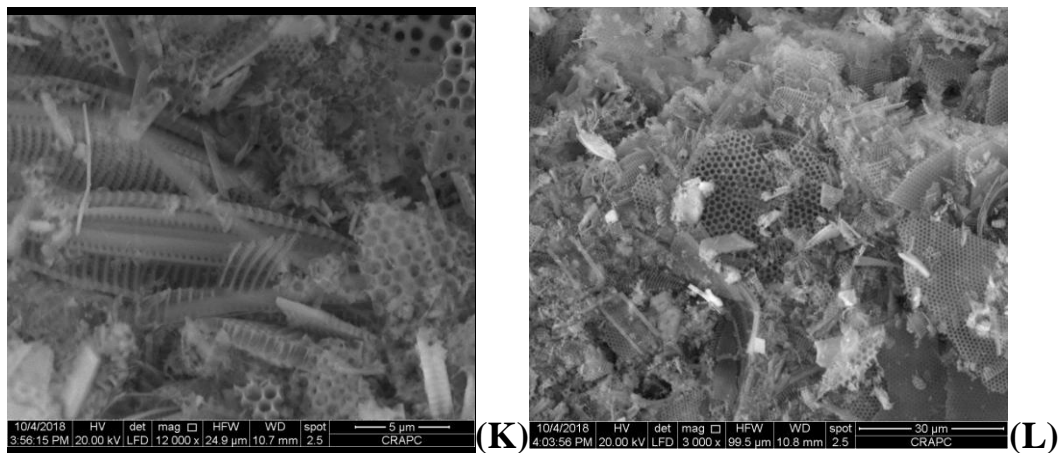


Figure C. II. 49: Images MEB révélant la microstructure de la diatomite du Sig (Sig 01) :

(K) = diatomée pennée = genre *Nitzschia*, (L) = diatomée centrique = *C. curvatulus*.

C. II. 7. Etude de la texture poreuse par adsorption de N₂ à 77 K

L'analyse de la texture poreuse et la mesure des surfaces spécifiques ont été évaluées à partir d'isothermes d'adsorption-désorption d'azote N₂ représentées dans les **figures C. II. 50- 53**. Les isothermes de sorption obtenues sont de type IV, caractéristiques des matériaux mésoporeux selon la classification de l'IUPAC, avec effet la boucle d'hystérèse.

A partir des isothermes précédentes, nous avons tracé les droites représentant les transformées linéaires de l'équation BET et ce, pour tous les échantillons étudiés. Les droites ont été obtenues avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.99$, ce qui nous a permis

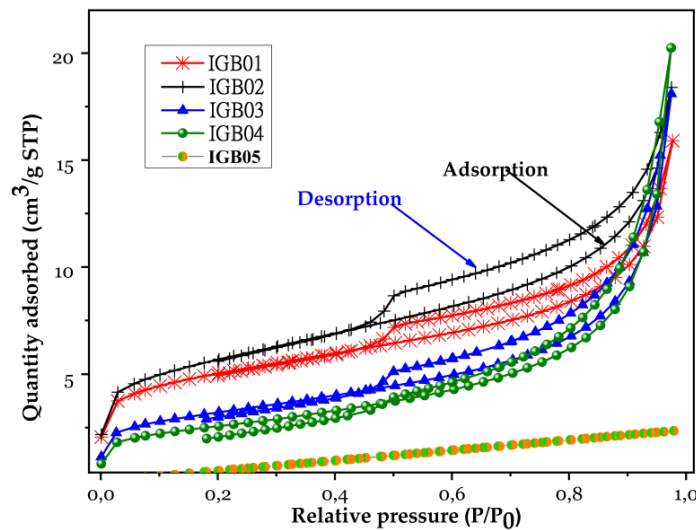
d'accéder aux paramètres expérimentaux ainsi qu'à toutes les surfaces spécifiques correspondantes.

La surface spécifique S_{BET} a été évaluée par la méthode BET. Le volume des micropores et la surface externe ont été calculés par la méthode de t -plot. L'ordonnée à l'origine de cette courbe permet d'estimer le volume microporeux. Le volume poreux total a été estimé à partir du volume de N_2 adsorbé à une pression relative de $P/P_0 = 0.977$. Le volume mésoporeux est donné par la différence entre le volume poreux total et le volume microporeux. Les droites BET et la méthode t -plot sont citées dans l'**annexe I**.

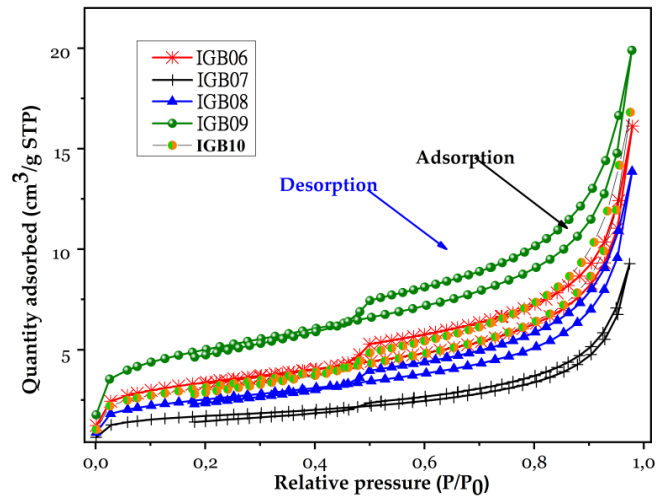
Pour convertir les volumes exprimés en STP (TPN) en volumes aux conditions d'adsorption, nous utilisons la relation suivante :

$$V_{77K}(\text{cm}^3/\text{g}) = (V_{STP}/22414) \cdot (M_{N_2}/\rho_{N_2}) \quad (21)$$

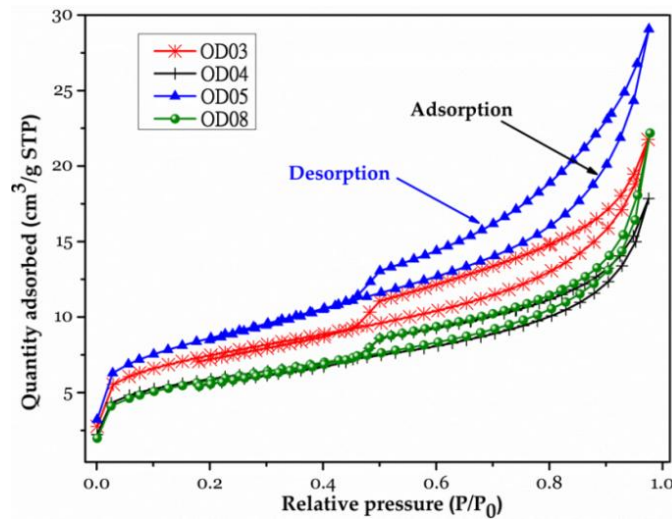
Où, M_{N_2} : masse molaire de N_2 (28 g/mol) ; ρ_{N_2} : masse volumique de N_2 (0.808 cm³/g)



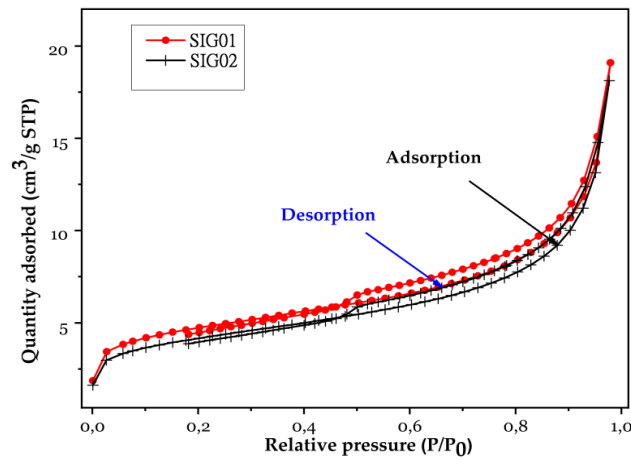
Figures C. II. 50: Isothermes d'adsorption-désorption des diatomites IGB01-IGB05 d'Irghbel.



Figures C. II. 51: Isothermes d'adsorption-désorption des diatomites IGB06-IGB10 d'Irghbel.



Figures C. II. 52: Isothermes d'adsorption- désorption des diatomites d'Ouled Djilali.



Figures C. II. 53: Isothermes d'adsorption- désorption des échantillons de la nouvelle exploitation Sig.

Les paramètres de la texture poreuse (volume poreux total V_t , volume microporeux V_{mic} , volume mésoporeux $V_{més}$, surface BET, surface externe S_{ext}) sont présentés dans le **tableau C. II**. Nous constatons que l'échantillon OD05 a un volume poreux total, un volume microporeux, une surface spécifique, et une surface externe plus importants que ceux des autres échantillons du même site, et même ceux provenant des deux autres sites. Cet échantillon présente aussi le taux de silice le plus faible de tous les échantillons étudiés. Une valeur maximale de la surface spécifique BET est aussi enregistrée pour l'échantillon d'Irghbel IGB02, là où il y a un taux faible de silice. Nous constatons aussi que, d'après les calculs et la **figure C. II. 50**, l'échantillon IGB05 présente les paramètres texturaux les plus faibles.

Tableau C. II. 19: Tableau récapitulatif des propriétés texturales des diatomites analysées.

Ech	V_t (cm ³ /g) NTU	$V_{més}$ (cm ³ /g)	V_{mic} (cm ³ /g)	S_{BET} (m ² /g)	S_{ext} (m ² /g)
OD03	0,034	0,028	0,006	58,869	3,986
OD04	0,028	0,023	0,005	45,282	2,982
OD05	0,045	0,040	0,005	69,948	5,377
OD08	0,034	0,030	0,004	47,913	3,314
IGB01	0,025	0,020	0,005	38,424	2,212
IGB02	0,028	0,023	0,005	85,605	2,826
IGB03	0,028	0,027	0,001	26,981	2,541
IGB04	0,031	0,031	0,0001	21,594	2,455
IGB05	0,004	0,003	0,0002	9,497	0,769
IGB06	0,025	0,023	0,002	26,017	2,085
IGB07	0,014	0,013	0,001	13,945	1,071
IGB08	0,021	0,020	0,001	20,968	1,868
IGB09	0,031	0,027	0,004	42,019	2,869
IGB10	0,026	0,025	0,001	25,940	2,382
Sig01	0,030	0,026	0,003	37,683	2,6186
Sig02	0,028	0,026	0,003	3,363	2,571

C. II. 8. Caractéristiques types des diatomites

Les propriétés physico-chimiques types des diatomites étudiées sont rassemblées dans les **tableaux C. II. 20 - 22**. Les pourcentages d'humidité cités dans les tableaux précédents, représentent les résultats obtenus par la méthode de lyophilisation. Les données expérimentales obtenues par séchage à l'étuve sont regroupées dans l'**Annexe II**. Une élimination maximale de l'eau

adsorbée a été constatée pour tous les échantillons à une durée d'une heure de séchage sous une température de 105 °C.

(Où, da^* : densité apparente ; % H : pourcentage d'humidité ; % Ads H_2O : taux d'adsorption de l'eau ; % Ads huiles : taux d'adsorption des huiles ; % Cl : pourcentage des chlorures).

Tableaux C. II. 20: Caractéristiques types des diatomites d'Irghbel.

Ech	pH	da^* (g/cm ³)	% H	% Ads H_2O	% Ads huiles	% Cl
IGB01	8,18	0,425	96,24	47,98	65,76	0,24
IGB02	7,88	0,566	95,37	23,73	62,16	0,76
IGB03	8,01	0,468	95,36	41,18	64,70	1,61
IGB04	7,45	0,44	88,25	41,94	70,26	3,35
IGB05	7,48	0,664	97,59	15,49	54,28	3,37
IGB06	8,05	0,458	69,35	46,43	62,50	0,16
IGB07	8,16	0,338	98,55	55,00	70,63	0,72
IGB08	8,09	0,404	97,25	46,43	65,62	0,31
IGB09	7,91	0,412	88,52	36,84	62,64	1,3
IGB10	7,81	0,55	98,84	30,23	59,21	0,60

Tableaux C. II. 21: Caractéristiques types des diatomites d'Ouled Djilali.

Ech	pH	da^* (g/cm ³)	% H	% Ads H_2O	% Ads huiles	% Cl
OD03	8,01	0,483	97,20	37,82	63,85	0,21
OD04	7,99	0,426	96,60	45,45	62,77	0,1
OD05	7,82	0,648	90,46	15,89	98,31	2,14
OD08	8,14	0,495	96,35	32,33	62,88	0,25

Tableaux C. II. 22: Caractéristiques types des diatomites de la nouvelle exploitation Sig.

Ech	pH	da^* (g/cm ³)	% H	% Ads H_2O	% Ads huiles	% Cl
SIG01	7.65	0.429	95.90	50.00	69.25	0.036
SIG02	7.66	0.315	95.20	50.61	69.76	1.18

C. III. 1. Cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur la diatomite

L'influence du temps d'agitation sur l'adsorption du bleu de méthylène par les différents matériaux diatomitiques étudiés est représentée sur les **figures C. III. 54 - 56**, où Q_t représente la quantité du bleu de méthylène adsorbé au temps t (mg/g). Il est d'abord évident que les courbes obtenues suivent la même allure. Ces courbes ont permis de déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre entre chaque adsorbant et l'adsorbat. Les résultats rapportés mettent en évidence l'existence d'une très bonne affinité et une interaction de plus en plus intime des diatomites testées vis-à-vis de ce colorant. Il est en effet clairement indiqué, d'après ces courbes, que l'adsorption s'accroît de façon très rapide avec l'augmentation du temps d'agitation, Après quoi, cette augmentation dans le temps laisse apparaître une saturation définie après 20 minutes seulement avec des valeurs vers 49.9 mg/g. Ceci reflète une cinétique d'adsorption assez rapide (un constat valable pour tous les échantillons testés). Ce résultat peut être interprété par le fait qu'au début d'adsorption, le nombre des sites actifs disponibles à la surface du matériau adsorbant est assez important (Dinçer *et al.*, 2007 *in* Bensalem S., 2010). Pour tous les Sites exploités, il n'y a pas eu de différence significative concernant la vitesse d'adsorption du bleu de méthylène. Il est noté une légère fluctuation toutefois enregistrée sur le palier d'adsorption, sous forme de petite régression de la quantité adsorbée pour certains échantillons, qui pourrait probablement être expliquée par un relargage du colorant avant sa résorption, ou qui serait due à une erreur d'expérimentation.

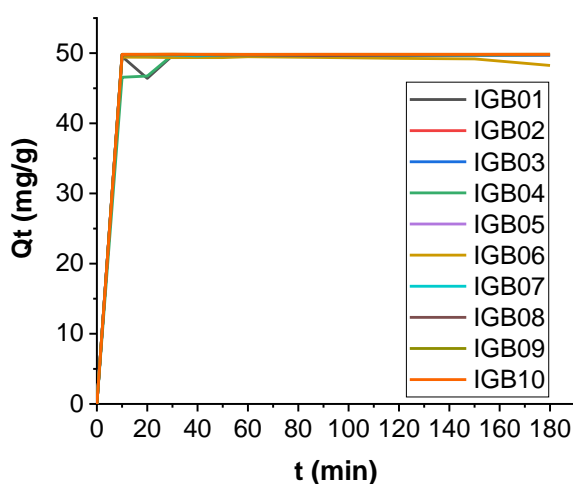


Figure C. III. 54: Cinétique d'adsorption du BM sur la diatomite d'Irghbel.

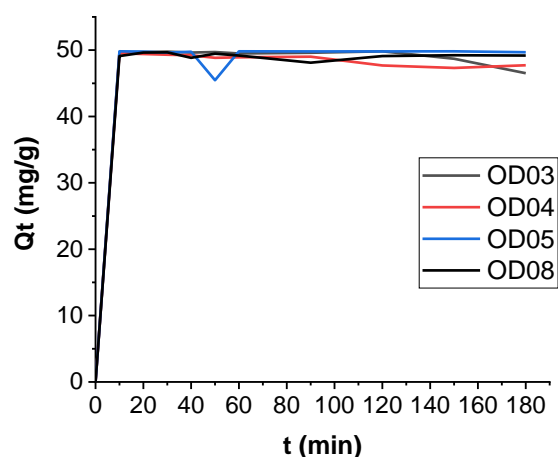


Figure C. III. 55: Cinétique d'adsorption du BM sur la diatomite d'Ouled Djilali.

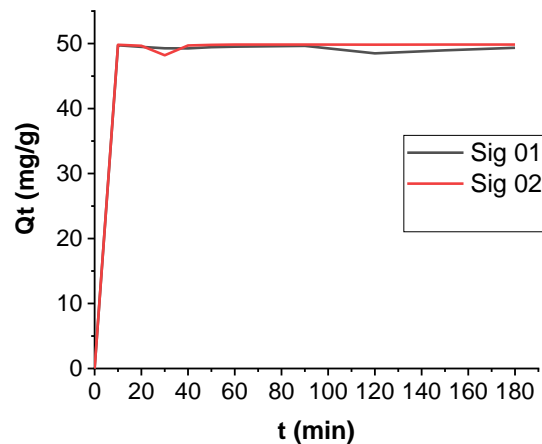


Figure C. III. 56: Cinétique d'adsorption du BM sur la diatomite de la nouvelle exploitation Sig.

C. III. 1. 1. Corrélation linéaire de la cinétique

Dans le but de rechercher le modèle approprié qui explique le mieux possible la cinétique d'adsorption afin de comprendre le mécanisme de rétention du colorant, et d'évaluer les performances de l'adsorbant, une application des modèles de pseudo premier ordre et pseudo second ordre ont été effectuées sur toutes les données cinétiques. Compte tenu des recherches précédentes sur la modélisation du phénomène d'adsorption des différents adsorbats sur la diatomite algérienne, on a pu restreindre l'application à ces deux modèles. Afin de savoir si un modèle est représentatif et adéquat aux données expérimentales, il est important de vérifier le coefficient de corrélation (R^2) qui lui correspond, dont la valeur relativement élevée indique que le modèle est performant quant à décrire la cinétique d'adsorption du polluant impliqué

Pour le modèle du pseudo-premier ordre, est donné par l'équation linéaire:

$$\log (Q_e - Q_t) = \log Q_e - (K_1 / 2,303) t \quad (22)$$

Avec, Q_t (mg/g) : la quantité adsorbée à temps t ; Q_e (mg/g) : la quantité adsorbée à l'équilibre ; t : le temps de contact (min) ; k_1 (min) : la constante de vitesse d'adsorption pour le modèle du pseudo-premier ordre.

La validité de cette équation a été donc testée en traçant $\log (Q_e - Q_t)$ en fonction du temps t . Le traitement des données numérique obtenues via ce modèle a conduit à l'obtention des paramètres correspondants lesquels sont regroupés dans l'**annexe III**. Ces paramètres ont montré que ce modèle n'est pas approprié la cinétique d'adsorption du BM sur les

diatomites naturelles sélectionnées, telles qu'étudiées, en raison de la grande différence entre la capacité d'adsorption à l'équilibre théorique (selon la valeur de Q_e calculée) et celle à l'équilibre expérimental. Ceci se reflète clairement sur les coefficients de corrélation (R^2) lesquels présentent de faibles valeurs ($\leq 0,93$) (**annexe III**).

Quant au second modèle (pseudo-second ordre), il est présenté par l'équation suivante :

$$\boxed{t/Q_t = (1/K_2 Q_e) + (1/Q_e)t} \quad (23)$$

K_2 (mg/g.min) : la constante de vitesse du modèle du pseudo-second ordre.

La validité de l'équation a été testée en traçant la courbe de t/Q_t en fonction du temps t . La modélisation des résultats expérimentaux de la cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur nos échantillons est présentée dans l'**annexe III**. Les **figures C. III. 57 - 59**, présentent la modélisation des données expérimentales selon le modèle du pseudo second ordre type 1 des échantillons OD05, IGB04, et SIG 01, respectivement. Les paramètres calculés du modèle sont regroupés dans le **tableau C. III. 23**. D'après les résultats numériques obtenus, un bon accordement a été constaté pour une cinétique du pseudo-second ordre, et ce, sur l'ensemble des échantillons diatomiques traités. Nous nous sommes donc contentés de présenter les données en rapport à ce modèle.

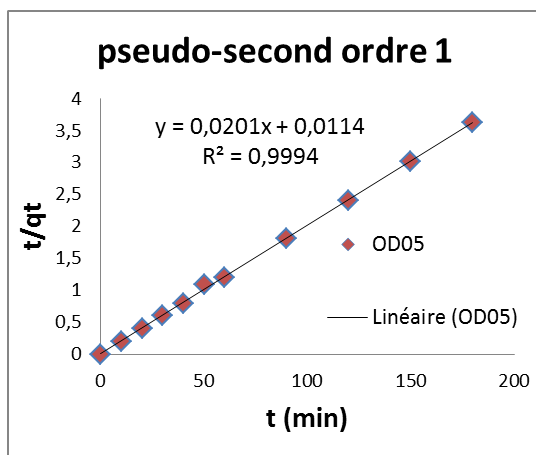


Figure C. III. 57: Linéarisation du modèle du pseudo second ordre type 1 (OD05).

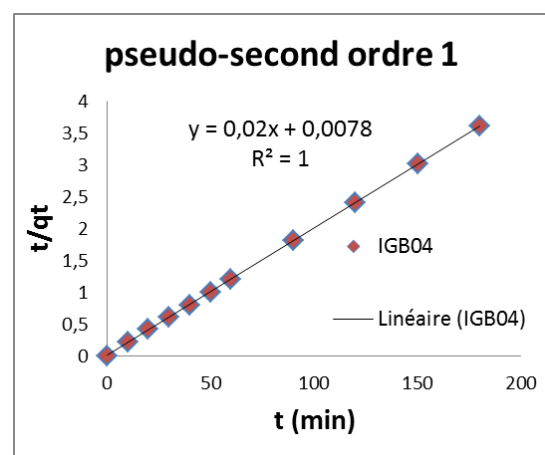


Figure C. III. 58: Linéarisation du modèle du pseudo second ordre type 1 (IGB04).

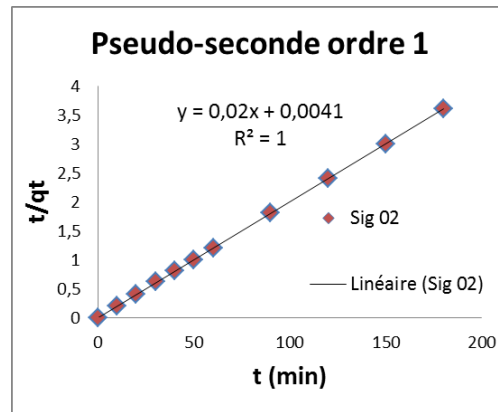


Figure C. III. 59: Linéarisation du modèle du pseudo second ordre type 1 (SIG02).

Tableau C. III. 23 : Paramètres calculés de la modélisation de la cinétique d'adsorption par le modèle du Pseudo second ordre type 1.

Modèle	Ech	Q_e expérimentale (mg/g)	Q_e calculée (mg/g)	K_2 (mg/g.min)	R^2
Pseudo second ordre type 1	OD03	49,82	47,62	$4,41 \cdot 10^{-4}$	0,9983
	OD04	49,52	47,39	$4,452 \cdot 10^{-4}$	0,9998
	OD05	49,82	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	0,9994
	OD08	49,66	49,02	$4,161 \cdot 10^{-4}$	0,9999
	IGB01	49,67	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB02	49,77	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB03	49,76	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB04	49,79	50,00	$4 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB05	49,69	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB06	49,50	48,54	$4,244 \cdot 10^{-4}$	0,9998
	IGB07	49,78	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB08	49,78	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB09	49,85	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	IGB10	49,84	49,75	$4,04 \cdot 10^{-4}$	1
	Sig01	49,73	49,02	$4,161 \cdot 10^{-4}$	0,9999
	Sig02	49,85	50	$4 \cdot 10^{-4}$	1

Vu les résultats obtenus, il semble clairement que le modèle du pseudo second ordre représente le mieux la cinétique d'adsorption du BM. La capacité d'adsorption à l'équilibre expérimental coïncide avec celle obtenue par ce modèle. Les coefficients de corrélation présentent des valeurs très proches de l'unité, étant comprises entre 0,9998 et 1. Les valeurs des constantes K_2 étaient, pour leur part, très proches voire égales pour presque la totalité des échantillons, la valeur la plus large étant obtenue pour l'échantillon OD04.

