

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Université Abderrahmane Mira Bejaia
Faculté des sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement

Mémoire de fin de cycle

*En Vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Ecologie et
Environnement*

Option : Pathologie des écosystèmes

Thème

*Caractérisation granulométrique, minéralogique et
géochimique des sédiments estuariens de l'oued*

Soummam

Présenté par :

M^r: DAHDOUH Amine

M^r: BOUSSEKINE Rahim

Membres du Jury :

Président : M^r SIDI H

Promoteur : M^r MADANI K

CO-Promotrice : M^{me} ALLILI C

Examineur : M^r LAIMOUCHE A

M^{me} OULEBSIR-KASSAMA F

Promotion 2011/2012

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier le bon dieu tout puissant qui nous a accordé santé et courage pour mener ce travail jusqu'à son bout.

Nous tenons à remercier également notre promoteur M^r MADANI K et Co-promotrice M^{eme} ALLILI C qui ont accepté de nous encadrer.

Nous remercions M^r HASSISSENE pour ses conseils et son soutien.

Nous remercions M^r SIDI H et M^r LAIMOUCHE et M^{eme} OULEBSIR-KASSAMA F qui ont accepté de juger notre travail.

Nous remercions tous les techniciens et tous les enseignants qui nous ont aidé de près ou du loin.

Merci

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail a mes très, très chers parents, source d'amour et d'affection : mon père et ma très chère mère, qui m'ont encouragé et soutenu tout au long, du parcours de mes études

A Mes chers frères : Nadjib, Fateh

A tous mes amies

Mon copain de la chambre I213: Oualid

Rahim et toute sa famille

*Je n'oublierai pas la promo 5^{ème} année écologie et environnement
promotion 2012.*

Tout simplement, a tous ceux que J'aime et qui m'aiment

AMINE

DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes très, très chers parents, source d'amour
et d'affection, qui m'ont encouragé et soutenu tout au long du parcours
de mes études*

Mes frères : Rabia et Omar

Ma Sœur : Fatima

Mes copains de la chambre J201: Nassim, Kader, Idir

La promo 5ème année écologie et environnement promotion 2012

Tous mes amis

Tous ce qui me connaît de près ou de loin.

Amine et toute sa famille

Rahim

Sommaire

Liste des abréviations.....	1
Liste des figures.....	2
Liste des tableaux.....	4
Liste des photos.....	5
Introduction générale.....	6

CHAPITRE I

Généralité sur les sédiments et les argiles

I.1 Les sédiments	7
I.1.1. Introduction.....	7
I.1.2. Origine des sédiments.....	7
I.1.2.1. Origine naturelle	7
I.1.2.2. Origine anthropique	7
I.1.3. Composition minérale des sédiments.....	8
I.1.4. Composition physique des sédiments.....	8
I.1.5. Caractérisation géochimique des sédiments.....	9
I.1.6. Classification des sédiments	10
I.1.7. Conclusion.....	10
I.2. Les argiles.....	11
I.2.1. Introduction.....	11
I.2.2. Origines des minéraux argileux.....	11
I.2.3. Classification des argiles.....	12
I.2.3.1. Groupes des kaolinites à structure 1/1.....	12
I.2.3.2. Groupes des phyllosilicates à structure 2/1.....	13

I.2.3.2.1. Minéraux à espacement basal stable.....	13
I.2.3.2.2. Minéraux à espacement basal variable.....	14
I.2.3.3. Groupes des phyllosilicates à structure 2/1/1.....	15
I.2.3.4. Minéraux interstratifiés.....	15
I.2.4. Conclusion.....	15

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1 La situation géographique.....	17
II.2 Le climat général.....	18
II.3 Le relief	19
II.4 La géomorphologie	20
II.5 La géologie	20
II.6 Pédologie	22
II.7 Principaux types de sols	23

Chapitre III

Matériel et méthodes

III.1. Echantillonnage.....	25
III.1.1. Sites d'étude.....	25
III.1.2 Fréquence de prélèvement des échantillons	26
III.1.3 Mode de prélèvement des échantillons.....	27

III.2 Analyse physique	27
III.2.1 Analyse granulométrique.....	27
III.2.2 Méthode de Préparation des échantillons pour étude minéralogique.....	29
III.3 Méthodes pour étude structurale des minéraux argileux.....	29
III.3.1 Diffraction des rayons X.....	29
III.3.2 Traitement des argiles.....	31
III.4 Observation morphoscopique et microscopie électronique à balayage.....	31
III.4.1 Observation morphoscopique.....	31
III.4.2 Microscopie électronique à balayage (MEB)	32
III .5 Analyses géochimique.....	32
III .5.1 Détermination de l'humidité totale.....	32
III .5.2 Détermination du pH.....	34
III .5.3 Détermination de la conductivité électrique.....	34
III .5.4 Détermination de la matière organique totale.....	35
III .5.5 Détermination du calcaire total.....	35

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV .1 Caractérisation granulométrique des sédiments.....	37
IV .2 Caractérisation minéralogique des sédiments.....	39
IV.3 Caractérisation morphoscopiques et microscopie à balayage (MEB)	42
IV.3.1 Observation morphoscopie (loupe binoculaire)	42
IV.3.2 Observation microscopie à balayage MEB.....	43

IV.4 Caractérisation géochimique des sédiments.....	46
IV.4.1 pH et les teneurs en CaCO_3 des sédiments.....	47
IV.4.1.1 pH des sédiments.....	47
IV.4.1.2 Teneurs en CaCO_3	48
IV.4.2 La conductivité électrique.....	50
IV.4.1.3 La matière organique.....	51
IV.4.1.4 L'humidité totale.....	52
IV.5 Analyse statistique.....	54
IV.5.1 Test χ^2	54
IV.5.2 Test de corrélation.....	54
Conclusion générale.....	56

Références bibliographiques.

Annexes.

Glossaire.

.

Liste des abréviations

Abréviation et symbole	Signification
%	Pourcentage
µm	Micromètre
°C	Degré Celsius
mm	Millimètre
cm	Centimètre
m/g	Mètre par gramme
Å	Angström
ms/cm	Milli siemens par centimètre
DRX	Diffraction aux rayons x
Km	kilomètre
Km ²	Kilomètre carré
m ³ /s	Mètre cube par seconde
m	Mètre
mm/an	Millimètre par ans
‰	Pour-mille
ml	Millilitre
pH	Potentiel d'hydrogène
E	Echantillon
CE	Conductivité électrique
>	Supérieur
<	Inférieur
µ	Micron
g	Gramme
MEB	Microscope électronique à balayage
SF	Sable fin
SG	Sable grossier
SE	Saison d'été
H ₄₀	Humidité à 40°C
Hr	Humidité résiduelle
Moy Ref	La moyenne des refus
Ecar	Ecart-type
Moy	Moyenne
Ht	l'humidité totale
CaCO ₃	carbonate de calcium
MO	matière organique
CEC	Capacité d'échange cationique
SAA	Spectro-absorption atomique
3BS	Biochimie, Biophysique, Biomathématiques et Scientométrie
T/O	Tétraédrique/Octaédrique

Liste des figures

Figure II.1 : Bassin versant de la Soummam (<i>MAANE et al, 2008</i>).	18
Figure II.2 : Etage bioclimatique de Bassin Versant de la Soummam (Benhamiche, 1997)..	19
Figure II.3 : Esquisse géologique de la vallée de la Soummam (M. Hassissene, 2000).	21
Figure III.1 : Localisation du site d'étude (<i>Google Earth, 2006</i>).	25
Figure III.2 : Photographie du site d'étude au dessous du pont de Bougie.	26
Figure III.3 : Principe de la diffraction et illustration de la loi de Bragg (Eslinger et peaver, 1988).	30
Figure IV .1 : Les moyennes saisonnières des refus des sédiments étudiés.	37
Figure IV .2 : Les moyennes des différentes fractions granulométriques sédiments étudié...38	
Figure IV.3 : Diagramme de DRX des sédiments fins (E1 et E3).....	40
Figure IV.4 : Diagramme de DRX des dépôts orientés de la fraction < 2 μ m (E1 et E3).	41
Figure IV.5 : Description pétrographique du sable fin étudié (G : 2 x 10).	42
Figure IV.6 : Description pétrographique de trois grains de sable fin (G : 4,5x 10).	43
Figure IV.7 : Description pétrographique du sable grossier étudié (G : 2 x 10).	43
Figure IV.8 : Photographies au MEB du Sable fin de la saison d'été.	44
Figure IV.9 : Photographies au MEB de Sable grossier de la saison d'été.	45
Figure IV.10 : Les valeurs du pH des sédiments étudiés.	47
Figure IV.11 : Les valeurs saisonnières d'écart-type du pH des sédiments.	48
Figure IV.12 : Les valeurs du CaCO ₃ % des sédiments étudiés.	49
Figure IV.13 : Les valeurs saisonnières d'écart-type de CaCO ₃ % des sédiments étudiés.	49
Figure IV.14 : Les valeurs de la conductivité électrique des sédiments étudiés.	50
Figure IV.15 : Les valeurs saisonnières de l'écart-type de la CE des sédiments étudiés.	50

Figure IV.16 : Les valeurs de MO% des sédiments étudiés. 51

Figure IV.17 : Les valeurs saisonnières d'écart-type de la MO% des sédiments étudiés. 51

Figure IV.18: Les valeurs de l'humidité totale des sédiments étudiés..... 52

Figure IV.19: Les valeurs saisonnières d'écart-type de l'humidité totale des sédiments étudiés.....53

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classement granulométrique des sédiments (JOCELYN R., 2008).....	8
Tableau I-2 : Classement granulométrique des sédiments. «Source : Abdelaziz Semcha, 2006.....	10
Tableau III.1 : Coordonnées géographiques du site d'étude.....	26
Tableau IV .1 : Les moyennes des différentes fractions granulométriques des sédiments étudiés.....	38
Tableau IV.2: Les valeurs des moyennes et écart-types du pH, de la CE, de la MO, le taux du CaCO ₃ et l'humidité totale des sédiments étudiés.....	46
Tableau IV.3: Les valeurs de l'Humidité à 40°C, à 105°C et de l'Humidité totale.....	53

Liste des photos

Photo III.1: Une tamiseuse électrique à vibration horizontale et verticale et les séries des tamis suivant la norme « AFNOR ».....	28
Photo III.2 : Loupe binoculaire.....	31
Photo III.3 : Creuset en porcelaine.....	33
Photo III.4 : Balance 0, 00 g.....	33
Photo III.5 : Etuve (40°C et 105°C).....	33
Photo III.6: Four à moufle (450°C).....	33
Photo III.7: Agitateur magnétique.....	34
Photo III.8: pH mètre.....	34
Photo III.9: Conductimètre.....	34
Photo III.10: Calcimètre de Bernard.....	36

Introduction générale

La sédimentation est un phénomène naturel qui, à long terme, conduit à l'envasement. L'origine de la matière qui se dépose est soit naturelle (érosion des sols, décomposition de la matière végétales... etc), soit anthropique. Il s'agit de rejets agricoles, urbains et industriels provenant des unités agroalimentaires implantées sur les deux rives qui peuvent contenir de nombreuses toxines inorganiques (métaux lourds) et organiques (hydrocarbures) (BOUAOUINA H, 2008).

Sur les différents travaux traités au niveau de l'estuaire de l'oued Soummam, on trouve plusieurs auteurs qui ont étudié les eaux superficielles (Maane. S, 2010). Cependant, à part les études sur les populations phyto et zoo-planctoniques, ce site demeurant un manque d'informations surtout sur la caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments, d'où l'originalité de ce travail, c'est dans ce contexte que nous avons choisis de travailler sur cette thématique.

Le présent travail est consacré à la caractérisation des sédiments superficiels estuariens du bassin versant de la Soummam. Il se base sur la caractérisation granulométrique, minéralogique et géochimique de ces sédiments. Pour ce faire, le travail s'articule autour de deux objectifs principaux :

- Dans le premier, il s'agit de caractériser les sédiments superficiels de l'estuaire de l'Oued Soummam. Pour cela, nous avons procédé à la caractérisation granulométrique, minéralogique et géochimique de ces sédiments.
- Dans le deuxième, il s'agit de déterminer les corrélations entre les différents paramètres étudiés. On se basant sur l'analyse statistique.

En tout, ce document comporte quatre chapitres :

- 1- Le premier chapitre est relatif à la revue bibliographique sur les sédiments et les argiles.
- 2- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude.
- 3- Le troisième chapitre porte sur le matériel et les méthodes utilisées pour toutes les analyses effectuées sur les sédiments.
- 4- Le dernier chapitre est consacré aux résultats et discussion de la caractérisation des sédiments étudiés. Nous terminons notre document par une conclusion générale qui reprend les principaux résultats obtenus.

Chapitre I

Généralité sur les sédiments et les argiles

I.1. Les sédiments

I.1.1. Introduction

Les sédiments sont des matériaux issus de l'érosion éolienne des sols et l'érosion alluviale des bassins versant, transportés lors de l'écoulement des eaux par charriage ou remis en suspension et déposés dès que le débit du cours d'eau faiblit. Les sédiments peuvent avoir une nature minérale ou organique qui a un rapport direct avec sa propension à fixer les contaminants car les particules fines fixent plus les contaminants que les particules grossières (NOUGAR Bénali, 2009).

I.1.2. Origine des sédiments

Les particules solides que constituent les dépôts de sédiments peuvent être d'origine naturelle ou anthropique (Grégoire Schneider, 2005).

I.1.2.1. Origine naturelle

Les particules peuvent être soit endogènes ou exogènes. Celles endogènes proviennent de la production autochtone du milieu, sont principalement constituées de matières organiques essentiellement composée des organismes aquatiques appartenant aux règnes animal ou végétal, alors que celles exogènes viennent d'un apport de matières allochtones ; sont principalement des particules minérales provenant d'une part de l'érosion éolienne des sols et d'autre part de l'érosion hydrique du bassin versant et des phénomènes de ruissellement. Les particules exogènes peuvent également être de nature organique, principalement des feuilles d'arbres transportées par le vent.

I.1.2.2. Origine anthropique

Les particules peuvent être de nature organique ou minérale et proviennent des activités industrielles, urbaines et agricoles.

I.1.3. Composition minérale des sédiments

C'est selon la provenance que la composition minérale des sédiments diffère. Les sédiments terrigènes sont : les blocs, les cailloux, les graviers et les sables. Ils sont issus de l'érosion des sols ; leur nature chimique dépend principalement des terrains érodés. Les sables sont essentiellement quartzeux (silice SiO₂) ou silicatés (mica, feldspath), souvent accompagnés de minéraux lourds (amphiboles, grenats, disthène...) qui dépendent de la nature des sols érodés. On trouve aussi des sables calcaires. Enfin, les particules les plus fines telles que les limons, les boues et les vases, sont composées de minéraux argileux d'origine terrigène, et aussi des squelettes d'organismes d'origine endogène. Les sédiments se caractérisent également par leur granulométrie (Franck Agostini, 2006).

I.1.4. Composition physique des sédiments

Les sédiments sont essentiellement composés d'eau interstitielle et de particules solides. L'eau interstitielle peut représenter jusqu'à 90 % du volume d'un sédiment non compacté et jusqu'à 50 % pour des horizons plus profonds et donc plus compactés (BECART D et al, 2002).

Comme pour les sols, les particules solides sont principalement composées de sables, de limons, d'argiles, de matières organiques et d'oxydes de fer et de manganèse. Suivant les régions géographiques, les sédiments ont des granulométries très différentes. On distingue généralement la fraction grossière de la fraction fine. Le tableau suivant présente leur classement granulométrique.

Tableau I.1 : Classement granulométrique des sédiments (JOCELYN R, 2008).

Taille	Dénomination
Supérieur à 20 cm	Blocs
de 2 cm - 20 cm	Galets et cailloux
de 2 mm - 2 cm	Graviers
de 63 µm - 2 mm	Sables (grossiers et fins)
de 2 µm - 63 µm	Limons (ou silt)
Inférieur à 2 µm	Vases, boues argileuses

I.1.5. Caractérisation géochimique des sédiments

Les principaux minéraux constituant la matrice du sédiment sont : le quartz, les feldspaths, les carbonates et les argiles (la kaolinite, l'illite et la smectite). La fraction organique se présente sous formes très variées : débris végétaux, micro-organismes et colloïdes humique.

➤ **Les argiles** : en sédimentologie, les argiles sont des matériaux dont les particules ne dépassent pas 2 μm de diamètre. Dans les particules d'argiles, on distingue deux corps minéraux : La silice tétraédrique (SiO_4) et l'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_6$), qui constituent les structures de base à partir desquelles sont construites toutes les argiles. En outre, les argiles présentent les propriétés physiques et chimiques suivantes :

- Leur petite taille et leurs formes particulières leur confèrent une surface spécifique de 5 à 800 m^2/g .
- Certains minéraux argileux (smectites, vermiculites, saponites) ont la capacité d'incorporer dans leur structure des molécules d'eau qui se positionnent dans des interfoliaires, provoquant le gonflement des feuillets.
- Les argiles ont la capacité d'échanger des éléments avec leur environnement, en fonction des substitutions dans les feuillets d'argiles, ceux-ci présentent une charge électrique négative. Pour la compenser, les argiles (smectites, illites, vermiculites, saponites) fixent des cations en position interfoliaire tels que : Na^+ , Ca^{2+} , K^+ . Ces cations entourés d'un nombre variable de molécules d'eau, ont la possibilité de s'échanger avec ceux contenus dans la solution environnante (JOCELYN R, 2008).

➤ **Les carbonates** : les carbonates (CO_3^{2-}) jouent un rôle important dans les sols et les sédiments, leur équilibre de dissolution contrôle partiellement le pH. Une teneur élevée en carbonates rend le sédiment alcalin et favorise ainsi l'ensemble des modes de fixation. En plus, la surface des carbonates est le siège de phénomènes de sorption des ions métalliques (précipitation et adsorption) (JOCELYN R, 2008).

➤ **Les constituants organiques** : les composés organiques rencontrés dans les sédiments sont essentiellement naturels, ils peuvent être à l'état libre ou en association avec les constituants minéraux. On distingue des constituants de nature bien définie, les restes des plantes et des animaux (JOCELYN R, 2008).

I.1.6. Classification des sédiments

L'hétérométrie des sédiments fait l'objet de leur classement granulométrique, le tableau ci-dessous montre cette hétérométrie selon plusieurs auteurs.

Tableau I-2 : Classement granulométrique des sédiments (Source : Abdelaziz Semcha, 2006).

	Classification d'après Migniot		Classification fournie dans l'ouvrage d'Aminot <i>et al</i>		Koch et Chang	
Rudites, taille des grains supérieure à 2 mm	Blocs	$D > 200 \text{ mm}$	Blocs (anguleux)	$D > 20 \text{ mm}$	Graviers	$D > 2 \text{ mm}$
	Galets	$20 < D < 200 \text{ mm}$	Graviers (arrondis)	$20 < D < 200 \text{ mm}$		
	Graviers	$2 < D < 20 \text{ mm}$				
Arénites, Taille des grains comprise entre 50 ou 63 μm suivant les auteurs	Sables très grossiers	$1 < D < 2 \text{ mm}$	Sables, Sablons	50 ou $63 \mu\text{m} < D < 2 \text{ mm}$	Sables	$0,063 < D < 2 \text{ mm}$
	Sables moyens	$0,5 < D < 1 \text{ mm}$				
	Sables fins	$0,25 < D < 0,5 \text{ mm}$				
	Sables très fins	$125 < D < 250 \mu\text{m}$				
		$64 < D < 125 \mu\text{m}$				
Lutites ou pélites, Taille des grains inférieure à 50 ou 63 μm suivant les auteurs	Silts	$4 < D < 64 \mu\text{m}$	Silts	$4 < D < 64 \mu\text{m}$	Silts	$2 \mu\text{m} < D < 50$ ou $63 \mu\text{m}$
	Précolloïdes	$0,12 < D < 4 \mu\text{m}$	Argiles	$D < 2 \mu\text{m}$	Argiles	$D < 4 \mu\text{m}$
	Colloïdes	$D < 0,12 \mu\text{m}$				

I.1.7. Conclusion

Les sédiments sont d'origines diverses selon leurs provenances. La destruction des roches après avoir subi une altération chimique ou mécanique dès le transport fait partie de leur formation ainsi que la destruction des êtres vivants. A cet effet, la composition minérale des sédiments diffère. Ils se trouvent suivant des gammes hétérométriques pour lesquelles, des différents auteurs se sont intervenus pour les mettre en classes. Toute fois, l'érosion alluviale, accessoirement l'érosion éolienne, des bassins versant présente un facteur prépondérant de

l'envasement des lits. Indépendamment des rejets industriels, urbains, agricoles et l'érosion, les sédiments présentent un agent d'emport et de support des micropolluants tels que les éléments nutritifs, les micropolluants organiques et les métaux lourds (BAISE et JANIEC, 1994).

