

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE Et POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral  
(I.S.M.A.L)

## Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état  
en Aménagement du Littoral et Protection de l'Environnement

### Thème

# *Etude de l'envasement et de la pollution De La retenue de Zeralda*

Par

*ARKAB Mohamed et RABHI Karim*

*22*  
Soutenu le 23 Juin 2004 devant le jury composé de :

<b>Mr. Boutiba. M</b>	<b>Chargé de cours (ISMAL)</b>	<b>Président</b>
<b>Mr. Louelhi. S</b>	<b>Attaché de recherche (CRNA)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr. Belhasnet. R</b>	<b>Chargé de cours (ISMAL)</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mme Hocini. N</b>	<b>Chargée de Recherche (CRNA)</b>	<b>Promoteur</b>

**Promotion : 2004**

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	01
--------------------	----

## PREMIERE PARTIE

### CHAPITRE I : GENERALITES

I.1 Situation géographique et historique.....	02
I.2 Données météorologiques.....	02
I.2.1 Les précipitations.....	02
I.2.2 Les températures.....	04
I.2.3 Les vents.....	04

### CHAPITRE II : METHODOLOGIE

II.1 Campagnes de terrain et techniques de prélèvements.....	08
II.1.1 Etablissement de la base topographique.....	08
II.1.2 Prélèvements des sédiments superficiels.....	11
II.1.3 Prélèvements d'eau.....	14
II.2 Etudes au laboratoire .....	14
II.2.1 Technique d'analyse de la fraction sableuse.....	14
a. La granulométrie .....	14
b. Le tamisage .....	17
II.2.2 Les représentations graphiques des résultats.....	17
a. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques.....	17
b. Les histogrammes de fréquence .....	17
II.2.3 Les indices granulométriques.....	17
a. Taille moyenne.....	23
b. Indice de classement.....	23
c. Asymétrie de Skewness.....	24

II.3 Etude sédimentologique.....	25
II.3.1 Etude de la fraction lutitique.....	25
a. Répartition des teneurs en lutites du bassin inférieur.....	25
b. Répartition des teneurs en lutites du bassin supérieur.....	29
II.3.2 Etude de la fraction grossière.....	29
a. Analyse granulométrique.....	29
b. Les histogrammes de fréquence.....	33
II.3.3 Les indices granulométriques.....	33
a. Taille moyenne .....	33
b. Indice de classement.....	33
c. Asymétrie de Skewness .....	33
d. Faciès granulométriques.....	34

### CHAPITRE III : BATHYMETRIE

III.1 Morphologie du fond du bassin inférieur.....	35
III.2 <i>Description des profils bathymétriques du bassin inférieur</i> .....	39
III.3 Morphologie du fond du bassin supérieur.....	46
III.4 <i>Description des profils bathymétriques du bassin supérieur</i> .....	49

### DEUXIEME PARTIE

#### CHAPITRE I : Pollution par les métaux lourds

→ *Majorales*

I.1 Introduction .....	53
I. 2 Métaux lourds .....	53
a. Métaux essentiels .....	53
b. Métaux non essentiels .....	54
I.3 Origines des métaux lourds .....	54
a. Origine naturelle.....	54
b. Origine anthropique .....	54

## CHAPITRE II : Etudes au laboratoire

→ Majuscules

II.1 Traitement des échantillons au laboratoire.....	56
II.1.1 Conservation .....	56
II.1.2 Lyophilisation .....	56
II.1.3 Broyage et tamisage .....	56
II.1.4 Minéralisation.....	56
II.1.5 Digestion à l'eau régale.....	58
II.2 Dosage des éléments métalliques.....	58
II.2.1 Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique .....	58
II.2.2 La loi d'absorbance en absorption atomique .....	59
II.2.3 Etalonnage .....	59
II.2.4 Conditions spectrophotométriques et électrothermiques.....	60
II.2.5 Eléments constitutifs d'un spectrophotomètre d'absorption atomique.....	61

## CHAPITRE III : Résultats et interprétations

→ Majuscules

III.1 Teneurs des éléments métalliques dans l'eau .....	62
III.1.1 Bassin inférieur.....	62
a. Cadmium.....	62
b. Mercure .....	62
c. Cuivre.....	62
III.1.2 Bassin Supérieur.....	64
a. Cadmium.....	64
b. Mercure .....	64
c. Cuivre.....	64