C. III. 2. Isothermes d'adsorption du BM

Dans cette partie, nous considérons les isothermes d'adsorption à température ambiante de 25 °C, pour une masse de diatomite de 0,1 mg, et en présence de concentrations croissantes de bleu de méthylène (10-200 mg/l). Les isothermes d'adsorption obtenues sont montrées dans de l'**annexe IV**. Les **figures C. III. 60-62** représentent les isothermes d'adsorption expérimentales du BM, ainsi que celles tracées selon les modèles non-linéaires de Langmuir et Freundlich des échantillons OD05, IGB04, et SIG 01, respectivement, avec Q_e (mg/g): la quantité du soluté adsorbée; C_e (mg/l): concentration du soluté à l'équilibre.

L'analyse d'abord des résultats des isothermes expérimentales d'adsorption du BM sur les échantillons de la diatomite (**annexe IV ; figures C. III. 60-62**) nous permet de constater que les courbes correspondantes ont presque la même allure. Ces courbes sont de forme L selon la classification de [Gil CH. et al., \(1974\)](#), suggérant que les échantillons de diatomite présentent une forte affinité d'adsorption envers le BM en solution sans compétition majeure des molécules d'eau pour les sites actifs du solide ([Fröhlich AC., et al., 2018](#)). Ceci donne lieu à un plateau établi dès les doses faibles en adsorbant, traduisant la limite de saturation des sites. Les formes non-linéaires des modèles de Langmuir et Freundlich ont été utilisées pour mieux interpréter les données obtenues et pour faciliter la compréhension du mécanisme d'adsorption (**tableau C. III. 24**). D'après les constantes et paramètres des isothermes, présentés dans les **tableaux C. III. 25-27**, nous pouvons constater que l'équation de Langmuir est plus adaptée que l'équation de Freundlich pour le système d'adsorption étudié dans ce travail. Ce résultat peut être attribué à la distribution homogène des sites actifs sur la surface de la diatomite ([Elass K. et al., 2010](#)). Cela suggère que le processus de rétention du BM sur la surface de la diatomite est favorable prédisant une adsorption sur monocouche sur toute la gamme des concentrations testées,

induit par une énergie de surface solide homogène avec absence de toute interaction entre les espèces adsorbées.

Tableau C. III. 24: Equations et paramètres des modèles isothermes utilisés.

Isotherme	Equation	Description des paramètres
Langmuir (Langmuir 1918)	$q_e = \frac{Q_{max}^0 K_L C_e}{1 + K_L C_e}$	C_e : concentration de MB à l'équilibre. Q_{max}^0 (mg/g): capacité d'adsorption maximale de Langmuir. K_L (L/mg): constant de Langmuir. C_0 (mg/L): concentration initial de MB.
Freundlich (Freundlich H.M.F., 1906).	$q_e = K_F C_e^n$	K_F [(mg/g)/(mg/L) ⁿ]: constant de Freundlich. n : paramètre d'intensité de Freundlich

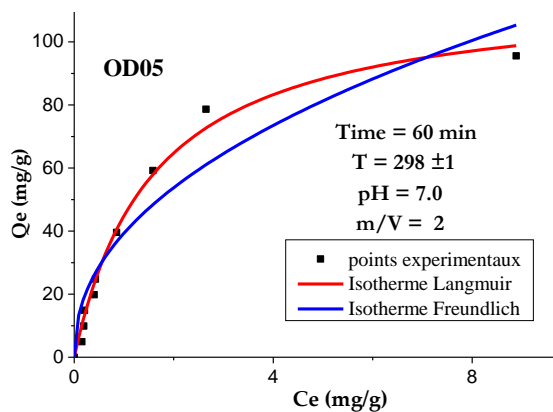


Figure C. III. 60 : Isothermes d'adsorption du BM sur la diatomite d'Ouled Djilali (OD05).

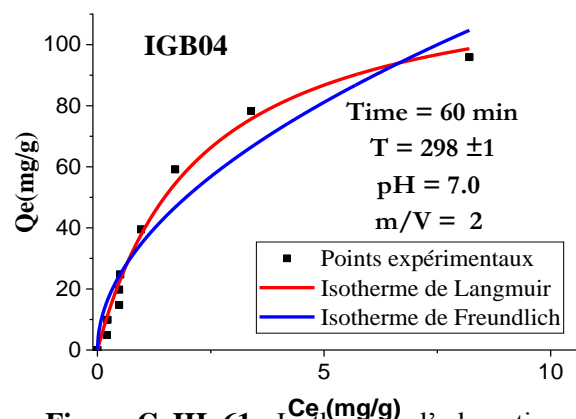


Figure C. III. 61 : Isothermes d'adsorption du BM sur la diatomite d'Irghbel (IGB04).

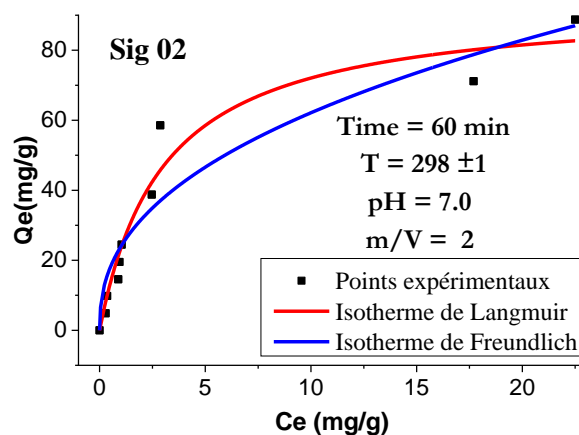


Figure C. III. 62 : Isothermes d'adsorption du BM sur la diatomite de la nouvelle exploitation Sig (SIG 02).

À partir du modèle de Langmuir, des capacités d'adsorption maximales raisonnablement bonnes des échantillons de diatomite OD étudiées ont été obtenues aux valeurs entre 79,66 et 116,59 mg/g (OD05=116,59 mg/g). Pour la diatomite d'Irghbel, les capacités d'adsorption maximales variaient entre 89,59 et 125,64 mg/g (IGB04=125.64 mg/g), alors que la diatomite de Sig présentait un maximum d'adsorption de 93,79 mg/g (SIG02). L'échantillon IGB04 possède la valeur Q_{max}^0 la plus élevée que les autres diatomites.

Tableau C. III. 25: Paramètres des isothermes d'adsorption à l'équilibre de BM sur la diatomite d'Irghbel.

Modèle	Langmuir				Freundlich			
	Q_{max}^0 (mg/g)	K_L (l/mg)	R^2	χ^2	K_F (mg/g)/(mg/L) ⁿ	n	R^2	χ^2
IGB01	89,59	0,520	0,994	5,293	28,60	0,353	0,922	70,318
SD	2,159	0,039	-	-	3,309	0,043	-	-
IGB02	116,86	0,379	0,995	4,990	30,66	0,506	0,971	30,720
SD	3,916	0,032	-	-	2,283	0,039	-	-
IGB03	98,29	0,333	0,978	23,86	24,38	0,457	0,972	29,900
SD	6,002	0,060	-	-	2,24	0,038	-	-
IGB04	125,64	0,446	0,984	17,19	35,40	0,515	0,922	83,010
SD	7,772	0,063	-	-	3,609	0,061	-	-
IGB05	90,95	0,348	0,989	10,83	24,15	0,397	0,948	51,472
SD	3,38	0,040	-	-	2,823	0,043	-	-
IGB06	96,01	0,286	0,991	8,961	22,888	0,440	0,9787	21,972
SD	3,616	0,032	-	-	1,893	0,032	-	-
IGB07	99,04	0,302	0,987	14,129	24,31	0,433	0,949	54,144
SD	4,547	0,039	-	-	2,903	0,047	-	-
IGB08	124,21	0,319	0,990	11,751	29,76	0,515	0,945	64,770
SD	6,585	0,038	-	-	3,184	0,056	-	-
IGB09	106,61	0,605	0,975	26,25	35,22	0,401	0,886	135,90
SD	6,221	0,092	-	-	4,487	0,061	-	-
IGB10	101,20	0,540	0,983	18,805	32,809	0,361	0,860	153,94
SD	4,941	0,071	-	-	4,695	0,061	-	-

SD: Erreur de déviation standard.

Tableau C. III. 26: Paramètres des isothermes d'adsorption à l'équilibre de BM sur la diatomite d'Ouled Djilali.

Modèle	Langmuir				Freundlich			
	Q_{\max}° (mg/g)	K_L (l/mg)	R^2	χ^2	K_F (mg/g)/(mg/L) ⁿ	n	R^2	χ^2
OD03	99.12	0.404	0.994	6.078	28.78	0.385	0.904	90.96
SD	2.845	0.032	-	-	3.688	0.052	-	-
OD04	82.91	0.342	0.984	12.01	23.75	0.334	0.883	90.49
SD	3.202	0.041	-	-	3.652	0.051	-	-
OD05	116.59	0.625	0.988	12.47	39.34	0.451	0.905	102.33
SD	5.388	0.071	-	-	3.981	0.059	-	-
OD08	79.66	0.418	0.991	6.803	24.68	0.327	0.939	47.12

Tableau C. III. 27: Paramètres des isothermes d'adsorption à l'équilibre de BM sur la diatomite de la nouvelle exploitation Sig.

Modèle	Langmuir				Freundlich			
	Q_{\max}° (mg/g)	K_L (l/mg)	R^2	χ^2	K_F (mg/g)/(mg/l) ⁿ	n	R^2	χ^2
SIG 01	92,41	0,123	0,9796	17,671	14,934	0,469	0,9876	10,733
SD	6,239	0,023	-	-	1,2623	0,027	-	-
SIG 02	93,79	0,331	0,9569	44,563	23,88	0,415	0,910	92,760
SD	7,144	0,072	-	-	3,77	0,06	-	-

La diatomite étant une matière naturelle, il est d'une nécessité de la comparer en termes d'efficacité d'adsorption à d'autres adsorbants naturels tels que la zéolite, le gypse, l'argile, et d'autres matières siliceuses. Le **tableau C. III. 28** présente ainsi une synthèse comparative des capacités d'adsorption des diatomites étudiées dans ce travail aux données de certains adsorbants naturels tirés de la littérature. Il ressort clairement de cette comparaison que la diatomite d'Irghbel IGB04 (125.64 mg/g) possède une capacité d'adsorption plus élevée que les autres adsorbants reportés, derrière la diatomite jordanienne (198 mg/g). Cela est probablement dû à la spécificité des propriétés physico-chimiques de cette diatomite locale par rapport aux autres matières, ce qui influe de façon directe sur ses différentes interactions avec le bleu de méthylène, telles que : (i) l'attraction électrostatique (ii) l'adsorption chimique par conjugaison, la liaison hydrogène et le

mécanisme de remplissage des pores (Eltaweil A-S., *et al.*, 2020). Il est enfin plus particulièrement évident de considérer que la quantité de colorant BM chargé sur la surface de l'adsorbant dépend aussi de la surface (déterminée par les méthodes : IRTF, MEB, BET, etc), qui varie d'un échantillon à un autre (S_{BET} , V_t , pourcentage de silice, etc).

Tableau C. III. 28 : Comparaison de la capacité maximale d'adsorption de BM (Q_{max}^0).

	S_{BET} (m^2/g)	Condition d'adsorption				Q_{max}^0 (mg/g)	Référence
		pH	Time (h)	C_0 range (mg/L)	T (°C)		
DT (IGB04)	85.6	7	1	10-200	25	125.64	Ce travail
DT Jordanie	27.8	11	48	100– 1000	20	198	(Zaitan H., <i>et al.</i> , 2006)
DT Egypt (Masakheet)	-	8	2	60-200	25	104.79 7	(Mohamed E-A., <i>et al.</i> , 2018)
DT Maroc	22.7	7	0.3	8	TA	10.57	(Ababou N., <i>et al.</i> , 2002)
Déchets DT - Celite Co.USA)	4.52 2	7	24	0.5-2.5	25	4.92	(Tsai WT. <i>et al.</i> , 2008)
DT (Celite Co.USA)	2.13 3	7	24	0.5-2.5	25	1.80	(Tsai W-T. <i>et al.</i> , 2008)
Argile naturelle (Turque)	30.0	5.65	1	10-100	20	58.2	(Gürses A. <i>et al.</i> , 2006)
Ghassoul, (Maroc)	-	4.5- 5	2	100- 600	25	294	(Elass K., <i>et al.</i> , 2010)
Kaolin (Inde)	-	-	3	10-25	27	13.99	(Ghosh D. <i>et al.</i> Bhattacharyya K- G., 2002)
Zéolite non modifiée		6.85	1	5-55	25	8.67	(Jin X. <i>et al.</i> , 2008)
Argile naturelle (Benguerir, Maroc)	-	6.5	0.5	10-80	25	30	(Allam K., <i>et al.</i> , 2018)
Phosphate naturel (Maroc)	-	-	3	-	25	7.46	(Barka N. <i>et al.</i> , 2006)
Gypse (Emirats Arabes Unis)	5.67	7.5	1.5	5-25	25	36	(Muhammad A-R. <i>et al.</i> , 2009)

TA: Température ambiante. DT: diatomite

C. III. 3. Effet de la masse de diatomite sur l'adsorption

Les figures XI. 63 - 65 représentent les quantités adsorbées du bleu de méthylène en fonction des masses des diatomites naturelles utilisées à la température constante de 25°C. Les essais ont été

réalisés en fixant la teneur initiale en BM à 200 mg/l et le temps d'agitation à 1 h.

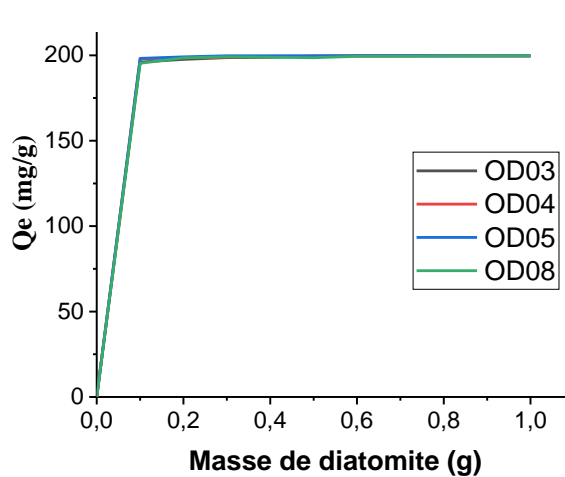


Figure C. III. 63: Quantités adsorbées du BM en fonction de la masse de la diatomite (Ouled Djilali).

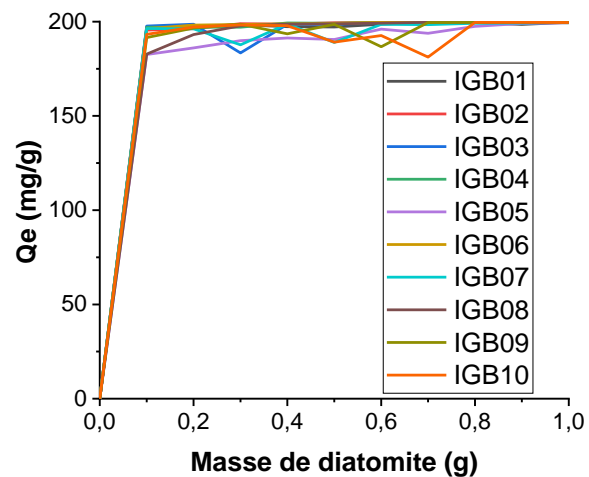


Figure C. III. 64: Quantités adsorbées du BM en fonction de la masse de la diatomite (Irghbel).

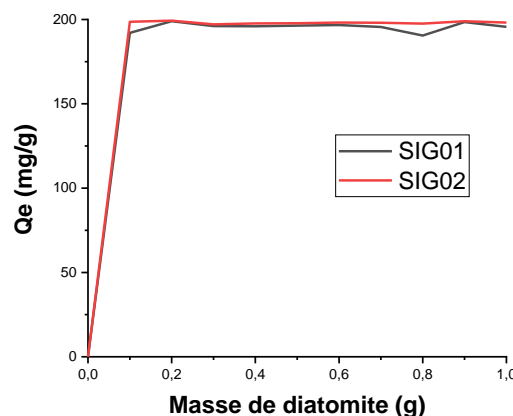


Figure C. III. 65: Quantités adsorbées du BM en fonction de la masse de la diatomite (nouvelle exploitation Sig).

Au regard des courbes rapportées sur les **figures XI. 63 - 65**, nous pouvons observer que la quantité du bleu de méthylène adsorbée augmente avec l'augmentation de la masse de la diatomite. Ce qui indique une meilleure élimination du BM avec des doses d'autant plus élevées de diatomite. Ce comportement résulte du fait que le nombre de sites d'adsorption disponibles est d'autant plus important que la masse de diatomite soit en plus, ce qui favorise la fixation d'un nombre plus important des ions du BM.

Les courbes marquent un palier à partir d'une masse de 0,2 g en adsorbant. De légères fluctuations, observées après l'équilibre, peuvent être dûes à un relargage du colorant, résulte probablement par la

nature physique des forces d'interaction adsorbant-adsorbé. Ou encore due à une erreur de manipulation.

C. III. 4. Effet de la température sur l'adsorption

Les figures C. III. 66 - 68 représentent les quantités adsorbées du bleu du méthylène en fonction des masses à différentes températures (20, 30, et 40 °C), avec une masse des diatomites naturelles constante (0.5 g).

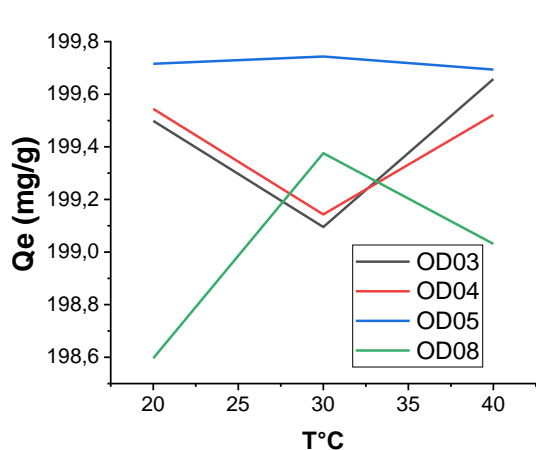


Figure C. III. 66: Quantités adsorbées du BM en fonction de la température (Ouled Djilali).

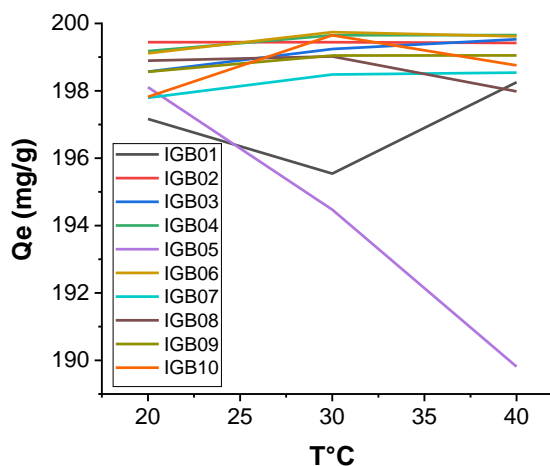


Figure C. III. 67: Quantités adsorbées du MB en fonction de la température (Irhghel).

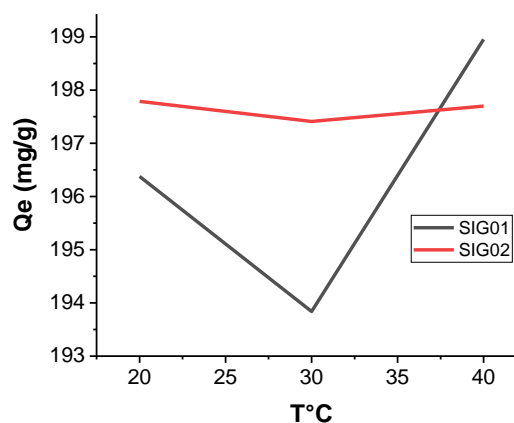


Figure C. III. 68: Quantités adsorbées du BM en fonction de la température (nouvelle exploitation Sig).

Les résultats obtenus pour les différents échantillons, ont montré qu'il n'y a pas de différence significative sur la quantité du BM adsorbée à ces températures, donc l'influence de la température sur la réaction est moindre. Il faut signaler aussi l'anomalie dans le cas de l'échantillon IGB05 dont la quantité du bleu de méthylène adsorbé est moindre aux hautes températures.

C. III. 5. Effet du pH de la solution sur l'adsorption

Le pH a été varié entre 3 et 12 pour des concentrations fixées de bleu de méthylène de 200mg/l et une masse constante de diatomite de 0.5 g, ainsi qu'un temps de contact de 1h. Le pH de chaque solution a été ajusté à la valeur voulue avec l'ajout de l'acide chlorhydrique pour les pH acides et l'ajout de NaOH pour les valeurs alcalines. Les **figures C. III. 69 - 71** représentent l'évolution de la quantité du BM adsorbée à ces différentes valeurs du pH.

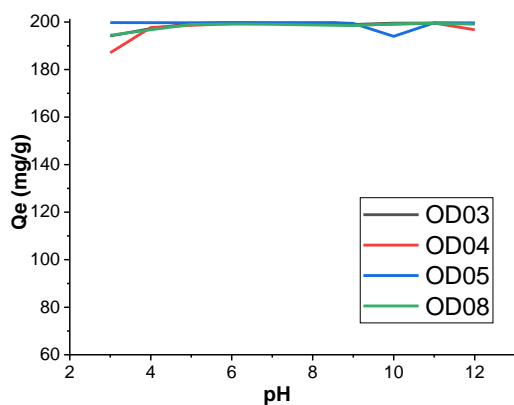


Figure C. III. 69 : Quantités adsorbées du BM en fonction du pH (Ouled Djilali).

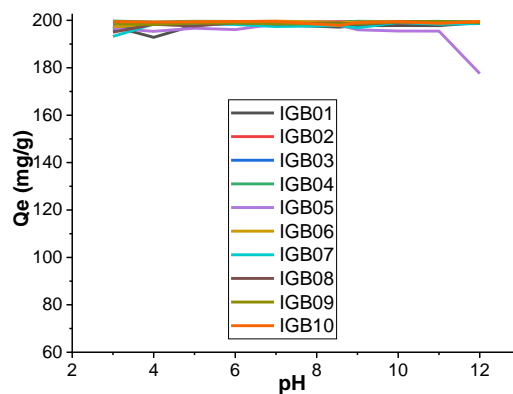


Figure C. III. 70: Quantités adsorbées du BM en fonction du pH (Irgabel).

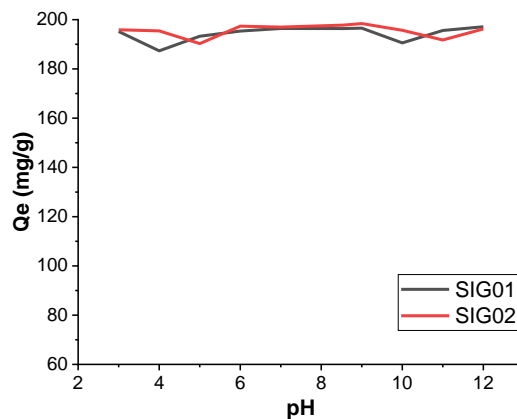


Figure C. III. 71: Quantités adsorbées du BM en fonction du pH (nouvelle Exploitation Sig).

Les résultats obtenus ont permis de montrer qu'il n'y a pas une influence significative du pH sur l'adsorption du bleu de méthylène. Cela peut être expliqué par le fait que l'acide chlorhydrique réagit avec les carbonates de calcium présents dans la diatomite naturelle pour les dissoudre ce qui laisse les ions s'adsorber librement sur la silice aux pH acides, une autre remarque aussi à signaler est l'augmentation des ions adsorbés avec

l'augmentation du pH (qui correspond au faible volume ajouté de HCl) en accord avec le degré d'ionisation des groupements Si-O-H (Despas C., 1998). L'effet de l'alcalinité du milieu NaOH n'a pas été marquant vis-à-vis des courbes qui présentent toutes la même allure aboutissant à un palier à partir du pH = 5, avec de faibles fluctuations probablement dues aux erreurs de manipulations. Par contre, certains échantillons comme OD04 et IGB05 marquent une légère décroissance de la quantité adsorbée dans le milieu basique.