I.2. Les argiles

I.2.1.Introduction

Les propriétés bien particulières des minéraux argileux sont dues à la petite taille, la structure en feuillets et la charge négative des particules. Elles forment avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surface des particules sont neutralisées par des ions. Ce phénomène est réversible : les particules retrouvent l'état dispersé lorsque les ions sont éliminés. Les argiles fixent l'eau par adsorption à leur surface et augmentent de volume par gonflement, elles constituent ainsi une réserve d'eau. L'argile sèche développe une tension de succion importante pour l'eau qui peut s'opposer à celle des racines des plantes. Avec adjonction croissante d'eau, la tension de succion diminue, l'ensemble eau-argile devient plastique, puis visqueux et finalement les particules d'argile se dispersent dans l'eau en formant une solution colloïdale.

Les argiles confèrent au sol sa structure et ses propriétés mécaniques. Elles sont associées aux autres composants et constituent les complexes argilo-humiques (ou organo-minéral). Elles sont généralement à l'état flocculées, par l'action des ions Ca^{++} et H^+ , ce qui donne au sol ses qualités agronomiques : bonne aération entre les agrégats, retrait modéré à la dessiccation, bonne perméabilité à l'air et à l'eau. En revanche, les sols dont les argiles sont dispersées, et non flocculées, présentent des caractères défavorables à la culture : mauvais état structural, mauvaise circulation de l'air et de l'eau, retrait important à la dessiccation, forte adhérence aux outils travaillant le sol.

I.2.2. Origines des minéraux argileux

Les minéraux argileux résultent de la destruction des roches. Elles peuvent être héritées de la roche mère ou bien de transformation ménagée d'autres minéraux ou encore de produits entièrement nouveaux, dits de néoformation (Chamayou et Legros, 1989).

I.2.3. Classification des argiles

Le problème de classification et de nomenclature des minéraux argileux sont particulièrement délicats du fait que ces espèces sont microcristallines et que leurs constituants chimiques admettent la possibilité de nombreuses substitutions. Ces minéraux proviennent soit de la transformation d'un phyllosilicate préexistant, soit d'une néoformation à partir d'un silicate non feuilleté à la suite du réarrangement de la structure cristalline.

Les grains individuels des minéraux argileux sont de taille microscopique et semblable à des plaquettes. Cette structure en feuillets, dont la surface est bien plus importante que l'épaisseur, leur permette d'absorber de grandes quantités d'eau par adhésion, ce qui leur donne leur plasticité et fait gonfler certaines variétés. Les épaisseurs de ces feuillets sont respectivement de 3 Å pour les tétraèdres et de 4 Å pour les octaèdres (Nedjari et Abed, 1998). Ce feuillage, qui présente de très nombreuses variantes selon le mode d'empilement des plaquettes élémentaires, est le principal critère de distinction entre de nombreuses variétés. Lorsque les nouveaux minéraux argileux sont formés à partir des micas (muscovites, biotites et chlorites), le réseau cristallin est plus ou moins conservé, on parle de transformation et lorsqu'ils sont formés à partir de silicates qui ne sont pas en feuillets (feldspaths, amphiboles, olivine...), le réseau cristallin du minéral d'origine est complètement détruit, on parle de néoformation.

I.2.3.1. Groupes des kaolinites à structure 1/1

Ce groupe est caractérisé par une alternance d'un feuillet tétraédrique SiO_4 et un feuillet octaédrique AlO_6 . Le minéral le plus important est la kaolinite, sa composition est très constante sans ou peu de substitutions isomorphiques avec le fer en cas de rupture du feuillet (Duchaufour, 1995). Ceci est la cause de l'absence de charges. Ces argiles peuvent provenir de l'altération des feldspaths potassiques ou se former in situ dans les profils intensément lessivés (latérites, podzols) et elles sont résistantes à l'altération (Baronnet, 1978). La kaolinite peut avoir une taille supérieure à 2μ , raison pour laquelle, on peut la rencontrer dans la fraction limoneuse du sol. Elle se forme dans les sols bien drainés, à pH acide, surtout en climats subtropical et tropical. Au microscope électronique, elle apparaît en paillettes hexagonales à clivage parfait.

I.2.3.2. Groupes des phyllosilicates à structure 2/1

Ils sont constitués de deux feuillets tétraédriques SiO_4 et un feuillet octaédrique AlO_6 . La substitution isomorphe peut être présente soit dans les feuillets tétraédriques ou dans le feuillet octaédrique. Cela crée un déficit de charge négative qui va être neutralisée soit par un cation qui est fixé dans la maille ou échangeable par d'autres cations. Cela signifie que l'espacement basal n'est pas stable pour certains minéraux mais variable selon la nature des cations. Dans ce groupe, on distingue: des minéraux à espacement basal variable le cas des minéraux vermiculitiques et minéraux smectitiques.

Cependant, lorsque les cations neutralisant l'excès de charges négatives ne sont pas échangeables, ils sont appelés des minéraux à espacement basal stable qui forment le groupe des minéraux micacés (minéraux dioctaédriques et trioctaédriques).

I.2.3.2.1. Minéraux à espacement basal stable

a. Minéraux dioctaédriques

Les minéraux dioctaédriques à espacement basal stable forment le groupe des minéraux micacés. La muscovite est un mica blanc, résistant à l'altération ; elle est caractérisée par une forte substitution isomorphe. La charge du feuillet élémentaire est de -2 pour la muscovite; mais, ce déficit est neutralisé par le K^+ non échangeable. C'est pour cette raison que la C.E.C de la muscovite est basse et sa distance basale est d'environ 10Å .

b. Minéraux trioctaédriques

Les minéraux trioctaédriques à espacement basal stable forment une série allant de la phlogopite riche en Mg^{+2} à la biotite riche en Fe^{+2} . Le K^+ forme une liaison ionique très forte entre les deux feuillets adjacents et donne une distance de $10,3\text{ Å}$ pour l'espacement basal. Les analyses chimiques de ces minéraux donnent un pourcentage élevé de K^+ . Le terme phlogopite est utilisé quand le rapport $\text{Mg}^{+2}/\text{Fe}^{+2} > 2$ et on parle de biotite lorsque le rapport $\text{Mg}^{+2}/\text{Fe}^{+2} < 2$.

I.2.3.2.2. Minéraux à espacement basal variable

a. Minéraux vermiculitiques

La différence principale entre ces minéraux et les minéraux à espacement basal stable est la charge, il existe des minéraux avec une charge élevée sur le feuillet. Le minéral caractéristique est la vermiculite qui dérive d'un mica trioctaédrique par défaut de l'ion K^+ ou de chlorite trioctaédrique par départ du feuillet hydroxyde. Dans les deux cas, les charges négatives sont neutralisées par des cations hydratés induisant une variation de l'espacement basal selon la nature du cation. Elle est très fréquente dans la fraction limoneuse et sableuse du sol (Alexiade et al, 1973). On la rencontre généralement dans les sols à faible altération de la zone tempérée mais avec le temps, elle peut se transformer en mica hydraté ou en kaolinite (Fritzpatrick, 1992).

b. Minéraux smectitiques

L'empilement des feuillets est désordonné; chaque feuillet est tourné dans son plan par rapport au précédent. Les substitutions d'atomes sont importantes. Les smectites (montmorillonites), sont généralement calciques, plus rarement sodiques. Elles sont formées dans les sols mal drainés plutôt alcalins. Les feuillets de smectites peuvent s'intercaler régulièrement ou irrégulièrement avec d'autres feuillets argileux, souvent illitiques.

La situation des déficits de charge des smectites, soit dans le feuillet tétraédrique soit dans le feuillet octaédrique, est importante. Les plus importantes sont :

- Dioctaédrique
 - montmorillonite (déficit octaèdre)
 - beidellite (déficit tétraèdre)
- Trioctaédrique
 - hectorite (déficit octaèdre)
 - stevensite (déficit octaèdre)
 - saponite (déficit tétraèdre)

La charge globale est inférieure à 0,6.

I.2.3.3. Groupes des phyllosilicates à structure 2/1/1

Le feuillet élémentaire de ces minéraux est formé à partir de couches 2/1 séparées par un feuillet hydroxyde (brucite). Elles ont une quantité élevée de fer ou de magnésium, ou les deux, avec un taux faible de silice. L'espace basal est de 14 à 14,5 Å et la plupart des chlorites présentes comme des minéraux primaires sont trioctaédriques. Sa couleur est variable (noir, brun orange, bleu, vert) et ses formes très diversifiées dont les plus courantes sont en paillettes, en écailles, en agrégats de cristaux ou en rosettes (Lahmar, 1988). La substitution de Si en Al donne aux feuillets de micas une charge négative qui est compensée par la couche brucitique dans laquelle le remplacement du Mg par l'Al induit une charge positive d'où une bonne stabilité de cette argile (Dekkiche, 1987).

I.2.3.4. Minéraux interstratifiés

Les minéraux interstratifiés sont constitués par un empilement de plusieurs feuillets de compositions différentes. Ces interstratifiés sont formés durant la genèse, soit par altération ou par transformation qui est due soit à un départ d'un feuillet de l'édifice des phyllosilicates originales, soit à une addition d'un feuillet hydroxyde nouveau avec un espacement basal variable. Dans tous les interstratifiés, l'unité est équivalente à la somme des feuillets qui la composent.

I.2.4. Conclusion

Chaque groupe minéralogique se caractérise par une structure particulière en couches avec divers matériels remplissant l'espace interfoliaire. Par conséquent, les réflexions basales identifiées par DRX donnent une indication du minéral présent dans l'échantillon. Les trois structures principales sont:

- les minéraux T/O ou 1/1 avec un espace basal de 7Å (kaolinite);
- les minéraux T/O/T ou 2/1 avec un espace basal de 9.5Å pour le talc et la pyrophyllites, 10Å pour l'illite et l'halloysite, 10,4Å pour la palygorskite, 12Å pour la sépiolite, 14 à 15Å pour les smectites et les vermiculites;
- les minéraux T/O/T/O ou 2/1/1 avec un espace basal de 14Å (chlorite), (Moore & Reynolds, 1989).

Les minéraux interstratifiés se caractérisent par la superposition, selon un empilement vertical, de 2 (ou plus) types de couches. Il ne s'agit pas d'un simple mélange physique des

différents composés mais d'un minéral à part entière. L'interstratification est due aux liaisons fortes dans les couches individuelles mais faibles entre les couches et à la configuration proche de toutes les couches avec l'oxygène pointant vers l'extérieur. Il s'agit de minéraux fréquents en milieu naturel, souvent négligés car difficiles à détecter et à quantifier par DRX (Eslinger et Peaver, 1988).

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude se situe au niveau de l'estuaire de l'oued Soummam qui se déverse dans le golf de la ville de Bejaia. L'estuaire reçoit donc toutes les eaux chargées qui viennent de l'amont. Dans ce chapitre on va présenter les caractéristiques naturelles de la vallée de la Soummam, à savoir, la situation géographique, le climat général, le relief, la géomorphologie, la géologie, la pédologie et les principaux types de sol.

II.1 La situation géographique

La vallée de la Soummam se situe à quelques 230 Km à l'Est d'Alger et fait partie du bassin versant de la Soummam (figure II.1). L'oued Soummam est le troisième grand cours d'eau en Algérie, il résulte de la jonction en amont d'Akbou de deux oueds importants : l'Oued Boussellam qui descend du plateau Sétifien (Fermatou) orienté vers l'Est et l'Oued Sahel formé par la confluence de l'Oued Ziane et l'Oued Ed-Dous provenant de Bouira, orienté vers l'Ouest. Il parcourt toute la vallée de la Soummam qui apparait comme une bande sinueuse orientée Sud-Ouest, Nord-Est, puis se jette dans la mer méditerranéenne à Bejaia. Son débit moyen est estimé à 25 m³/s, mais ces crues sont violentes et dévastatrices. Il draine un bassin versant important dont la superficie est de 9125 Km² et son lit mineur se développe dans une vallée comprise entre deux massifs montagneux : Tizi-Ouzou au Nord-Ouest, Béjaia et la chaîne des Bibans au Sud-Est. Le fond de celle-ci, proprement dit a une longueur moyenne de l'ordre de 2 Km et des resserrements jusqu'à 100 m de largeur à l'amont de sidi-Aïch et un élargissement de 4 à 5 Km dans la région d'El-Kseur et la plaine de Bejaia (COYNE ET BELLIER, 1973).

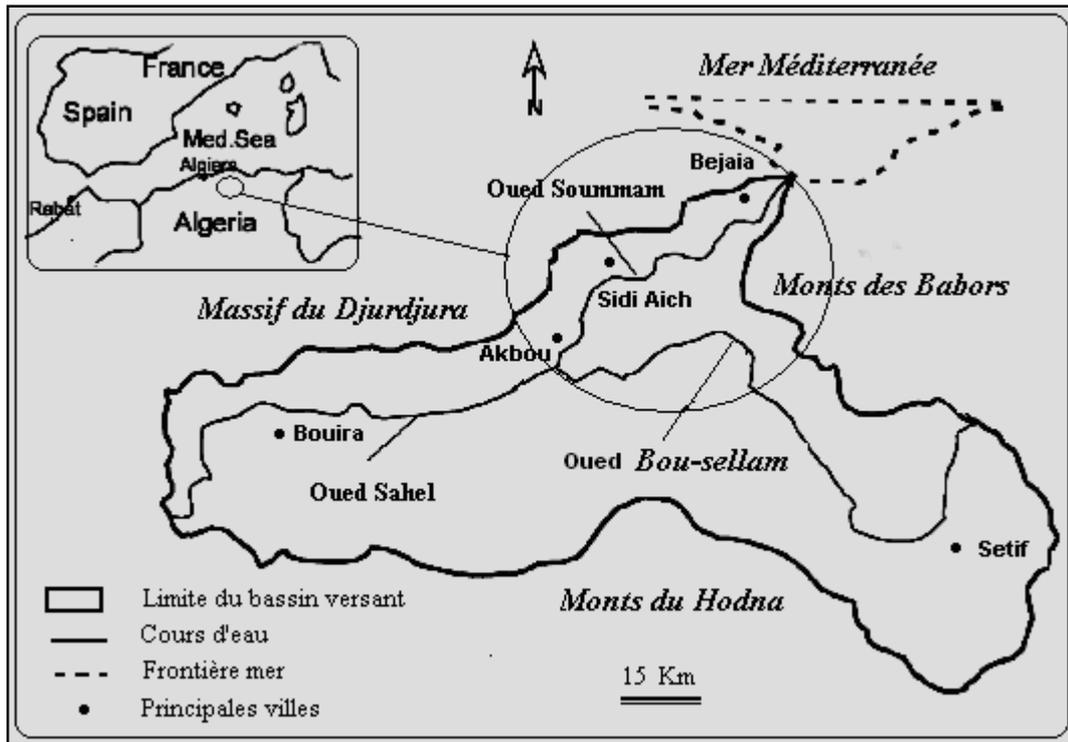


Figure II.1 : Bassin versant de la Soummam (MAANE et al, 2008).

II.2 Le climat général

Au niveau du bassin versant de la Soummam, le climat est hétérogène d'une localité à une autre, dû à la configuration orographique du territoire. Le climat général est de type méditerranéen (Benhamiche, 1997). Seltzer (1946 in Zougaghe, 2003) signale que plus on pénètre dans la vallée de la Soummam, plus les précipitations diminuent, ceci est dû essentiellement au rôle joué par la chaîne de Djurdjura, qui, par sa hauteur, constitue une barrière face aux vents humides émanant dans la direction Nord-Ouest.

Dans la vallée de la Soummam inférieure, le climat est de type méditerranéen, appartenant aux différents étages bioclimatiques suivants :

- Humide sur le Bassin Nord de la Soummam avec des précipitations supérieures à 900 mm par an ;
- Sub-humide entre El Kseur et Sidi Aïch avec une pluviométrie moyenne de 600 à 900 mm par an et des températures allant de 24 à 28 °C ;

- Semi-aride le long de la vallée de Sidi Aïch à Tazmalt, avec une pluviométrie relativement faible allant de 400 à 600 mm par an et des températures légèrement plus élevées allant de 26 à 30°C.

Les précipitations décroissent au fur et à mesure que nous éloignons de la mer. Cette décroissance est appréciable surtout pour les mois pluvieux (octobre, novembre et décembre) (Benhamiche, 1997).

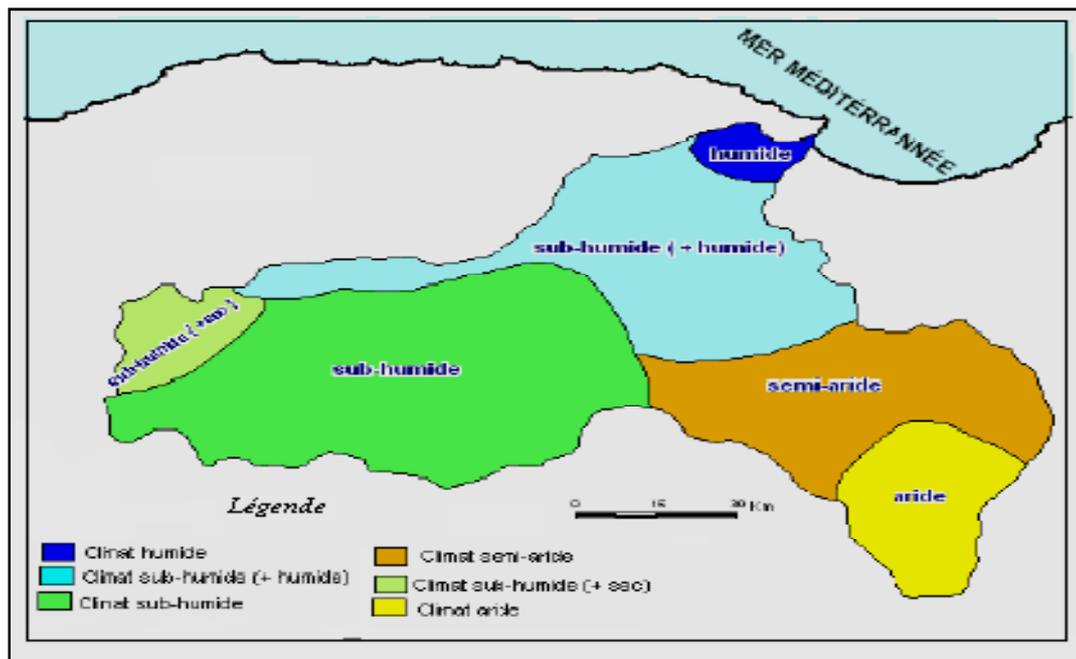


Figure II.2 : Etage bioclimatique de Bassin Versant de la Soummam (Benhamiche, 1997).

II.3 Le relief

La longueur de la vallée (lit majeur) est de 65 km pour une dénivellation de 166 m, soit une pente moyenne de 5 ‰. La longueur développée suivant le lit mineur (basses eaux) est de 90 km, soit une pente moyenne de 1,85 ‰. La pente varie de 3% à 3,5 % entre Akbou et Takritz, puis l'on note au passage des gorges de Takritz et de Sidi Aïch un adoucissement notable, la pente étant de l'ordre de 2 ‰. A l'aval de Sidi Aïch, la rivière recouvre une pente plus forte de l'ordre de 3 ‰ qui diminue jusqu'à l'embouchure où elle est de l'ordre de 0,2 ‰ (COYNE ET BELLIER, 1973).

II.4 La géomorphologie

Le bassin versant de la Soummam est caractérisé par un relief hétérogène à dominance montagneuse. Il peut être subdivisé en trois principales unités géomorphologiques bien distinctes ; le plateau de Bouira, le plateau de Sétif et la vallée du Sahel-Soummam (Ider, 2004). La vallée de la Soummam est caractérisée par trois ensembles géomorphologiques (Zerourou, 1990) :

- L'ensemble géomorphologiques septentrional ; constitué par des formations compétentes d'âge secondaire et tertiaire, formant des escarpements inaccessibles dont les sommets culminant à plus de 1600 m dans l'Akfadou. La terminaison orientale de cet ensemble est caractérisée par des crêtes calcaires de l'Akfadou et du Gouraya dont les sommets culminent respectivement à 1313 m (Djemâa n'techeriat) et à 972 m (Pic de la dent),
- L'ensemble méridional ; constitué essentiellement par des formations tendres au sein desquelles percent des lames calcaires, ces formations sont d'âge secondaire. Seules les lames calcaires forment des sommets culminants à plus de 1657 m, très caractéristiques des Babors,
- L'ensemble géomorphologique comprenant la plaine de l'oued Soummam, les vallées de ces principaux affluents et les reliefs intermédiaires bordant la plaine.