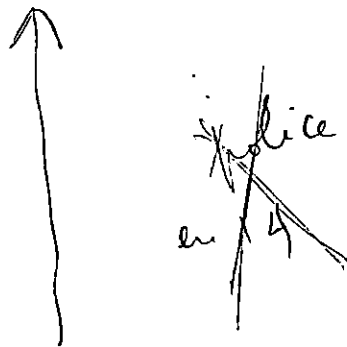
III.2 Répartitions des teneurs en éléments métalliques dans les sédiments superficiels.....	66
III.2.1 Bassin inférieur.....	66
a. <i>Plomb</i> .....	66
b. <i>Cadmium</i> .....	66
c. <i>Mercure</i> .....	66
d. <i>Zinc</i> .....	71
e. <i>Cuivre</i> .....	71
f. <i>Fer</i> .....	71
III.2.2 Bassin supérieur.....	71
a. <i>Plomb</i> .....	71
b. <i>Cadmium</i> .....	77
c. <i>Mercure</i> .....	77
d. <i>Zinc</i> .....	77
e. <i>Cuivre</i> .....	77
f. <i>Fer</i> .....	82

CONCLUSION GENERALE.....	84
--------------------------	----

## BIBLIOGRAPHIE

## ANNEXE I

## ANNEXE II



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Situation géographique de la retenue de Zeralda .....	3
<b>Figure 2:</b> Histogramme des précipitations annuelles de 1990 à 2002 de la station d'Alger .....	5
<b>Figure 3:</b> Evolution des températures de l'air de la région d'Alger de 1990 à 2001.....	6
<b>Figure 4:</b> Histogramme des vitesses moyennes des vents de la période de 1990 à 2000.....	6
<b>Figure 5:</b> Représentation graphique des vitesses moyennes des vents de la période de 1990 à 2000 . .	6
<b>Figure 6:</b> Carte de localisation de la base topographique du bassin inférieur.....	9
<b>Figure 7:</b> Carte de localisation de la base topographique du bassin supérieur.....	10
<b>Figure 8:</b> Carte de localisation des prélèvements des sédiments superficiels du bassin inférieur.....	12
<b>Figure 9:</b> Carte de localisation des prélèvements des sédiments superficiels du bassin supérieur.....	13
<b>Figure 10 :</b> Carte de localisation des prélèvements d'eau du bassin inférieur.....	15
<b>Figure 11 :</b> Carte de localisation des prélèvements d'eau du bassin supérieur.....	16
<b>Figure 12 :</b> Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BI-4.....	18
<b>Figure 13 :</b> Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BI-8.....	19
<b>Figure 14 :</b> Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BII-2.....	20
<b>Figure 15 :</b> Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BII-3.....	21
<b>Figure 16 :</b> Courbes granulométriques semi - logarithmiques des échantillons analysés.....	22
<b>Figure 17 :</b> Carte de répartition des teneurs en lutites du bassin inférieur... ..	27
<b>Figure 18 :</b> Carte de répartition des iso teneurs en lutites du bassin inférieur.....	28
<b>Figure 19 :</b> Carte de répartition des teneurs en lutites du bassin supérieur.....	31
<b>Figure 20 :</b> Carte de répartition des iso teneur en lutites dans du bassin supérieur.....	32
<b>Figure 21 :</b> Carte de localisation des points de sondes du bassin inférieur.....	36
<b>Figure 22 :</b> Carte de localisation des points de sondes du bassin supérieur.....	37