C. III. 6. Discussions

Dans le but de trouver une relation entre l'analyse diatomique (composition microfloristique et assemblages diatomiques) par conséquent son environnement, et la teneur de silice et CaO contenues dans les échantillons et leur capacité d'adsorption maximale du BM, un tableau comparatif et récapitulatif a été réalisé. Il ressort que deux interprétations possibles peuvent être discutées:

- Les échantillons les plus silicifiées (OD03, IGB07, IGB09, et SIG01) correspondent aux bancs géologiques contenant des assemblages avec des fréquences importantes de taxons néritico-océaniques et espèces caractéristiques d'Upwellig (*Coscinodiscus marginatus*, *Thalassionema nitzschioides*, et *Actinoptychus senarius*.). et de moindre mesure des formes côtières comme *Actinoptychus senarius*, indiquant ainsi un milieu de sédimentation marin plus ou moins profond. Il s'avère que ces échantillons (bancs ou strates) à teneurs élevée en silice n'ont pas enregistré le maximum des valeurs en adsorption du BM, comme il a été mentionné auparavant.
- Par contre, les échantillons (IGB02, IGB04, IGB08, OD05) marquant des valeurs maximums d'adsorptions du BM correspondent à ceux qui enregistrent des valeurs faibles (minimes) en silice. Ces échantillons ou bancs diatomiques sont caractérisés par des assemblages riches en espèces néritico-littorales : *Actinoptychus senarius*, *Thalassionema nitzschioides*. suggérant une sédimentation dans un milieu marin côtier perturbé par des influences océaniques.

La bathymétrie ou le milieu de dépôt influe donc la composition chimique et les assemblages diatomiques : les teneurs élevées en silice accompagnent l'augmentation des fréquences des espèces néritico-océaniques (milieu plus profond) ; Et les faibles teneurs en silice coïncident ou correspondent à l'augmentation des fréquences des espèces néritico-

littorales ou littorales. Il en résulte donc, une relation avec les valeurs d'adsorptions du BM :

- teneur en silice élevée = fréquence élevée de taxons à caractères océaniques = valeurs minimum d'adsorptions du BM.

- teneur faible en silice = fréquence élevée de taxons à caractères littoraux = valeurs maximum d'adsorptions du BM

Ce résultat constitue donc un moyen préliminaire d'analyse des diatomites brutes dans le but de son exploitation ou sa destination vers l'application industrielle appropriée. Pour cette étude, il est nécessaire d'examiner ou de faire une analyse microfloristique tout le long de la coupe et sur tous les bancs diatomitiques d'un site donnée.

Tableau C. III. 29 : Tableau comparatif et récapitulatif des résultats trouvés.

Ech	Q^o_{max} (mg/g)	SiO₂ %	CaO %	Assemblages
IGB01	89,59	57,89	16,5	Formes côtières
IGB02	116,86	47,04	22,71	Formes néritico-océaniques
IGB03	98,29	42,79	25,59	Formes caractéristiques d'Upwellig
IGB04	125,64	42,45	20,4	Silicoflagellées / formes caractéristiques d'Upwellig
IGB05	90,95	34,34	29,87	Formes néritico-océaniques / formes caractéristiques d'Upwellig.
IGB06	96,01	45,06	30,26	Formes néritico-océaniques / néritico-littorales.
IGB07	99,04	61,54	16,07	Formes néritico-littorales.
IGB08	124,21	59,34	17,14	Formes néritico-océaniques / océaniques.
IGB09	106,61	69,97	9,4	Formes néritico-océaniques / formes caractéristiques d'Upwellig
IGB10	101,2	55,26	14,37	Formes néritico-océaniques / néritico-littorales
OD03	99,12	61,52	13,81	Formes néritico-littorales.
OD04	82,91	58,9	15,16	Formes néritico-littorales / néritico-océaniques.
OD05	116,59	32,8	25,94	Formes néritico-océaniques / océaniques.
OD08	79,66	49,49	21,71	Formes néritico-littorales.
SIG 01	92,41	60,27	12,71	Formes néritico-océaniques / océaniques.
SIG 02	93,79	58,39	13,06	Formes néritico-océaniques / océaniques.

CONCLUSION

Conclusion et perspectives

Cette étude est inscrite dans le contexte de la recherche et la valorisation d'un matériau d'origine marine (diatomite naturelle) provenant de trois gisements du bassin du Bas Chélif : Irghbel et Ouled Djilali (Mostaganem) et Sig (Mascara). Elle a pour but de les comparer et les destiner pour une éventuelle application industrielle.

Le travail présenté dans cette thèse a nécessité plusieurs volets : prélèvement des échantillons sur terrain ; une analyse de la microflore diatomique des échantillons ; une caractérisation physico-chimique de notre biogéomatériau avec plusieurs techniques et méthodes (XRF, XRD, FTIR..), et l'application des diatomites comme étant des adsorbants naturelles dans l'élimination du bleu de méthylène.

Le choix des sites de Mostaganem n'était pas fortuit, son objectif est de le comparer avec celui de Sig qui a été déjà exploité. Il est à noter que les diatomites de Mostaganem (à l'exception de celui de la carrière d'Abdelmalek Ramdane ex Ouillis) n'ont jamais été exploitées.

L'analyse quantitative et qualitative de la microflore de diatomées sur les trois sites a fourni 70 espèces réunies en 26 genres, dont 43 espèces centriques (14 genres) et 27 pennées (12 genres), ainsi que 07 espèces de silicoflagellés. A partir de cette analyse plusieurs groupes écologiques en fonction de leur mode de vie et les conditions du milieu ont été définis. Elles sont toutes des espèces marines et accessoirement saumâtres-marines. Aucune diatomée d'eau douce n'a été observée.

L'un des traits majeurs de cette microflore diatomique est la prédominance des formes planctoniques sur les tychoplanctoniques et les benthiques. L'assemblage planctonique est représenté par des espèces planctoniques littorales (*Actinoptychus senarius*, *Thalassionema nitzschioides*), et des formes océaniques et néritico-océaniques (*Actinocyclus curvatulus*, *Coscinodiscus marginatus*, *Coscinodiscus aff. radiatus*, *Thalassiosira eccentrica*,...).

La microflore des diatomées des trois sites analysés est dominée par des espèces marines tandis que les formes pouvant supporter des salinités inférieures à celle de l'eau de mer (formes marines-saumâtres) sont en pourcentage négligeable.

Le pourcentage élevé des formes néritico-océaniques relativement supérieur aux formes littorales et la rareté des formes benthiques, suggèrent un milieu de sédimentation plus ou moins profond pouvant dépasser les 200 m dans le site de Sig et d'Irghbel. Le site d'Ouled Djilali est relativement moins profond car les formes planctoniques littorales sont plus

Conclusion et perspectives

abondantes qu'à Irghbel et Sig. Cette assemblage témoigne, avec les silicoflagellés un milieu marin franc en connexion avec l'océan.

La composition microfloristique est caractérisée par la présence, dans la majorité des échantillons des sites étudiés, de *Thalassionema nitzschioides* associée à *Thalassiothrix longissima* (dominant la plupart des assemblages), ce qui permet d'envisager des influx océaniques durant la sédimentation des diatomites confortant ainsi l'hypothèse du fonctionnement d'upwellings durant le Messinien responsable à la prolifération des diatomées.

La caractérisation physico-chimique a valu de définir les principales propriétés physico-chimiques et structurales des diatomites naturelles et delà de pouvoir expliquer son pouvoir adsorbant. En effet, cela a fait ressortir la nature siliceuse de nos échantillons (SiO_2), avec des quantités significatives en CaO et autres constituants mineurs. Les teneurs en silice varient d'un échantillon à un autre et d'un site à un autre. Il s'avère que les diatomites les plus blanchâtres et feuilletées ont les valeurs les plus élevées en silice. Les principales phases minérales enregistrées sont : la calcite, la dolomite, l'illite, et la kaolinite, accompagnée par la pyrite, chlorite, et albite avec des fréquences moins importantes. Une texture poreuse très intéressante avec une surface spécifique et volume poreux relativement importante ont été estimés pour nos diatomites. Tous les échantillons présentent une capacité importante d'adsorption de l'eau et des huiles.

Un autre volet a été entrepris qui est l'étude de l'élimination du bleu de méthylène sur les différents échantillons de diatomite naturelle, en étudiant l'effet de différents paramètres réactionnels sur le mécanisme d'adsorption. Des modèles cinétiques et d'isothermes d'adsorption ont été appliqués pour simuler les données expérimentales et décrire les mécanismes mis en jeu. Les résultats des essais expérimentaux ont montré l'efficacité de la diatomite des trois gisements pour l'élimination du contaminant étudié. La vitesse de réaction été relativement importantes d'où l'équilibre réactionnel est atteint dans les premières 15 à 20 min. Les données expérimentales sont parfaitement décrites par le modèle pseudo-second ordre, notamment les capacités d'adsorption à l'équilibre (Q_e mg/g) du Bleu de méthylène sur des adsorbants hétérogènes sont conformes aux hypothèses de ce modèle. Afin d'optimiser la conception du système d'adsorption, il est important d'établir le modèle d'isotherme le plus approprié. Les équations d'isothermes de Langmuir,

Conclusion et perspectives

Freundlich, ont été utilisées pour décrire les caractéristiques d'équilibre d'adsorption du Bleu de Méthylène sur les diatomites étudiées.

Les données obtenues correspondaient bien au le modèle de Langmuir, et la capacité d'adsorption du colorant du bleu de méthylène atteignait 116,59 mg/g (OD05) et 125.64 mg/g (IGB04), à une température de 25° C et un pH = 7,0. Les performances obtenues étaient comparables à celles concernant plusieurs matériaux intéressants rapportés dans la littérature. La comparaison de la capacité maximale d'adsorption du bleu de méthylène sur la diatomite et d'autres adsorbants dans la littérature révèle que la diatomite de Mostaganem présente une capacité d'adsorption raisonnable du Bleu de méthylène à partir des solutions aqueuses compte tenu des conditions expérimentales qui ont été rapportées dans la littérature.

Pour conclure, nous pouvons dire que cette étude a atteint son but celui de la valorisation et comparaison des propriétés et des capacités d'adsorption des diatomites algériennes et que ces derniers sont efficaces pour le traitement des différents rejets issus de l'industrie textile. Cette étude a permis aussi de mettre en évidence la relation entre les assemblages diatomiques (type de microflore diatomique), par conséquent son environnement, et la teneur de silice et CaO contenues dans les échantillons et leur capacité d'adsorption du BM.

Comme perspective à cette étude, nous incitons à mettre en pratique ces résultats par l'investigation de la faisabilité du traitement en continu ; puis l'essai du traitement d'effluents industriels réel par le même matériau utilisé.

De ce fait, il est souhaitable d'élargir ces analyses et études pour d'autres bancs et échantillons et la recherche de d'autres gisements de diatomites pour aboutir sur les critères définissant la variabilité, la nature, et l'environnement caractérisant la diatomite algérienne qui est bien placée par rapport aux diatomites des bassins périphériques du la méditerranée.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Ababou N., Meziane D., Kherbeche A., Chaqroune A. (2002)** Etude de l'adsorption de colorants textiles sur une diatomite marocaine. *Physical and Chemical News* 6, 130-134pp.
2. **Abbott W-H. (1980)** Diatoms and stratigraphically significant silicofagellates from the Atlantic margin coring project and other Atlantic margin sites. *Micropaleontology*. Vol. 26, no. 1, pp. 49-80. Pls. 1-6, 1980.
3. **Abbott W-H. et Andrews G-W. (1979)** Middle Miocene marine diatoms from the Rideland Trough, South Carolina and Georgia. *Micropaleontology*. Vol 25, no.3,
4. **Afoufou F. et Achour S. (2002)** Effet de la peroxydation au permanganate de potassium sur l'élimination des substances humiques par floculation. *Courrier du savoir*. Vol 2, 41-46 pp.
5. **Akiba F. (1985)** Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In: Kagami, H., Karig, D.E., Coulbourn, W.T. et al. (eds). *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. vol. 87. Washington (U.S. Government Printing Office), no.87, 393-481pp. 30 pls.
6. **Akti F. (2018)** Photocatalytic degradation of remazol yellow using polyaniline-doped tin oxide hybrid photocatalysts with diatomite support. *Applied Surface Science*. 455, 931-939pp. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.06.019>
7. **Alain A. et Roger K. (2004)** Hydrologie des écosystèmes marins : paramètres et analyses. Quae, 336p.
8. **Albanis T-A., Hela D-G., Sakellarides T-M., Danis T-G. (2000)** Removal of dyes from aqueous solutions by adsorption on mixtures of fly ash and soil in batch and column techniques. *Global Nest: the International Journal*. Vol.2, no.3, 237-244pp.
9. **Allam K., Gourai K., EL Bouari A., Belhorma B., Bih L. (2018)** Adsorption of Methylene Blue on raw and activated Clay: case study of Bengurir clay. *Journal of Materials and Environment Science*. Vol. 9, no.6, 1750-1761pp. <https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.6.195>.
10. **Andrews G-W. (1976)** Miocene marine diatoms from the Choptank formation, Calvert country, Maryland. *Geological Survey professional Paper*. Vol.910. U.S. Washington : Government printing office

Références bibliographiques

11. **Andrews G-W. et Abbott W-H. (1985)** Miocene diatoms from the Hawthorn formation, Thomas county, Georgia. *Bulletins of American Paleontology*. Vol. 87, no. 321, 57-109 p.
12. **Antonides L-E. (1997)** Diatomite. U.S. Bureau of Mines. 24.1-24.4 p.
13. **Antonides, L. E. (1998)** Diatomite. U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries 1998, 56-57 p.
14. **Bakr H-E-G-M-M. (2010)** Diatomite: Its characterization, modifications and applications. *Asian Journal of Material Science*. Vol. 2, 121–136p. [10.3923/ajmskr.2010.121.136](http://dx.doi.org/10.3923/ajmskr.2010.121.136).
15. **Balaska A., Hamouda A., Chouchane T., Meradi H. Samar M-H. (2012)** Tundish Powder assessment for continuous casting steel. 3ème Conférence Internationale sur le Soudage. *le CND et l'Industrie des Matériaux et Alliages (IC-WNDT-MI'12)*. Oran 68-78p.
16. **Balaska A., Meradi H., Hamouda A., Chouchane T., Ayache R., Selamette M., Samar M-H., Atoui L. (2010)** Study of the modification of the diatomite surface by chemical activation for a practical application. Conférence Internationale sur le Soudage. *Le CND et l'Industrie des Métaux, IC-WNDT-MI'10*. Oran, 11p.
17. **Baldauf J-G. et Barron J-A. (1982)** Diatom biostratigraphy and paleoecology of the type section of the Luisian Stage, central California. *Micropaleontology*. Vol. 28, no. 1, 59-84 p. Pls. 1-7,
18. **Baldauf J-G. (1984)** Cenozoic Diatom Biostratigraphy and Palaeoceanography of the Rockall Plateau region, North Atlantic. *Deep Sea Drilling Project*. Vol.81, no. 7, 439-478p.
19. **Barakat M-A. (2011)** Adsorption and photodegradation of Procion yellow H-EXL dye in textile wastewater over TiO₂ suspension. *Journal Hydro-Environment Research*. Vol.5, 137–142p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.104>
20. **Barka N., Nounah A., Assabbane A., Aït ichou Y. (2006)** Evaluation du pouvoir adsorbant du phosphate naturel dans le traitement des rejets textiles : comparaison avec le charbon actif. *Proceeding of Covaphos II*, Vol.4, 195-203p.
21. **Barron J-A. et Baldauf G. (1986)** Diatom stratigraphy of the Lower Pliocene, Sisquoc formation, California. *Micropaleontology*. Vol. 32, no. 4, 59-84p.

Références bibliographiques

22. **Barron J-A. (1985)** 16. Miocene to holocene Planktic diatoms. *In* Bolli, H.M., Saunders, J.B., and Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*: Cambridge (Cambridge Univ. Press), 763–809p.
23. **Barron J-A. (2006)** Diatom biochronology for the Early Miocene of the Equatorial Pacific. *Stratigraphy*. vol. 2, no. 4, 281-309 p. Text-figures 1-4, plates 1-9, tables 1-2.
24. **Barron, J-A. (1976)** Revised Miocene and Pliocene diatom biostratigraphy of Upper Newport Bay, Newport Beach, California. *Marine Micropaleontology*. Vol.1, 27-63p.
25. **Benaïssa H. (2008)** Effect of pH on the removal of methylene blue from synthetic aqueous solution by a natural waste material: almond peel, *Scientific Study & Research*. IX (2), ISSN 1582-540X.
26. **Benkacem T., Hamdi B., Chamayoud A., Balarde H., Calvet R. (2016)** Physicochemical characterization of a diatomaceous upon an acid treatment: a focus on surface properties by inverse gas chromatography. *Powder Technology* Vol. 294, 498–507p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.03.006>.
27. **Bensalem S. (2010)** Elimination du plomb dans l'eau par adsorption sur des diatomées fossiles. Thèse de magister : Science de la mer : Alger (Algérie) : ENSSMAL, 107p.
28. **Bentahar Y. (2016)** Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Thèse de docteur : Sciences : France : Université de Nice-Sophia Antipolis, 170pp.
29. **Blanco S-P-D-M., Scheufele F-B., Módenes A-N., Espinoza-Quiñones F-R., Marin P., Kroumov A-D., Borba C-E. (2017)** Kinetic, equilibrium and thermodynamic phenomenological modeling of reactive dye adsorption onto polymeric adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 307, 466–475p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.104> (2017).
30. **Blanc-Valleron M-M. Pierre C., Caulet J-P., Caruso A., Rouchy J-M., Cespuglio G., Sprovieri R., Pestrea S., Stefano E-D. (2002)** Sedimentary, stable isotope and micropaleontological records of paleoceanographic change in the Messinian Tripoli Formation (Sicily, Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 185, 255-286p.

Références bibliographiques

31. **Bottin M. (2012)** Structure des assemblages de diatomées benthiques en rivière : l'environnement explique-t-il tout ?- Processus écologiques et développement méthodologiques. Thèse de doctorat : Écologie évolutive, fonctionnelle et des communautés : France : Université bordeaux I - école doctorale« Sciences et environnements ».234p.
32. **Bouanaka F. (2008)** Spectroscopie d'émission optique (SEO) par analyseur optique multicanaux d'un plasma basse pression. Mémoire de Magister : Electronique : Algérie : Université Mentouri Constantine. 97p.
33. **Bouchez A., Dorigo U., Rimet F. (2010)** Surveillance des impacts environnementaux d'effluents aqueux de sites industriels par les diatomées dulçaquicoles. Rapport final : étude RECORD 07-1016/1A. 175p.
34. **Bougis P. (1974)** Le phytoplancton. Ecologie du phytoplancton marin-Tom 1-. Paris : Masson & Cie, 196 p.
35. **Bouras D., Mouffok S., Maatalah A., Boutiba Z. (2007)** Dynamique bioclimatique du littoral occidental algérien. *Laryss Journal*, n° 6, 45-50 p.
36. **Bourelly P. (1981)** Les algues d'eau douce, algues jaunes et brunes. Paris : N. Boubée et C^{ie}, 517p.
37. **Bouziane N. (2007)** Elimination du 2-mercaptobenzothiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre. Mémoire du Magister : Chimie : Algérie : Université du Constantine, 205p.
38. **BRGM. (1996)** La diatomite dans le département du cantal : synthèse des données relatives au site de Nouvialle et à l'existence de gisements régionaux potentiels. Rapport BRGM R39022, 23p.
39. **Brunauer S. (1943)** The adsorption of gases and vapors, Volume I, Physical Adsorption. United States : Press universitaire d'Oxford. 528p. consulté en ligne: <https://archive.org/details/adsorptionofgase031704mbp>.
40. **Brunauer S., Emmett P-H., Teller E. (1938)** Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*. Vol.60, no.2, 309–319p. [doi:10.1021/ja01269a023](https://doi.org/10.1021/ja01269a023)
41. **Camarillo R-D. (2007)** Détection et caractérisation par rayon X des éléments traces dans les fruits et les légumes. Thèse de doctorat : Images et systèmes : France : Institut national des sciences appliquées de Lyon CNDRI. 175p.

Références bibliographiques

42. **Cardot C. (2010)** Les traitements de l'eau. Paris : Ellipses, 320 p.
43. **CEA. (Commission économique pour l'Afrique) (2011)** Les ressources minérales et le développement de l'Afrique - Rapport du Groupe d'études international sur les régimes miniers de l'Afrique : Addis-Abeba, Éthiopie, 251p. Web: www.uneca.org.
44. **Cemagref (2004)** Traitement du phosphore dans des petits stations d'épuration à boues activées, document technique FNDAE 29. Paris : Cemagref, 24p.
45. **Chamley H. (2000)** Bases de sédimentologie. Paris : Dunod, 178p.
46. **Chaqrone A., Lahlou M., Mahjoubi F., Jorti A. (2009)** Elaboration de matériaux nanométriques pour l'élimination des éléments traces métalliques en milieu aqueux (cas de CrIII et CrVI). *Revue francophone d'écologie industrielle*. N° 53 - 1er trimestre 2009 – reproduction interdite, 8-11p.
47. **Chen J-P., Chua M-L., Zhang B. (2002)** Effects of competitive ions, humid acid, and pH on removal of ammonium and phosphorous from the synthetic industrial effluent by ion exchange resin. *Waste Manage.* Vol. 22, 711-719p.
48. **Chernai S., Bensalem S., Khelifa N., Hamdi B. (2010)** Elimination des métaux lourds dans l'eau par des biosorbants d'origine marine. *V^{ème} Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement. Env_32*. 8p.
49. **Chiou M-S., Li H-Y. (2003)** Adsorption behaviour of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. *Chemosphere*. Vol. 50, 1095-1105 p.
50. **Ciesielski P-F. (1985)** 15. Middle Miocene to quaternary diatom biostratigraphy of deep sea drilling project site 594, Chatham Rise, southwest pacific diatoms. *Init. Rep. D.S.D.P.* Vol. 90, no. 15. Washington (U.S. Govt. Printing Office). 863-885p.
51. **Clausse M. (2003)** Etude d'un procédé d'adsorption TSA (Temperature Swing Adsorption) à chauffage et refroidissement indirects. Thèse de docteur : Electric power : Lyon (France) : Conservatoire national des arts et métiers. 181p.
52. **Compère P. et Riaux-Gobin C. (2009)** Diatomées de quelques biotopes marins, saumâtres et dulçaquicoles de Guinée (Afrique occidentale). *Systematics and Geography of Plants*. Vol.79, 33-66p.
53. **Cupp E-E. (1943)** Marine plankton diatoms of the west coast of north America. *Bulletin of the Scripps institution of oceanography of the University of California*. Vol. 5, No.1, 1-238 pp. pls. 1-5.