II.5 La géologie

Sur la base de l'esquisse géologique de la vallée de la Soummam (Figure II .3), cette dernière présente une plaine formée par des dépôts alluvionnaires anciens et actuels sur le lit majeur de l'oued Soummam. De part et d'autre de cette plaine, on note un substrat siliceux sur tout le versant exposé au nord et un substrat calcaire dominant la majeure partie du versant exposé au sud, avec une zone marno-argileuse (mio-pliocène) s'étendant d'El Kseur à Sidi Aïch. A la périphérie de cette plaine, on note des ensembles pétrographiques ; siliceux pour le massif d'Akfadou et du Djurdjura, calcaire pour les djebels Gouraya-Arbalou et la chaîne des Babors dans sa partie méridionale.

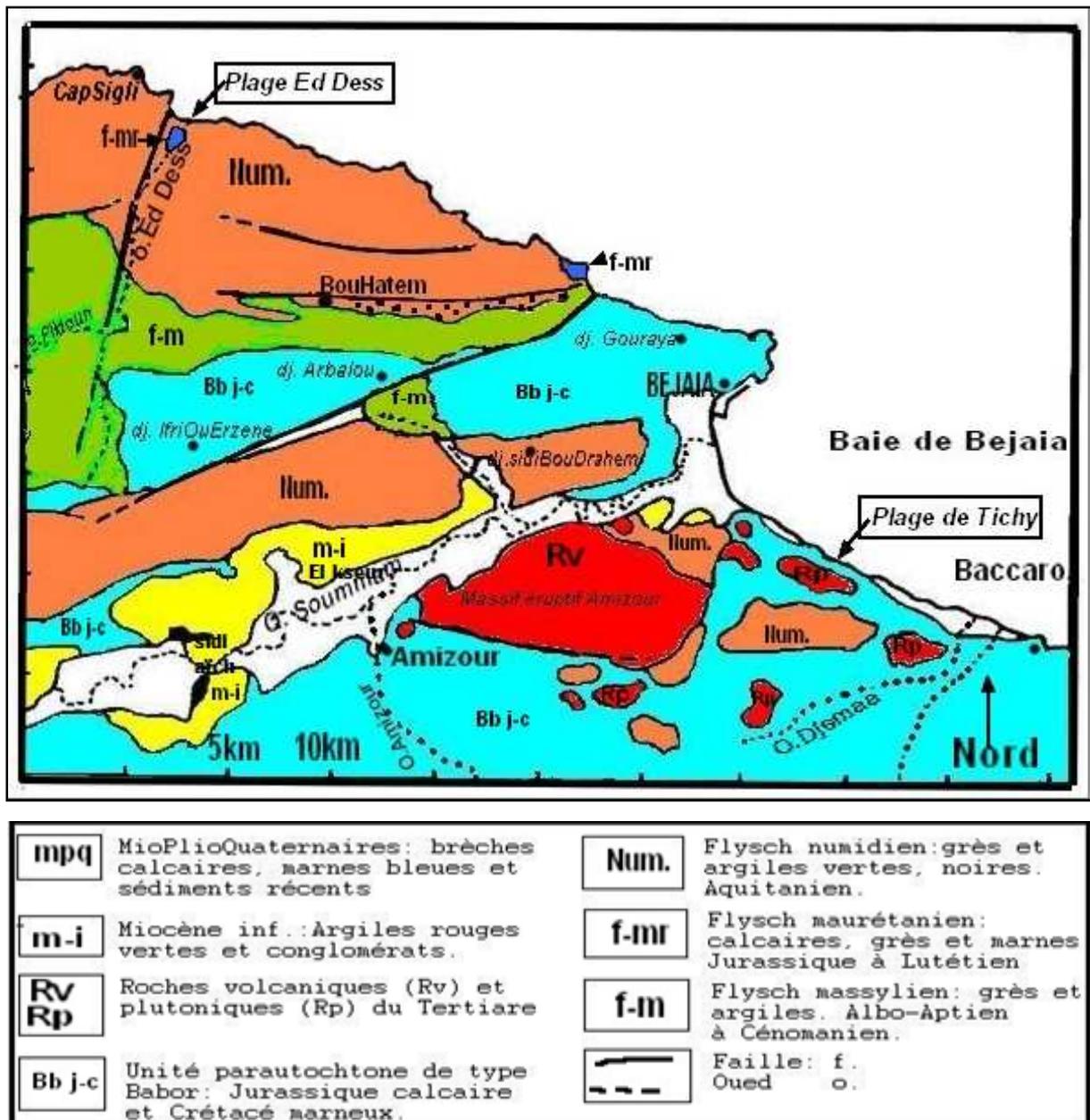


Figure II.3 : Esquisse géologique de la vallée de la Soummam (M. Hassissene, 2000).

Au niveau de la plaine, on distingue un substrat formé par des dépôts alluvionnaires anciens et actuels sur le lit majeur de l'oued Soummam. Les études antérieures de Coyne et Bellier (1973) et de Bennabi (1985) ont mis en évidence quatre (4) niveaux de terrasses alluviales différenciées, plus par leur position topographique par rapport au lit de l'oued que par un critère d'âge ;

- **Alluvions anciennes de la première terrasse :** Cette terrasse présente une grande extension en rive gauche de l'oued où elle occupe la majeure partie de la plaine alluviale. Elle est surtout bien représentée dans les régions d'Ighzer Amokrane, d'Azib

et de Tazmalt. Les pentes y sont accentuées parfois jusqu'à 10 %. On y trouve des niveaux d'argiles, de galets, de graviers et d'argiles graveleuses.

- **Alluvions de la deuxième terrasse :** Cette terrasse est pratiquement absente au niveau de la rive droite ; en rive gauche, par contre, elle forme des niveaux assez continus avec des épaisseurs parfois supérieures à 10 m. Elle est bien représentée dans la région d'Ighzer Amokrane, d'Azib et de Tazmalt. Elle est constituée de niveaux de graviers argileux, galets et sables. Les pentes y sont plus faibles que pour la première terrasse, ne dépassant pas quelques degrés.
- **Alluvions de la troisième terrasse :** Cette terrasse est dissymétrique et discontinue sur les deux rives. Elle forme des lambeaux dont les épaisseurs varient de 1 à 10 m. Elle affleure assez largement au niveau de Takrietz. Du point de vue constitutif, elle présente généralement des graviers, des galets et des sables argileux. Les pentes sont relativement faibles par rapport aux terrasses précédentes.
- **Alluvions récentes de la quatrième terrasse :** Elle est constituée par les alluvions actuelles ou récentes avec des galets et des limons. Elle occupe le lit d'inondation de l'oued. Cette terrasse présente une faible pente correspond au niveau zéro.

II.6 Pédologie

La vallée de la Soummam est composée d'alluvions d'une formation constituée de galets et de graviers le plus souvent gréseux et de sable attribué au miocène, ces deux formations seraient en relation hydraulique vers l'amont et séparé vers l'aval. Le miocène grossier atteint 10 à 15 m d'épaisseurs à Ilmatten, 10 à 25 m dans la région d'El Kseur.

Les alluvions forment une bande continue de 37,5 km de long et de largeur très variable, la superficie couverte par ces alluvions est d'environ 75 km². L'épaisseur des alluvions varie de 35 à 40 m de l'oued Remila à Aguellal et de 35 à 70 m d'Aguellal à l'embouchure donnant sur la méditerranée. Les limons, peu épais, prennent aussi en surface de plus en plus d'importances au détriment des éléments grossiers à mesure que l'on s'approche de l'embouchure dans la partie amont (*COYEN et BELLIER, 1973*).

- **Dans la zone amont :** A Sidi Aïch et à oued Amizour, la nappe est libre ou semi captive.
- **Dans la zone avale :** A l'embouchure d'oued Amizour, la nappe est mise en charge par des limons dont l'épaisseur croît d'amont en aval.

II.7 Principaux types de sols

Les sols de la vallée de l'oued Soummam ont fait l'objet de plusieurs études agropédologiques et études de milieu. Les plus importantes sont celles réalisées par l'Agence National des ressources Hydrauliques (ANRH) et le Bureau d'étude européen Energoproject et plus récemment la thèse de magister de Benkhannouche (2005). Ainsi, les différents types de sols dans la vallée de la Soummam ont été déterminés suivant la classification appelée « Classification CPCS » (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols, France 1967).

Benkhanouche (2005) a décrit 8 classes de sols réparties sur la vallée de l'Oued Soummam d'Akbou à Béjaia.

- **Classe des sols minéraux bruts** : on distingue deux groupes principaux : les sols minéraux bruts d'érosion appelés aussi lithosols, qui sont d'une superficie très réduite où la roche mère est dure et massive mise à nu par l'érosion, et les sols minéraux bruts d'apport alluvial, occupant le lit majeur de l'oued Soummam et ses affluents. Ceux-ci sont des sols constitués de sables, graviers, galets amenés par les cours d'eau.
- **Classe des sols peu évolués** : ils occupent de vastes étendues dans toute la vallée, et surtout dans les basses terrasses et les cônes de déjection. Ce sont des sols peu différenciés, à profil de type AC. En effet, les sols de cette classe sont exclusivement d'apport alluvial.
- **Classe des vertisols** : Ils sont très peu étendus, ils occupent quelques plages des anciennes terrasses alluviales. Ce sont des sols de couleur gris foncé, de profil A (B) C. Ils sont très compacts et très riches en argiles gonflantes.
- **Classe des sols calcimagnésiques** : Tout autant que les sols peu évolués, ils sont les plus répandus à travers la vallée. On les rencontre sur les moyennes et hautes terrasses des Oueds. Ce sont des sols à profil de type AC ou A (B) C. Dominés par la présence d'ions de calcium et de magnésium.
- **Classe des sols isohumiques** : Les sols isohumiques occupent une étendue très restreinte dans la Soummam. Ils forment quelques petites plages aux environs d'Oued Amizour, El kseur et en amont de Sidi Aïch. En effet, la teneur de ces sols en matière organique décroît graduellement avec la profondeur, ce qui leur donne un caractère isohumique, contrairement aux autres types de sols où elle baisse brusquement en

passant de l'horizon superficiel A aux horizons inférieurs. Leur profil est de type A (B) C ou A B C. ils peuvent présenter un horizon d'accumulation de calcaire.

- **Classe des sols sesquioxydes de fer :** De faible étendue, on les rencontre au niveau d'Ighzer Amokrane, Ilmathen et El Kseur. Leur profil est de type A B C ou A (B) C, de couleur rouge à rouge ocre due à une présence de fer bien individualisé.
- **Classe des sols hydromorphes :** Ces sols sont localisés en bordure de la mer, près de Béjaia. L'hydromorphie est due au fait que le niveau de la mer empêche l'écoulement de la nappe, ce qui entraîne un engorgement tout le long de l'année.
- **Classe des sols fersialitiques :** On les rencontre dans la région d'El Kseur. Ils sont peu profonds.

Chapitre III

Matériel et méthodes

Ce chapitre est consacré, à la présentation du matériel et méthodes des analyses granulométriques, minéralogiques, microscopiques et géochimiques effectuées sur nos échantillons. Les analyses granulométriques, l'observation à la loupe binoculaire ainsi que les analyses géochimiques ont été réalisées aux laboratoires 3BS. Cependant, les analyses minéralogiques et l'observation à la microscopie à balayage (MEB) ont été effectuées au laboratoire de Génie des procédés de la faculté des sciences de notre université.

L'analyse des échantillons au laboratoire permet une quantification des propriétés et caractéristiques des sédiments. Pour cela, nous avons analysé 16 échantillons de sédiment provenant de l'estuaire du bassin versant de la Soummam.

III.1 Echantillonnage

III.1.1 Site d'étude

Le site d'étude est situé à l'embouchure de l'estuaire du bassin versant de la Soummam (Pont de Bougie). Pour une meilleure représentativité de nos échantillons, nous avons choisis quatre points de prélèvements.



Figure III.1: Localisation du site d'étude (*Google Earth, 2006*).

Les quatre points de prélèvement sont représentés par **E1**, **E2**, **E3**, et **E4** (Figure III.1 et Figure III.2).

Les coordonnées géographiques correspondant au site d'étude sont présentées dans le tableau qui suit :

Tableau III.1 : Coordonnées géographiques du site d'étude.

Coordonnées	X (longitude)	Y (latitude)	Z (altitude)	Distance/Mer
Site	5° 04' 18 47" E	36° 43' 53 85" N	2 m	810 m



Figure III.2 : Photographie du site d'étude au dessous du pont de Bougie.

III.1.2 Fréquence de prélèvement des échantillons

Afin de connaître la variabilité temporelle de la qualité des sédiments au niveau de l'estuaire, nous avons effectué 4 prélèvements dans chaque site durant les périodes suivantes :

- **P1** : prélèvement effectué le 23 mars 2011(Printemps).
- **P2** : prélèvement effectué le 22 juin 2011(Eté).
- **P3** : prélèvement effectué le 21 septembre 2011(Automne).
- **P4** : prélèvement effectué le 21 décembre 2011(Hiver).

III.1.3 Mode de prélèvement des échantillons

Les prélèvements des échantillons de sédiment ont été faits à l'aide d'une cuillère en inox à une profondeur de 5 à 10 cm, ensuite ils ont été mis dans des sacs, et séchés à l'air libre au laboratoire.

III.2 Analyse physique : l'échantillon brut est séché à l'air libre puis tamisé.

III.2.1 Analyse granulométrique

La taille des grains d'un sédiment est le résultat des processus d'érosion et de transport qu'il a subi depuis sa formation jusqu'à son dépôt. Son étude est donc très importante pour faire une reconstitution correcte des paléo-environnements sédimentaires.

L'étude granulométrique d'un sédiment comprend les phases suivantes :

- Le tamisage des sédiments à travers les tamis de : 4000, 2000, 1000, 500, 125 et 63 μm ,
- Chaque échantillon a fait l'objet d'un tamisage pendant 10 minutes avec un tamiseur électrique,
- Les refus récoltés sur chaque tamis sont pesés sur une balance (Annexe A),
- Déterminer le pourcentage de chaque fraction granulométrique qui compose le sédiment,
- Interpréter et confronter les divers résultats obtenus,
- Les histogrammes retracés et les tests statistiques de cette analyse granulométrique sont présentés dans le chapitre IV.



Photo III.1: Un tamiseur électrique à vibration horizontale et verticale et les séries des tamis suivant la norme « AFNOR ».

N .B : On a gardé la fraction inférieure à 63 μm pour l'analyse aux rayons X.

III.2.2 Méthode de Préparation des échantillons pour étude minéralogique

La méthode utilisée pour la destruction des ciments contenus dans le sol (matière organique et carbonates) est celle de Robert et Tessier (1974).

➤ Destruction de la matière organique

La destruction de la matière organique pour une prise de 20g de sol, se fait par des traitements répétés à l'eau oxygénée électrolytique : dans un bêcher de 500 ml, la suspension argileuse est mise au contact de 50 ml d' H_2O_2 à 110 volumes, d'abord à froid pendant toute une nuit, puis au bain de sable à une température de 60°C. Nous rajoutons si nécessaire H_2O_2 jusqu'à ce que les bulles de grosses tailles provenant de la minéralisation de la matière organique soient remplacées par des bulles très fines dues seulement à H_2O_2 . Lorsque la destruction de la matière organique est terminée, on élimine l'eau oxygénée par élévation de la température (>60°C).

➤ Destruction des carbonates

Les ciments carbonatés sont détruits par la méthode de destruction classique avec l'HCl dilué, sous pH mètre, en évitant de se situer au-dessous d'un pH égal à 4. La solution du sol est placée dans un bêcher, dans lequel on ajoute de l'HCl N/10, sous contrôle du pH. La solution est continuellement agitée par agitation mécanique. L'excès d'HCl se fait par un lavage répété à l'eau distillée.

➤ Dispersion des argiles

La méthode utilisée est celle qui utilise le NaOH N comme dispersant, sous contrôle du pH, qui ne doit pas dépasser 9. La solution du sol est placée dans un bêcher, sur un agitateur mécanique et le NaOH est employé goutte à goutte jusqu'à obtention d'un pH égal à 9. Après cette dernière opération, les solutions du sol sont prêtes à être placées dans des colonnes de 1000 ml.

➤ Séparation de la phase argileuse

La fraction argileuse est obtenue par une série de sédimentations selon les normes de l'analyse granulométrique (Loi de Stokes). La fraction fine est prélevée à 10 cm de profondeur après décantation de huit heures, correspondant à la chute des particules inférieures à $2\mu\text{m}$, à une température de 20°C . La récupération de la suspension par siphonage.

N.B : les argiles inférieures à $2\mu\text{m}$ appartiennent à Mme Allili C (co-promotrice).

III.3 Méthodes pour étude structurale des minéraux argileux

L'étude structurale est entreprise dans le but de préciser la nature et la famille des argiles examinées. L'analyse minéralogique des argiles ($<2\mu\text{m}$) et des poudres ($<63\mu\text{m}$) a concerné les échantillons d'été.

III.3.1 Diffraction des rayons X

La diffraction des rayons X, est la méthode la plus employée pour l'identification des minéraux cristallisés de taille $< 2\mu\text{m}$ (Robert, 1975). L'utilisation des rayons X en minéralogie est basée sur les phénomènes de diffusion cohérente des rayons X par les couches

électroniques des atomes, sans qu'il ait un changement de longueur d'ondes : appelé phénomène de diffraction des rayons X. L'analyse des minéraux argileux aux rayons X est basée sur la connaissance des distances réticulaires(001). La réflexion obéit à la loi de BRAGG (Nedjari et Abed, 1998) et qui définit les conditions suivantes :

$$n \lambda = 2d \sin \theta$$

n : intensité des réflexions,

λ : longueur d'onde incidente,

d : distance réticulaire des plans diffractant,

θ : angle de réflexion sur les plans de diffractant.

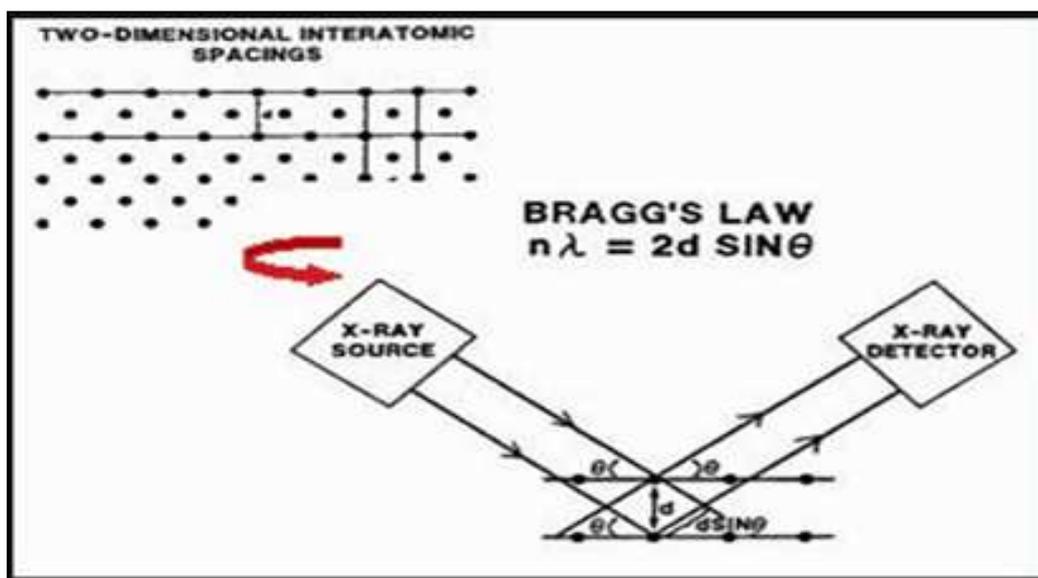


Figure III.3: Principe de la diffraction et illustration de la loi de Bragg (Eslinger et peaver, 1988).

L'identification des phases est réalisée à l'aide d'un diffractomètre de type Expert prof panalytical MPD, Theta/Theta, Systeme vertical, Pds/pass, Detecteur exceleateur, Spener, Radiation cuivre 1,54.

Le domaine exploré (2θ) : 2 à 30° pour les argiles et 2 à 80° pour les poudres.

III.3.2 Traitement des argiles

Chaque échantillon d'argile nécessite l'enregistrement des trois diagrammes de diffractions :

Diagramme normal (N) : pas de traitement. C'est le diagramme auquel on se réfère pour juger les déplacements occasionnés par le traitement à l'éthylène-glycol et au chauffage.

Diagramme éthylène-glycol (G) : la lame est placée sous dessiccateur, pendant toute la nuit en présence d'éthylène-glycol qui provoque le gonflement des feuillets smectitiques.

Diagramme thermique (C) : chauffage de l'échantillon à 550°C pendant une heure qui entraîne la déshydratation des minéraux argileux type 2/1 et qui peut détruire aussi la structure de certains minéraux comme la Kaolinite.