<b>Figure 23</b> : Carte bathymétrique du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	38
<b>Figure 24</b> : Carte bathymétrique en 3D du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	40
<b>Figure 25</b> : Carte des profils bathymétriques du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	41
<b>Figure 26</b> : Profils bathymétriques orientés rive droite - rive gauche du bassin inférieur.....	42
<b>Figure 27</b> : Profils bathymétriques orientés rive droite - rive gauche du bassin inférieur.....	44
<b>Figure 28</b> : Profils bathymétriques orientés rive droite - rive gauche du bassin inférieur.....	45
<b>Figure 29</b> : Carte bathymétrique du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	47
<b>Figure 30</b> : Carte bathymétrique en 3D du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	48
<b>Figure 31</b> : Carte des profils bathymétriques du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	50
<b>Figure 32</b> : Profils bathymétriques orientés rive droite - rive gauche du bassin supérieur.....	51
<b>Figure 33</b> : Profils bathymétriques orientés rive droite - rive gauche du bassin supérieur.....	52
<b>Figure 34</b> : Résumé des différentes phases de traitement du sédiment.....	57
<b>Figure 35</b> : Répartition des teneurs en plomb du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	68
<b>Figure 36</b> : Répartition des teneurs en cadmium du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	69
<b>Figure 37</b> : Répartition des teneurs en mercure du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	70
<b>Figure 38</b> : Répartition des teneurs en zinc du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	72
<b>Figure 39</b> : Répartition des teneurs en cuivre du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	73
<b>Figure 40</b> : Répartition des teneurs en fer du bassin inférieur de la retenue de Zeralda.....	74
<b>Figure 41</b> : Répartition des teneurs en plomb du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	76
<b>Figure 42</b> : Répartition des teneurs en cadmium du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	78
<b>Figure 43</b> : Répartition des teneurs en mercure du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	79
<b>Figure 44</b> : Répartition des teneurs en zinc du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	80
<b>Figure 45</b> : Répartition des teneurs en cuivre du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	81
<b>Figure 46</b> : Répartition des teneurs en fer du bassin supérieur de la retenue de Zeralda.....	83



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Moyenne annuelle des précipitations de la période de 1990 à 2002 de la station d'Alger (O N M).....	5
<b>Tableau 2</b> : Pourcentage des lutites des sédiments superficiels des deux bassins.....	Annexe.I
<b>Tableau 3</b> : Indices granulométriques des échantillons BI-4, BI-8, BII-2 et BII-3.....	Annexe.I
<b>Tableau 4</b> : Pourcentage des lutites du bassin inférieur.....	26
<b>Tableau 5</b> : Pourcentage des lutites du bassin supérieur.....	30
<b>Tableau 6</b> : Principales sources des rejets anthropiques des métaux.....	55
<b>Tableau 7</b> : Concentrations des éléments métalliques dans la colonne d'eau du bassin inférieur.....	63
<b>Tableau 8</b> : Concentrations des éléments métalliques dans la colonne d'eau du bassin supérieur.....	65
<b>Tableau 9</b> : Concentrations des éléments métalliques dans les dépôts superficiels du bassin inférieur.....	67
<b>Tableau 10</b> : Concentrations des éléments métalliques dans les dépôts superficiels du bassin supérieur.....	75

# PREMIERE PARTIE



## INTRODUCTION

Cette étude préliminaire exposera les premiers résultats du projet pilote intitulé « *Etude de l'envasement et de la pollution de la retenue de Zeralda* ». Ce projet pilote mené par le Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) à la demande de l'Agence Nationale des Barrages (ANB) a porté sur les deux bassins qui constituent la retenue de Zeralda.

Dans la première partie, l'étude a porté premièrement sur la présentation du site du point de vue géographique et météorologique (précipitations, températures et vents) et deuxièmement sur l'étude sédimentologique et bathymétrique des deux bassins. La méthodologie de travail s'est déroulée en trois étapes :

- *Prélèvements d'échantillons d'eau et de sédiments superficiels au niveau des deux bassins*
- *Traitement et analyse granulométrique des échantillons prélevés*
- *Traitement des plans de sondages et établissement des cartes bathymétriques*

Enfin l'obtention des premiers résultats en sédimentologie et bathymétrie des deux bassins nous ont permis d'avoir une idée générale sur les caractéristiques du secteur d'étude.