Références bibliographiques

54. **Datsko T-Y. et Zelentsov V-I. (2016)** Fluorine Sorption by Aluminosilicate Modified Diatomite from Highly Concentrated Fluorine Solutions- Adsorption Equilibrium. *Elektronnaya Obrabotka Materialov*. No. 3, 83–95 p.
55. **Debenest T. (2007)** Caractérisation de l'impact des pollutions agricoles sur les diatomées benthiques. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie : France : Université bordeaux 1, 251p.
56. **Despas C. (1998)** Analyse des propriétés de sorption de la silice vis-à-vis des bases et des espèces cationiques par les méthodes diélectriques et électrochimiques. These de doctorat : Spécialité Chimie et Electrochimie Analytiques : France : Université Henri Poincaré, Nancy 1. 194p.
57. **DGM. (Direction générale des mines) (2010)** Bilan des Activités minières 2009. 104p.
58. **Dolley T-P. (2000)** Diatomite. U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, 4p.
59. **Duong D-D. (1998)** Adsorption analysis: equilibrium and kinetics. Series on chemical engineering. London: Imperial college press, 1998.
60. **Duval C. et Duval R. (1978)** Dictionnaire de la chimie et de ses applications. Paris : tec et doc , 1087p.
61. **Eetvelde Y-V. (2005)** Etude biostratigraphique des assemblages de diatomées pyritisées des sédiments du Paléocène supérieur et de l'Eocène inférieur des Bassins Danois, de Dieppe-Hampshire et Belge- apports paléoenvironnementaux. These de doctorat : Sciences : Belgique : Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, 249 p.
62. **El Ouahabi F-Z., Saint Martin S., Saint Martin J-P., Ben Moussaa A., Conesa G. (2007)** Les de diatomées du bassin messénien de Boudinar (Maroc nord-oriental). *Revue de micropaléontologie*. Vol. 50, 149–167p. <https://www.researchgate.net/publication/240915439>.
63. **Elass K., Laachach A., Alaoui A., Azzi M. (2010)** Removal of methylene blue from aqueous solution using ghassoul, a low-cost adsorbent. *Applied Ecology and Environment Research*. Vol. 8, no. 2, 153-163p. <http://www.uni-corvinus.hu>.
64. **Eltaweil A-S., Elshishini H-M, Ghatass Z-F., Elsubruiti G-M. (2020)** Ultra-high adsorption capacity and selective removal of Congo red over aminated graphene

Références bibliographiques

- oxide modified Mn-doped UiO-66 MOF. *Powder Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.10.084>.
65. **Errais E. (2011)** Réactivité de surface d'argiles naturelles, étude de l'adsorption de colorants anionique. Thèse de doctorat : Géochimie de l'environnement : France : Université de Strasbourg. 210p.
 66. **Everelt D-H. (1979)** Adsorption at the liquid/solid interface, *Colloid surface*. Vol. 3, chapt. 2, the chemical soc, London. 49p.
 67. **Faerber J. (2004)** Microscopie électronique à balayage Microanalyse X par sonde électronique. Strasbourg : Institut de physique et de chimie des matériaux. 53p.
 68. **Fenner J., Schrader H., Wienigk H. (1976)** III. Diatom phytoplankton studies in the Southern Pacific ocean, composition and correlation to the Antarctic convergence and its paleoecological significance. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol.35, 757-813 p.
 69. **Foucaut A. et Raoult J-F. (2005)** Dictionnaire de géologie. Paris : Dunod 6[°]ED, 382p.
 70. **Frémaux B. (1998)** Eléments de cinétique et de catalyse. Lavoisier: TEC et DOC, 335p.
 71. **Freundlich H-M-F. (1906)** Uber die adsorption in losungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. Vol. 57 A, 385–470p.
 72. **Fripiat J. J., Chaussion J., Jelli A. (1971)** Chimie- physique des phénomènes de surfaces_ applications aux oxydes et aux silicates. Paris : Masson et C^{ie} . 385 p.
 73. **Frydas D. (1999)** Paleoecology, Stratigraphy And Taxonomy Of The Pliocene Marine. *Revue De Micropaléontologie*. Vo1. 42, no. 4, 269-300p.
 74. **Frydas D. (2004)** Calcareous and siliceous phytoplankton stratigraphy of Neogene marine sediments in central Crete (Greece). *Revue de micropaleontology*. Vol. 47, 87–102p.
 75. **Frydas D. (2006)** Siliceous phytoplankton assemblages and biostratigraphy of the pre-evaporite Messinian diatomites on Gavdos Island, Greece. *Revue de micropaleontology*. Vol. 49, 86–96p.
 76. **Frydas D. (2007)** Opal phytoplankton assemblages of the Late Quaternary sapropel layers S5 and S7 from the southeastern Mediterranean Sea ("Meteor"-Cruise 40/4, Site 67). *Revue de micropaleontology*. Vol. 50, 169–183p.

Références bibliographiques

77. **Frydas D. et Avramidis P. (2001)** Evolutionary Trends Of The Pliocene Silicoflagellate Group *Dictyocha Fibula* From Marathitis Section, Central Crete (Greece). *Revue De Micropaleontologie*. Vol. 44, no. 1, 9-25 p.
78. **Frydas D. et Keupp H. (2015)** Late Cenozoic silicoflagellates from Zakynthos and Aegina Islands, Greece, and their comparison to C.G. Ehrenberg's microgeological collection. *Annales de Paléontologie*. Vol. 101, 43–53p.
79. **Fryxell G-A. et Hasle G-R. (1980)** The Marine Diatom *Thalassiosira Oestrupii*: Structure, Taxonomy And Distribution. *American Journal of Botany*. Vol. 67, no. 5, 804-814p.
80. **Fu X., Liu Z., Wu B., Wang J., Lei J. (2016)** Preparation and thermal properties of stearic acid/diatomite composites as form-stable phase change materials for thermal energy storage via direct impregnation method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Vol. 123, 1173-1181p. [DOI 10.1007/s10973-015-5030-1](https://doi.org/10.1007/s10973-015-5030-1).
81. **Galović I., Halamić J., Grizelj A., Rozman V., Liška A., Korunić Z., Lucić P., Baličević R. (2017)** Croatian diatomites and their possible application as a natural insecticide». *Geologia Croatica*. Vol. 70, no. 1, 27–39p.
82. **Gardette D. (1979)** Apport de l'étude des diatomées et des silicoflagellés à la biostratigraphie - Reconstitution du Messinien de Méditerranée : analyse de quelques tripolis du passage Mio-Pliocène à Chypre, en Crète et au Maroc. Thèse de Doctorat : Paléontologie : France : Université de Paris-sud. 274 p.
83. **Garg V-K., Amita M., Kumar R., Gupta R. (2004)** Basic dye (methylene blue) removal from simulated wastewater by adsorption using Indian Rosewood sawdust: a timber industry waste. *Dyes Pigments*. Vol. 63, 243-250 p.
84. **Gasse F. et Tékai F. (1979)** Paléoécologie des diatomées-Evolution des lacs de l'AFAR central- Diatomées. Le cahier de l'analyse de données. Vol. IV, no.1, 81-94p.
85. **Gelabert A. (2005)** Caractérisation physico-chimique des interactions métaux-diatomées. Thèse de doctorat : Biogéochimie expérimentale. France : Université Paul-Sabatier. 289p.
86. **Gersonde R. et Schrader H. (1984)** Marine planktic diatom correlation of Lower Messinian deposits in the Western Mediterranean. *Marine Micropaleontology*, Vol.9, 93-110p.

Références bibliographiques

87. **Gersonde R. et Burckle L. (1990)** 43. Neogene Diatom Biostratigraphy Of Odp Leg 113, Weddell Sea (Antarctic Ocean). *Proceedings Of The Ocean Drilling Program, Scientific Results*. Vol. 113, 671-689p.
88. **Gherbi N. (2008)** Etude expérimentale et identification du processus de rétention des cations métalliques par des matériaux naturels. Thèse de doctorat : Génie des procédés : Algérie : Université de Constantine.163Pp.
89. **Ghosh D., Bhattacharyya K-G. (2002)** Adsorption of methylene blue on kaolinite. *Applied Clay Science*. Vol. 20, 295–300p. [PII: S0169-1317\(01\)00081-3](#).
90. **Giles C-H., Mc Ewan T-H., Nakhwa S-N., Smith D. (1960)** Studies in Adsorption. Part 11. A System of Solution Adsorption Isotherms, & its Use in Diagnosis of Adsorption Mechanisms & in Measurement of Specific Surface Areas of Solids. *Journal of the Chemical Society*. Vol. 3, 3973-3993p.
91. **Giles C-H., Smith D., Huitson A. (1974)** A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm I. Theoretical. *Journal of Colloid and Interface Science*. 47 (3): 755–765.
92. **Giot J-L., (2013)** La silice pulmonaire de la géologie a la pathologie. *INF_SCIENT_DOC*, 24 (01), 15p.
93. **Glandenkov A-Y. (1994)** Diatom assemblages from the Pliocene-Pleistocene boundary beds in Kamchatka, Russia. *Micropaleontology*. Vol.40, no.1, 79-94 p. Pls. 1-4, text-figures 1-2, table 1.
94. **Glandenkov A-Y. et Barron J-A. (1995)** 2. Oligocene and early middle Miocene diatom biostratigraphy Hole 884B¹. *Proceeding of the ocean drilling program, scientific results*. Vol. 145, 21-45 p.
95. **Gold C. (2002)** Etude des effets de la pollution métallique (Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphtiques des cours d'eau-Approches expérimentales *in situ* et en laboratoire. Thèse de doctorat : Ecotoxicologie : France : Université bordeaux1.175p.
96. **Gravereau P. (2012)** Introduction à la pratique de la diffraction des rayons X par les poudres.3rd cycle. Diffraction des rayons X par les poudres. France, Université Bordeaux 1.209p. <cel-00671294>
97. **Gupta V-K., Mohan D., Sharma S., Sharma M. (2000)** Utilization of Bagasse Fly Ash (a sugar industry waste) for the Removal of Copper and Zinc from Wastewater. *Separation and Purification Technology*, Vol. 18, 131- 140p.

Références bibliographiques

98. **Gürses A., Doğar Ç., Yalçın M., Açıkyıldız M., Bayrak R., Karaca S. (2006)** The adsorption kinetics of the cationic dye, methylene blue, onto clay. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. B131, 217–228p.
99. **Hadjar H. (2004)** Elaboration et caractérisation de matériaux composites minéraux à base d'un kieselgûhr et d'un produit carbone- Application à la rétention du plomb et phénol. Thèse de magister : Chimie : Algérie : Université des Sciences et Technologie Houari Boumédiène (U.S.T.H.B). 155p.
100. **Hadjar H. (2012)** Synthèse Et Caractérisation De Matériaux Composites Silice/Carbone. Application À L'adsorption De Polluants Organiques Et Minéraux. These de doctorat : Chimie : Algérie : Université des Sciences et Technologie Houari Boumédiène (U.S.T.H.B). 275p.
101. **Hadjar H., Hamdi B., Kessasia Z. (2004)** Adsorption of heavy metal ions on composite materials prepared by modification of natural silica. *Desalination*. Vol. 167, 165-174p.
102. **Hajós M. (1970)** The Mediterranean diatoms. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol. 34, no.5, 944-969p. Tab.1, Pls.1-9.
103. **Hamadai A. (2015)** La microflore diatomique des dépôts quaternaires de Hassi Manda (Tabelbala, bordure occidentale de l'Erg Er Raoui, Algérie). Thèse de magister : Science de la terre : Algérie : Université d'Oran 2. 160p.
104. **Hamdi B. et Kessaissia Z. (1996)** Préparation e supports de catalyseurs à partir d'un Kieselguhr algérien. IVème Colloque Franco-maghrébin sur la *catalyse*. Lille, Juin.
105. **Hamdi B. (1998)** Etude physico-chimique de la surface des diatomites, Thèse de doctorat d'état : Science Algérie : Université des Sciences et Technologie Houari Boumédiène (U.S.T.H.B). 208p.
106. **Höbel P. et Sterrenburg F-A-S. (2011)** UV photomicrography of diatoms. *Diatom Research*. 1–7 p.
107. **Ho Y-S., Ngj Y., McKay G. (2000)** Kinitics of pollutants sorption by biosorbents. *Separation and purification methods*. Vol. 29, no. 2, 189-232p.
108. **Inchaurrondo N., Font J., Ramos C-P., Haur P. (2016)** Natural diatomite: Efficient green catalyst for Fenton-like oxidation of Orange II. *Applied Catalysis B: Environmental*. Vol.181, 481–494p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.08.022>.
109. **Ivanov S-E. et Belyakov A-V. (2008)** Diatomite and its applications. *Glass and Ceramics*. Vol. 65, 1 – 2p.

Références bibliographiques

110. **Jaques G. (2006)** Ecologie du plancton. Paris: Lavoisier, 283p.
111. **Jin X., Jiang M., Shan X., Pei Z., Chen Z. (2008)** Adsorption of methylene blue and orange II onto unmodified and surfactant-modified zeolite. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. 328, 243–247p.
112. **Jones R-A-L. et Richard R-W. (1999)** Polymers at surfaces and interfaces. *Cambridge University Press*. 377p.
113. **Karim A-B., Mounir B., Hachkar M., Bakasse M., Yaacoubi A. (2010)**. Élimination du colorant basique « Bleu de Méthylène » en solution aqueuse par l'argile de Safi. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. Vol. 23, no. 4, 375–388p. <https://doi.org/10.7202/045099ar>.
114. **Kiréev V. (1975)** Cours de chimie physique. Moscou : Edition MIR, 640p.
115. **Koç N., Hodell D-A., Kleiven H., Labeyrie L. (1999)** 4. High-resolution Pleistocene diatom biostratigraphy of site 983 and correlations with isotope stratigraphy. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. Vol. 162, 51-62p.
116. **Koller E. (2009)** Aide-mémoire Génie chimique. 3eme edition. Paris: Edition Dunod, 628 p.
117. **Lagergren S. et Svenska B-K. (1898)** Zurtheorie der sogenannten adsorption geloestertoffe. *Veternskad Handlingar*. N°24(4), 1-39 p.
118. **Langmuir I. (1918)** The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal American Chemical Society*. Vol.40, 1361–1367p.
119. **Lavoie I., Hamilton P-B., Campeau S., Grenier M., Dillon P-J. (2008)** Guide d'identification des diatomées des rivières de l'Est de Canada. Canada : presses de l'université du Québec, 241p.
120. **Logan S. (1998)** Introduction à la cinétique chimique, cours et exercices corrigés. Paris : Dunod, 280p.
121. **Lopes C., Mix A.C., Abrantes F. (2006)** Diatoms in northeast Pacific surface sediments as paleoceanographic proxies. *Marine Micropaleontology*. Vol.60, 45–65p.
122. **Lortie G. (1983)** Les diatomées fossiles de deux tourbières ombrotrophes du Bas-Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*. Vol. 37, no. 2, 159-177p. <http://id.erudit.org/iderudit/032512ar>

Références bibliographiques

123. **Losi, M-E. Amrhein C., Frankenberger W-T. (1994)** Biodegradation and bioremediation. Bioremediation of chromate– contaminated groundwater by reduction and precipitation in surface soils. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 23, 141 – 1150p.
124. **Ludes B. et Coste M. (1996)** Diatomées et médecine légale. Paris : Tec et doc Lavoisier, 258p.
125. **Mahood A-D. et Barron J-A. (1996)** Late Pliocene diatoms in a diatomite from Prydz Bay, east Antarctica. *Micropaleontology*. Vol.42, no.3, pp.285-302, text-figure 1, Pls. 1-8, table 1.
126. **Malviya S. (2015)** Global diatom biodiversity: An Assessment Using Metabarcoding Approach. Thèse de doctorat : Biologie: France: Université Paris Sud - Paris XI. 239p.
127. **Mann D-G., Crawford R-M., Round F-E. (2016)** Bacillariophyta. *Handbook of the Protists*. 1– 6p2. [doi:10.1007/978-3-319-32669-6_29-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32669-6_29-1).
128. **Mansour B. (1991)** La série diatomitique messénienne de Sig : études systématique des diatomées et implications paléontologiques. Thèse de magister : Science de la terre : Algérie : Université d’Oran. 147p.
129. **Mansour B. (2004)** Diatomées missiniennes du bassin Bas Chélif (algerie nord occidentale). These de doctorat d’état : Science de la terre : Algérie : Université d’Oran. 286p. Planches et annexe.
130. **Mansour B. et Saint Martin J-P. (1998)** Conditions de dépôt des diatomites messéniennes en contexte de plateforme carbonatée d’après l’étude des assemblages de diatomées : Exemple du djebel Murdjadjo (Algerie). *Geobios*. Vol.32, no. 3, 395-408p.
131. **Mansour B., Bessedik M., Saint Martin J-P., Belkebir L. (2008)** Signification Paléoécologique des assemblages de diatomées du Messinien du Dahra sud-occidental (bassin du Chélif, Algérie nord-occidentale). *Geodiversitas*. Vol. 30, no. 1,117-139p. (annexes disponibles sur : www.geodiversitas.com).
132. **Mansour B., Moissette P., Noël D., Rouchy J-M. (1995)** L’enregistrement par les associations de diatomées des environnements messiniens : l’exemple de la coupe de Sig (bassin du Chélif-Algérie). *Geobios*. Vol. 28, no. 3,261-279p.

Références bibliographiques

133. **Mathieu R., Bellier J-P., Granier B. (2011)** Manuel de Micropaléontologie. Carnets de Géologie. ISBN 978-2-916733-04-3.
134. **Maubert F. (1989)** Mémento roches et minéraux Industrielles-La silice pour l'industrie. *Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)-service géologique national*. 69p.
135. **Mc Laughlin R-B. (2012)** An Introduction to the Microscopical Study of Diatoms. Edition John Gustav Delly & Steve Gill. 532p.
136. **Mc Quoid M-R. et Nordberg K. (2002)** The Diatom *Paralia sulcata* as an Environmental Indicator Species in Coastal Sediments. *Coastal and Shelf Science*. Vol. **56**, 000–000p.
137. **Mellak A., Khodja-Saber M., Bouziani T., Mellak D. (2007)** Influence de la terre diatomée et du NaCl sur les propriétés rhéologiques et physico-mécaniques des ciments pétroliers- *18ème Congrès Français de Mécanique, Grenoble, 27-31 août 2007*,6p.
138. **Meradi H., Atoui L., Bahloul L., Boubendira K., Bouazdia A., Ismail F. (2015)** Characterization by thermal analysis of natural kieselguhr and sand for industrial application. *Energy Procedia*. Vol. **74**, 1282-1288p. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.773>
139. **Meradi H., Atoui L., Labiod K. Boubendira K., Benayache S., Aouadja F. (2014)** Caractérisation de diatomite d'origine Algérienne pour l'isolation thermique. *Welding and NDT Research Center*.Annaba,4p.
140. **Mohamed E-A., Selim A-Q., Zayed A-M., Komarneni S., Mobarak M., Seliem M-K. (2018)** Enhancing adsorption capacity of Egyptian diatomaceous earth by thermo-chemical purification: Methylene blue uptake. *Journal of Colloid and Interface Science*. Vol. **534**, 408-419p. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.09.024>
141. **Mollo P. et Noury A. (2013)** Le Manuel du plancton. Paris : Éditions Charles Léopold Mayer, 101p.
142. **Moret L. (1964)** Manuel de paléontologie végétale. Paris : Masson et C^{ie} , 244p.
143. **Mouton - Chazel V. (1994)** Analyse des processus d'adsorption a l'interface solide – gaz par l'étude du phénomène de polarisation. Thèse de doctorat : Science : France : Université de Montpellier II. 221p.
144. **Mowafa T. (2019)** The Mineral Industry of Algeria-2016. U.S. Geological SURVEY Minerals Yearbook-2016. 14p.

Références bibliographiques

145. **Muhammad A-R., Shehadeh I., Ahmed A., Al-Zamly A. (2009)** Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Using Gypsum as a Low Cost Adsorbent. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 55: 608-613.
146. **Mukerabigwi J- F., Wang Q., Ma X., Liu M., Lei S., Wei H., Huang X., Cao Y. (2015)** Urea fertilizer coated with biodegradable polymers and diatomite for slow release and water retention. *Journal of Coatings Technology and Research*. 10p. [DOI 10.1007/s11998-015-9703-2](https://doi.org/10.1007/s11998-015-9703-2)
147. **Murray B-H., 2005:** Reconstitution des conditions océanographiques et climatiques de l'Holocène Supérieur à EFFINGHAM INLET, Ile de Vancouver, Colombie-Britannique. Thèse de doctorat : Sciences géographiques : Québec : Faculté des études supérieures de l'Université Laval. 304p.
148. **Namasivayam C., Prabha D., Kumutha M. (1998)** Removal of direct red and acid brilliant blue by adsorption onto banana pith. *Bioresource Technology*. Vol. 64, 77-79p.
149. **Négroni J-M. (2007)** Diatomite.fiches détaillées. Géologue groupe, Imerys, 3p.
150. **Nenadović S., Nenadović M., Kovačević R., Matović L-J., Matović B., Jovanović Z., Novaković-Grbović J. (2009)** Influence of Diatomite Microstructure on its Adsorption Capacity for Pb(II). *Science of Sintering*. Vol. 41, Issue 3. 309-317p. <https://doi.org/10.2298/SOS0903309N>.
151. **Nguetsop F. et Servant-Vildary S. (2000)** 27. Reconstitution des paléoenvironnement lacustres (Lac Ossa, Cameroun) par l'étude des diatomées au cours des 5000 dernières années. Paris : UNESCO. 225-234p.
152. **OFEV. (2007)** Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. *Diatomées Niveau R (région)*. Berne ,70p.
153. **Oro G. et Godo G. (1990)** Les méthodes de mesure de la densité apparente Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*. Vol. XXV, no.4, 423-429p.
154. **Ouakouak A. (2017)** Elimination du cuivre, nitrates et des phosphates des eaux usées par adsorption sur différents matériaux. Thèse de doctorat : Science en hydraulique : Algérie : Université Mohamed Khider-Biskra, 275pp.

Références bibliographiques

155. **Ouakouak A., Rihani K., Youcef L., Hamdi N., Guergazi S. (2020)** Adsorption characteristics of Cu (II) onto CaCl₂ pretreated Algerian bentonite. *Materials Research Express* 7. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5ee4>
156. **Paulmier G. (1993)** Microplancton des eaux marines et saumâtres de la Guyane et des antilles françaises, Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération. Collection études et thèses. Paris : 439 p.
157. **Paulmier G. (1997)** Atlas des Diatomophycées des côtes françaises et des aires marines adjacentes. IFREMER, 439p.
158. **Peng C. Qi-Jie C., Li-Ye C., Hong-Bo S. (2012)** Some progress in sexual reproduction and sex determination of economic algae. *African Journal of Biotechnology*. Vol. 11(21), 4706-4715p.
159. **Peragallo MM.H. et Peragallo M. (1897,1908)** Diatomées marines de France et des Districts maritimes voisins. France : ED. M.J. Tempère. 394p.
160. **Pestrea S., Blanc-Valleron M-M., et Rouchy J-M. (2002)** Les assemblages de diatomées des niveaux infra-gypseux du Messinien de Méditerranée (Espagne, Sicile, Chypre), in Néraudeau D. & Goubert E. (eds), l'Événement messinien : approches paléobiologiques et paléocéologiques. *Geodiversitas*. Vol. 24, no. 3, 543-583p.
161. **Pétrov M., Mikhilev L-A., Koukouchkine Y-N. (1984)** Chimie minérale. Traduit en Russe par Eugene OUMANSKI. Moscou imprimé en Union Soviétique : Edition MIR. 464p.
162. **Pomerol C. et Renard M. (1989)** Eléments de géologie. Paris : 9eme Ed Armand Colin, 616p.
163. **Poulin M. (1986)** Fragilaria and Synedra (Bacillariophyceae): A morphological and ultrastructural approach. *Diatom Research*. Vol.1, no. 1, 99-112p.
164. **Puls R-W. Clark D-A. , Paul C-J., Vardy J. (1994)** Transport and transformation of hexavalent chromium through soils into ground water. *Journal of soil contamination*. Vol. 3. no. 2, 203- 224p.
165. **Quarles W. (1992)** Diatomaceous earth for pest control. Monitoring the Field of Pest Management. Vol. XIV, no.5/6. 16p.
166. **Ramade F. (1998)** Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Paris : Ediscience international, 786p.