III.4 Observation morphoscopique et microscopie électronique à balayage

III.4.1 Observation morphoscopique

La morphoscopie est une technique d'analyse simple qui consiste à étudier la forme et l'aspect de la surface des grains de sable sous une loupe binoculaire, et à classer chaque grain observé dans une catégorie bien définie. Pour cela, nous avons observé la fraction grossière (sable fin et sable grossier) de la saison d'été.



Photo III.2 : Loupe binoculaire.

III.4.2 Microscopie électronique à balayage (MEB)

La caractérisation microscopique est basée sur l'observation au microscope électronique à balayage. Elle permet d'observer la morphologie des différents minéraux primaires dans les fractions granulométriques grossières. Le MEB permet également l'étude morphologique externe de tout échantillon solide et d'obtenir également des informations sur :

- Le faciès et la texture des minéraux,
- La présence de microfissures et des microcavités,
- L'étude des fractures et clivages dans les minéraux.

Les échantillons ont été mis sous un vide poussé. Les échantillons, préalablement métallisés au carbone, ont été visualisés sous un faisceau d'électrons d'une énergie de 15,00 kV. Le microscope utilisé est de type FGI, Quanta 200, qui donne des informations sur la surface des échantillons. L'observation est effectuée sur la fraction grossière (sable fin et sable grossier) de la saison d'été.

III .5 Analyses géochimique

L'échantillon brut est séché puis tamisé à 2mm.

III .5.1 Détermination de l'humidité totale

L'humidité totale est la somme de l'humidité à 40°C (H_{40}) et l'humidité résiduelle (H_r). L'humidité à 40°C est obtenue à partir du séchage du sédiment dans l'étuve à 40°C jusqu'à poids constant. Elle est calculée à partir de la relation suivante :

$$H_{40} = \left(\frac{m_0 - m_1}{m_0} \right) * 100$$

Avec m_0 : masse de l'échantillon avant séchage,
 m_1 : masse après séchage.

L'humidité résiduelle est calculée d'après la norme NFX 31—102. Cette norme consiste à sécher le sédiment à l'étuve à une température de 105°C. Ensuite, peser les échantillons et arrêter le séchage jusqu'à masse constante.

L'humidité résiduelle H_r est calculée à partir de la relation suivante :

$$H_r = \left(\frac{m_0 - m_1}{m_0} \right) * 100$$

Avec m_0 : masse de l'échantillon avant séchage,

m_1 : masse après séchage.

L'humidité totale est donc obtenue en faisant la somme des deux humidités.



Photo III.3 : Creuset en porcelaine.



Photo III.4 : Balance 0, 00 g.

Procédures :

1. Peser le creuset vide,
2. Peser environ 5 g de sédiment dans le creuset,
3. Mettre à l'étuve d'abord à 40°C puis 105°C,
4. Peser les sédiments après séchage (Annexe D, tableau 1),
5. Calculer le % d'humidité du sédiment :



Photo III.5 : Etuve (40°C et 105°C).



Photo III.6: Four à moufle (450°C).

III .5.2 Détermination du pH

La mesure du pH est décrite par la NF X 31 103. Le principe de la méthode est la mise en équilibre ionique d'une masse solide avec un volume donné d'eau distillée. La norme consiste à peser 10g de sédiment et d'ajouter 25 ml d'eau distillée dans un bécher. Ensuite, la solution est agitée pendant 60 mn par un agitateur magnétique. La suspension obtenue est laissée au repos pendant 2 heures et le pH est mesuré avec un pH-mètre.



Photo III.7: Agitateur magnétique.

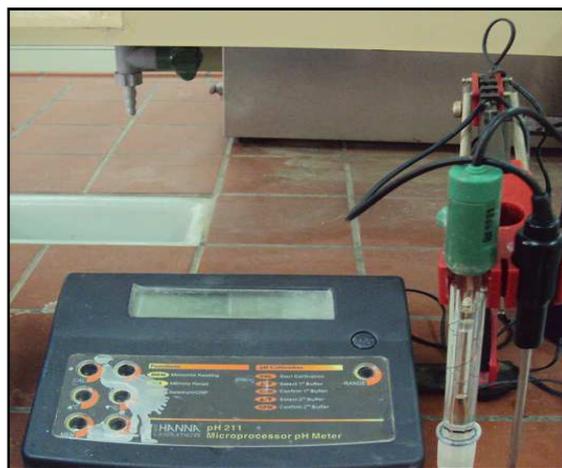


Photo III.8: pH mètre.

III .5.3 Détermination de la conductivité électrique

Dans un bécher, On met 20g de sédiment et on lui rajoute 50 ml d'eau distillée. Ensuite, la solution est agitée pendant 2 heures par un agitateur magnétique. La suspension obtenue est laissée au repos pendant 24 heures et la conductivité est mesurée avec un conductimètre (Rodier et al, 1996).



Photo III.9: Conductimètre.

III .5.4 Détermination de la matière organique totale

La technique permet de donner le taux du carbone organique mais ne donne pas le taux exact de la matière organique dans les sédiments. Pour calculer le taux du carbone organique, la procédure suivante a été suivie. 1g d'échantillon à 450°C pendant 3h ont été calcinés. Après refroidissement et pesage (Annexe D, tableau 2), le pourcentage de la perte de masse pendant la calcination représente le pourcentage en composés organique total de l'échantillon.

Le pourcentage de la matière organique est calculé à partir de la relation suivante :

$$\text{MO}\% = \left(\frac{M - M_2}{M_2 - M_3} \right) * 100$$

Avec **M** : poids initial (5g),
M₂ : poids après séchage à 105°C,
M₃ : poids après calcination à 450°C.

III .5.5 Détermination du calcaire total

On a utilisé la méthode volumétrique au calcimètre de Bernard.

- Réaliser l'attaque des quantités croissantes de CaCO₃ pur. (0,05g ; 0,1g et 0,2g) par 5ml de HCl dilué (Annexe D, tableau 3),
- On met 0,5g de sédiment dans l'erlenmeyer,
- On rajoute le tube à hémolyse contenant l'HCL dilué,
- Fermer l'erlenmeyer en le reliant au calcimètre, et avant de fermer le robinet du calcimètre, vérifier que le niveau du liquide du tube gradué (ou bien noter le volume initial). Si l'échantillon contient des carbonates; il se produit un dégagement de CO₂ refoulant l'eau dans la colonne du calcimètre ; abaisser l'ampoule du calcimètre au fur à mesure du dégagement gazeux de façon à ce que le niveau du liquide de l'ampoule soit constamment dans un même plan horizontal que celui de l'eau située dans la colonne,
- Lire le volume **V** du gaz carbonique dégagé (Annexe D, tableau 4),
- Il faut que le volume **v** expérimental soit proche de celui obtenu avec une quantité de carbonate de calcium.

Le taux de calcaire est calculé à partir de la relation suivante :

$$\text{CaCO}_3(\%) = \left(\frac{\text{P.v}}{\text{p.V}} \right) * 100$$

P : Poids du CaCO₃ pur,

V : Volume de gaz carbonique dégagé par le poids de carbonate pur,

p : poids du sédiment utilisé,

v : Volume de gaz carbonique dégagé par le poids de sédiment.

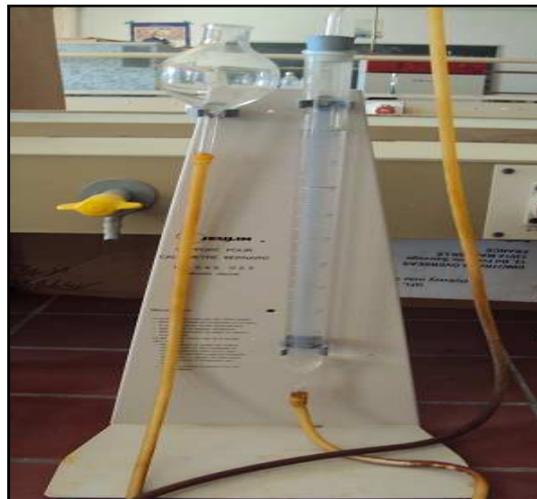


Photo III.10: Calcimètre de Bernard.

Chapitre IV

Résultats et discussions

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter toutes les caractéristiques granulométriques, minéralogiques et géochimiques des sédiments étudiés. Cette caractérisation est basée sur l'analyse des échantillons au laboratoire (analyse granulométrique à sec, analyse minéralogique, analyse microscopique, l'humidité total, le pH, la conductivité électrique et enfin le calcaire total).

IV .1 Caractérisation granulométrique des sédiments

L'étude granulométrique à sec des sédiments superficiels de l'estuaire du bassin versant de la Soummam, nous a permis d'une part, de caractériser la granulométrie de la couverture sédimentaire et, d'autre part, d'établir les variations spatio-temporelle de ces sédiments.

Les distributions granulométriques sont regroupées en 7 fractions : 4000 μm , 2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 125 μm , 63 μm et <63 μm (Figure IV.1). Les teneurs de ces différentes fractions granulométriques montrent des variations notables permettant de distinguer trois types de faciès (Tableau IV .1) : Gravier, sables, limons et argiles.

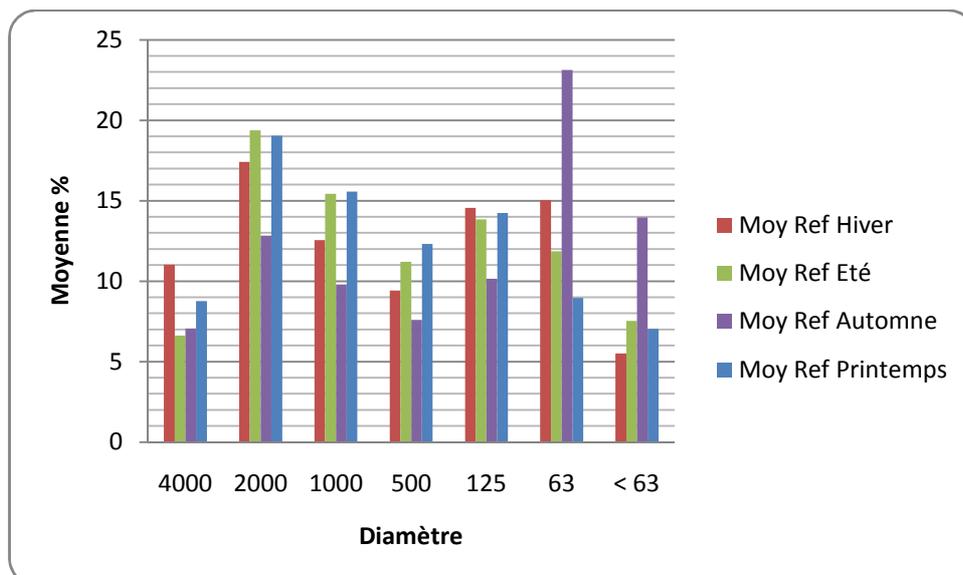


Figure IV .1 : Les moyennes saisonnières des refus des sédiments étudiés.

Selon le classement granulométrique des sédiments (JOCELYN R., 2008), on a calculé la moyenne des graviers, des sables, des limons et des argiles selon de chaque saison (Tableau IV .1).

Tableau IV .1 : Les moyennes des différentes fractions granulométriques des sédiments étudiés.

Dénominations Saisons	Gravier	Sables	Argiles et Limons
Hiver	11,03%	69,02%	5,50%
Été	6,63%	71,74%	7,54g%
Automne	7,05%	63,54%	13,97%
Printemps	8,77%	70,17%	7,04%

Les résultats obtenus montrent qu'il ya une variation spatio-temporelle entre différentes fraction. Le taux du gravier est important durant l'hiver (11,03%) qui est du au transport solide par charriage cependant, ce taux diminue en été (6,63%) par manque de pluie. Concernant les limons et les argiles, leur taux augmente en automne (13,97%) qui est du au transport solide en suspension (forte crue). En revanche, le taux du sable varie très peu (63,54% et 71,74%) durant toutes les saisons. Nous remarquons également, que la moyenne granulométrique est dominée par la fraction sableuse (figure IV.2) par rapport aux autres fractions (graviers, limons et argiles).

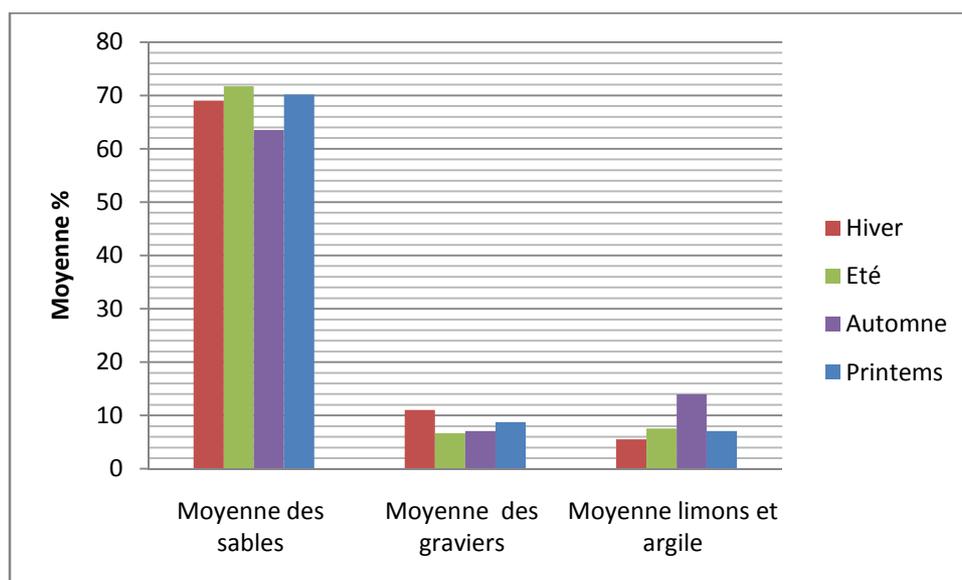


Figure IV.2 : Les moyennes des différentes fractions granulométriques des sédiments étudiés.

IV.2 Caractérisation minéralogique des sédiments

Cette caractérisation a pour objectif de déterminer le cortège minéralogique des argiles et des sédiments fins par la diffraction des rayons X. Concernant l'identification des minéraux argileux, nous avons utilisé certaines conventions émises par plusieurs auteurs dans la littérature. Ainsi, le comité international de nomenclature AIPE A propose une nomenclature dans laquelle sont distingués les minéraux à 7Å , dite 1/1 désignés souvent comme (Te/Oc), de ceux de 10Å ou 2/1 (Te/Oc/Te) et enfin, des minéraux à 14Å ou 2/1/1 (Te/Oc/Te/Oc), (Brindley et Pedro, 1973).

Tous les sédiments fins (fraction $<63\mu\text{m}$) analysés révèlent le même cortège minéralogie (figure IV.3). Ce dernier est composé essentiellement de quartz. Cette richesse est exprimée par des pics du quartz fins et élancés ($4,26\text{-}3,35\text{ Å}$). On trouve également de la calcite ($2,72\text{-}1,34\text{Å}$), de feldspath ($3,25\text{Å}$), de la goethite ($1,45\text{Å}$) et des minéraux secondaires comme l'illite ($10,08\text{-}4,99\text{Å}$) et de la kaolinite ($7,22\text{-}4,48\text{Å}$).

L'analyse des diffractogrammes (figure IV.4) révèle que la fraction argileuse est constituée d'illite, de kaolinite et de chlorite. Le minéral à $7,12\text{Å}$ présente un pic fin et intense, ce qui dénote une bonne cristallisation du minéral. Il n'y a pas de changement pour cette raie après saturation à l'éthylène glycol. C'est après un chauffage à 550°C , que la raie disparaît. Ceci est le comportement d'un minéral de type kaolinite. La deuxième réflexion (d002) de la kaolinite est enregistrée à $3,57\text{ Å}$. Le minéral à $9,94\text{ Å}$, qui représente la phase micacée (illite), présente un pic large (illite ouverte). Elle ne présente pas de changement de raie à l'éthylène glycol et au chauffage. La 2^{ème} réflexion d'illite (d002) est enregistrée à $4,97\text{ Å}$. Quant aux minéraux interstratifiés, ils présentent un gonflement à l'éthylène glycol ce qui signifie la présence des minéraux expansibles de type smectites qui peuvent être des interstratifiés type illite-montmorillonite (I-M).

Globalement, il n'y a pas de différenciation minéralogique entre les échantillons, que ça soit les sédiments fins ou la fraction argileuse. Cette homogénéité suggère que les minéraux identifiés sont le produit d'érosion des sols du bassin versant de la Soummam. Cependant, la calcite peut être, également, d'origine marine (présence des coquillages).

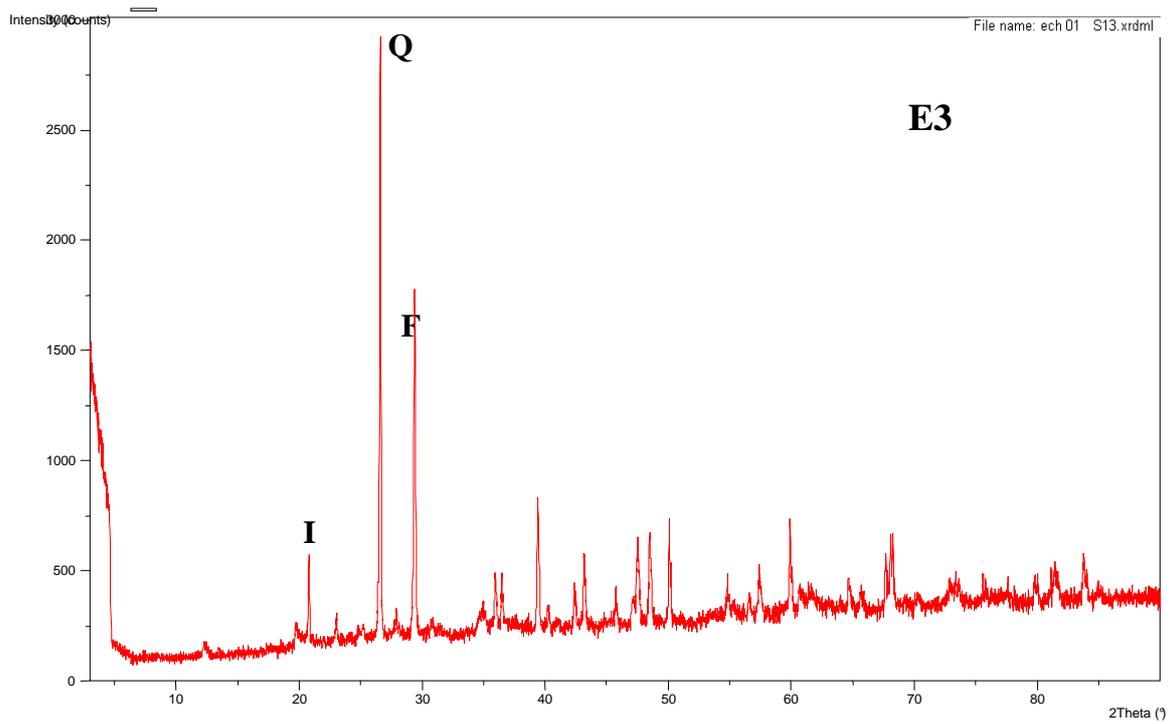
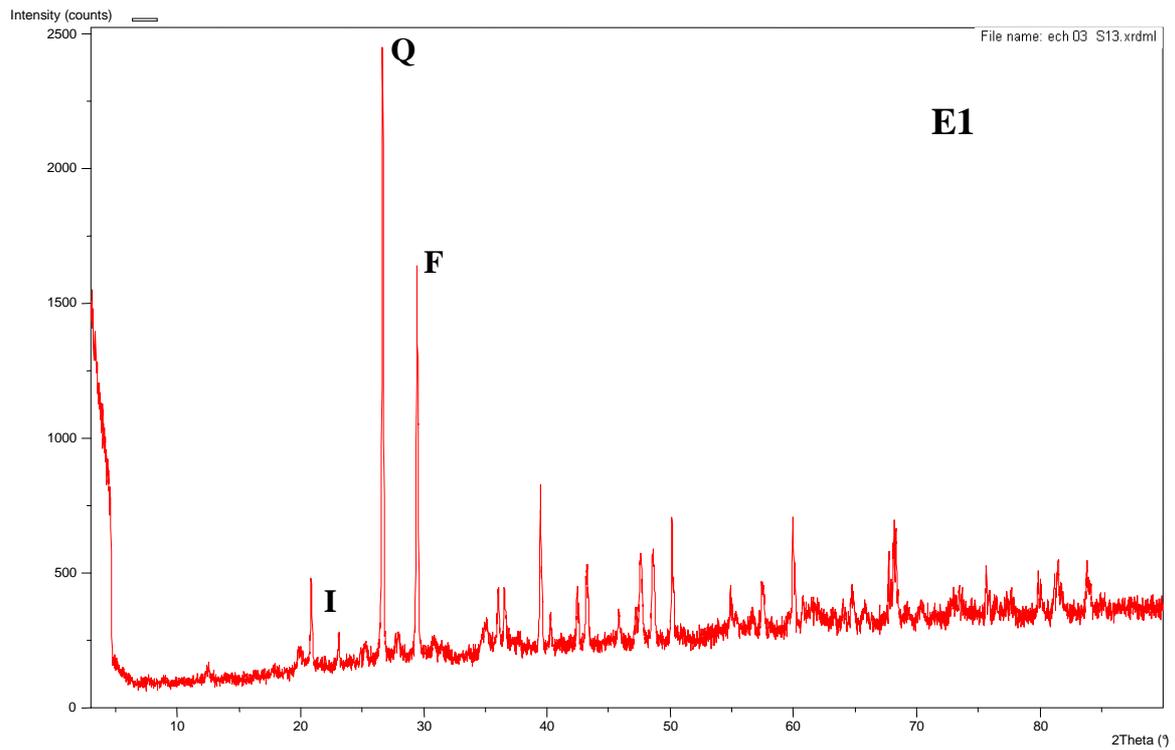