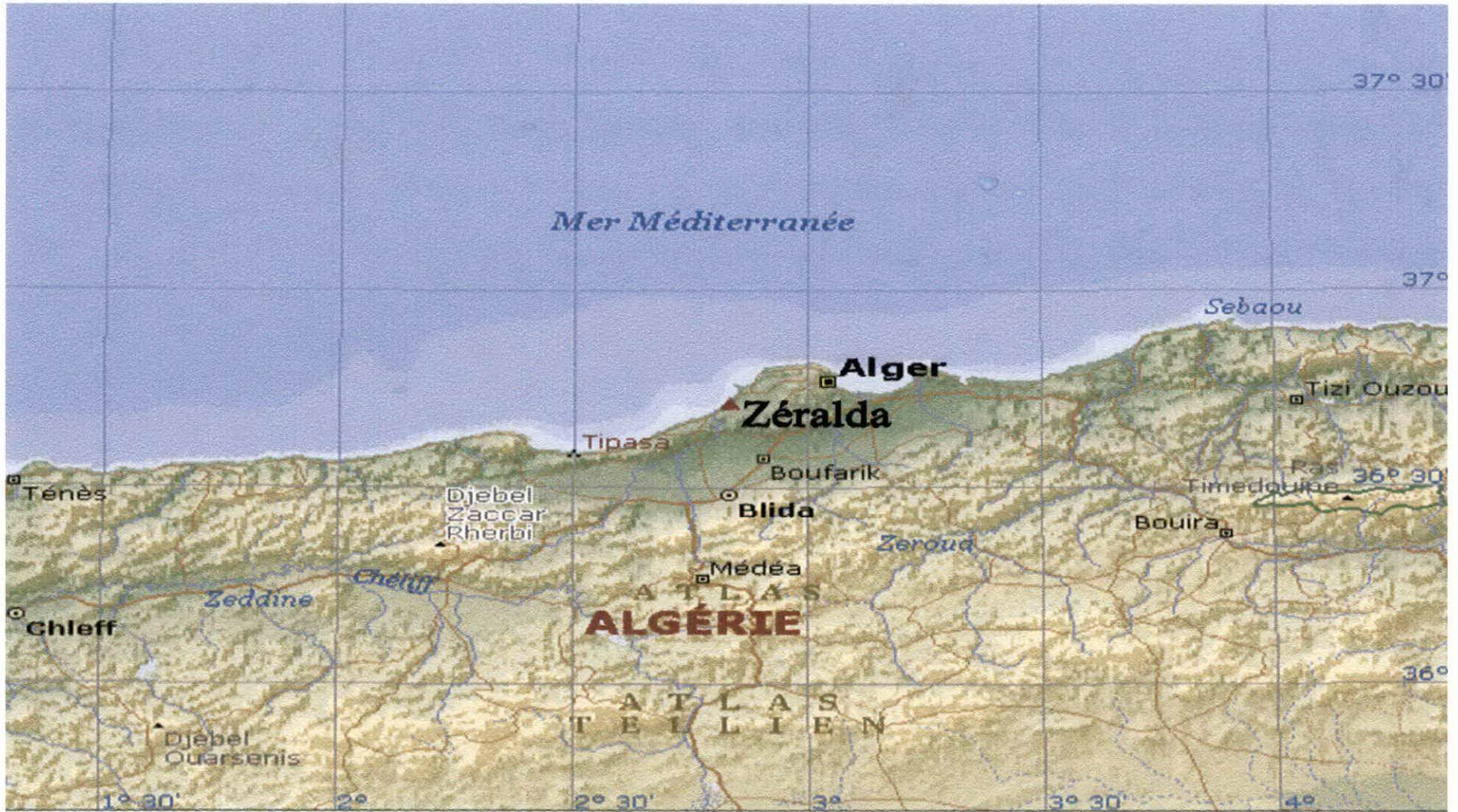
Dans la seconde partie, l'étude a fait l'objet de la quantification de quelques éléments métalliques au sein des sédiments superficiels et l'eau de la retenue de Zeralda. Les éléments métalliques étudiés sont : le plomb, le cadmium, le mercure, le zinc, le cuivre et le fer. La méthodologie de travail s'est déroulée en trois étapes :

- *Lyophilisation et broyage*
- *Minéralisation à l'eau régale*
- *Analyse par spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A)*

Les résultats obtenus à partir des différents éléments métalliques analysés nous ont permis d'avoir une image actuelle de l'état de pollution des sédiments superficiels et de l'eau des deux bassins de la retenue de Zéralda.

# *Chapitre I*

# Généralités



Source : Encarta 2004.