Références bibliographiques

167. **Ramade F. (2000)**. Dictionnaire encyclopédique des pollutions. France : Ediscience international, 690 p.
168. **Ramade F. (2002)** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2e édition. Paris : Dunod, 1075p.
169. **Record (1997)** Etude de l'adsorption-désorption de polluants organiques dans les sols. Approche méthodologique et application au pentachlorophénol et aux hydrocarbures aromatiques polycycliques. 223 p. n°94-0404/3A.
170. **Reichl C., et Schatz M. (2019)** World Mining Data 2019. Vol. 34. Vienna, 263p.
171. **Reichl C., et Schatz M. (2020)** World Mining Data 2019. Vol. 35. Vienna, 266p.
172. **Robert J. (2004)** Dictionnaire de physique et de chimie. Espagne :Nathan, 459p.
173. **Rocher P-H. (1995)** Mémonto roches et minéraux Industrielles-la diatomite. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)-Service minier national. 60p
174. **Rodier J. (1978)** l'analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduelle, eau de mer. Paris : Dunod, 1824p.
175. **Romeo O-E. et Navarro N-J. (1999)** Two marine species of Cocconeis Ehrenberg (Bacillariophyceae): *C. pseudomarginata* Gregory and *C. caribensis* sp. nov. *Botanica Marina*. Vol. 42, 581-592p.
176. **Romero O-E., Armand L-K., Crosta X., Pichon J-J. (2005)** The biogeography of major diatom taxa in Southern Ocean surface sediments: 3. Tropical/Subtropical species. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 223, 49– 65p.
177. **Roubex V. (2007)** Transformations biogéochimiques et transfert du silicium dans la zone de transition fleuve-mer : le rôle des diatomées planctoniques. These de doctorat : Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique. Université Libre de Bruxelles. DOI: 10.13140/RG.2.2.30163.17447. <https://www.researchgate.net/publication/314760599>. P.181p.
178. **Rouchy J-M., Caruso A., Pierre C., Blanc-Valleron M-M., Bassetti M-A. (2007)** The end of the Messinian salinity crisis: Evidences from the Chelif Basin (Algeria). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 254, 386–417p.
179. **Rouchy J-M. (1982)** La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, série C (50): 1-267.

Références bibliographiques

180. **Saad M-K., Mnasri N., Mhamdi M., Chafik T., Elaloui E., Moussaoui Y. (2015)** Removal of methylene blue onto mineral matrices. *Desalination and Water Treatment*. [DOI:10.1080/19443994.2015.1012338](https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1012338).
181. **Saint Martin S., Conesa G., Saint Martin J-P. (2003)** Signification paléocéologique des assemblages de diatomées du Messinien dans le bassin de Melilla-Nador (Rif Nord-Oriental, Maroc). *Revue de micropaléontologie*. Vol. 46, 161–190p.
182. **Sancetta C. (1982)** Distribution of diatoms species in surfaces sediments of the Bering and Okhotsk seas. *Micropaleontology*. Vol.28, no.3, 221-257p. Pls 1-6.
183. **Sarioglu M., Atay U-A. (2006)** Removal of methylene blue by using biosolid. *Global NEST Journal*. Vol. 8, no. 2, 113-120p.
184. **Schrader H-J. et Fenner J. (1976)** Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy and taxonomy; Part I, Norwegian Sea Cenozoic diatom biostratigraphy. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol.38, 921–962p.
185. **Schrader H-J. (1973)** Cenozoic diatoms from the Northeast Pacific. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol. 18, 673-744p.
186. **Schrader H-J. (1974)** Cenozoic marine plankton diatoms stratigraphy of the tropical Indian ocean. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. Vol. XXIV, 887-965p.
187. **Secrétariat de l'économie de l'Espagne (SEE) (2013)** Perfil de mercado de la diatomita. Espagne, 18p.
188. **Serna F., Lagneau J., Carpentier J-M. (2014)** La diffraction des rayons X : une technique puissante pour résoudre certains problèmes industriels et technologiques. Diffraction des rayons X et Catalyse. *Chimie Nouvelle*. N° 116. 12p
189. **Sharma Y-C., Upadhyay Uma S-N., Gode F. (2009)** Adsorptive removal of a basic dye from water and wastewater by activated carbon. *Journal of applied Science in Environment Sanitation*. Vol. 4 (1), 21-28p.
190. **Slasli M-A. (2002)** Modélisation de l'adsorption par les charbons microporeux : Approches théorique et expérimentale. Thèse de Docteur : Sciences Chimie-Physique : France : Université de Neuchâtel, 156p.
191. **Somorjai G-A. et Delplancke M-P. (1995)** Chimie des structure et catalyse. Paris : Ediscience, 713p.

Références bibliographiques

192. **Soubeyrand-Lenoir E. (2012)** Adsorption et séparation de gaz en mode dynamique sur des matériaux hybrides. Thèse de doctorat : Sciences des Matériaux, Physique, Chimie et Nanosciences : France : Université d'Aix-Marseille. 215p.
193. **Sournia A. (1968)** Diatomées planctoniques du canal de Mozambique et de l'île de Maurice. Mémoire O.R.S.T.O.M. no.31. Paris. 120p., planche VII-XIII.
194. **Sow E-H. (2001)** Le quaternaire récent du Sénégal occidental (lacs Retba et Tanma ; estuaire de la Casamance). Implications eustatique et pédoclimatique des diatomées. Thèses de docteur : Science : Sénégal : Université Dakar. 182p. Pls.19.
195. **Stefano M-D., Romero O-E., Totti C. (2008)** A comparative study of *Cocconeis scutellum* Ehrenberg and its varieties (Bacillariophyta). *Botanica Marina*. Vol. 51, 506–536p.
196. **Suroy M. (2013)** Rôles du frustule des diatomées et des conditions nutritives de leur croissance sur l'export de carbone dans les océans. Thèse de Docteur : Océanographie (Biogéochimie marine) : France : Université Aix-Marseille. 313p.
197. **Tahir H., Sultan M., Jahanzeb Q. (2008)** Removal of basic dye methylene blue by using bioabsorbents *Ulva lactuca* and *Sargassum*. *African Journal Biotechnology*. Vol. 7, no. 15, 2649-2655p. <http://www.academicjournals.org/AJB>
198. **Tardat-Henry M. (1992)** Chimie des eaux. 2eme ed. Canada : le Griffon d'argile, 542p.
199. **Tchobanoglous G., Burton F-L., Stensel H-D. (2003)** Wastewater engineering, traitement and reuse. 4eme edition. New York: McGraw-Hill, 1819p.
200. **Tertian R. (1968)** Contrôle de l'effet de matrice en fluorescence X et principe d'une méthode quasi-absolue d'analyse quantitative en solution solide ou liquide. *Spectrochimica Acta*. Vol. 23B, 305- 321p.
201. **Thomas C-R. (1996)** Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. San Diego: Academic Press©, 598p.
202. **Torres J-C-R. (2012)** Caracterización de diatomitas en depósito marino en el norte del Perú. *Congrés national sur les mines*. Pérou. 19p.
203. **Tsai W-T., Hsu H-C., Su T-Y., Lin K-Y., Lin C-M. (2008)** Removal of basic dye (methylene blue) from wastewaters utilizing beer brewery waste. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 154, 73–78p.

Références bibliographiques

204. **Tzvetkova P-G., Nickolov R-N., Tzvetkova C-T. (2016)** Diatomite/Carbon adsorbent for phenol removal. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. Vol. 51, 2, no. 8 202-209p.
205. **U.S. Geological Survey (2011)** Mineral commodity summaries 2011. U.S. Geological Survey, 198 p.
206. **U.S. Geological Survey (2020)** Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2020>. ISBN 978-1-4113-4362-7.
207. **Vargas A-A. (2007)** La tierra moler o “diatomita” como sistema de remoción de sustancias químicas en el laboratorio. *Ciencia y Tecnología*. Vol. 25(1-2), 83-96p.
208. **Vassileva P., Gentscheva G., Ivanova E., Tzvetkova P., Voykova D., Apostolova M. (2011)** Characterization of natural diatomites from Bulgaria. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*. Tome 64-N06-2011. <https://www.researchgate.net/publication/280577650>.
209. **Vatan A. (1967)** manuel de sédimentologie. Paris : Technip, 397p.
210. **Verdeja G-L-F., Garcia M-P, Vasquez E-R., Barranzuela J-L., Pastor R. (1992)** Contribución al estudio de las diatomitas del Perú. *BOL. Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio*. Vol. 3(5), 427-33p.
211. **Weiland E. (2015)** Caractérisation des propriétés texturales et de transport de supports de catalyseurs : apport de la RMN du ¹²⁹Xe. Thèse de doctorat : Chimie-Physique. Paris : Université Pierre et Marie Curie. 176p.
212. **Whiting M.C. et Schrader H. (1985)** late Miocene to early Pliocene marine diatom and silicoflagellate floras from the Oregon coast and continental shelf. *Micropaleontology*. Vol.31, no.3.
213. **William H-A. et Andrews G-W. (1979)** Middle Miocene marine diatoms from the Rideland Trough, south Carolina and Georgia. *Micropaleontology*. Vol. 25, no. 3, 255-271p. Pls. 1-8.
214. **Williams D-M. et Kociolek J-P. (2007)** Pursuit of a natural classification of diatoms: History, monophyly and the rejection of paraphyletic taxa. *European Journal of Phycology*. Vol. 42, no. 3, 313-319p. [DOI: 10.1080/09670260701419921](https://doi.org/10.1080/09670260701419921).
215. **Wilson T-M. (1907)** The chemistry and staining properties of certain derivatives of the methylene blue. *American Journal of Physiology*. Vol.19, 647-670p.

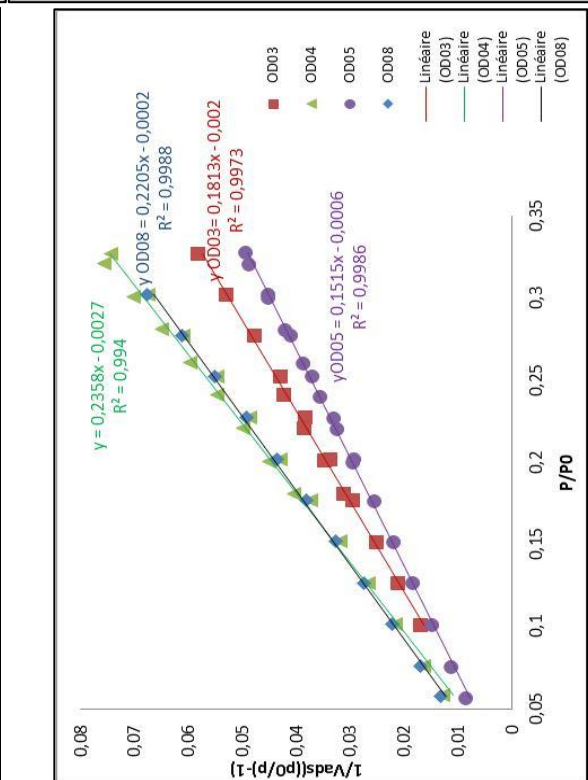
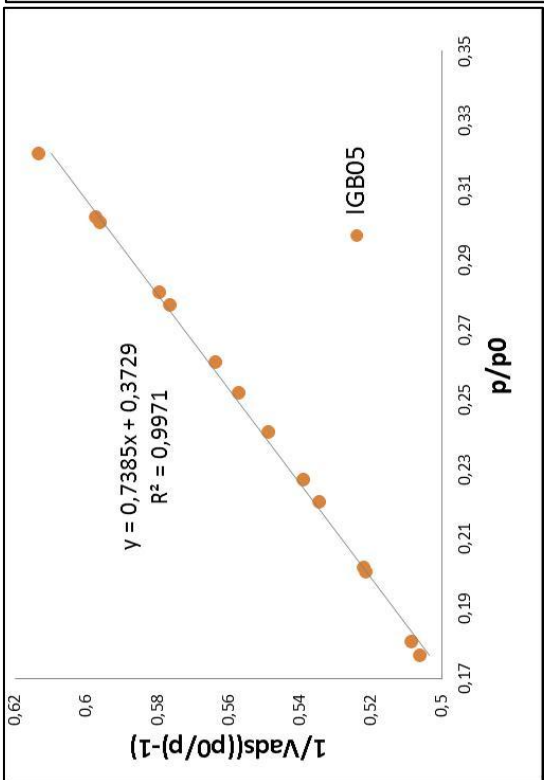
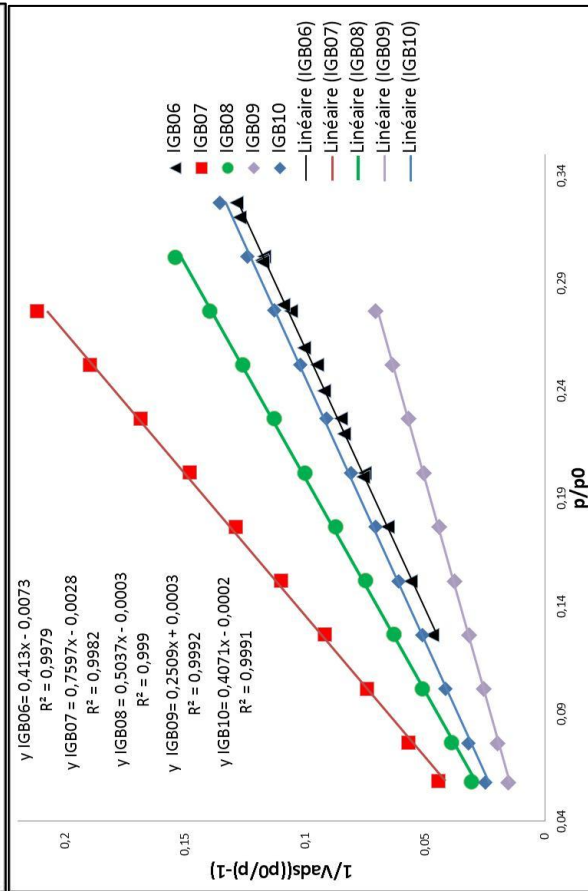
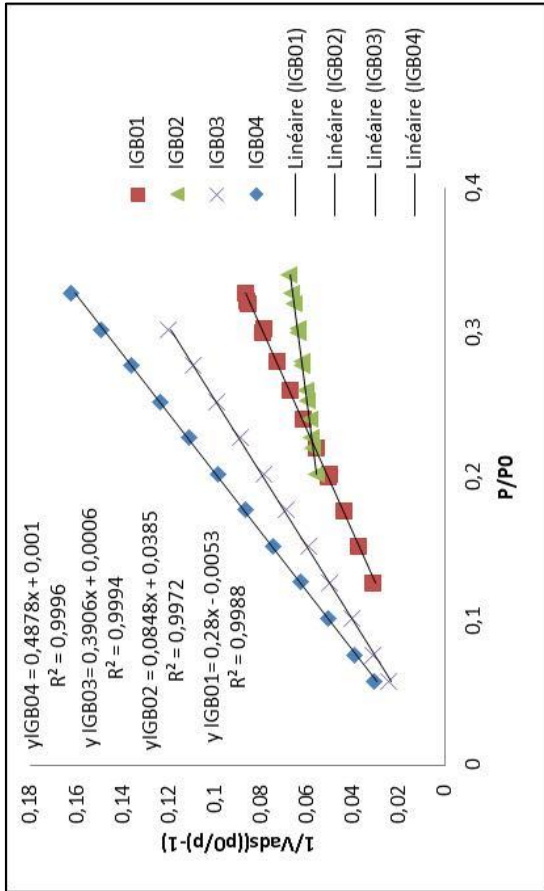
Références bibliographiques

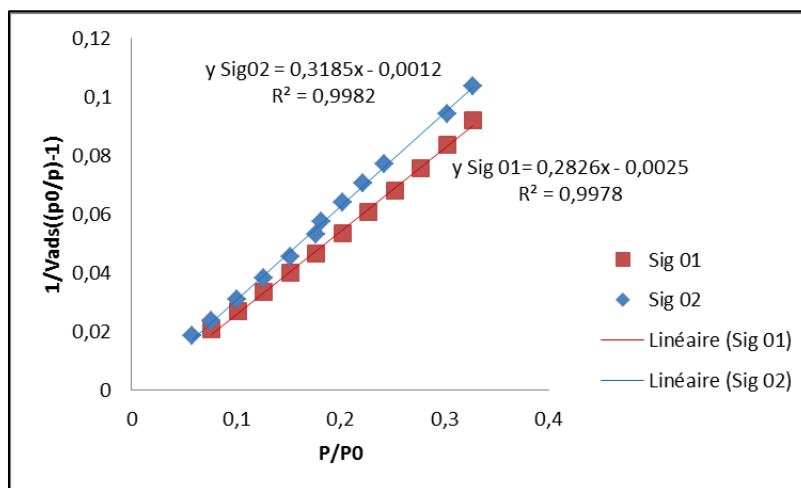
216. **Worch E. (2012)** Adsorption technology in water treatment. Germany : Edition Hubert & Co. GmbH & Co. KG. 345 p. <https://doi.org/10.1515/9783110240238>.
217. **Wu R., Gao, Y., Fang, Q., Chen C., Lan B., Sun L., Lan D. (2013)** Diatom assemblages in surface sediments from the South China Sea as environmental indicators. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. Vol. 31 no. 1, 31-45p. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-013-1181-8>.
218. **Yanagisawa Y. et Akiba F. (1998)** Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Journal of Geological Society Japan*. Vol. 104, no. 6, 3395-414p.
219. **Youcef L. et Achour S. (2005)** Elimination des phosphates par des procédés physicochimiques. *LARHYSS Journal*. No.4, 129-140p.
220. **Yu Z-H., Zhang Y-F., Zhai S-R., Wang Y., Pan Y-Z., Meng C-G. (2015)** Amino-modified mesoporous sorbents for efficient Cd (II) adsorption prepared using non-chemical diatomite as precursor. *Journal Sol-Gel Science and Technology*. DOI [10.1007/s10971-015-3933-8](https://doi.org/10.1007/s10971-015-3933-8).
221. **Yuan P., Wu D-Q., He H-P., Lin Z-Y. (2003)** The hydroxyl species and acid sites on diatomite surface: a combined IR and Raman study. *Applied Surface Science*. Vol. 227, 30–39p. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2003.10.031>.
222. **Zaitan H., Ferronato C., Bianchi D., Achak O. Chafik T. (2006)** Etude des propriétés texturales et adsorbantes d'une diatomite marocaine: Application au traitement D'air chargé d'un polluant de type composé organique volatil. *Annales de Chimie - Science des Matériaux*. Vol. 31, no.2, 183-196.
223. **Zhang S., Cui M., Zhang Y., Yu Z., Meng C. (2016)** Synthesis of zeolite Y from diatomite and its modification by dimethylglyoxime for the removal of Ni(II) from aqueous solution. *Journal Sol-Gel Science and Technology*. Vol. 80, 215–225p. DOI [10.1007/s10971-016-4080-6](https://doi.org/10.1007/s10971-016-4080-6).
224. **Zielinski U., Gersonde R. (2002)** Plio-Pleistocene diatom biostratigraphy from ODP Leg 177, Atlantic sector of the Southern Ocean. *Marine Micropaleontology*. Vol. 45, 225-268p.

ANNEXES

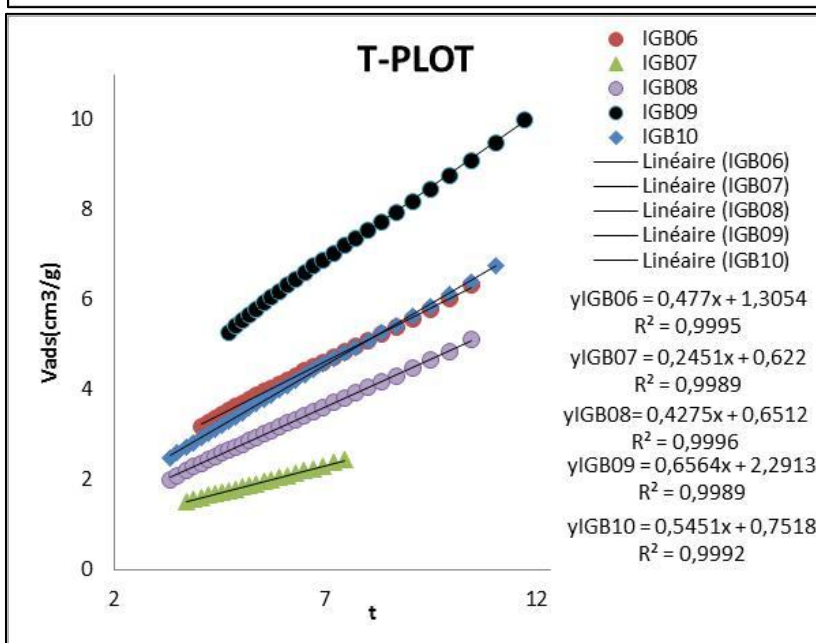
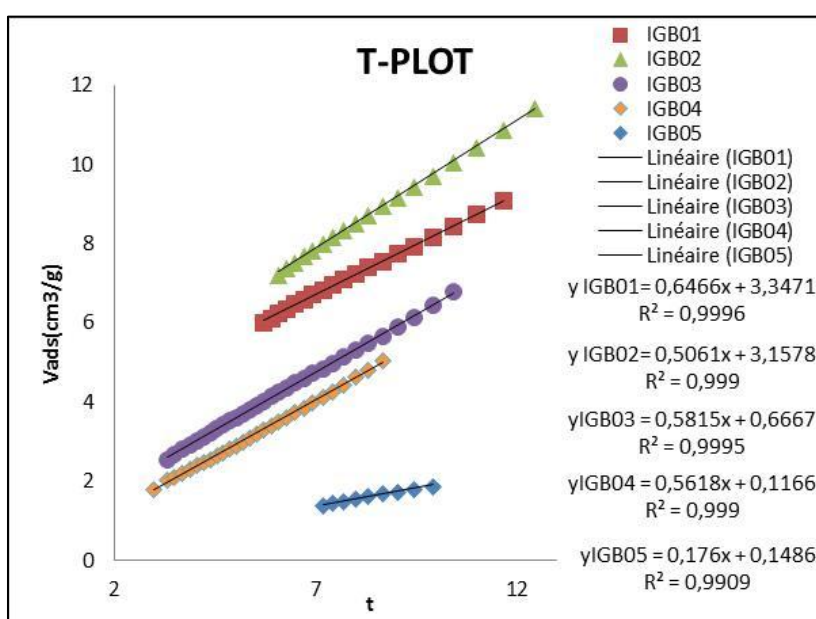
ANNEXE I

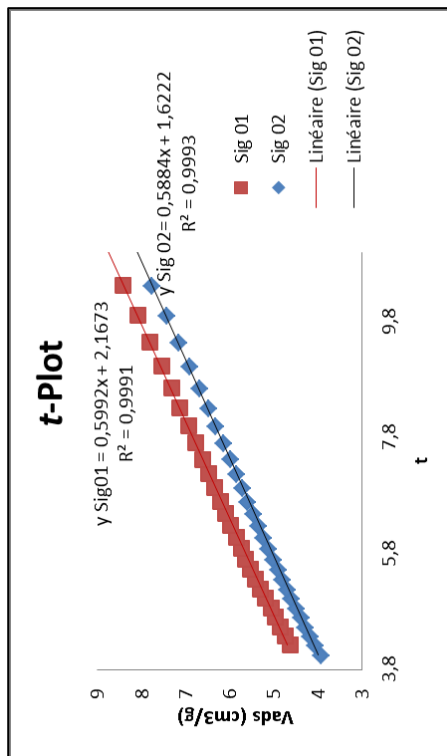
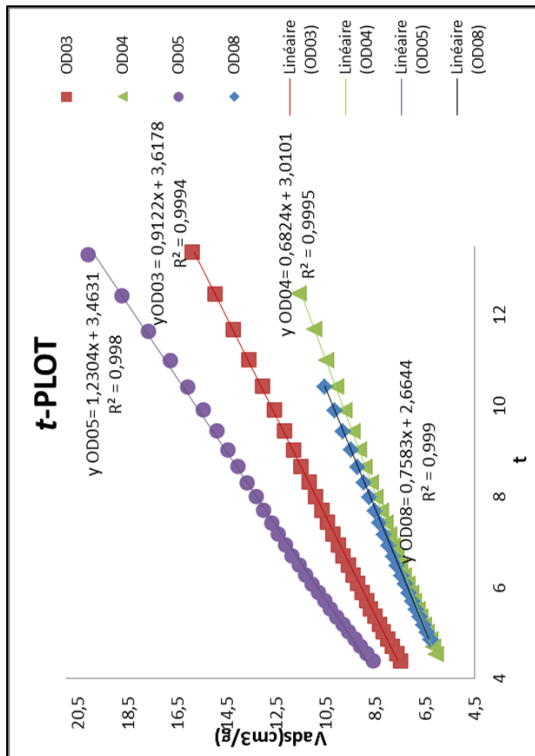
Les droites BET