Figure IV.3 : Diagramme de DRX des sédiments fins E1 et E3

Q: quartz

F: feldspath

I: illite

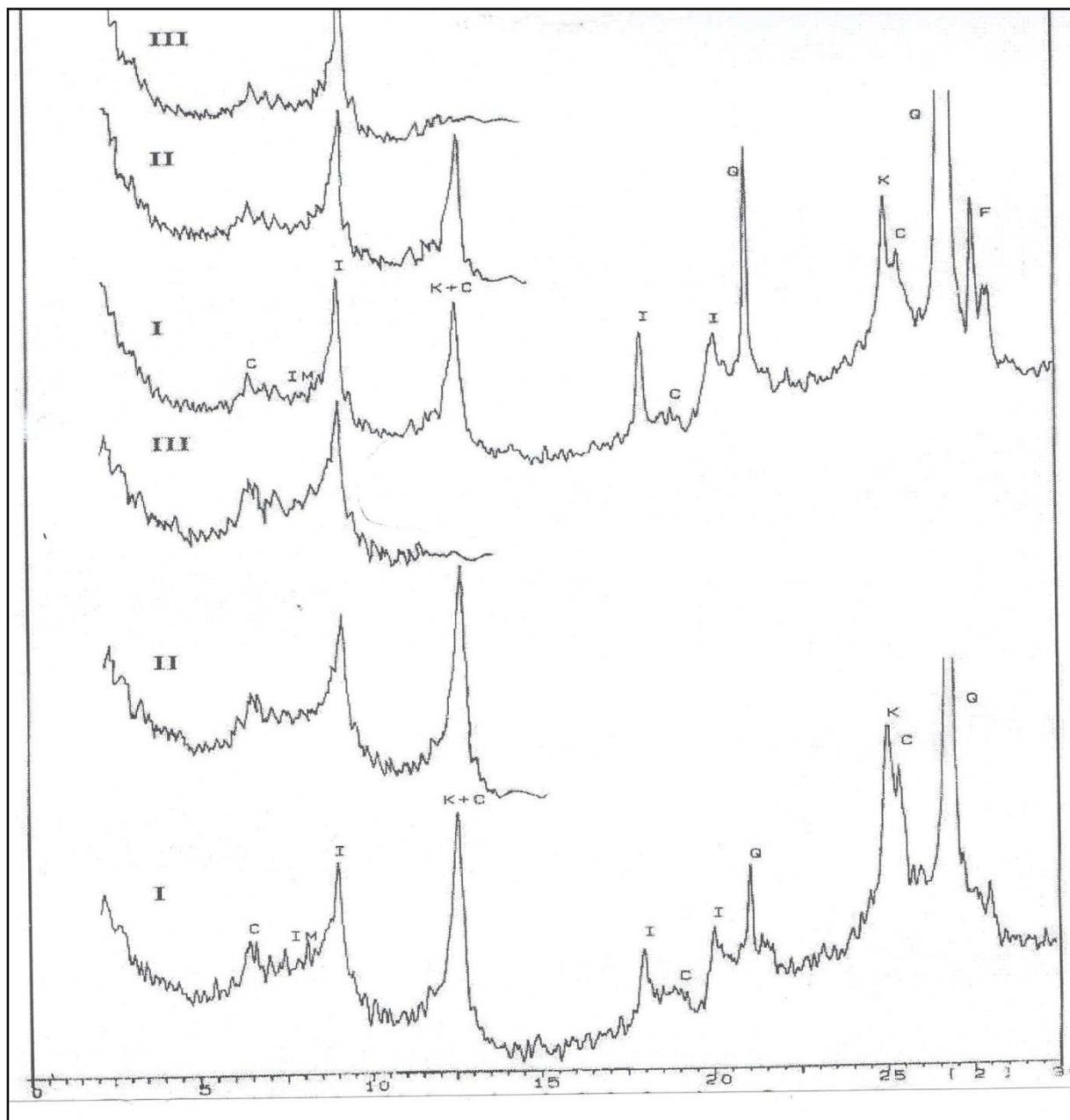


Figure IV.4 : Diagramme de DRX des dépôts orientés de la fraction $< 2\mu\text{m}$
E1 et E3.

I : Argile Naturel

II : Argile Glycolée

III : Argile Chauffée

IV.3 Caractérisation morphoscopiques et microscopie à balayage (MEB)

IV.3.1 Observation morphoscopie (loupe binoculaire)

L'observation morphoscopique de la fraction sableuse (grossier et fin) de l'échantillon (E1 et E2) de la saison d'été, nous a permis l'identification des grains de quartz et ses formes, des grés, un fossile et des sphérules (figure IV.4). L'identification a été faite par M. HASSISENE.

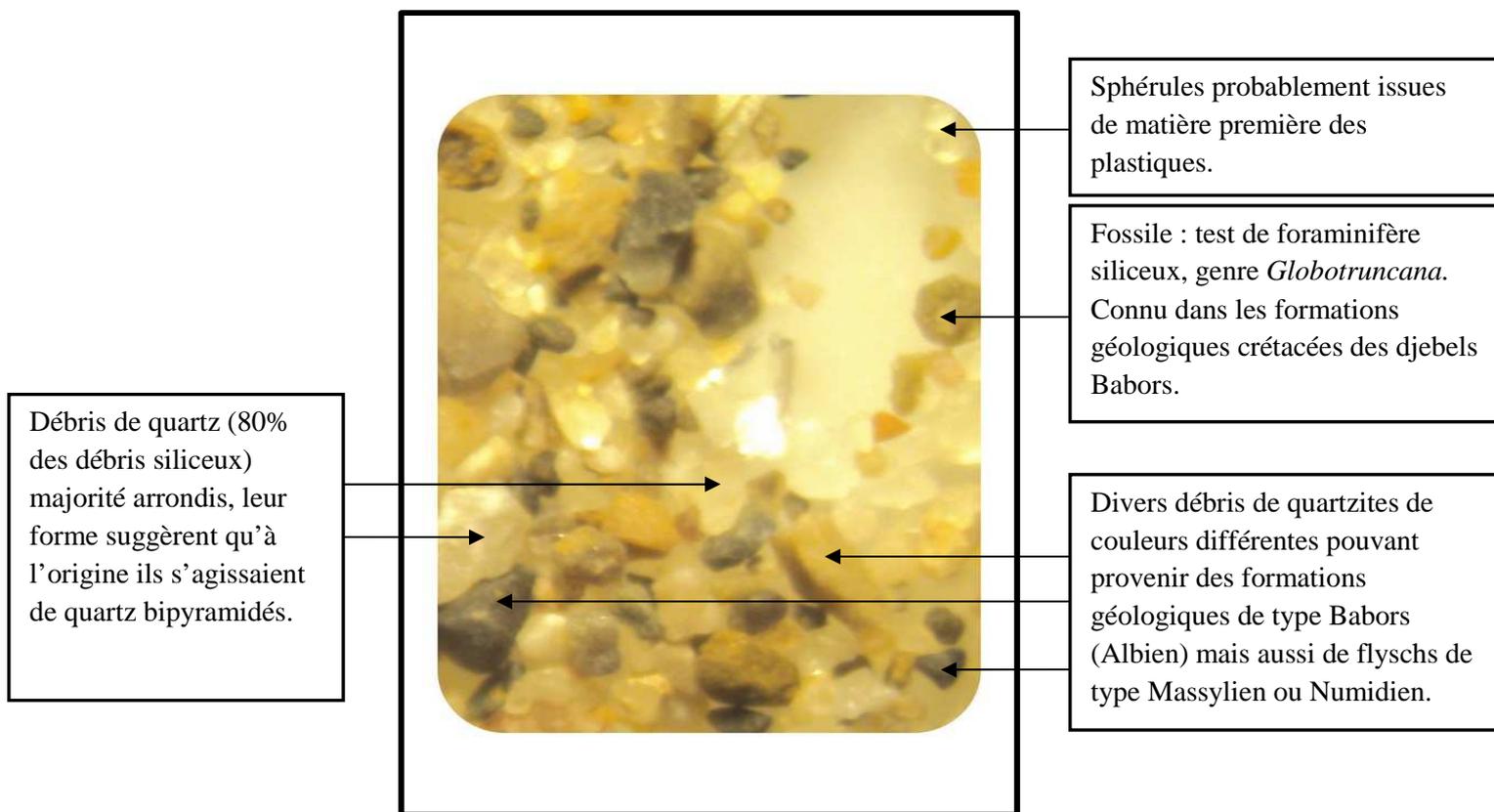


Figure IV.5: Description pétrographique du sable fin étudié (G : 2 x 10).

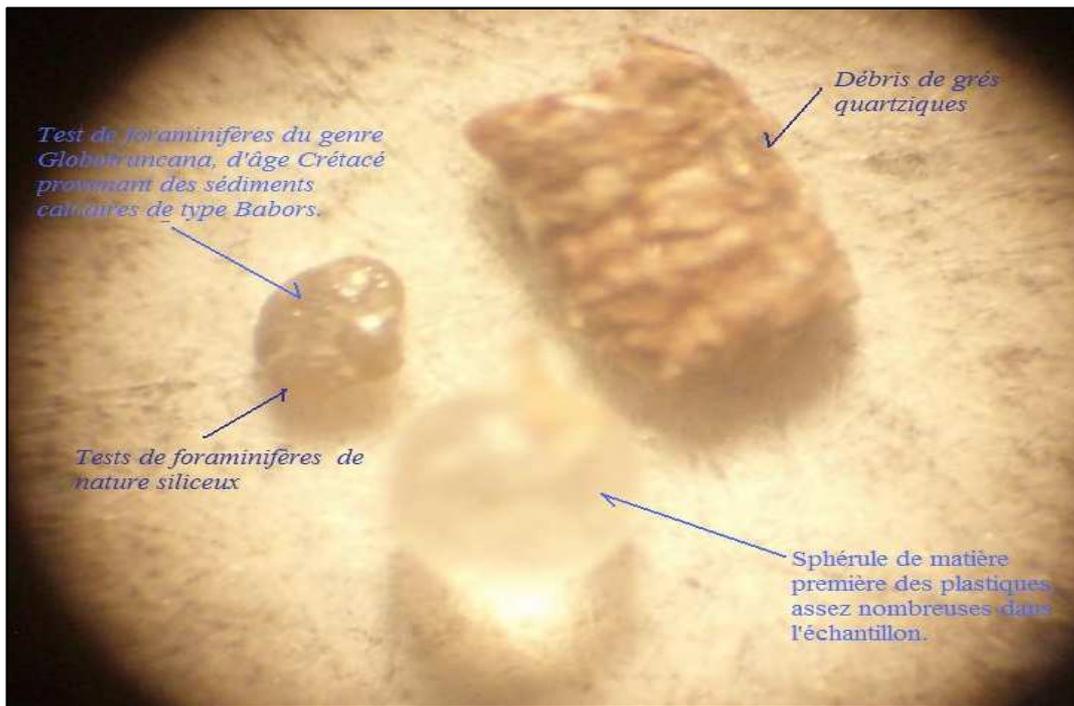


Figure IV.6: Description pétrographique de trois grains de sable fin (G : 4,5x 10).

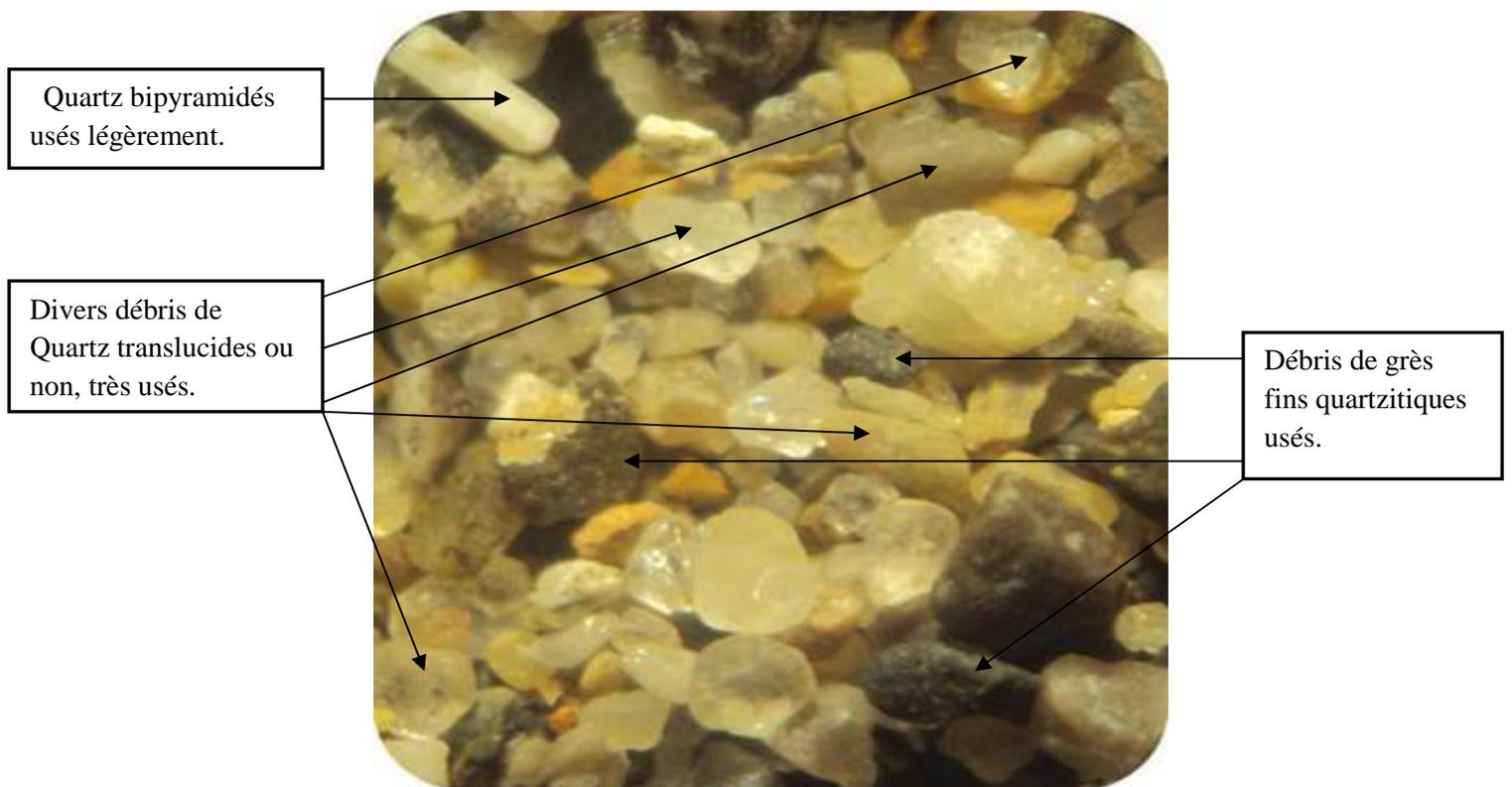


Figure IV.7: Description pétrographique du sable grossier étudié (G : 2 x 10).

IV.3.2 Observation microscopie à balayage MEB

L'observation au microscope électronique à balayage a porté uniquement sur deux échantillons de sable, puisque le traitement des argiles au palladium n'existe pas. Cette technique donne des informations sur le relief de l'échantillon, la morphologie des grains et leur agencement.

La figure IV.8 indique que les sables fins de ces sédiments sont composés de grains de quartz différents. On trouve des grains irréguliers mats, des grains ronds irréguliers et des grains irréguliers luisants.

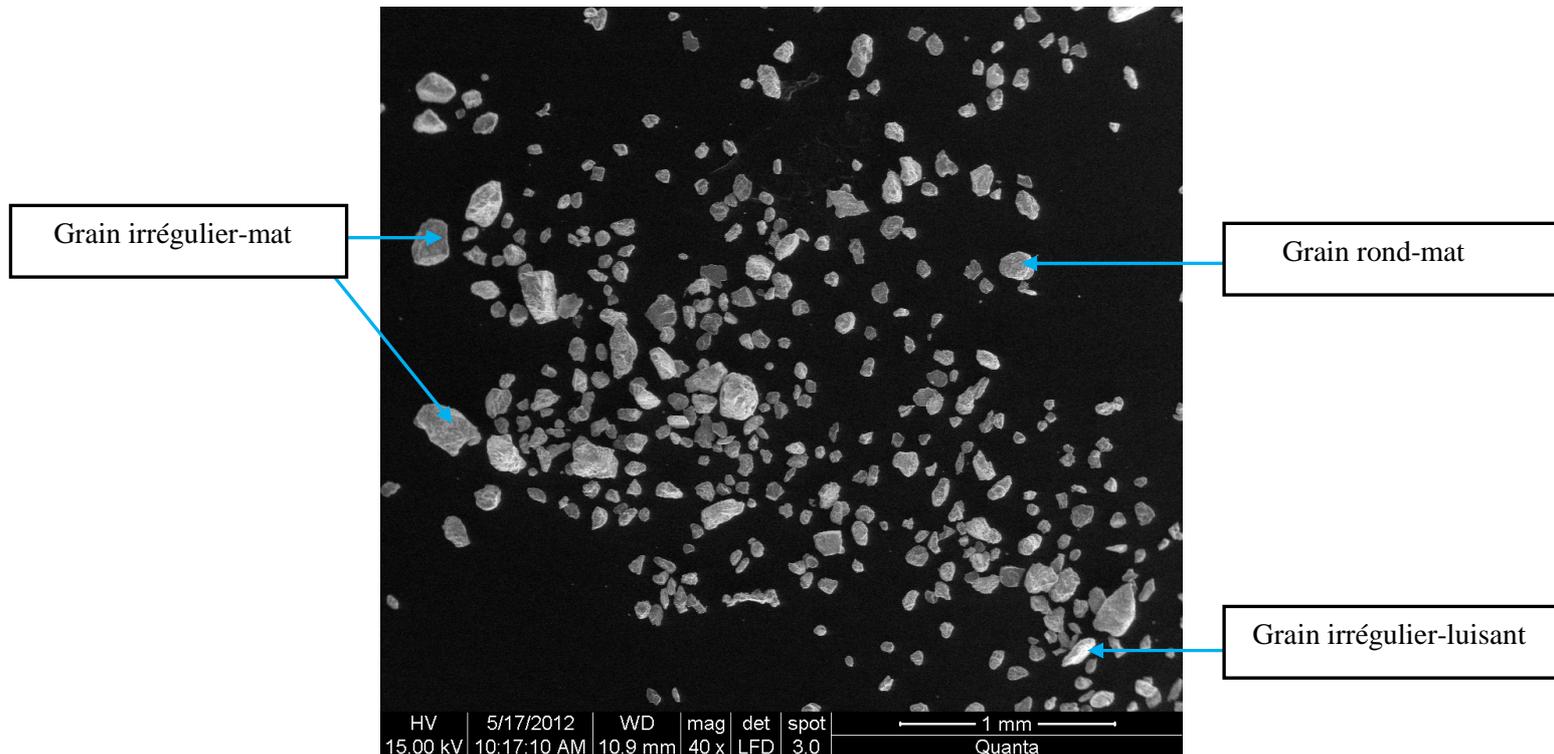


Figure IV.8: Photographies au MEB du Sable fin de la saison d'été.

La figure IV.9 indique que les sables grossiers de ces sédiments sont composés de différents grains de quartz. On trouve des grains irrégulier-luisant et des grains irrégulier-mat. On peut dire que les sables fins et les sables grossiers de ces sédiments ont le même cortège minéralogique.