Figure 1: Situation géographique de Zéralda

On note une nette diminution des précipitations pour la période de 2000 avec une valeur moyenne de 279mm. On constate, une augmentation tous les trois (03) ans de la pluviométrie dans la région d'Alger.

### I.2.2 LES TEMPERATURES

Les données de température enregistrées par l'Office Nationale de Météorologie de Dar El Beida nous ont permis de tracer l'évolution de la température de l'air de la région d'Alger pendant une période de 12 ans (1990 à 2001).

La courbe de température exprimée en degré Celsius (Fig.3) a été tracée à partir des moyennes des bilans mensuelles de températures. Cette courbe montre une diminution des températures du mois de Septembre à Février, puis une augmentation de Février à Août .

La courbe des températures minimales moyennes, atteint une valeur maximale de 20.29°C au mois d'Août et une valeur minimale de 5.5°C est atteinte au mois de Février .

La courbe des températures maximales moyennes présente des valeurs maximales qui varient de 28.2°C à 28.91°C pour la période de Juin à Septembre et les valeurs minimales de 18.79°C à 17.7°C sont enregistrées durant la période de Décembre à Février.

### I.2.3 LES VENTS

La connaissance des vents peut nous renseigner sur l'hydrodynamisme d'un secteur donné. En effet, un vent régulier soufflant pendant un certain temps à la surface d'un plan d'eau peut être responsable d'un courant appelé courant superficiel.

L'analyse des régimes des vents a été effectuée à partir des données de vents enregistrées par l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M) durant la période de 1990 à 2000. L'exploitation statistique des données de vents sur 11 ans est représentée sous forme de :

- Histogramme de répartition de la vitesse moyenne mensuelle des vents (Figure 4).
- Courbe de répartition de la vitesse moyenne mensuelle des vents (Figure 5).

Année	Moyenne annuelle des Précipitations en (mm)
1990	446.5
1991	431.1 X 421.1
1992	431.1 X 737.3
1993	489.8
1994	524.2 ✓ 455.2
1995	524.2 /
1996	831.8
1997	588
1998	610
1999	807
2000	279
2001	441
2002	596
<b>Moyenne</b>	<b>556</b>

*events.*

Tableau 1: Moyenne annuelle des précipitations de la période de 1990 à 2002 de la station d'Alger (O.N.M)