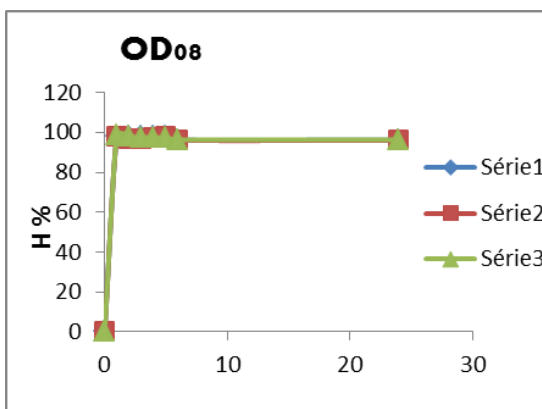
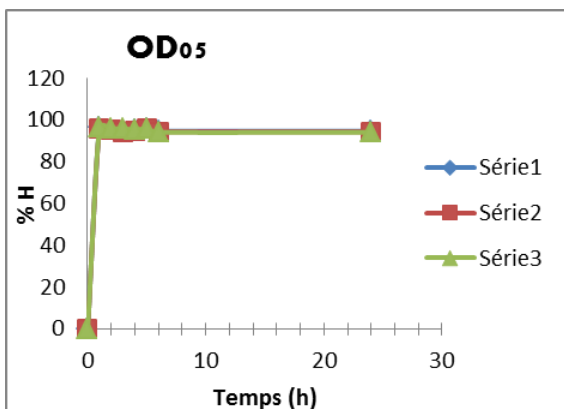
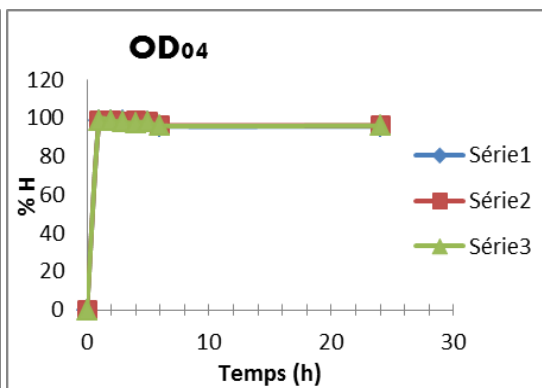
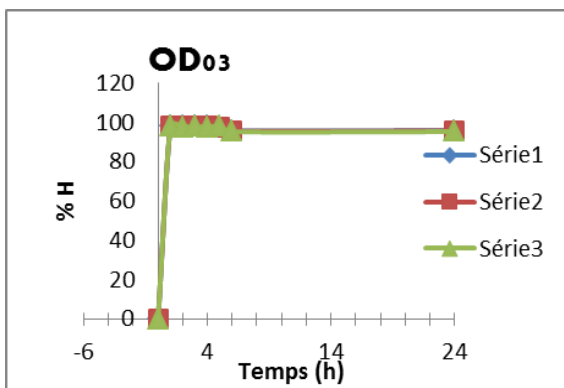
Méthode *t*-plot appliquée sur les échantillons d'Irghbel

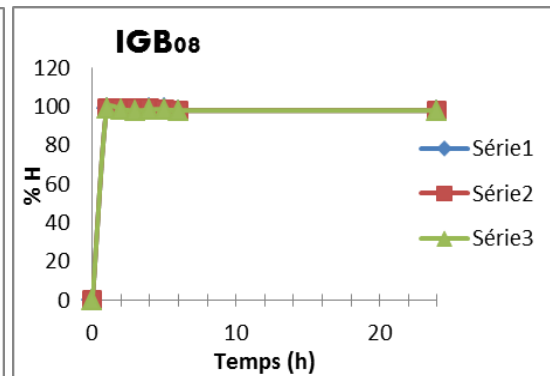
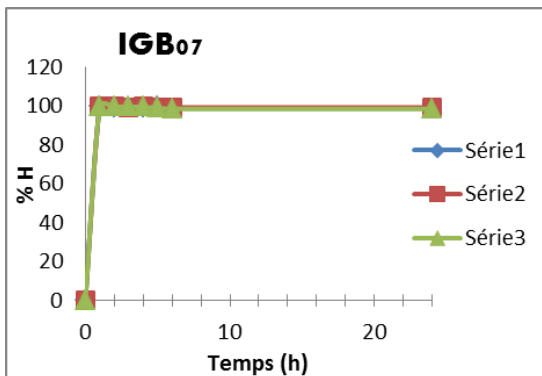
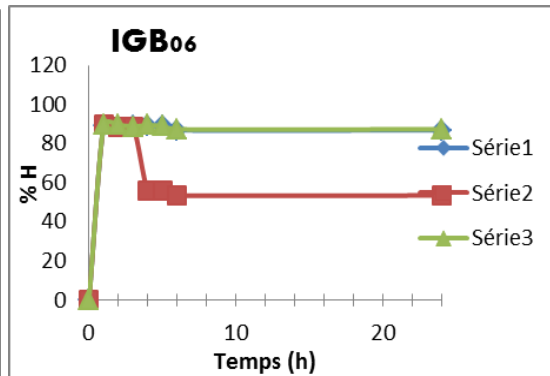
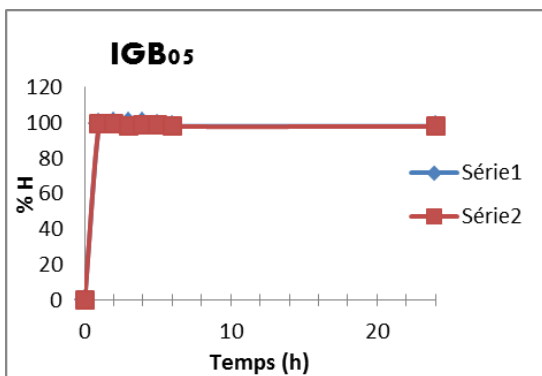
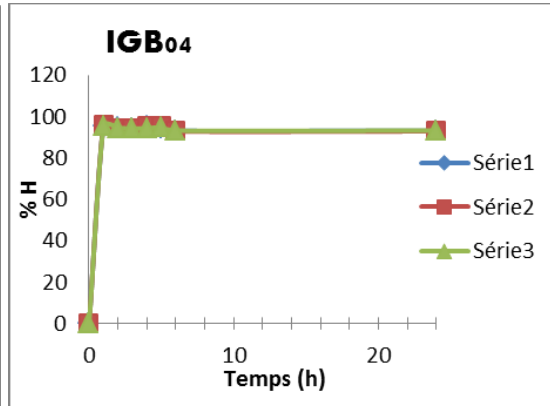
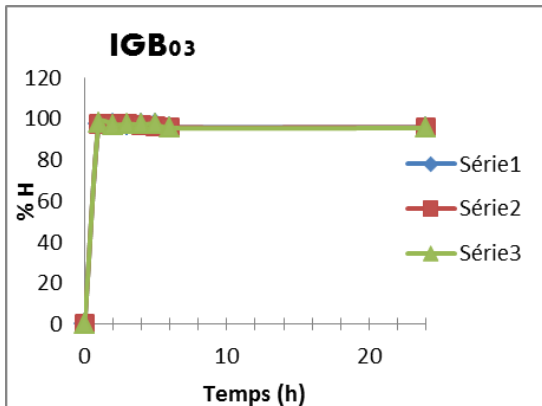
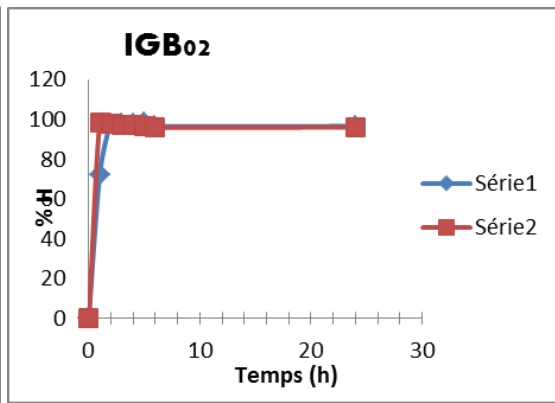
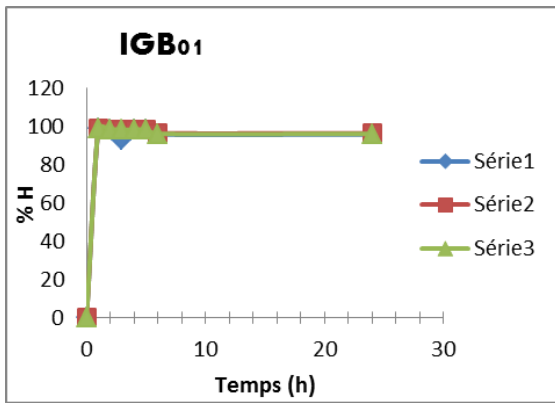