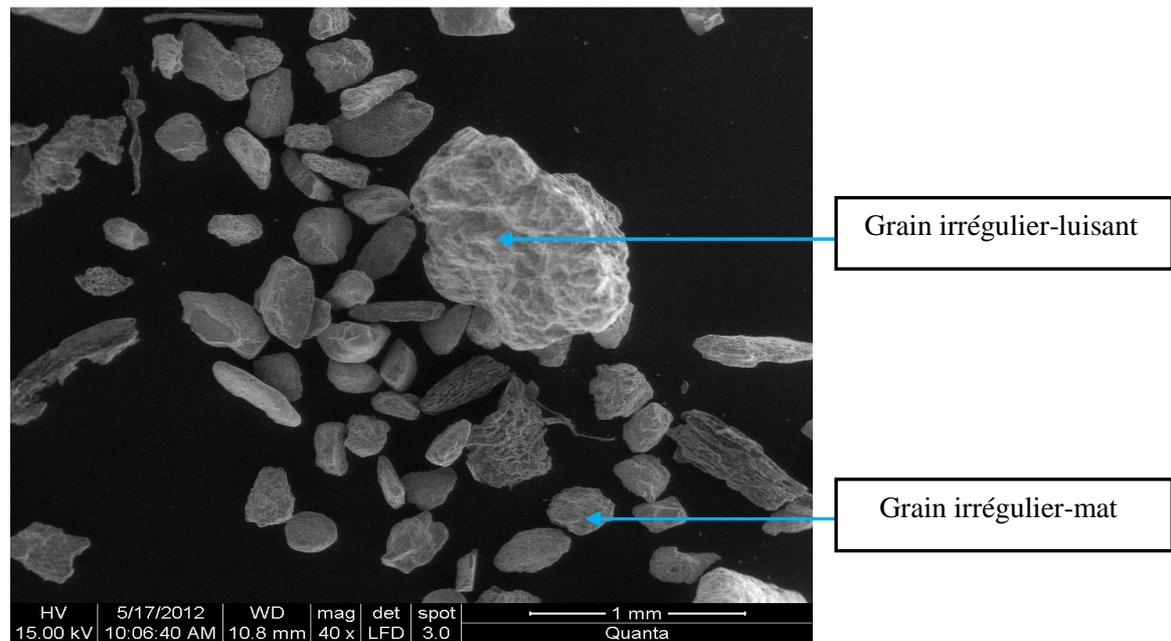


Figure IV.9: Photographies au MEB de Sable grossier de la saison d'été.

IV.4 Caractérisation géochimique des sédiments

Par manque de moyen (SAA), la caractérisation géochimique des sédiments est basée sur les résultats physico-chimiques des sédiments (l'humidité totale, le pH, la CE, le calcaire total et la matière organique).

Tableau IV.2: Les valeurs des moyennes et écart-types du pH, de la CE, de la MO, le taux du CaCO₃ et l'humidité totale des sédiments étudiés.

Saisons	Sédiments	pH	CE (mS/cm)	MO %	CaCO ₃ %	Ht%
Printemps	E1	7,8	1,49	2,77	23	4,4
	E2	7,18	2,2	2,56	25,5	4,2
	E3	7,62	4,15	2,34	26	3,6
	E4	7,77	3,42	2,55	34	4
	Moyenne	7,59	2,81	2,55	27,12	4,05
	Ecart-type	0,28	1,19	0,17	4,76	0,34
Eté	E1	7,87	5,09	2,56	29,5	4,2
	E2	7,83	6,85	5,29	28	8,8
	E3	7,65	7,17	3,66	28,5	6,2
	E4	6,75	9,02	3,71	26,5	6,2
	Moyenne	7,52	7,03	3,80	28,12	6,35
	Ecart-type	0,52	1,60	1,12	1,25	1,88
Automne	E1	8,08	2,18	2,35	16,43	4
	E2	7,89	1,84	2,82	16,43	4,6
	E3	7,9	1,33	3,63	20,27	6
	E4	7,46	7,46	2,54	34,52	4,4
	Moyenne	7,83	3,20	2,83	21,91	4,75
	Ecart-type	0,26	2,85	0,56	8,59	0,86
Hiver	E1	7,45	2,56	2,83	24,65	4,6
	E2	7,73	2,87	3,24	19,17	5,2
	E3	7,49	3,38	4,47	27,94	4,8
	E4	7,45	3,52	3,41	21,91	5,8
	Moyenne	7,53	3,08	3,48	23,41	5,1
	Ecart-type	0,13	0,44	0,69	3,75	0,52

IV.4.1 pH et les teneurs en CaCO_3 des sédiments

IV.4.1.1 pH des sédiments

Les pH des sédiments étudiés sont basiques. Quelques variations sont enregistrées en été (diminution du pH) qui est dû à la biodégradation de la matière organique. Egalement une forte alcalinité (pH= 8) en automne qui est dû probablement aux rejets. En général, le pH des sédiments est alcalin (> à 7).

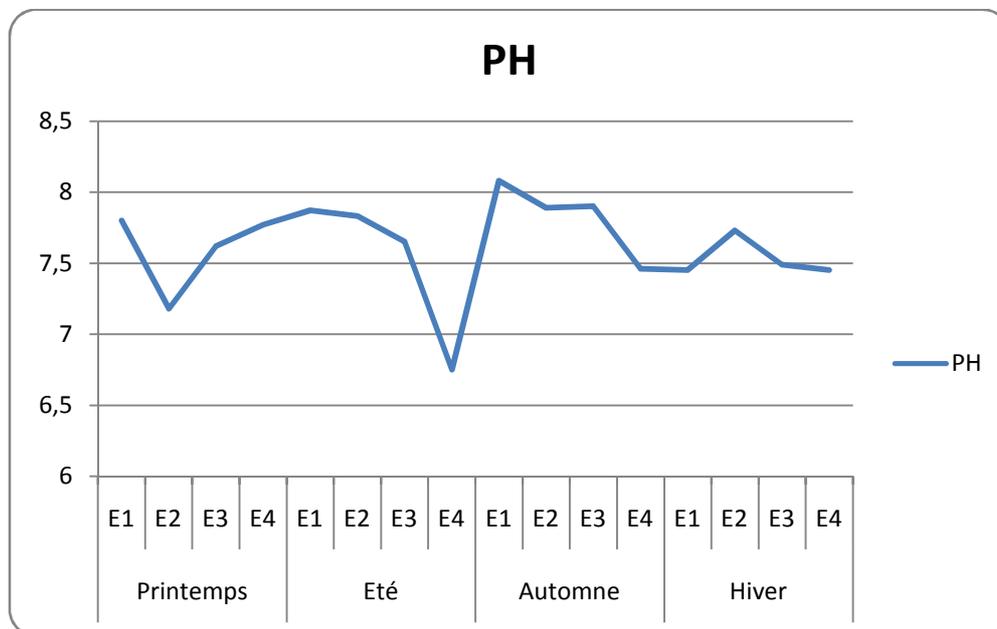


Figure IV.10 : Les valeurs du pH des sédiments étudiés.

La figure IV.11 montre que le pH des 16 échantillons de sédiment est légèrement différent dans les 4 échantillons de la même saison, quoique les variations du pH soient également très sensibles à la nature des rejets déversés acides et/ou alcalins.

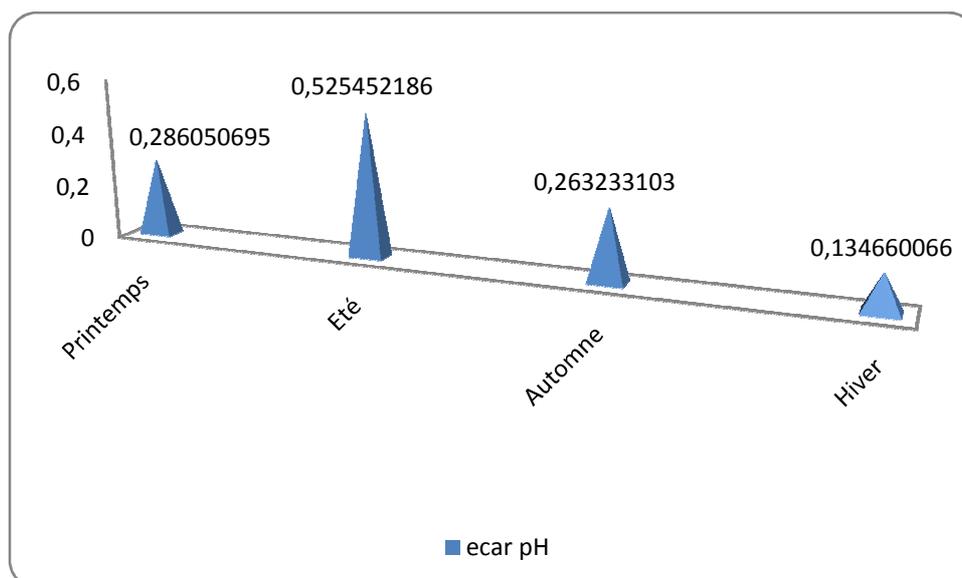


Figure IV.11 : Les valeurs saisonnières d'écart-type du pH des sédiments.

IV.4.1.2 Teneurs en CaCO_3

D'après les résultats (tableau IV.2), on remarque une différenciation spatio-temporelle de la teneur en CaCO_3 . Ces sédiments sont très calcaires, avec une moyenne de 27,12 à 28,12% qui est dû à la nature des sols érodés (sols calcaires) et des débris de divers organismes notamment les foraminifères actuels ou bien des débris calcaires des montagnes des Babors. Cette moyenne diminue en automne et en hiver (23,41 à 21,91%) (figure IV.12).

Les carbonates ont plusieurs origines possibles :

- Origine biodétritique, donnant des débris de divers organismes notamment ceux des mollusques sous forme d'aragonite et de calcite, tests de foraminifères, maërl, etc.... ces débris constituent souvent une part importante des sédiments dans les zones côtières. Ils s'accumulent parfois dans les aires à thanatocénose où ils constituent la quasi intégralité des sédiments.
- Origine biogénique, dans ce cas, ils sont essentiellement bactériens (Castanier, 1987).
- Une origine détritique, sous forme de carbonates particuliers issus de l'extérieur du bassin.
- Une origine chimique, en très faible part, de la précipitation des carbonates dissous d'origine marine ou continentale.

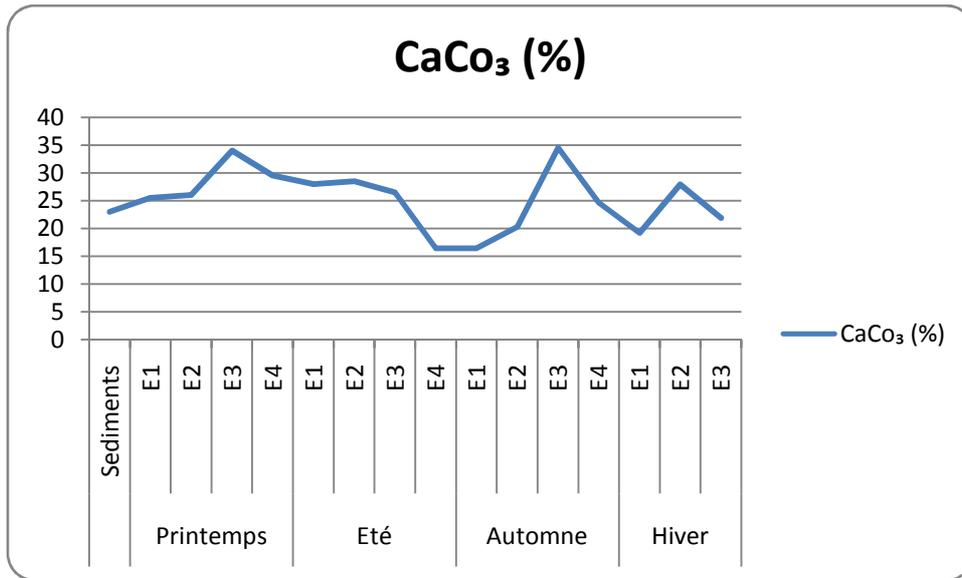


Figure IV.12: Les valeurs du CaCO₃% des sédiments étudiés.

Les valeurs de l'écart-types sont significantes, alors il y a une variabilité entre les échantillons de la même saison (figure IV.13).

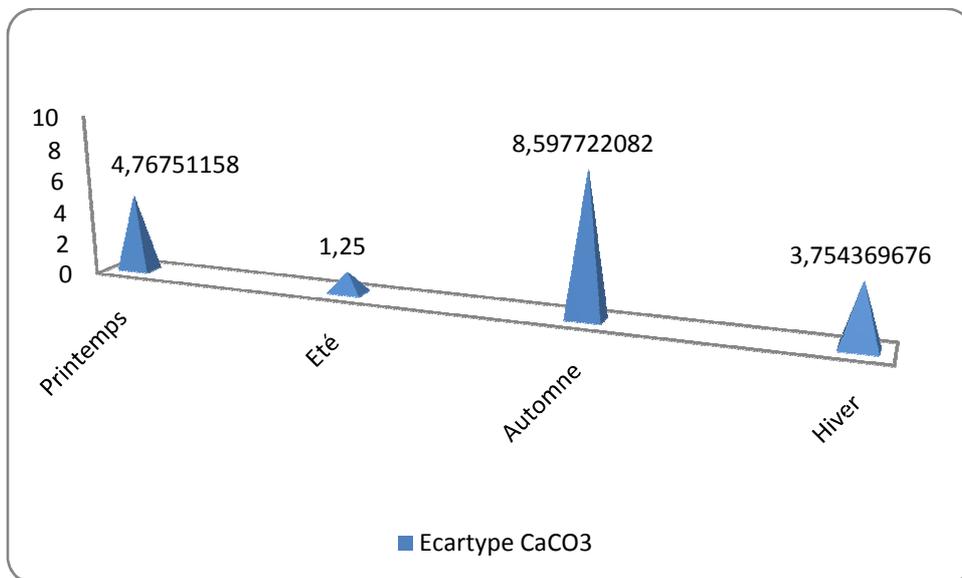


Figure IV.13 : Les valeurs saisonnières d'écart-type de CaCO₃% des sédiments étudiés.

IV.4.2 La conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique varient entre 1,33 et 9,02 mS/cm (tableau IV.2), Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées durant la saison d'été et la saison d'automne. Ceci est probablement dû à l'augmentation du volume des rejets domestiques et industriels très riche en matières dissoutes (figure IV.14).

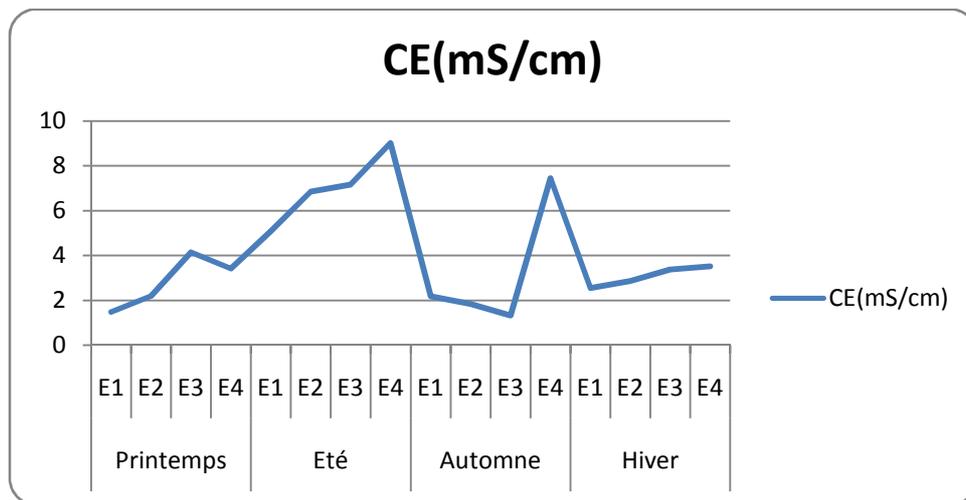


Figure IV.14 : Les valeurs de la conductivité électrique des sédiments étudiés.

Les valeurs de la moyenne de la conductivité électrique sont très élevées (7,03mS/cm) et, elles varient entre 2,81 et 3,2 mS/cm dans les autres saisons (tableau IV.2).

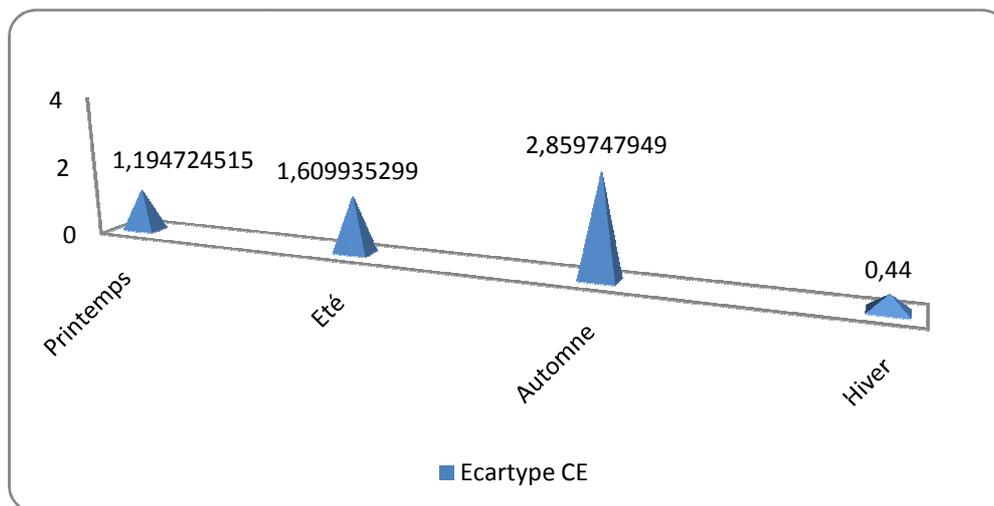


Figure IV.15 : Les valeurs saisonnières de l'écart-type de la CE des sédiments étudiés.

Les valeurs de l'écart-type sont insignifiantes (petites valeurs) pendant la même saison. Cependant, les valeurs sont significatives d'une saison à une autre (figure IV.15).

IV.4.1.3 La matière organique

Les valeurs moyennes de MO% sont plus ou moins proches pendant les quatre saisons, la valeur maximale est mesurée pendant l'été (3,80%). Cela est probablement dû à la décomposition de la matière organique. Ces teneurs en matière organique varient de 2,34% (E3 Printemps) à 5,29% (E2 Eté) (figure IV.16).

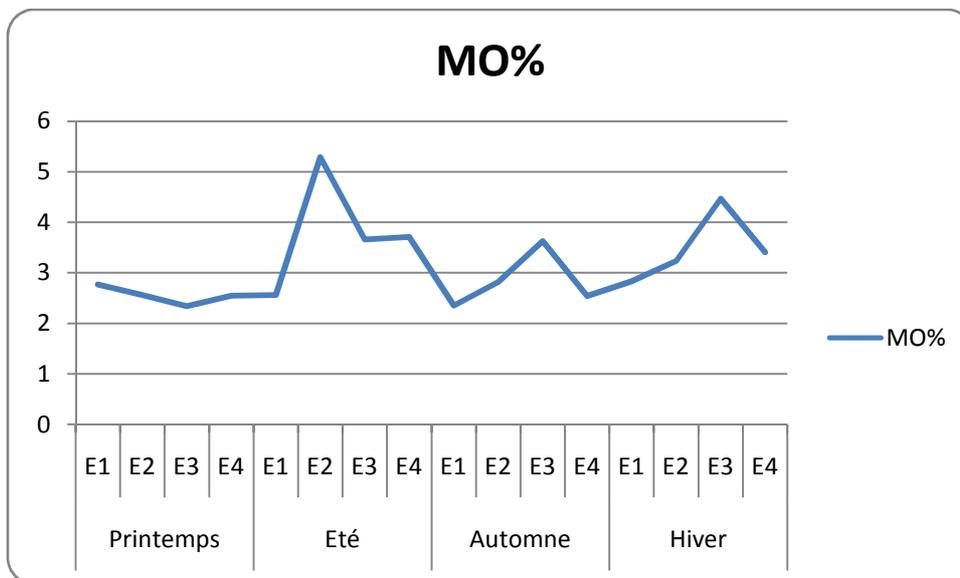


Figure IV.16 : Les valeurs de MO% des sédiments étudiés.

Les valeurs de l'écart-type sont insignifiantes alors il y a une faible variabilité entre les échantillons de la même saison (figure IV.17).