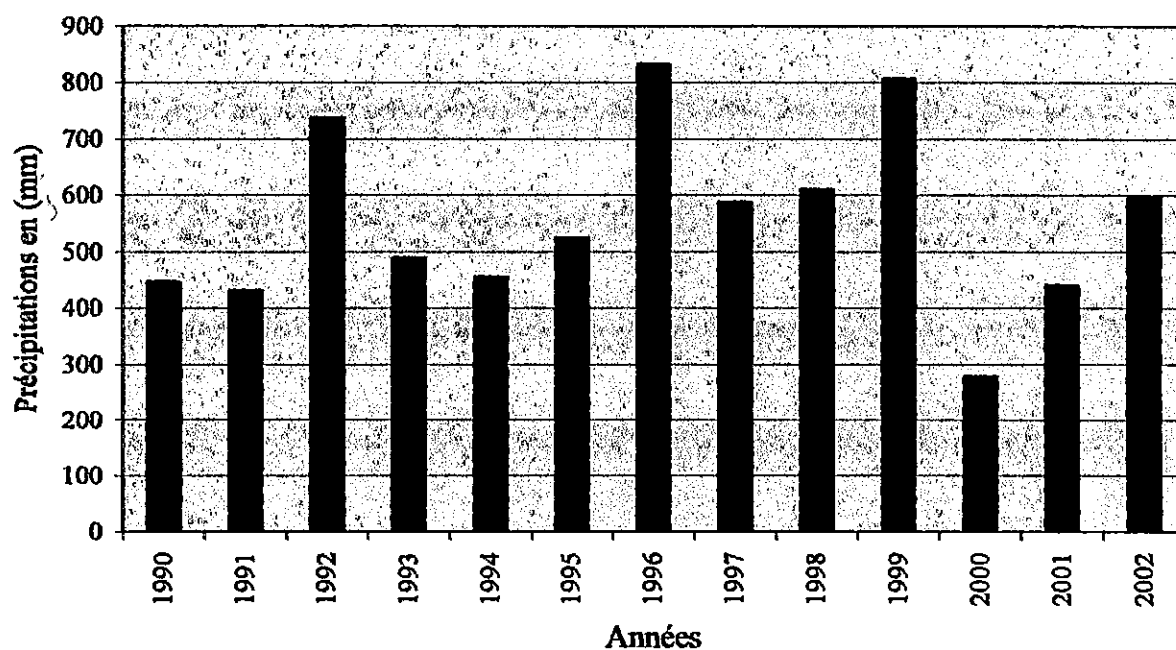


Figure 2: Histogramme des précipitations annuelles moyennes de 1990 à 2002 de la station d'Alger (O.N.M)

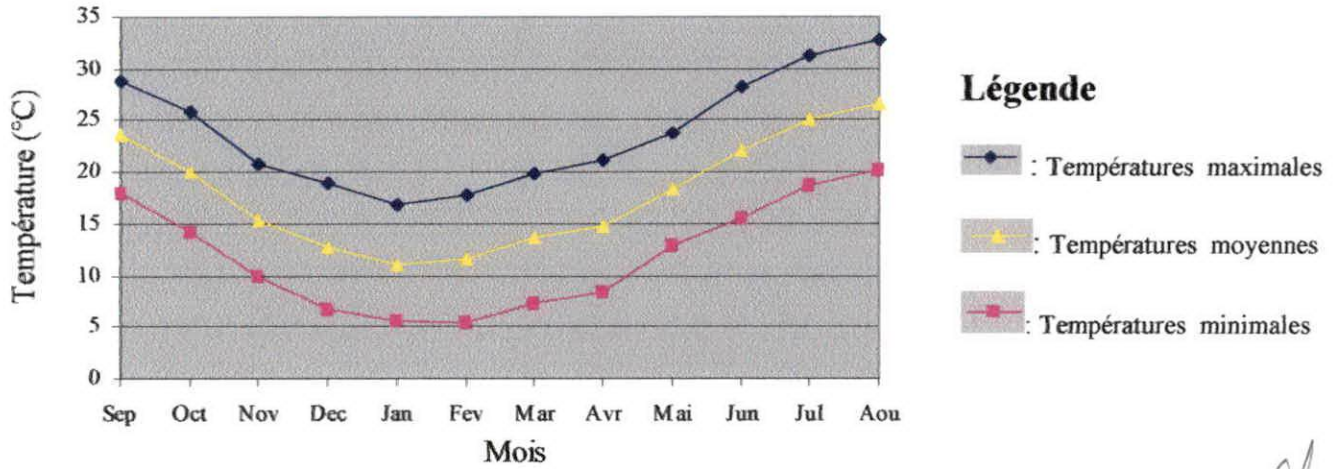


Figure 3: Evolution des températures de l'air de la région d'Alger de la période de 1990 à 2001