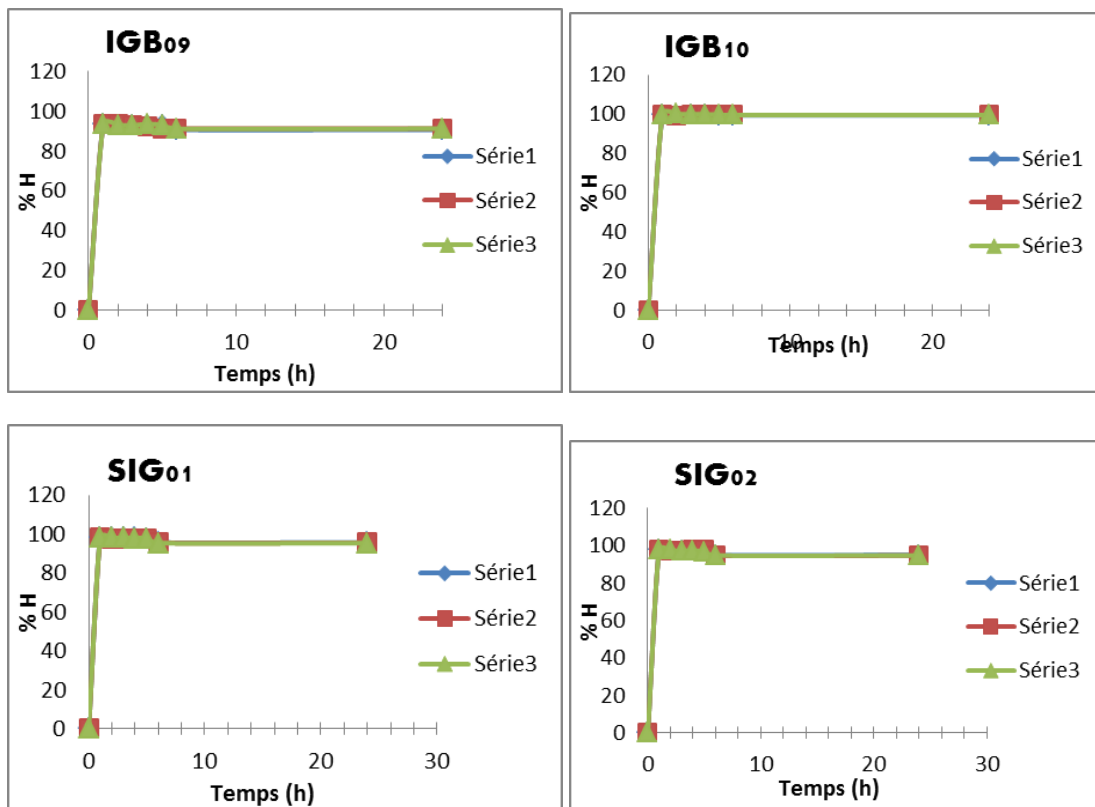


Annexe II

Pourcentage d'humidité par séchage à l'étuve

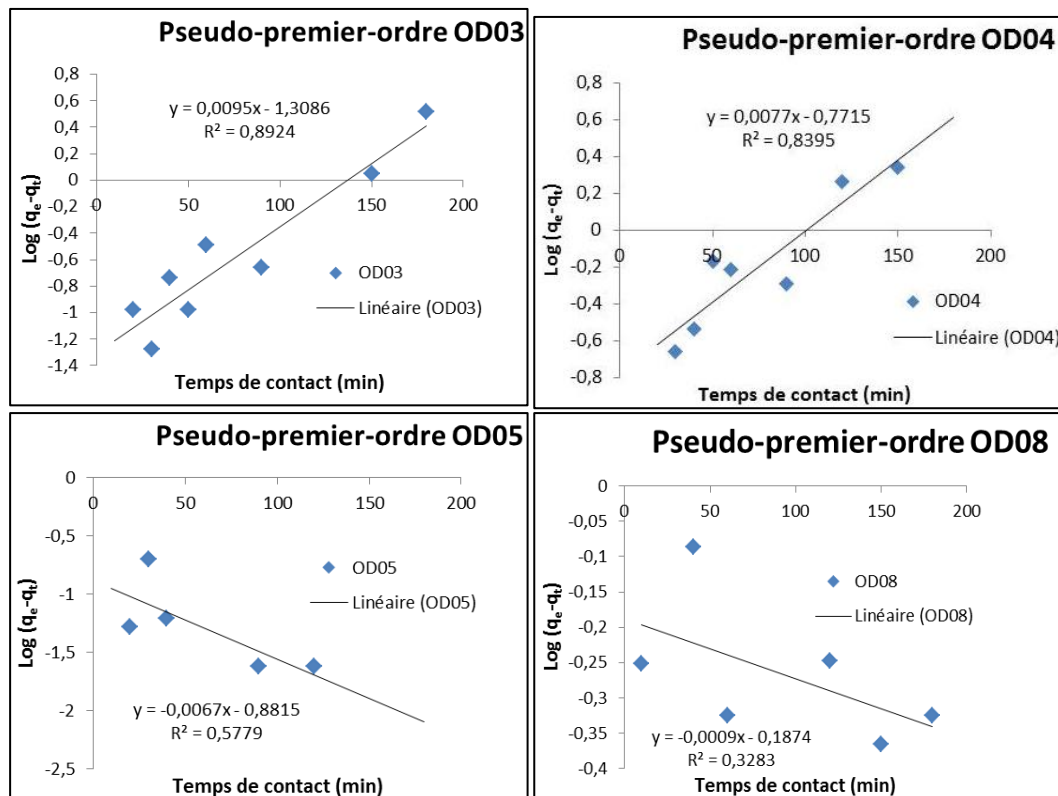


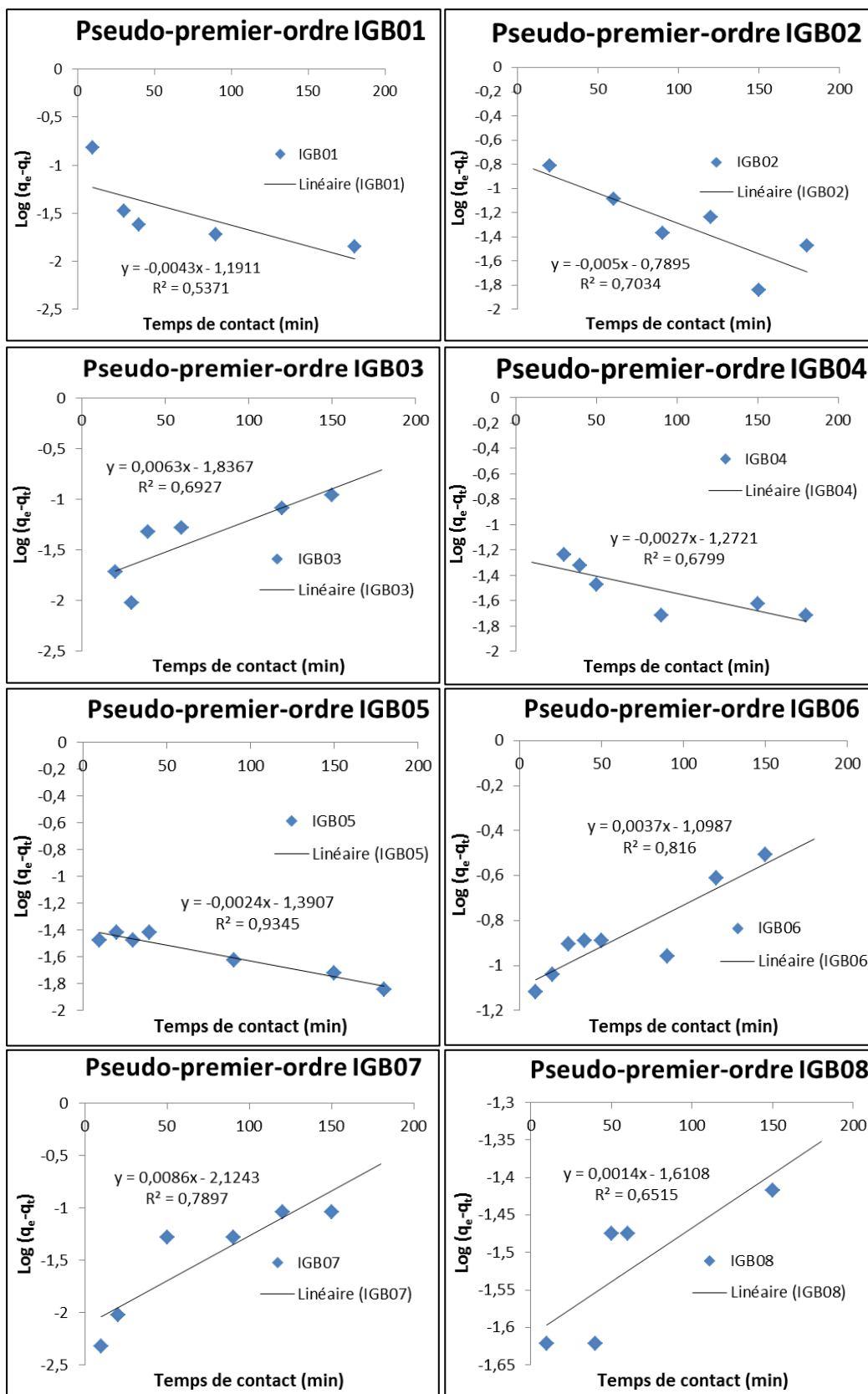




Annexe III

Modélisation linéaire de la cinétique - Pseudo-premier-ordre





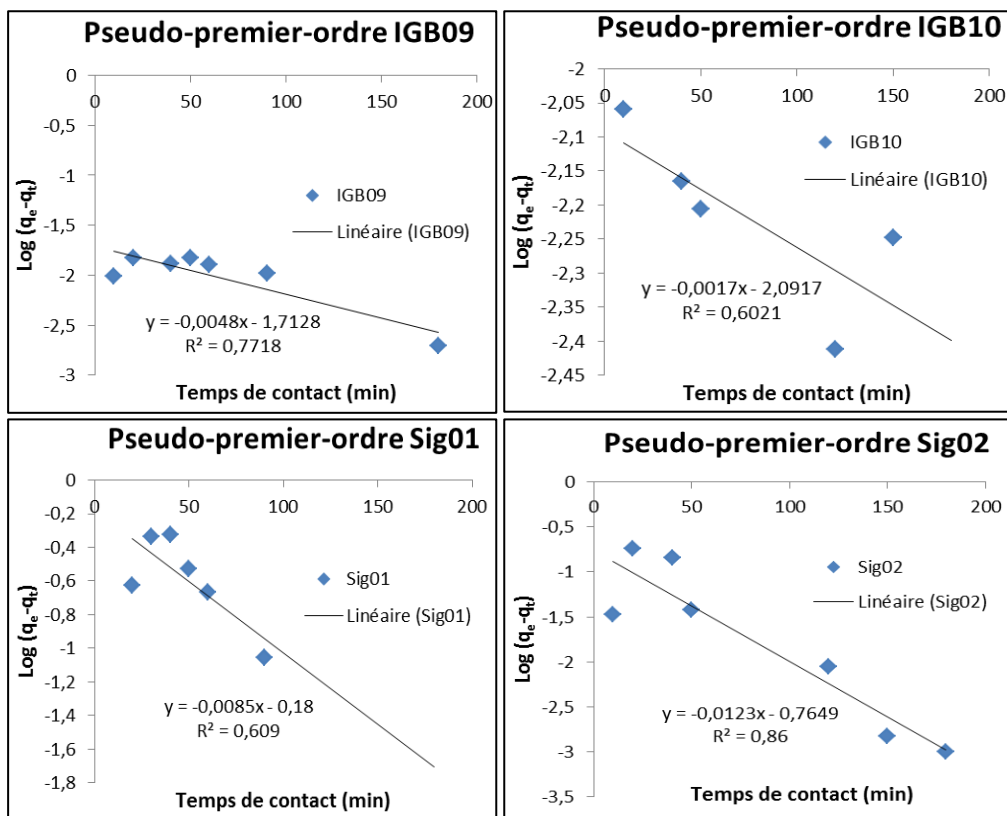
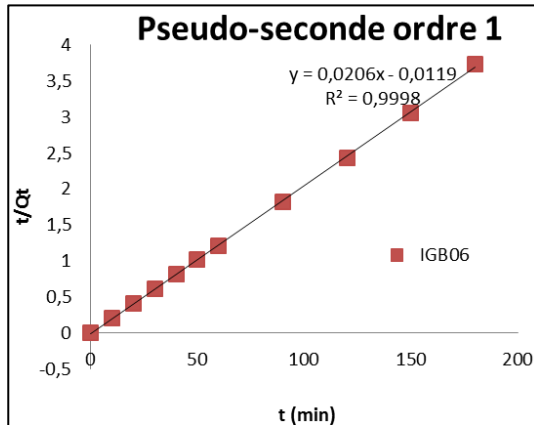
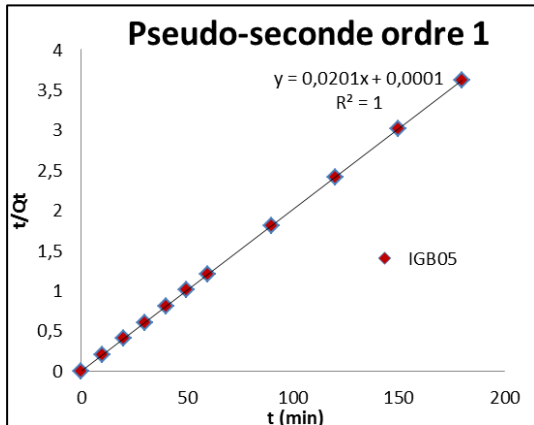
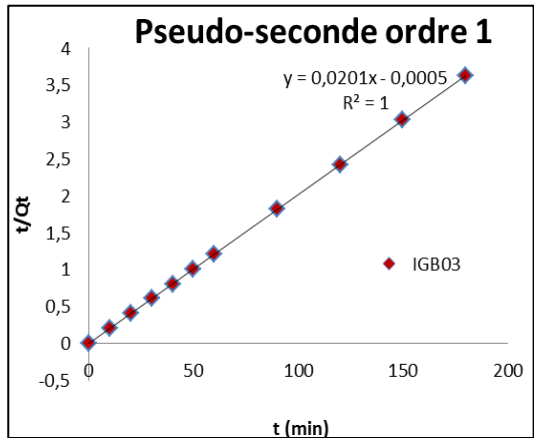
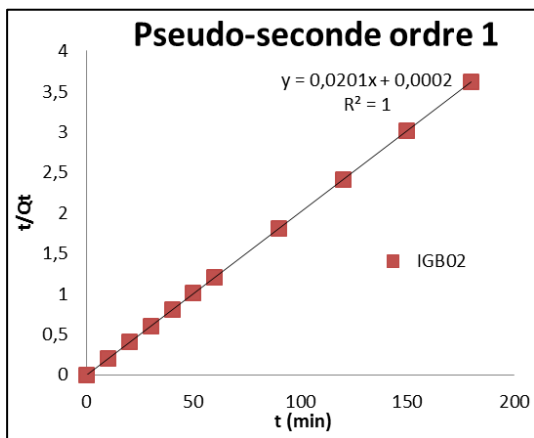
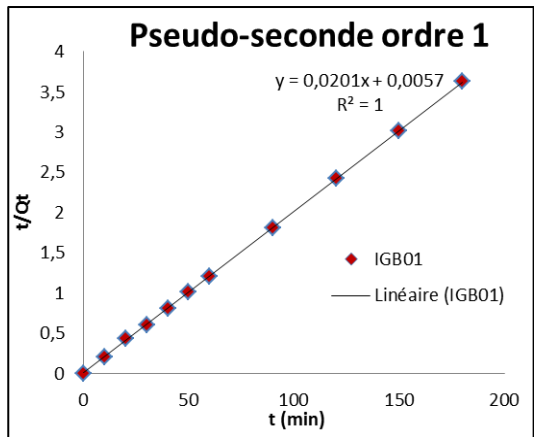
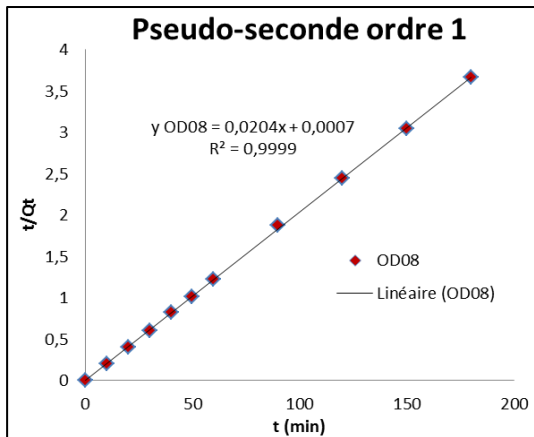
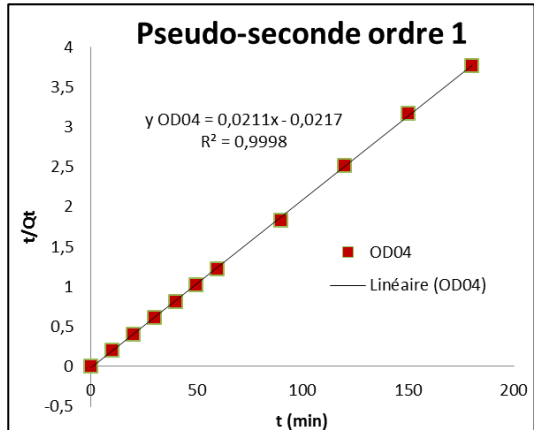
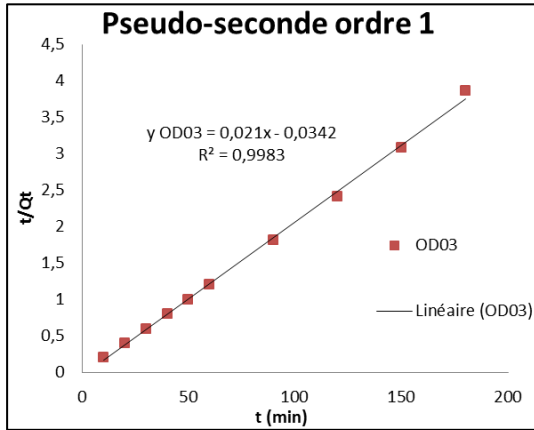
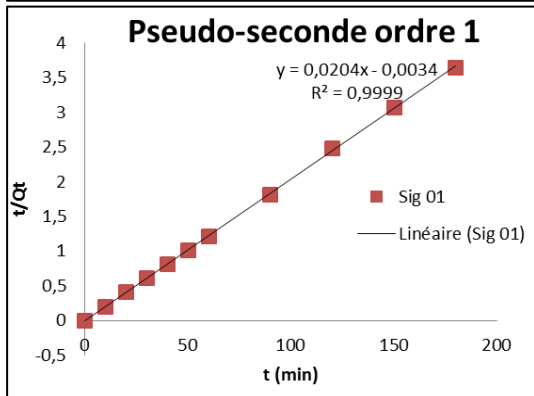
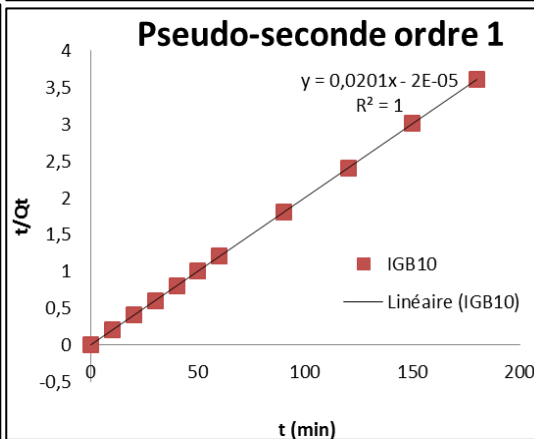
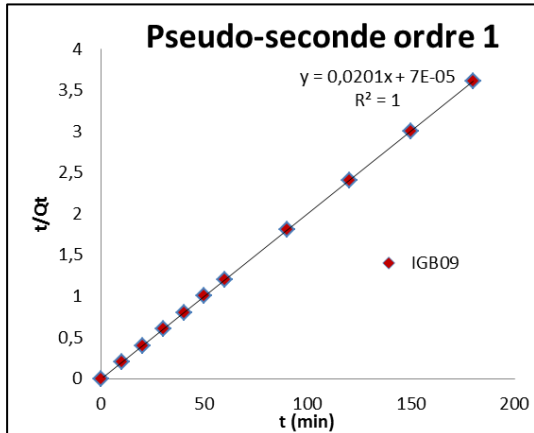
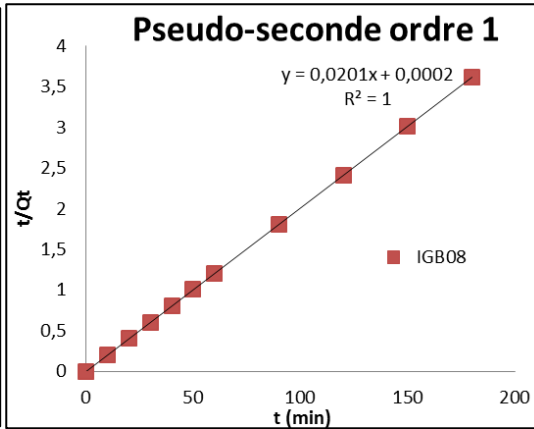
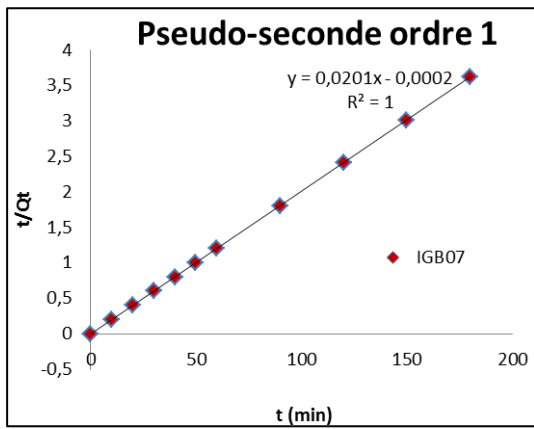


Tableau1 : paramètres du modèle du Pseudo premier ordre.

Modèle	Ech	Q _{e exp} (mg/g)	Capacité d'adsorption Q _e (mg/g)	k1 (mg/g.min)	R ²
Pseudo premier ordre	OD03	49,82	1,01	3,014	0,8924
	OD04	49,52	1,008	1,777	0,8395
	OD05	49,82	1,007	2,03	0,5779
	OD08	49,66	1,001	0,431	0,3283
	IGB01	49,67	1,004	2,743	0,5371
	IGB02	49,77	1,005	1,818	0,7034
	IGB03	49,76	1,006	4,23	0,6927
	IGB04	49,79	1,003	2,93	0,6799
	IGB05	49,69	1,002	3,203	0,9345
	IGB06	49,5	1,004	2,53	0,816
	IGB07	49,78	1,009	4,892	0,7897
	IGB08	49,78	1,001	3,71	0,6515
	IGB09	49,85	1,005	3,945	0,7718
	IGB10	49,84	1,002	4,817	0,6021
	Sig01	49,73	1,009	0,415	0,609
Sig02	49,85	1,012	1,762	0,86	

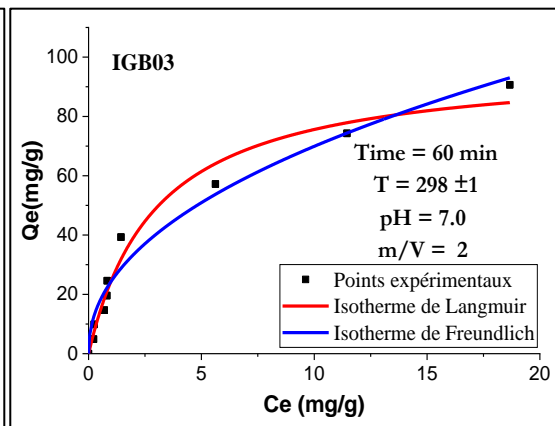
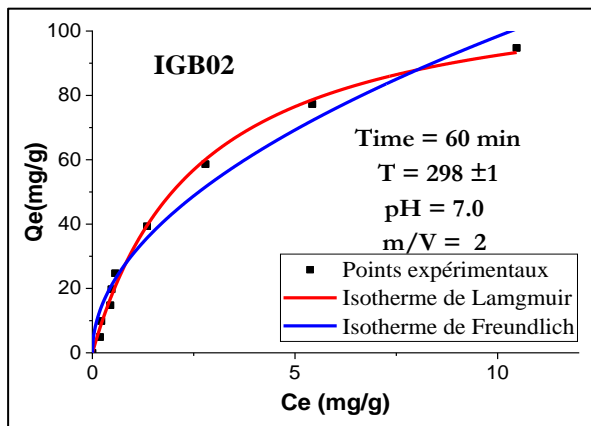
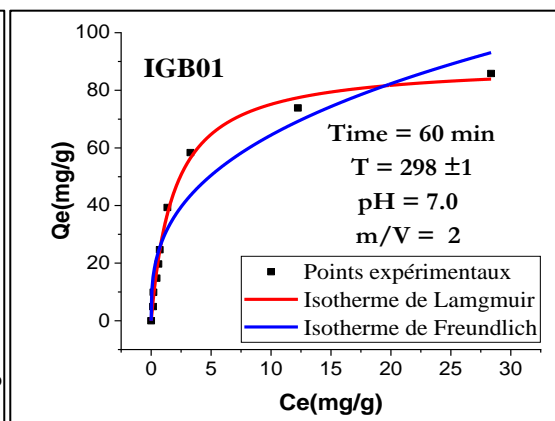
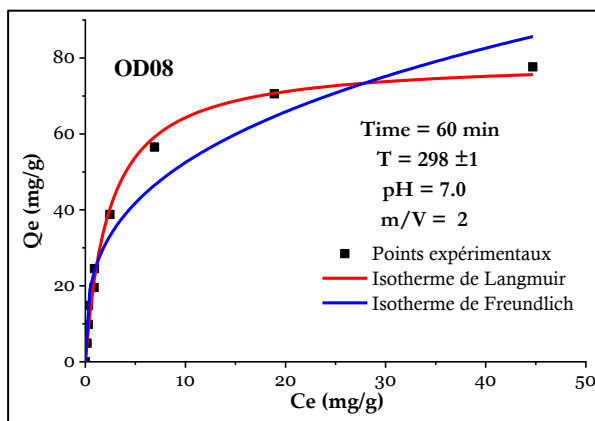
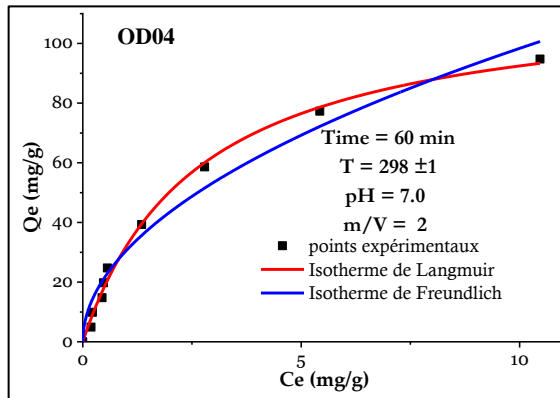
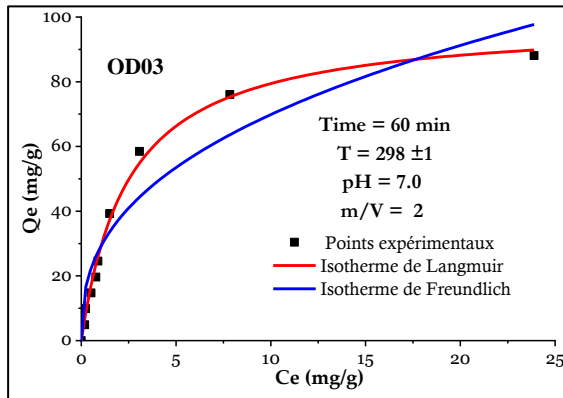
Pseudo-seconde-ordre

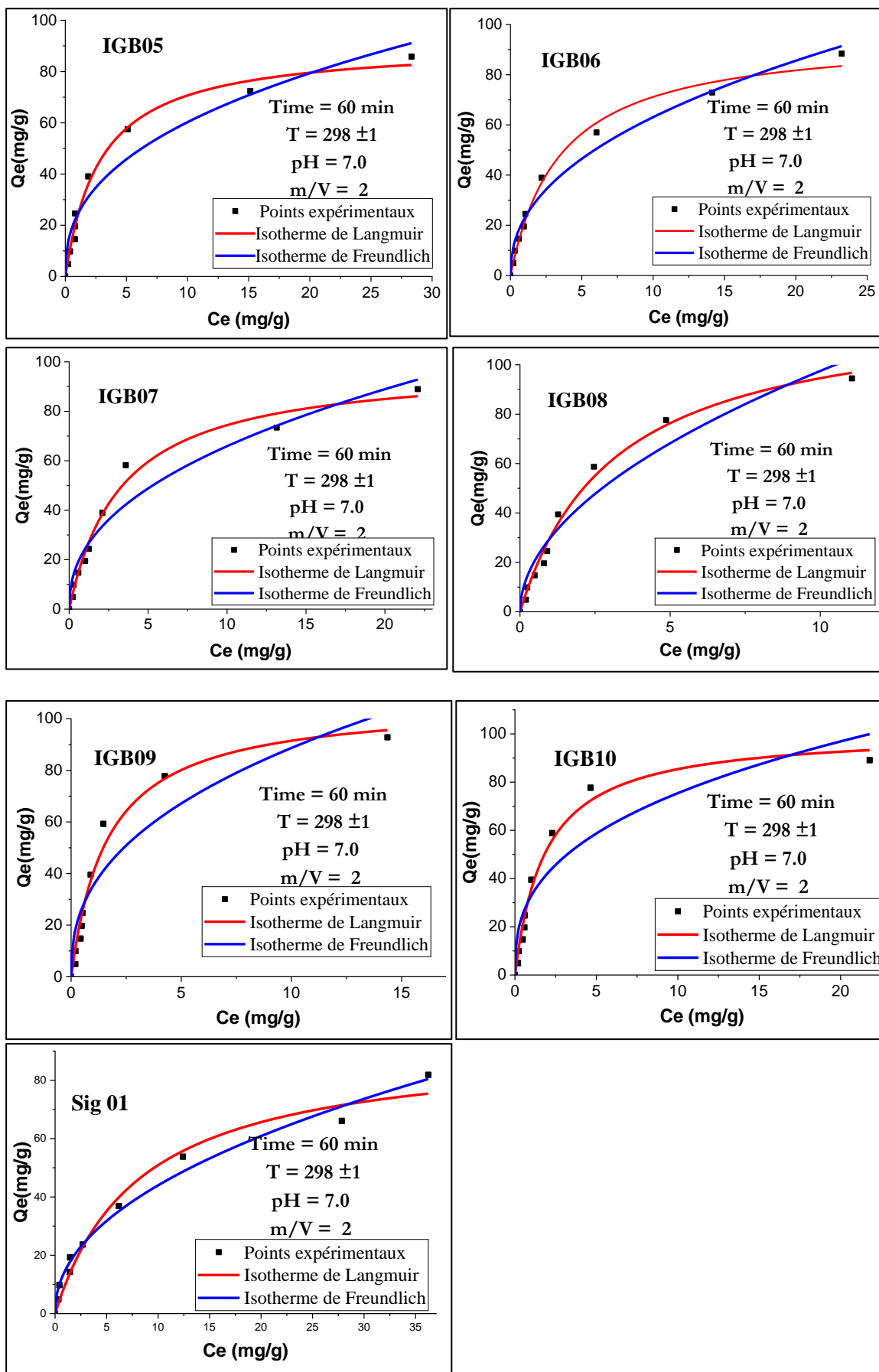




Annexe IV

Les isothermes d'adsorption





Annexe V : Inventaire microfloristique

I. Diatomées

I. 1. Les diatomées centriques

I. 1. 1. Classe : Coscinodiscophyceae

Sous classe: Biddulphiophycidae

– Ordre: Anaulales Round & R.M. Crawford (1990)

Famille: Anaulaceae Lemmerm. (1899)

Genre : *Anaulus*

Anaulus birostratus (Grunow) Grunow in Van Heurck, 1882

Ordre : Biddulphiales

Famille : Biddulphiaceae

Genre : *Biddulphia* gray, 1821

Biddulphia tuomeyi (Bailey) Roper 1959

Ordre: Triceratiales Round et Crawford

Famille: Triceratiaceae (Schut) Lemmerman 1899

Genre: *Triceratuim* Ehrenberg, 1841

Triceratuim sp.1 in Gardette D., 1979

Sous-classe : Coscinodiscophycidae Round et Crawford.

Ordre : Aulacoseirales Crawford.

Famille : Aulacoseiraceae Crawford.

Genre : *Aulacoseira* Thwaites, 1848

Aulacoseira granulata (Ehr) Simonsen, 1979

Ordre : Asterolamprales Round et Crawford.

Famille : Asterolampraceae HL Smith 1872.

Genre : *Asterolampra* Ehrenberg 1844.

Asterolampra acutiloba FORTI, 1913

Asterolampra marylandica Ehr. Schrader, 1973

Ordre : Coscinodiscales Round et Crawford.

Famille : Coscinodiscaceae Kützing 1844.

Genre : *Coscinodiscus* Ehrenberg emend. Rattray.

Coscinodiscus asteromphalus Ehr., 1844

Coscinodiscus curvatulus (Janisch) in Gardette, 1979
Coscinodiscus lineatus (Ehr) 1839
Coscinodiscus marginatus Ehr. 1841
Coscinodiscus nitidus Gregory, 1857
Coscinodiscus oculus-iridus (Ehr), in Mansour B., 2004
Coscinodiscus aff. radiatus (Ehr), in Mansour B., 2004
Coscinodiscus radiatus Ehr. 1841
Coscinodiscus plicatus Grunow in Gardette D., 1979
Coscinodiscus stellaris s.l. Roper, 1858
Coscinodiscus sp.1 in Gardette D., 1979
Coscinodiscus sp.2 in Gardette D., 1979
Coscinodiscus sp.3 in Gardette D., 1979

Famille : Helicopeltace HL SMITH, 1872

Genre: Actinoptychus Ehrenberg, 1839

Actinoptychus aff. minutus Greville, 1866
Actinoptychus senarius Ehr. 1843
Actinoptychus splendidus (Shadbolt) Ralfs in Pritchard 1961

Genre: Actinocyclus Ehr, 1837

Actinocyclus cubitus Hanna et Grant in Schrader H-J., 1973
Actinocyclus tenellus Brebisson Andrews G-W., 1976
Actinocyclus curvatulus Janisch, 1878 in Schmidt
Actinocyclus sp.2 in Whiting M-C et Schrader H., 1985

Genre: Azpeitia Peragallo (1912)

Azpeitia nodulifera (Schmidt A., 1878) Fryxell & Sims (1986)

Genre: Hemidiscus Wallich, 1860

Hemidiscus cuneiformis s.l Wallich, 1860

Ordre : Melosirales Crawford

Famille : Hyalodiscaceae Crawford

Genre : Hyalodiscus Ehrenberg 1845

Hyalodiscus radiatus (O'Meara) Grunow, 1880

Ordre : Paraliales Crawford.

Famille : Paraliaceae Crawford, 1988.

Genre : *Paralia* Heiberg, 1840.

Paralia sulcata (Ehr) Kützing, 1844

Sous-classe : Rhizosoleniophycidae Round et Crawford.

Ordre : Rhizosoleniales Silva 1962.

Famille : Rhizosoleniaceae De Toni 1890.

Genre : *Rhizosolenia* Ehrenberg emend. Brightwell, 1858.

Rhizosolenia hebatata Grun. 1904

Rhizosolenia bergonii in Schrader H-J., 1973

Sous-classe : Thalassiosirophyceidae Round et Crawford

Ordre : Thalassiosirales Gleser et Makarova 1986

Famille : Thalassiosiraceae Lebour 1930

Genre: *Thalassiosira* Cleve, 1873

Thalassiosira convexa Muchina, 1965

Thalassiosira eccentrica (Ehr) Cleve.

Thalassiosira oestrupii (Ostenfeld) Proschkina-Lavrenko (1956)

Thalassiosira hyalina (Grunow) Gran in Sancetta C., 1982

Thalassiosira paraeconvexa Burckle, 1972

Thalassiosira symboliphora Schrader H-J., 1974

Thalassiosira sancettae Akiba, 1985

Thalassiosira sp.1 in Gardette D., 1979

Thalassiosira sp.2 in Gardette D., 1979

I. 2. Les diatomées pennées

I. 2. 1. Classe : Bacillariophyceae Haeckel 1878 (Pennée Raphidé).

Sous classe: Bacillariophycidae D. G. Mann.

Ordre : Achnanthes Silva 1962.

Famille : Cocconeidaceae Kützing 1844.

Genre: *Cocconeis* Ehrenberg 1837.

Cocconeis pseudomarginata Gregory, 1857

Cocconeis scutellum s. l. Ehr. 1838

Ordre : Bacillariales Hendey 1937.

Famille : Bacillariceae Ehrenberg 1831.

Genre: *Nitzschia* HASSALL, 1845.

Nitzschia marina Grunow 1880

Nitzschia fossilis Freng in Kanaya

Nitzschia reinholdi Kanaya and Koizumi

Nitzschia maleinterpretaria Schrader H-J. 1976

Nitzschia fasciculata (Grunow) Grunow

Nitzschia sp. 1 in Gardette D., 1979

Ordre : Naviculales Bessey, 1907 sensu emend.

Famille : Diploneidinae D. G. Mann.

Genre: *Diploneis* Ehrenberg ex Cleve, 1804.

Diploneis bombus (Ehr) Cleve, 1894

Diploneis crabro Mansour et al., 1994

Sous-Ordre : Naviculineae Hendey, 1937.

Famille : Naviculaceae Kützing, 1844.

Genre: *Navicula* Bory de Saint-Vincent, 1822.

Navicula hennedyii W. Smith

Navicula spp. Section des fusiformis Cleve

Navicula spp. Section des lyratae in Gardette 1979

Sous-classe: Urneidophycidae L.K. Medlin, 2016.

Ordre: Rhabdonematales F.E. Round & R.M. Crawford.

Famille: Rhabdonemataceae F.E. Round & R.M. Crawford.

Genre: *Rhabdonema* F.T. Kützing, 1844.

Rhabdonema adriaticum Kützing, 1844

I. 2. 1. Classe : Fragillariophyceae (Pennée Araphidé).

Sous classe : Fragillariophycidae Round.

Ordre : Fragillariales Silva, 1962 sensu emend.

Famille : *Fragillariaceae* Greville, 1833.

Genre: *Synedra* Ehrenberg, 1830.

Synedra fulgens (Greville) W. Smith (1856)

Synedra tabulata (Agardt) Kützing (1844)

Synedra sp. 1 Gardette D., 1979

Famille : Plagiogrammaceae De Toni, 1890.

Genre: *Dimerogramma* Ralfs in Pritchard, 1861.

Dimerogramma distans (Greg.) Ralfs in Pritchard

Dimerogramma marinum (Gregory) Ralfs in Pritchard

Ordre: Rhaphoneidales Round.

Famille : Rhaphoneidaceae D. G. Mann.

Genre: *Rhaphoneis* Ehrenberg, 1844.