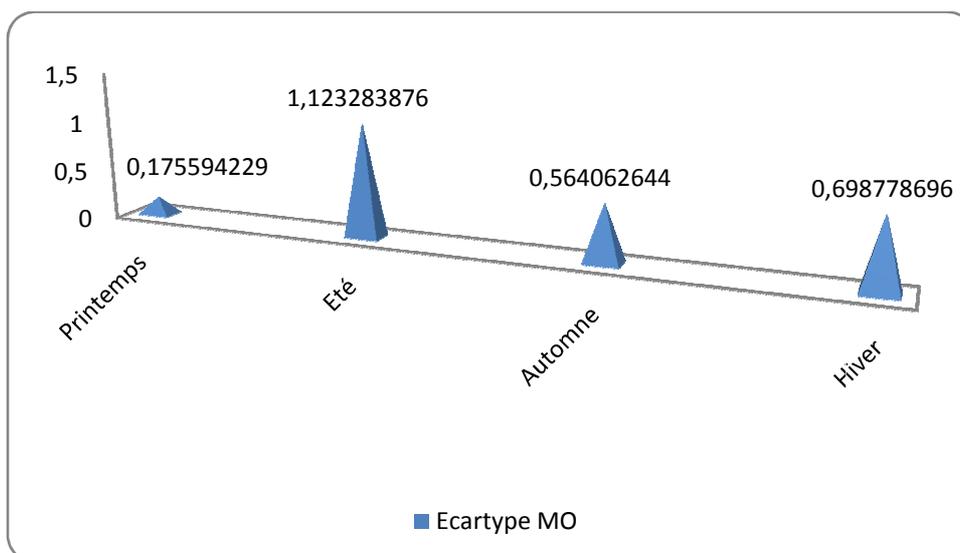


Figure IV.17 : Les valeurs saisonnières d'écart-type de la MO% des sédiments étudiés.

IV.4.1.4 L'humidité totale

Les pourcentages de l'humidité à 40°C, l'humidité résiduelle (à 105°C) et l'humidité totale et sa moyenne pour chaque échantillon de sédiment sont présentés dans le tableau (IV.3).

Les valeurs moyennes de l'humidité totale varient de 4,05% (Printemps) à 6,35% (Eté). Les valeurs moyennes sont proches entre le printemps et l'automne (4,05% et 4,75%), alors que celles de l'hiver et l'été sont différentes (5,1% et 6,35%), et cette différence est probablement dû à la teneur en matière organique.

Les valeurs de l'humidité totale varient de 3,6%(E3 Printemps) à 8,8%(E2 Eté) (figure IV.18).

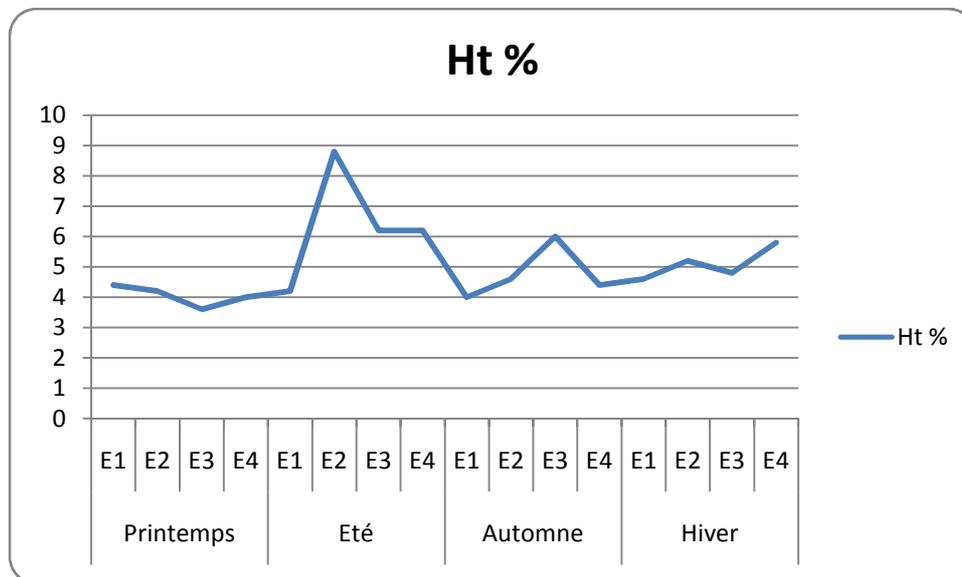


Figure IV.18: Les valeurs de l'humidité totale des sédiments étudiés.

Les valeurs de l'écart-type sont insignifiantes pendant la saison de printemps, d'automne et d'hiver ; pendant l'été il ya une petite augmentation de la valeur, qui signifie la variabilité entre les échantillons de cette saison, cette dernière est due à la différence en teneur de la matière organique entre ces échantillons (figure IV.19).

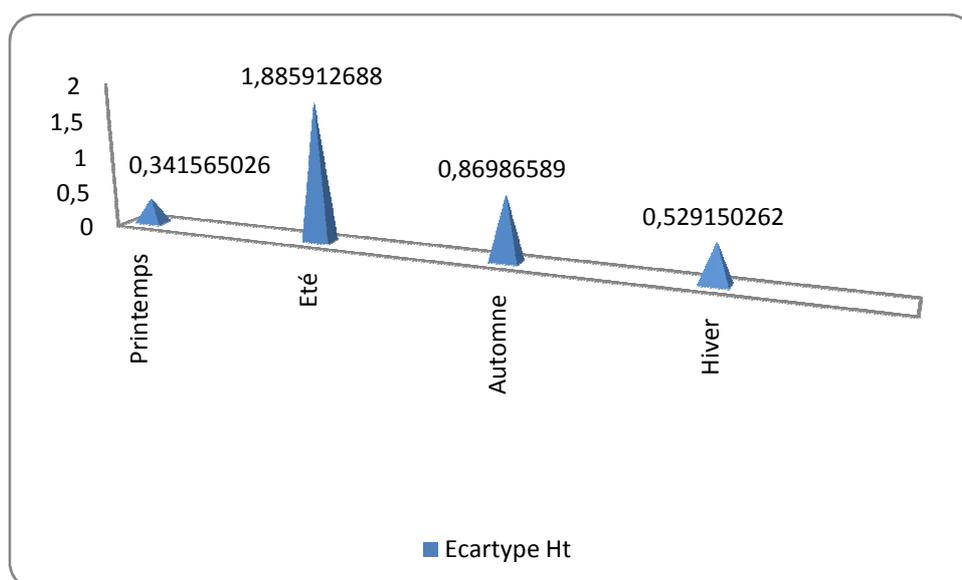


Figure IV.19: Les valeurs saisonnières d’écart-type de l’humidité totale des sédiments étudiés.

Saisons	Sédiments	H ₄₀ %	Hr %	Ht %	Moyennes Ht%
Printemps	E1	1,8	2,6	4,4	4,05
	E2	1,8	2,4	4,2	
	E3	1,4	2,2	3,6	
	E4	1,6	2,4	4	
Eté	E1	1,8	2,4	4,2	6,35
	E2	4	4,8	8,8	
	E3	2,8	3,4	6,2	
	E4	2,8	3,4	6,2	
Automne	E1	1,8	2,2	4	4,75
	E2	2	2,6	4,6	
	E3	2,8	3,2	6	
	E4	2	2,4	4,4	
Hiver	E1	2	2,6	4,6	5,1
	E2	2,2	3	5,2	
	E3	2	2,8	4,8	
	E4	2,6	3,2	5,8	

Tableau IV.3: Les valeurs de l’Humidité à 40°C, à 105°C et de l’Humidité totale.

IV.5 Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été faites en utilisant le logiciel STATISTICA.

IV.5.1 Test χ^2

À la base d'un test statistique il y a la formulation d'une hypothèse appelée hypothèse nulle (ou hypothèse zéro), notée H_0 . Dans le cas présent, elle suppose que toutes les données considérées dérivent de la même loi de probabilité (ou, dit différemment, la distribution observée n'est pas différente de la distribution supposée d'après la loi que l'on souhaite tester).

Dans un test statistique, la valeur p (en anglais p-value) est la probabilité d'obtenir la même valeur (ou une valeur encore plus extrême) du test si l'hypothèse nulle était vraie. Si cette valeur p est inférieure à la valeur du seuil préalablement défini (traditionnellement 5 % ou 1 %), on rejette l'hypothèse nulle.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$ pour les quatre saisons, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 , alors les lignes et les colonnes des tableaux (Annexe B) sont indépendantes pour les quatre saisons (Annexe E), donc il y a une corrélation entre les paramètres géochimiques et les fractions des sédiments.

IV.5.2 Test de corrélation

À partir des 16 échantillons, nous avons effectué une analyse de corrélation entre les paramètres géochimiques (pH, CE, MO, CaCO_3 et Ht) et les fractions des grains de sédiments (Gravier, Sable, Argile et Limon) (Annexe F).

Le gravier est corrélé avec le sable pendant l'hiver et avec l'argile et limon pendant l'été, ceci est due à l'érosion.

L'argile et le limon sont corrélé avec le pH pendant l'hiver, c'est-à-dire que cette fraction fine a une influence sur les propriétés acido-basiques des sédiments.

On a constaté aussi qu'il y a une corrélation entre les paramètres chimique à titre d'exemple :

- le pH est corrélé avec le CaCO_3 pendant l'été, car les carbonates issus de la décomposition de calcaire agissent sur l'acidité des sédiments.

- La MO est corrélable avec l'Ht pendant l'été, l'automne et le printemps, car la matière organique de ces saisons est hydratée, et elles ne sont pas corrélable pendant l'hiver parce que la matière organique de cette saison est non hydratée.
- Le CaCO₃ est corrélable avec l'Ht pendant l'hiver, car les carbonates de calcium ont tendance à s'humidifier.

Conclusion générale

Notre travail a porté sur la caractérisation granulométrique, minéralogique, microscopique et géochimique des sédiments estuariens du bassin versant de la Soummam. Cette caractérisation nous a permis de conclure ce qui suit :

La caractérisation granulométrique a montré qu'il y a une variation spatio-temporelle entre différentes fractions. Ces sédiments sont dominés par la fraction sableuse par rapport aux autres fractions (graviers, limons et argiles). La distribution granulométrique a été regroupée en 7 fractions : 4000 μm , 2000 μm , 1000 μm , 500 μm , 125 μm , 63 μm et <63 μm . Les teneurs de ces différentes fractions granulométriques montrent des variations notables permettant de distinguer trois types de faciès : Graviers, sables, limons et argiles.

L'approche minéralogique a permis l'identification des minéraux et argiles dans les sédiments étudiés. Ces derniers (sédiments fins), sont riches en quartz, en calcite, de la goethite et des feldspaths. Concernant la fraction argileuse de ces sédiments, on trouve en plus du quartz des argiles type kaolinite, illite, chlorite et des smectites. Globalement, il n'y a pas de différenciation minéralogique entre les échantillons, que ça soit les sédiments fins ou la fraction argileuse.

L'observation morphoscopique du sable montre la présence des débris de quartz (des débris siliceux), de divers débris de quartzites, de débris de grès fins quartzitiques usés, des fossiles foraminifères surtout qui sont d'origine marin et des sphérules probablement issues de matière première des plastiques.

L'observation par le microscope électronique à balayage montre des grains irrégulier-luisant, des grains irrégulier-mat et des grains ronds irréguliers. On peut dire que les sables fins et les sables grossiers de ces sédiments ont le même cortège minéralogique.

L'approche géochimique a montré que les sédiments étudiés sont basiques riche en calcaires. Concernant la matière organique, ces sédiments sont riches en matière organique. En revanche, il y'a une variation spatio-temporelle entre les échantillons concernant la conductivité électrique.

L'analyse statistique montre qu'il y a une corrélation entre les paramètres géochimiques et les fractions granulométriques des sédiments étudiés.

Il n'en reste pas moins que d'autres études pourraient traiter aspects, qui n'ont pas été faite dans ce travail, telle que la micromorphologie des argiles et la qualité de ces sédiments contaminés par les métaux, les pesticides et les hydrocarbures.

Enfin, nous espérons que cette étude servira de référence dans le futur.

Références bibliographiques

AFNOR, 1994. Qualité des sols. Recueil de normes françaises, 249 p.

ALEXIAD C.A, Polysopoulos N.A, Koroxenides N.S, et Axaris G.S, 1973. High trioctahedrale vermiculite content in the sand silt and clay fraction of gray brown podzolic soil in greece. Soil. Sci. V146. n°5, pp365-375.

AGOSTINI Franck, 2006. Inertage et valorisation des sédiments de dragage marin- thèse d'état. (France).

BAISE et JANIEC, 1994. Les éléments traces métalliques dans les sols. Editions INRA, pp1, 52.

BARONNET, 1978. La minéralogie. Collection Géosciences, 184p.

BECART D et al, 2002. Guide méthodologique Evaluation Détaillée des Risques liés à la gestion des sédiments et aux opérations de curage. Version 0, 102-114 pp.

BENNABI, M.S, (1985). Contribution à l'étude hydrologique da la vallée de l'oued de Sahel-Soummam (Algérie). Thèse Doctorat de troisième cycle de géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 156 p.

BENHAMICHE N, 1997. Modélisation de la relation pluie-relief eu vue de la cartographie par Krigeage : cas du bassin versant de la Soummam-thèse magister en Science agro. Option.Aménagement mise en valeur –INA .Alger, 180 p.

BENKHOUCHE N, 2005. Etude de l'évolution de la stabilité des terrasses de la vallée de la Soummam en fonction de la couverture végétale. Relation avec les capacités de filtration des eaux pluviales. Thèse de magistère en Biologie de conservation et Eco développement. Université A/Mire de Bejaia, 110p.

BOUAOUINA H, 2008.Contribution à la collecte et l'analyse des données relatives à la proposition au classement de l'oued Soummam sur la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale, p50.

BRINDLET et PEDRO, 1973. Rapport du Comite Internationale de Nomenclature (AIPEA Madrid, 1972).Bull. Groupe fr. Argiles, pp 37, 41.

CASTANIER, 1987. Microbiologie : Processus et modalités de la crabonatogénèse bactérienne. Thèse d'état univ. Nantes, 541p.

CHAMAYOU et LEGROS, 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Coll. Techniques vivantes, Agence de coopération culturelle et technique (ACCT), Conseil international de la langue française, PUF, 593 p.

COYNE et BELLIER, 1973. Etude de la régularisation de la Soummam. Bureau d'ingénieurs Conseils Paris. Université Louis Pasteur Centre de géographie appliqué Strasbourg. pp87, 124.

DEKKICHE, 1987. Pédologie générale. (Polycopie) ,97p.

DUCHAUFOUR, 1995. L'évolution des sols, essai sur la dynamique des profils.4ème édition, 324p, Masson, paris.

DUSSART, 1966. Limnologie—L'étude des eaux continentales. Paris: Gauthier-Villars, Ed; 1966, 678p.

ESLINGER et PEAVER, 1988. Clay minerals for petroleum geologists and engineers, SEPM Short course 22. Soc. Economic paleontologists and mineralogists, Tulsa, USA.

FRITZPATRICK, 1992. Soil microscopy and micromorphology, 303p.

GREGOIRE Schneider, 2005. Le curage des sédiments des cours d'eau. Le courrier de l'environnement de l'INRA (France).

HASSISSENE, 2000. Laboratoire d'Ecologie et Environnement, Université de Bejaia, Algérie.

IDER K, 2004 : Modélisation hydrodynamique d'un cours d'eau. Application à l'Oued Soummam. Thèse de Magistère en Hydraulique, Ecole Nationale Polytechnique, Algérie, 109p.

JOCELYN R, 2008. Calcination des sédiments de dragage contaminés .étude des propriétés physico-chimiques. Synthèse bibliographique. Thèse doctorat école doctorale : chimie Lyon (chimie, procédés, environnement). 21, 22 p.

LAHMAR, 1988. Les sols rouges lessivés sur micascistes à chlorites ferrifères (Grande Kabylie, Algérie). Organisation de la couverture pédologique d'un bassin versant. Altération, Pédogenèse, Morphogenèse. Thèse de doctorat de l'université de Paris VI, 216p.

MAANE, 2010. Qualité des eaux de l'oued Soummam : caractérisations et impacts des facteurs anthropiques et naturels .Thèse de doctorat en science .Option analyse de l'environnement et biodiversité, Université A /Mira de Bejaia ,113 p.

MOORE et REYNOLDS, 1989. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, 322p.

NEDJARI et ABED, 1998. Les roches détritiques. Les cahiers de la géologie, n°2, 31p.

NOUGAR Bénali , 2009. Etude du comportement des sédiments issus du dragage en vue de leur stockage en attente de valorisation, MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN GENIE CIVIL. OPTION : GEOMATERIAUX. Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technologique d'Oran, pp18, 19.

ROBERT M, TESSIER D, 1974. Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. Ann agro, 25(6), pp859-882.

RODIER et al ,1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 8^{ème} Ed. Dunod, Paris, 1383p.

SELTZER, 1946. Climat d'Algérie. Carbonel Algiers 1, 219 p.

SEMCHA Abdelaziz, 2006. Valorisation des sédiments de dragage –thèse d'état. Université de Reims Champagne-Ardenne (France).

VIGARIO et al, 1971. Microscope électronique à Balayage. Bull. Soc. Franç. Min et cristallogr. T. 94, n°3, pp195-203.

ZEROUROU M, 1990. Contribution a l'étude hydrogéologique de la vallée de la basse Soummam (Wilaya de Bejaia). Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie. Université des sciences de la technologie HOUARI BOUMEDIENE, 119p.

ZOUGAGH F, 2003. Étude des communautés animales aquatiques de l'oued Soummam, cas des macro-invertébrés, Mémoire Magister en Biologie, option : biologie de la conservation et éco-développement. Université A-Mira de Bejaia, 74p.

Annexe A

Tableaux de masse de refus et leur pourcentage en fonction de diamètre pour chaque échantillon :

Hiver E1

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	63,4	12,2956383
2000	100,13	18,1276704
1000	62,84	12,2002835
500	44,21	8,90540649
125	106,14	19,0089009
63	62,02	12,060282
< 63	13,49	2,89659023
Masse totale réelle	452,23	85,4947718

Hiver E2

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	45,5	7,51892124
2000	87,76	13,5557615
1000	60,42	9,7442183
500	43,41	7,19840809
125	72,01	11,4003008
63	184,02	24,7451792
< 63	66,52	10,6234828
Masse totale réelle	559,64	84,786272

Hiver E3

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	84,67	12,7927356
2000	141,84	19,7265761
1000	93,39	13,92675
500	68,35	10,5880348
125	111,67	16,2108411
63	53,98	8,55237099
< 63	23,29	3,87856382
Masse totale réelle	577,19	85,6758724

Hiver E4

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	75,29	11,5175157
2000	129,59	18,3036723
1000	96,77	14,3324743
500	71,76	11,0371134
125	76,13	11,6310691
63	100,74	14,8332474
< 63	28,13	4,63778151
Masse totale réelle	578,41	86,2928738

Eté E1

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	45,85	8,4789644
2000	117,62	19,2026383
1000	87,01	14,9524841
500	64,65	11,5539273
125	87,84	15,0736177
63	44,98	8,33148107
< 63	46,95	8,66475962
Masse totale réelle	494,9	86,2578724

Eté E2

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	33,52	6,23013587
2000	111,82	18,142878
1000	88,25	14,8879816
500	64,81	11,3837561
125	98,58	16,345819
63	64,65	11,3588446
< 63	42,88	7,83353733
Masse totale réelle	504,51	86,1829526

Eté E3

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	27,56	5,05883001
2000	118,47	18,6361491
1000	94	15,3788263
500	62,53	10,7854974
125	70,77	12,0357143
63	106,38	17,0587386
< 63	37,52	6,76340694
Masse totale réelle	517,23	85,7171627

Eté E4

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	32,03	6,75980837
2000	121,43	21,559576
1000	87,36	16,5091844
500	55,31	11,1263101
125	59,82	11,9253618
63	53,06	10,7222245
< 63	32,79	6,90912156
Masse totale réelle	441,8	85,5115867

Automne E1

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	42,59	6,95074583
2000	50,27	8,10257567
1000	36,96	6,08785887
500	30,14	5,02090656
125	52,4	8,41699462
63	230,41	28,7811032
< 63	127,38	18,2615801
Masse totale réelle	570,15	81,6217649

Automne E2

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	46,94	8,66147544
2000	65,43	11,6749639
1000	46,18	8,53320522
500	36,49	6,86560424
125	51,29	9,38878618
63	159,73	24,396316
< 63	88,94	15,2310169
Masse totale réelle	495	84,7513679

Automne E3

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	34,61	6,87647772
2000	96,8	17,117595
1000	75,94	13,9431551
500	55,61	10,6063207
125	54,31	10,3841227
63	95,83	16,9751829
< 63	55,6	10,6046157
Masse totale réelle	468,7	86,5074698

Automne E4

Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	29,75	5,73704104
2000	82,75	14,4779201
1000	58,06	10,6167828
500	41,86	7,88814141
125	69,72	12,4827673
63	141,19	22,4111111
< 63	65,48	11,8133107
Masse totale réelle	488,81	85,4270744

Printemps E1		
Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	36,25	8,40306915
2000	93,96	19,2107953
1000	80,63	16,9472644
500	62,46	13,6494755
125	71,18	15,2641963
63	23,74	5,66749427
< 63	26,92	6,37824006
Masse totale réelle	395,14	85,520535

Printemps E2		
Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	51,89	9,3297134
2000	121,15	19,3703633
1000	88,25	14,8935093
500	65,45	11,4876961
125	82,21	14,0170503
63	34,73	6,44317465
< 63	60,61	10,7293326
Masse totale réelle	504,29	86,2708397

printemps E3		
Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	49,41	9,3878249
2000	106,42	18,2435328
1000	91,12	16,0414063
500	72,89	13,2575482
125	85,51	15,2039401
63	48,4	9,2136072
< 63	23,16	4,63135161
Masse totale réelle	476,91	85,9792111

Printemps E4		
Diam (µm)	Masse de refus(g)	Ref(%)
4000	49,93	7,96789225
2000	138,34	19,3468988
1000	97,32	14,4385265
500	70,69	10,9190609
125	82,52	12,5176342
63	98,25	14,5564182
< 63	39,66	6,43444684
Masse totale réelle	576,71	86,1808776

Annexe B

Tableaux de pourcentage des refus, de moyenne et d'écart-type fonction de diamètre pour chaque saison.