Rhaphoneis ampiceros Ehr., 1844

Rhaphoneis nitida (Gregory) Grunow, 1867

Ordre: Striatellales Round.

Famille : Striatellaceae Kützing, 1844.

Genre: *Grammatophora* Ehrenberg, 1839.

Grammatophora marina (Lyngbye)Kützing

Grammatophora undulata (Ehr), 1840

Grammatophora angulosa (Ehr), 1841

Ordre: Thalassionematales Round.

Famille : Thalassionemaceae Round.

Genre: *Thalassionema* Grunow ex Mereschkowsky, 1902.

Thalassionema nitzschioides (Grunow) Husted, 1932

Genre: *Thalassiothrix* Cleve et Grunow, 1880.

Thalassiothrix longissima Cleve et Grunow, 1880.

I. 3. Silicoflagellés

Dictyocha ausonia Deflandre, 1941

Dictyocha fibula s. l. Ehr. 1954

Distephanus crux (Ehr.), Haekel, 1899

Distephanus speculum s.l. Ehr., 1854

Mesocena circulus Ehr., 1840

Mesocena elliptica Ehr.

Schroedrella delicatula (Peragallo H.)Pavillard, 1913

Annexe VI

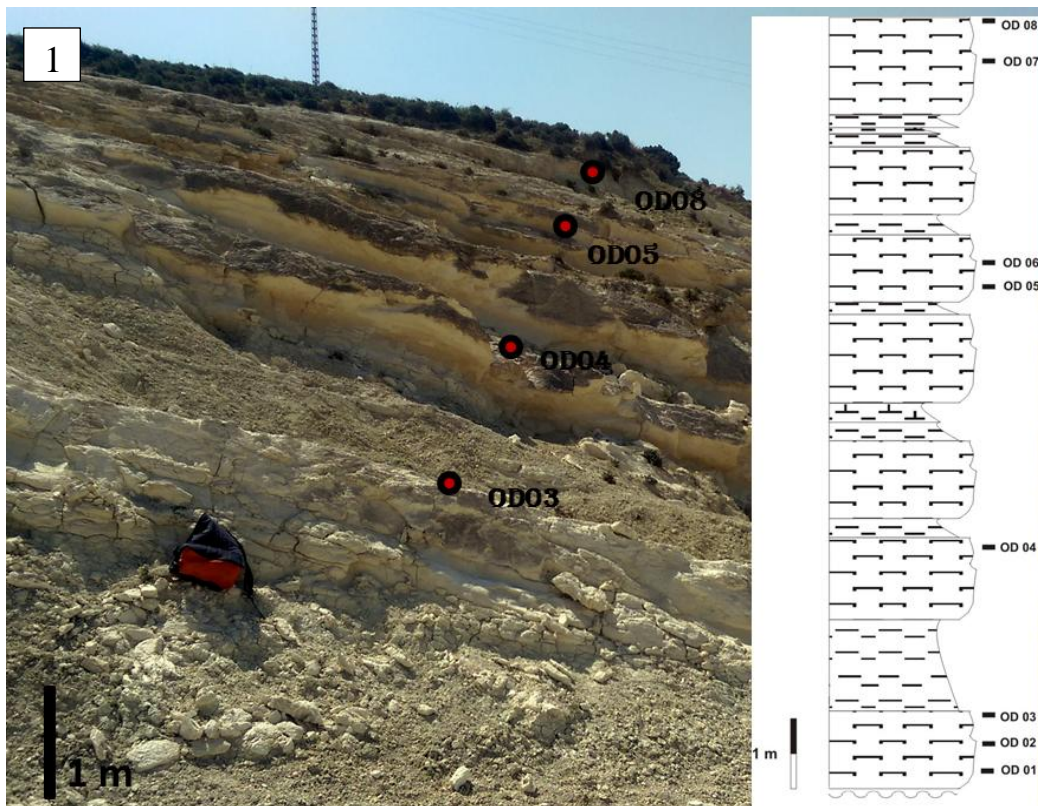
Tableau des assemblages

Ech,	Dominances des espèces (%)				Assemblages
	Les espèces dominantes		Les espèces sous-dominantes		
OD01	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	27,8	<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	13,2	A
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	18,4	<i>Actinoptychus senarius</i>	8,8	
OD02	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	25,2	<i>Coscinodiscus curvatulus</i>	8,4	B
	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	20,2			
	<i>Actinoptychus senarius</i>	20			
OD03	<i>Actinoptychus senarius</i>	46,4	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	13,4	C
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	24			
OD04	<i>Actinoptychus senarius</i>	26	<i>Thalassiothrix longissima</i>	6,8	D
	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	25,4			
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	21,8			
OD05	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	27,6	<i>Thalassiosira eccentrica</i>	12	E
			<i>Thalassionema nitzschioides</i>	10,2	
OD06	<i>Actinoptychus senarius</i>	27	<i>Coscinodiscus curvatulus</i>	8,2	D
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	15,6			
	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	14,4			
OD07	<i>Actinoptychus senarius</i>	44,4	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	12	F
OD08		37,6			
IGB01	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	24,4	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	12,2	C
	<i>Actinoptychus senarius</i>	18,6			
IGB02	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	48,8	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	6,4	G
	<i>Actinoptychus senarius</i>	10			
IGB03	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	23,6	<i>Thalassiothrix longissima</i>	10,8	H
			<i>Thalassiosira eccentrica</i>	10,4	
			<i>Actinoptychus senarius</i>	9,8	
			<i>Coscinodiscus curvatulus</i>	8,8	

IGB04	<i>Distephanus speculum</i>	30,8	<i>Dictyocha fibula</i>	14,2	I
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	21,8			
IGB05	<i>Coscinodiscus marginatus</i>			58,8	A
	<i>Thalassionema nitzschioides</i>			12,2	
IGB06	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	40	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	8,8	G
	<i>Actinoptychus senarius</i>	34,6			
IGB07	<i>Actinoptychus senarius</i>	41	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	20,4	J
	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	21,6			
IGB08	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	32,4	<i>Actinoptychus senarius</i>	20,2	K
	<i>Thalassiossira eccentrica</i>	22,4			
IGB09	<i>Actinoptychus senarius</i>	25,2	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	14,4	L
	<i>Thalassiothrix longissima</i>	22	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	13,2	
IGB10	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	24,6	<i>Thalassiossira eccentrica</i>	10,4	C
	<i>Actinoptychus senarius</i>	11			
SIG 01	<i>Coscinodiscus curvatulus</i>	24,4	<i>Coscinodiscus lineatus</i>	15,4	M
	<i>Distephanus speculum</i>	16,8	<i>Thalassiossira eccentrica</i>	14,8	
SIG 02	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	16	<i>Coscinodiscus lineatus</i>	11,4	H
	<i>Thalassiossira eccentrica</i>	12,6	<i>Thalassiothrix longissima</i>	11	

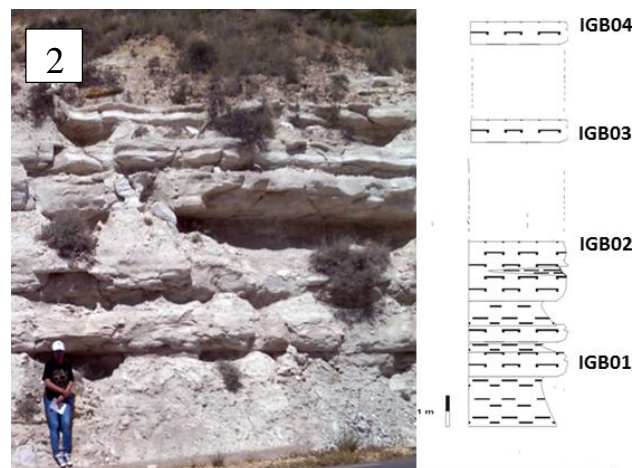
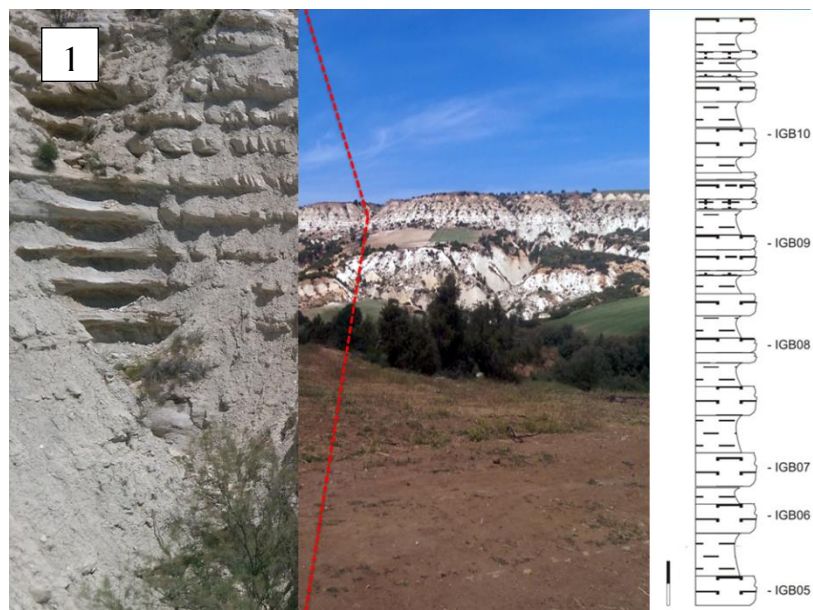
PLANCHES

PLANCHE I



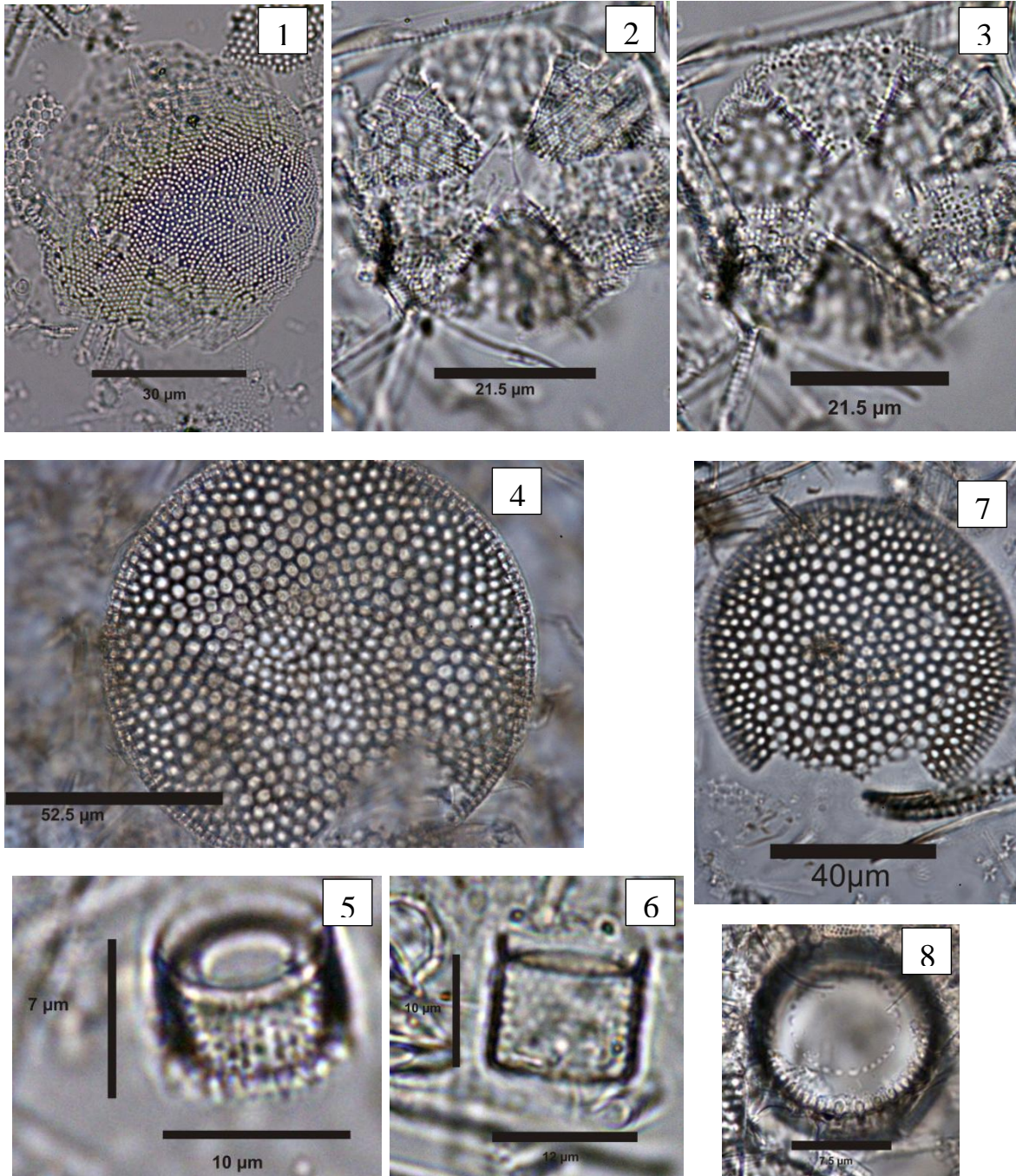
1- 2 : Site d'échantillonnage Ouled Djilali. 3 : Site d'échantillonnage Sig

PLANCHE II



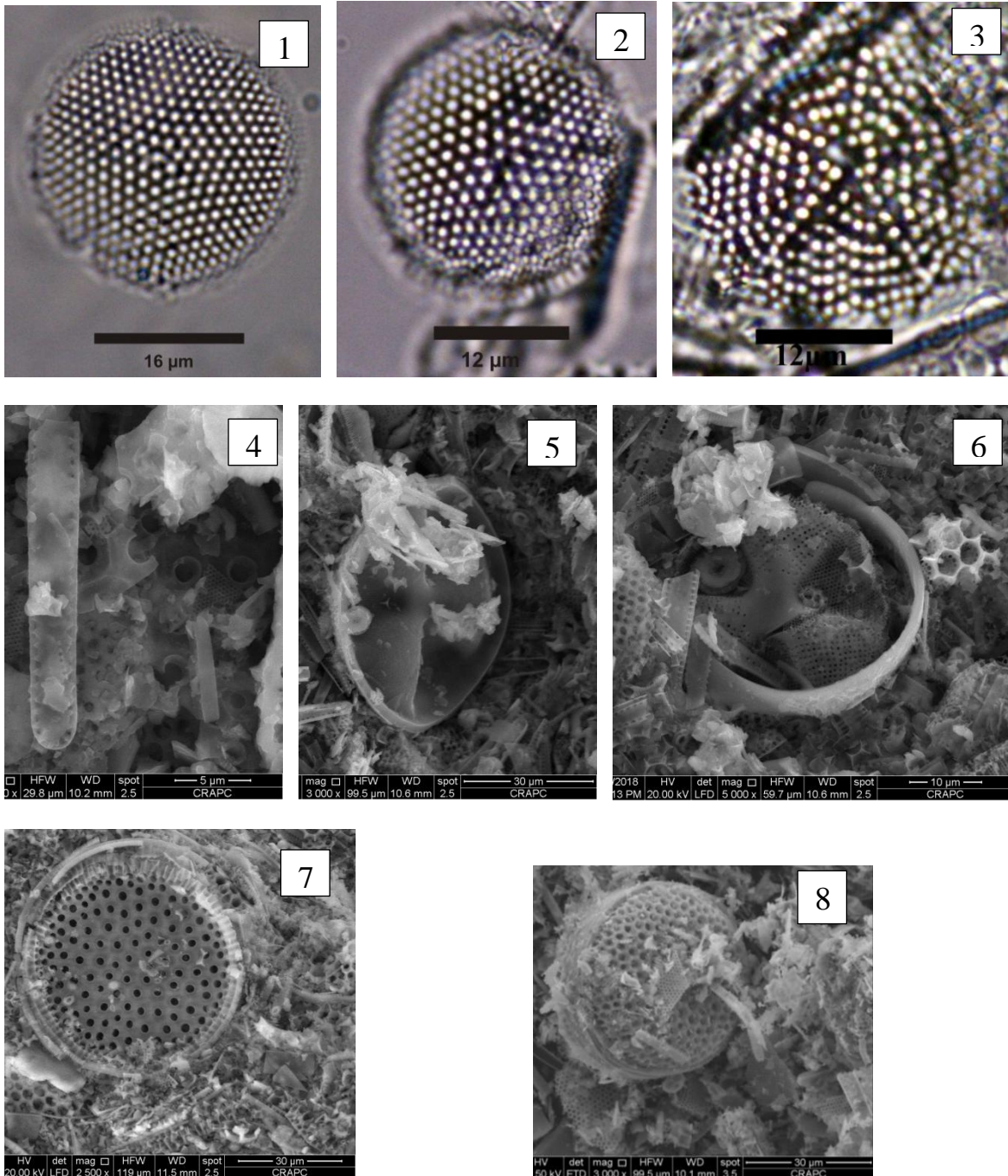
1 - 2 : Site d'échantillonnage d'IGHBEL. **3** : Traces fossiles (Zoophycho) observé sur la diatomite d'IGHBEL (IGB09).

PLANCHE III



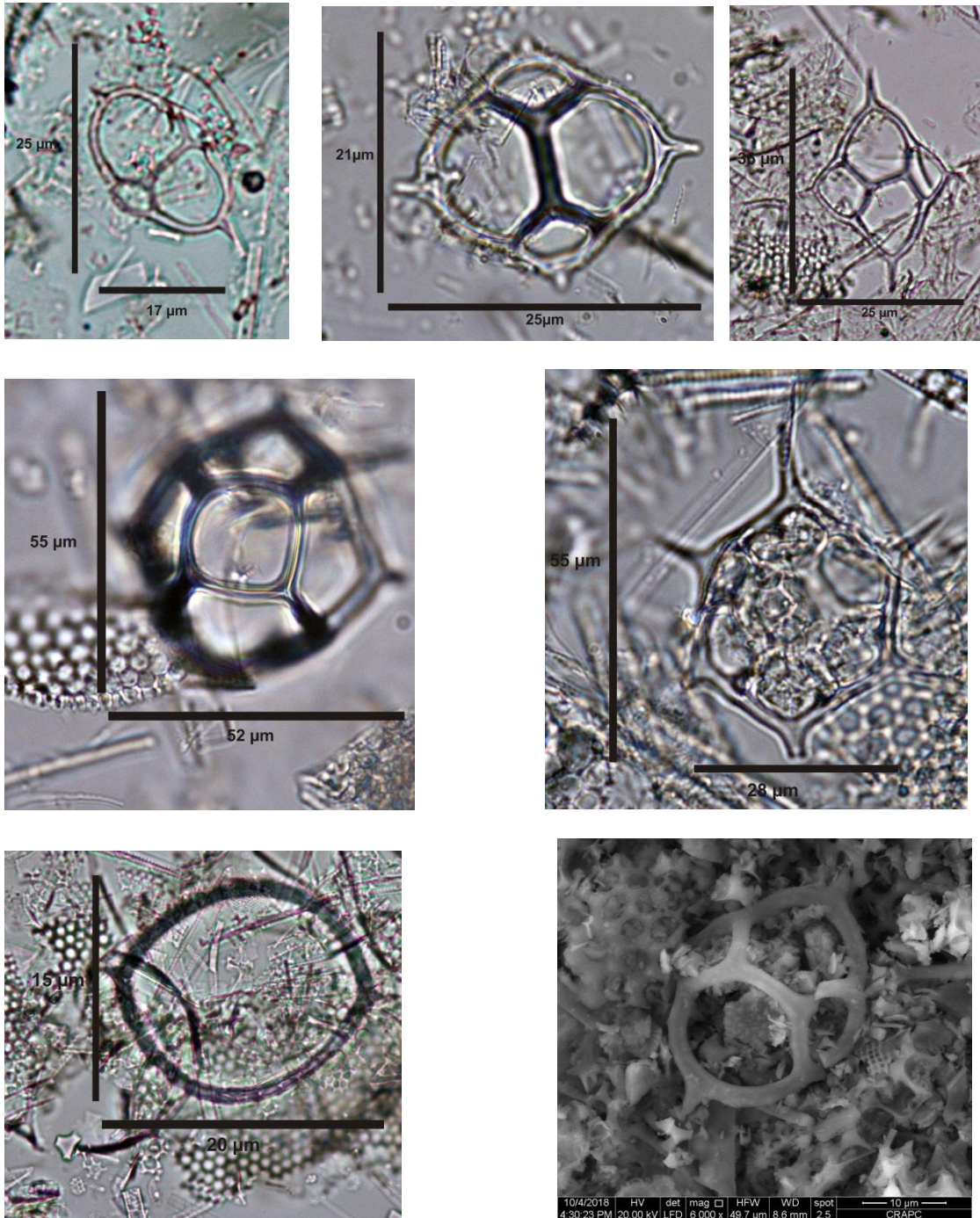
1: *Actinocyclus octonarius* Ehr (1837). 2-3: *Actinoptychus senarius* Ehr ,1843. 4-7 : *Coscinodiscus aff. radiatus* (Ehr). 5-6 : *Aulacoseira granulata* (Ehr) Simonsen, 1979 (vue connective). 8 : *Paralia sulcata* (Ehr) kützing, 1844.

PLANCHE IV



1-2: *Thalassiosira eccentrica* (Ehr) Cleve, 1903. **3:** *Actinocyclus tenellus* Brebisson G-W. Andrews, 1976. **4:** *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Husted, 1932. **5-6:** *Actinoptychus senarius* (Ehr) 1843. **7-8:** *Thalassiosira* sp.1 in Gardette D., 1979.

PLANCHE V



1 : *Dictyocha ausonia* Deflandre, 1941. **2-3. 7 :** *Dictyocha fibula* s. l. (Ehr) 1954. **4 :** *Distephanus crux* (Ehr), Haekel, 1899. **5 :** *Distephanus speculum* s.l. (Ehr)1854. **6 :** *Mesocena elliptica* (Ehr).

Glossaire

Abrasif : les abrasifs ou médias abrasifs sont des ingrédients de la tribofinition. Ils sont souvent à base céramique ou polyester. Est une matière extrêmement dure, qui use d'autres matériaux plus tendres que cette matière.

Catalyseur : un catalyseur est une substance qui augmente la vitesse d'une réaction chimique ; il participe à la réaction mais il ne fait partie ni des produits, ni des réactifs et n'apparaît donc pas dans l'équation-bilan de cette réaction.

Les édulcorants : les édulcorants sont basses calories permettant d'obtenir une saveur sucrée avec de très faibles quantités. Leur apport calorique est négligeable.

Phonon : en physique de la matière condensée, un phonon désigne un quantum d'énergie de vibration dans un solide cristallin : lorsqu'un mode de vibration du cristal cède ou gagne de l'énergie, il ne peut le faire que par paquets d'énergie. Ce paquet est considéré comme une quasi-particule, à savoir une particule fictive appelée phonon.

Meule : cylindre plat et massif, servant à broyer, à moudre. Meules de moulin.

Banc géologique : couche géologique sédimentaire généralement étendue et d'épaisseur réduite.

Concellophycus : traces fossiles des mouvements des organismes benthiques sur le fond.

Structure Laminite : marnes diatomitiques renfermant des galets mous aplatis de diatomites lenticulaires qui évolue en lamines (Rouchy J-M., 1982 ; Mansour B. *et al.*, 1995).

Stauros : une interruption des stries au centre de la valve, qui se traduit par une area centrale formant une croix avec l'area longitudinale.

DOCUMENT
CREATED
WITH



PDF
COMBINER

PDF Combiner is a free application that you can use to combine multiple PDF documents into one.

Three simple steps are needed to merge several PDF documents. First, we must add files to the program. This can be done using the Add files button or by dragging files to the list via the Drag and Drop mechanism. Then you need to adjust the order of files if list order is not suitable. The last step is joining files. To do this, click button Combine PDFs.

Main features:

secure PDF merging - everything is done on your computer and documents are not sent anywhere

simplicity - you need to follow three steps to merge documents

possibility to rearrange document - change the order of merged documents and page selection

reliability - application is not modifying a content of merged documents.

Visit the homepage to download the application:

www.jankowskimichal.pl/pdf-combiner