Hiver						
	E1	E2	E3	E4	Moyenne	Ecart-type
4000	12,2956383	7,51892124	12,7927356	11,5175157	11,0312027	2,39961226
2000	18,1276704	13,5557615	19,7265761	18,3036723	17,4284201	2,67918041
1000	12,2002835	9,7442183	13,92675	14,3324743	12,5509315	2,08705249
500	8,90540649	7,19840809	10,5880348	11,0371134	9,4322407	1,74919399
125	19,0089009	11,4003008	16,2108411	11,6310691	14,562778	3,70046393
63	12,060282	24,7451792	8,55237099	14,8332474	15,0477699	6,9570362
< 63	2,89659023	10,6234828	3,87856382	4,63778151	5,50910459	3,48329168
pH	7,45	7,73	7,49	7,45	7,53	0,13466007
Cond	2,56	2,87	3,38	3,52	3,0825	0,44649561
MO	2,83	3,24	4,47	3,41	3,4875	0,6987787
Caco3	16,43	16,43	20,27	34,52	21,9125	8,59772208
Ht	4,6	5,2	4,8	5,8	5,1	0,52915026
Eté						
	E1	E2	E3	E4	Moyenne	Ecart-type
4000	8,4789644	6,23013587	5,05883001	6,75980837	6,63193466	1,23125658
2000	19,2026383	18,142878	18,6361491	21,559576	19,3853104	1,31012222
1000	14,9524841	14,8879816	15,3788263	16,5091844	15,4321191	0,64981635
500	11,5539273	11,3837561	10,7854974	11,1263101	11,2123727	0,28968134
125	15,0736177	16,345819	12,0357143	11,9253618	13,8451282	1,91847092
63	8,33148107	11,3588446	17,0587386	10,7222245	11,8678222	3,20245117
< 63	8,66475962	7,83353733	6,76340694	6,90912156	7,54270636	0,76686431
pH	7,87	7,83	7,65	6,75	7,525	0,45505494
Cond	5,09	6,85	7,17	9,02	7,0325	1,39424487
MO	2,56	5,29	3,66	3,71	3,805	0,97279237
Caco3	29,5	28	28,5	26,5	28,125	1,08253175
Ht	4,2	8,8	6,2	6	6,3	1,64012195

Automne

	E1	E2	E3	E4	Moyenne	Ecart-type
4000	6,95074583	8,66147544	6,87647772	5,73704104	7,05643501	1,20561327
2000	8,10257567	11,6749639	17,117595	14,4779201	12,8432637	3,86355005
1000	6,08785887	8,53320522	13,9431551	10,6167828	9,7952505	3,32753857
500	5,02090656	6,86560424	10,6063207	7,88814141	7,59524323	2,33180611
125	8,41699462	9,38878618	10,3841227	12,4827673	10,1681677	1,73954502
63	28,7811032	24,396316	16,9751829	22,4111111	23,1409283	4,8968228
< 63	18,2615801	15,2310169	10,6046157	11,8133107	13,9776309	3,46336593
pH	8,08	7,89	7,9	7,46	7,8325	0,2632331
Cond	2,18	1,84	1,33	7,46	3,2025	2,85974795
MO	2,35	2,82	3,63	2,54	2,835	0,56406264
Caco3	16,43	16,43	20,27	34,52	21,9125	8,59772208
Ht	4	4,6	6,2	4,4	4,8	0,96609178

Printemps

	E1	E2	E3	E4	Moyenne	Ecart-type
4000	8,40306915	9,3297134	9,3878249	7,96789225	8,77212493	0,70071005
2000	19,2107953	19,3703633	18,2435328	19,3468988	19,0428976	0,53753271
1000	16,9472644	14,8935093	16,0414063	14,4385265	15,5801766	1,13380463
500	13,6494755	11,4876961	13,2575482	10,9190609	12,3284452	1,32935781
125	15,2641963	14,0170503	15,2039401	12,5176342	14,2507052	1,29021325
63	5,66749427	6,44317465	9,2136072	14,5564182	8,97017358	4,02321609
< 63	6,37824006	10,7293326	4,63135161	6,43444684	7,04334278	2,59598011
pH	7,8	7,18	7,62	7,77	7,5925	0,28605069
Cond	1,49	2,2	4,15	3,42	2,815	1,19472451
MO	2,77	2,56	2,34	2,55	2,555	0,17559423
Caco3	24,65	19,17	27,94	21,91	23,4175	3,75436968
Ht	4,4	4,2	3,6	4	4,05	0,34156503

Annexe C

saison	Moyenne des sables	Moyenne des graviers	Moyenne limons et argiles
Hiver	69,02214017	11,03120272	5,509104593
Eté	71,74275258	6,631934661	7,542706362
Automne	63,54285339	7,056435006	13,97763086
Printemps	70,17239815	8,772124925	7,043342785

Tableau 1 : valeurs des moyennes des refus des différentes fractions pour chaque saison.

saison	Ecart-type des sables	Ecart-type des graviers	Ecart-type limons et argiles
Hiver	17,172927	2,39961226	3,48329168
Eté	7,37054199	1,23125658	0,96686431
Automne	16,1592626	1,20561327	3,46336593
Printemps	8,31412449	0,70071005	2,59598011

Tableau 2 : valeurs des écart-types des refus des différentes fractions pour chaque saison.

Annexe D

Saisons	Sédiments	Poids de la capsule vide	Poids de la capsule + sédiment à 40°C	Poids de la capsule + sédiment à 105°C	Poids de la capsule + sédiment à 450°C
Printemps	E1	34,66	39,57	39,53	23,76
	E2	33,63	38,54	38,51	22,56
	E3	18,79	23,72	23,68	23,51
	E4	18,80	23,72	23,68	23,53
Eté	E1	36,21	41,12	41,09	23,51
	E2	33,89	38,69	38,65	44,69
	E3	34,68	39,54	39,51	22,96
	E4	86,65	91,51	91,48	23,72
Automne	E1	87,58	92,49	92,47	22,61
	E2	85,85	90,75	90,72	23,47
	E3	84,36	89,22	89,20	23,27
	E4	81,44	86,34	86,32	23,59
Hiver	E1	87,40	92,30	92,27	44,70
	E2	91,85	96,74	96,70	22,99
	E3	86,36	91,26	91,22	51,76
	E4	102,95	107,82	107,79	50,23

Tableau 1: poids des creusets vides et avec les sédiments.

Saisons	Sédiments	M ₂ (g)	M ₃ (g)
Printemps	E1	4,87	0,19
	E2	4,88	0,21
	E3	4,89	0,2
	E4	4,88	0,18
Eté	E1	4,88	0,21
	E2	4,76	0,23
	E3	4,83	0,19
	E4	4,83	0,25
Automne	E1	4,89	0,22
	E2	4,87	0,27
	E3	4,84	0,44
	E4	4,88	0,16
Hiver	E1	4,87	0,29
	E2	4,85	0,23
	E3	4,86	1,73
	E4	4,84	0,15

Tableau 2: poids des sédiments après la calcination à 450°C.

Poids de CaCO ₃ (g) \ Volume (ml)	V ₀	V ₁	V=V ₁ -V ₀
0,05	2	11,75	9,75
0,1	2,25	21	18,25
0,2	2	44,5	42,5

Tableau 3 : volume de CO₂ dégagé dans CaCO₃ pur.

Saisons	Sédiments	v ₀	v ₁	v
Printemps	E1	2	25	23
	E2	2	27,5	25,5
	E3	2	28	26
	E4	2	36	34
Eté	E1	2	31,5	29,5
	E2	2	30	28
	E3	2	30,5	28,5
	E4	2	28,5	26,5
Automne	E1	2,5	17,5	15
	E2	2	17	15
	E3	2	20,5	18,5
	E4	2	33,5	31,5
Hiver	E1	3	25,5	22,5
	E2	3	20,5	17,5
	E3	2,5	27	25,5
	E4	2,5	22,5	20

Tableau 4 : volume de CO₂ dégagé dans les sédiments.

Avec v₀ : le volume initial.

v₁ : volume dégagement de CO₂ refoulant l'eau dans la colonne du calcimètre.

Annexe E

Tableaux de test Khi^2 entre les fractions granulométriques et les paramètres géochimiques :

Hiver

Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes (Khi^2) :

Khi^2 (Valeur observée)	32,863
Khi^2 (Valeur critique)	47,400
DDL	33
p-value	0,474
alpha	0,05

Interprétation du test :

H_0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.

H_a : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 47,40%.

Eté

Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes (Khi^2) :

Khi^2 (Valeur observée)	10,140
Khi^2 (Valeur critique)	47,400
DDL	33
p-value	1,000
alpha	0,05

Interprétation du test :

H_0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.

H_a : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 100,00%.

Automne

Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes (Khi^2) :

Khi^2 (Valeur observée)	30,881
Khi^2 (Valeur critique)	47,400
DDL	33
p-value	0,573
alpha	0,05

Interprétation du test :

H_0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.

H_a : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 57,30%.

Printemps

Test d'indépendance entre les lignes et les colonnes (Khi^2) :

Khi^2 (Valeur observée)	12,665
Khi^2 (Valeur critique)	47,400
DDL	33
p-value	0,999
alpha	0,05

Interprétation du test :

H_0 : Les lignes et les colonnes du tableau sont indépendantes.

H_a : Il existe un lien entre les lignes et les colonnes du tableau.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil $\alpha=0,05$, on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H_0 .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 99,95%.

Annexe F

Tableaux de corrélation entre les fractions granulométriques et les paramètres géochimiques :

Hiver	4000	2000	1000	500	125	63	< 63	pH	Cond	MO	Caco3	Ht
4000	1											
2000	0,983	1										
1000	0,8456	0,9148	1									
500	0,7938	0,878	0,9956	1								
125	0,6835	0,5574	0,1883	0,099	1							
63	-0,986	-0,979	-0,815	-0,765	-0,7	1						
< 63	-0,98	-0,934	-0,79	-0,729	-0,722	0,9378	1					
pH	-0,942	-0,917	-0,867	-0,82	-0,548	0,8737	0,9713	1				
Cond	0,2559	0,4247	0,7041	0,7665	-0,493	-0,271	-0,126	-0,264	1			
MO	0,3441	0,4787	0,4889	0,521	-0,038	-0,466	-0,148	-0,106	0,6993	1		
Caco3	0,2514	0,3568	0,6968	0,7419	-0,489	-0,161	-0,245	-0,461	0,7864	0,1315	1	
Ht	-0,308	-0,191	0,22	0,2941	-0,866	0,3859	0,3069	0,0748	0,6448	-0,041	0,8434	1

Eté	4000	2000	1000	500	125	63	< 63	pH	Cond	MO	Caco3	Ht
4000	1											
2000	0,2508	1										
1000	-0,139	0,9237	1									
500	0,8569	-0,094	-0,434	1								
125	0,4091	-0,612	-0,786	0,8033	1							
63	-0,928	-0,304	0,0556	-0,92	-0,521	1						
< 63	0,8209	-0,338	-0,671	0,9231	0,8041	-0,757	1					
pH	0,0977	-0,931	-0,992	0,3479	0,7011	0,0277	0,6229	1				
Cond	-0,506	0,6569	0,8732	-0,572	-0,646	0,3023	-0,842	-0,886	1			
MO	-0,559	-0,337	-0,121	-0,089	0,3521	0,241	-0,265	0,0446	0,3573	1		
Caco3	0,3361	-0,689	-0,839	0,3412	0,4596	-0,071	0,6757	0,8843	-0,965	-0,427	1	
Ht	-0,59	-0,384	-0,157	-0,116	0,3519	0,2846	-0,271	0,0864	0,3294	0,9981	-0,387	1

Automne	4000	2000	1000	500	125	63	< 63	pH	Cond	MO	Caco3	Ht
4000	1											
2000	-0,308	1										
1000	-0,288	0,9884	1									
500	-0,217	0,977	0,9965	1								
125	-0,661	0,6903	0,5916	0,5263	1							
63	0,1971	-0,982	-0,996	-0,999	-0,543	1						
< 63	0,4009	-0,99	-0,961	-0,938	-0,787	0,9456	1					
pH	0,5729	-0,512	-0,387	-0,318	-0,965	0,3423	0,6255	1				
Cond	-0,711	0,1628	0,0435	-0,038	0,8243	0,0229	-0,302	-0,905	1			
MO	0,134	0,8004	0,8653	0,904	0,1189	-0,898	-0,706	0,0957	-0,46	1		
Caco3	-0,79	0,4614	0,3587	0,2803	0,9517	-0,292	-0,583	-0,954	0,9467	-0,157	1	
Ht	0,0113	0,8356	0,9018	0,9328	0,1851	-0,923	-0,751	0,0446	-0,39	0,9922	-0,075	1

printemps	4000	2000	1000	500	125	63	< 63	pH	Cond	MO	Caco3	Ht
4000	1											
2000	-0,545	1										
1000	0,132	-0,389	1									
500	0,2681	-0,571	0,9777	1								
125	0,5443	-0,574	0,9033	0,9452	1							
63	-0,536	0,0187	-0,661	-0,616	-0,784	1						
< 63	0,2392	0,678	-0,437	-0,518	-0,277	-0,354	1					
pH	-0,719	-0,148	0,3874	0,3474	0,0228	0,3926	-0,823	1				
Cond	0,1917	-0,678	-0,36	-0,177	-0,211	0,6682	-0,535	0,1198	1			
MO	-0,555	0,7348	0,3299	0,1244	0,0301	-0,379	0,2903	0,2372	-0,918	1		
Caco3	0,1487	-0,868	0,6584	0,7698	0,6307	-0,015	-0,905	0,5787	0,4537	-0,365	1	
Ht	-0,393	0,8213	0,1937	-0,008	-0,017	-0,467	0,5398	-0,036	-0,97	0,9615	-0,563	1

Hiver	<i>Gravier</i>	<i>Sable</i>	<i>Argile et Limon</i>	<i>pH</i>	<i>Cond</i>	<i>MO</i>	<i>Caco3</i>	<i>Ht</i>
Gravier	1							
Sable	0,86313571	1						
Argile et Limon	-0,97953515	-0,93310136	1					
pH	-0,94180052	-0,97801666	0,971306748	1				
Cond	0,25589498	0,14121611	-0,126034849	-0,2638941	1			
MO	0,34409634	-0,10091916	-0,148252114	-0,10627265	0,69927521	1		
Caco3	0,25142646	0,46211819	-0,245127512	-0,46088608	0,78641488	0,1315392	1	
Ht	-0,30753605	-0,0343317	0,306883889	0,07484812	0,64476096	-0,04056697	0,84339181	1

Eté	<i>Gravier</i>	<i>Sable</i>	<i>Argile et Limon</i>	<i>pH</i>	<i>Cond</i>	<i>MO</i>	<i>Caco3</i>	<i>Ht</i>
Gravier	1							
Sable	-0,99493872	1						
Argile et Limon	0,82093011	-0,87403272	1					
pH	0,09768899	-0,19441581	0,622860914	1				
Cond	-0,50631069	0,58136154	-0,841535713	-0,88616975	1			
MO	-0,55943548	0,52749971	-0,265376546	0,04455875	0,35733883	1		
Caco3	0,33614979	-0,40876214	0,675719438	0,8843177	-0,96504913	-0,42672502	1	
Ht	-0,58981446	0,55399278	-0,270568074	0,08642109	0,32940027	0,99812089	-0,38721834	1

Automne	<i>Gravier</i>	<i>Sable</i>	<i>Argile et Limon</i>	<i>pH</i>	<i>Cond</i>	<i>MO</i>	<i>Caco3</i>	<i>Ht</i>
Gravier	1							
Sable	-0,47507077	1						
Argile et Limon	0,4008767	-0,99621181	1					
pH	0,57291771	-0,67107996	0,625545451	1				
Cond	-0,71149301	0,37355496	-0,302449445	-0,90496741	1			
MO	0,13398146	0,65136436	-0,706334187	0,09574805	-0,46045539	1		
Caco3	-0,78976113	0,64582838	-0,583278242	-0,9542993	0,94666384	-0,15696997	1	
Ht	0,01126457	0,70427611	-0,750596614	0,0445655	-0,39018684	0,99216492	-0,07464314	1

Printemps	<i>Gravier</i>	<i>Sable</i>	<i>Argile et Limon</i>	<i>pH</i>	<i>Cond</i>	<i>MO</i>	<i>Caco3</i>	<i>Ht</i>
Gravier	1							
Sable	-0,46052841	1						
Argile et Limon	0,23920386	-0,9656861	1					
pH	-0,71909615	0,90192775	-0,822754753	1				
Cond	0,19171297	0,52215083	-0,534584688	0,11982381	1			
MO	-0,55513739	-0,20451661	0,290347641	0,23724745	-0,91839301	1		
Caco3	0,14871259	0,76391176	-0,905177159	0,57874894	0,45366441	-0,36458337	1	
Ht	-0,39328558	-0,46373272	0,539814217	-0,03582215	-0,96959037	0,96148212	-0,56289385	1

Glossaire

Allochtone : les apports tellurique charriés d'ailleurs, du grec allos, étranger, et chthonos, terre. À l'opposé du concept d'allochtone, on trouve celui d'autochtone, terre d'ici.

Alluvion : dépôt sédimentaire, caillouteux ou limoneux, laissé par un cours d'eau.

Amont : Du côté de la montagne. Quand on parle d'un cours d'eau, l'amont est dans le sens

Anthropique : relatif à l'homme, causé par l'homme.

Autochtone : est un terrain qui n'a pas été déplacé par un chevauchement, ou une érosion.

(Endroit où le fleuve déverse ses eaux dans la mer). En allant vers l'aval, je suis le courant de l'eau en descendant vers la vallée.

Aval : Du côté de la vallée. L'aval est le sens où on dévale, c'est donc vers son embouchure.

Bassin versant : étendue géographique couvrant la zone où toutes les eaux de pluie se jettent dans un cours d'eau. Où on monte; c'est vers la source. Nous remontons la rivière à contre courant, nous allons en amont, vers sa source.

Colloïdale : État physico-chimique propre aux macromolécules qui ne sont pas à proprement parler dissoutes mais se trouvent en suspension dans l'eau.

Embouchure : endroit où un cours d'eau se déverse dans la mer ou dans un autre cours d'eau.

Endogène : Désigne un caractère propre à l'organisme ou originaire du système écologique considéré. Ce terme est synonyme d'intrinsèque quand il s'applique à un facteur écologique.

Erosion : ensemble des facteurs agissant ou voisinage de la surface terrestre et modelant son relief.

Estuaire : Embouchure d'un cours d'eau (fleuve avec la mer), dessinant dans le rivage une sorte de golfe évasé et profond.

Exogène : Désigne un facteur originaire de l'extérieur d'un organisme (alors synonyme d'extrinsèque) ou encore extérieur à un système écologique considéré.

Géomorphologie : étude des formes et du relief dans les paysages où nous vivons.

Interstitielle : Désigne ce qui est contenu dans la zone constituée par les pores compris entre les particules constituant un sédiment de sable. On parlera par exemple de faune interstitielle.

Miocène : ère géologique qui commença il ya 26 million d années et se termina il ya 12 million d années.

Morphologie : forme et aspect extérieur et général.

Pliocène : Division stratigraphique marquant le début du Tertiaire, qui s'est étagée entre -65 à -58 millions d'années.

Ruisellement : écoulement des eaux provenant de la pluie ou de la fonte des neiges à la surface de la terre.

Terrigène : Désigne toute substance sédimentaire de nature minérale ou biologique provenant des couches supérieures des terres émergées. On dénomme par exemple sédiments terrigènes ceux qu'apporte l'érosion du bassin versant dans un lac ou dans l'océan.