*Raymond Bensoussan*

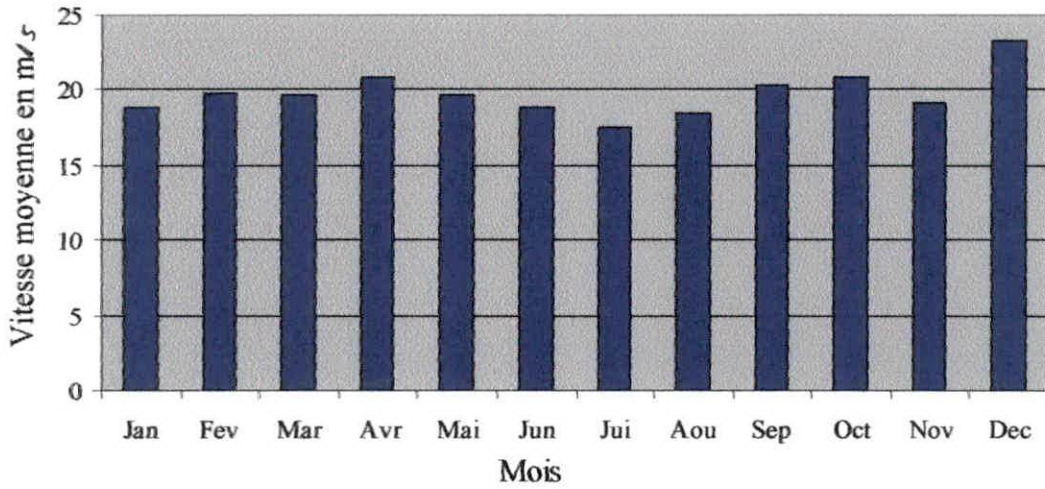


Figure 4: Histogramme des vitesses moyennes des vents de la période de 1990 à 2000

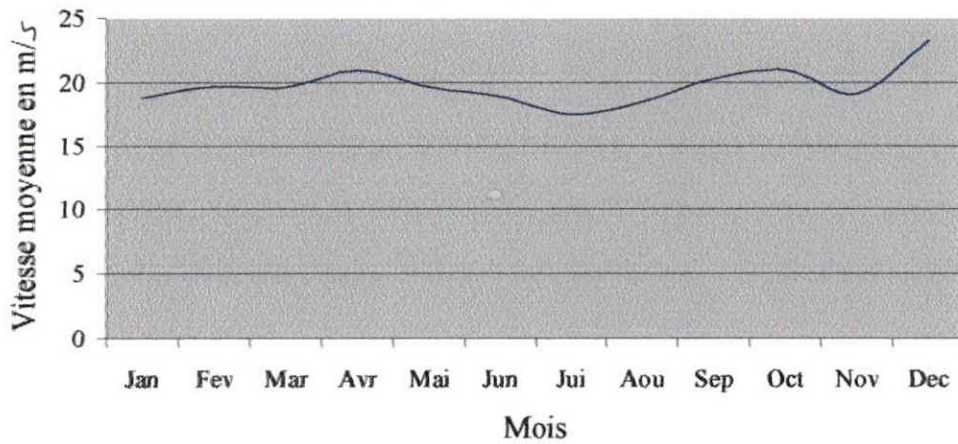


Figure 5: Représentation graphique des vitesses moyennes des vents de la période de 1990 à 2000

L'analyse globale des résultats montre que les vents sont prépondérants pendant la période du mois d'Octobre à Avril. La vitesse maximale moyenne, avec la valeur de 23m/s a été mesurée au cours du mois de Décembre. Les vents au cours de la période du mois d'Avril et Septembre ont des vitesses inférieures à 20m/s.

## *Chapitre II*

# Méthodologie

## II. METHODOLOGIE

### II.1 Campagnes de terrains et techniques de prélèvements

Dans le cadre de l'étude sédimentologique de la retenue de Zéralda, ~~une~~ <sup>de</sup> campagne de prélèvements d'échantillons de sédiments et des prélèvements d'eau à été effectuée à bord d'un bateau durant les missions suivantes :

- La première mission : du 24 au 28 Janvier 2004 « Etablissement de la base topographique et prélèvements de sédiments du bassin inférieur ».
- La deuxième mission : du 07 au 11 Février 2004 « Prélèvements d'eau et sédiments superficiels du bassin inférieur ».
- La troisième mission : du 14 au 18 Février 2004 « Prélèvements d'eau et sédiments superficiels du bassin supérieur ».

#### II.1.1 Etablissement de la base topographique

Par cheminement à l'aide de théodolites et d'une mire, nous avons implantés des bases topographiques sur les pourtours des bassins inférieur et supérieur (Fig. 6 et 7) constituées de stations suivantes :

##### Bassin inférieur :

- Deux stations sur la digue Sud (notée ST1 et ST4)
- Une station sur la rive gauche ou Ouest (notée TRG9)
- Une station sur la rive droite ou Est (notée TRD1)

##### Bassin supérieur :

- Trois stations le long de la digue nord (notées ST , ST2 et ST3)
- Une station sur la rive gauche ou Ouest (notée TRG1)
- Deux stations sur la rive droite ou Est (notées TRD1 et TRD3)

Ces stations vont servir d'emplacement pour les théodolites chargés de positionnement lors des campagnes d'échantillonnages et des sondages bathymétriques.

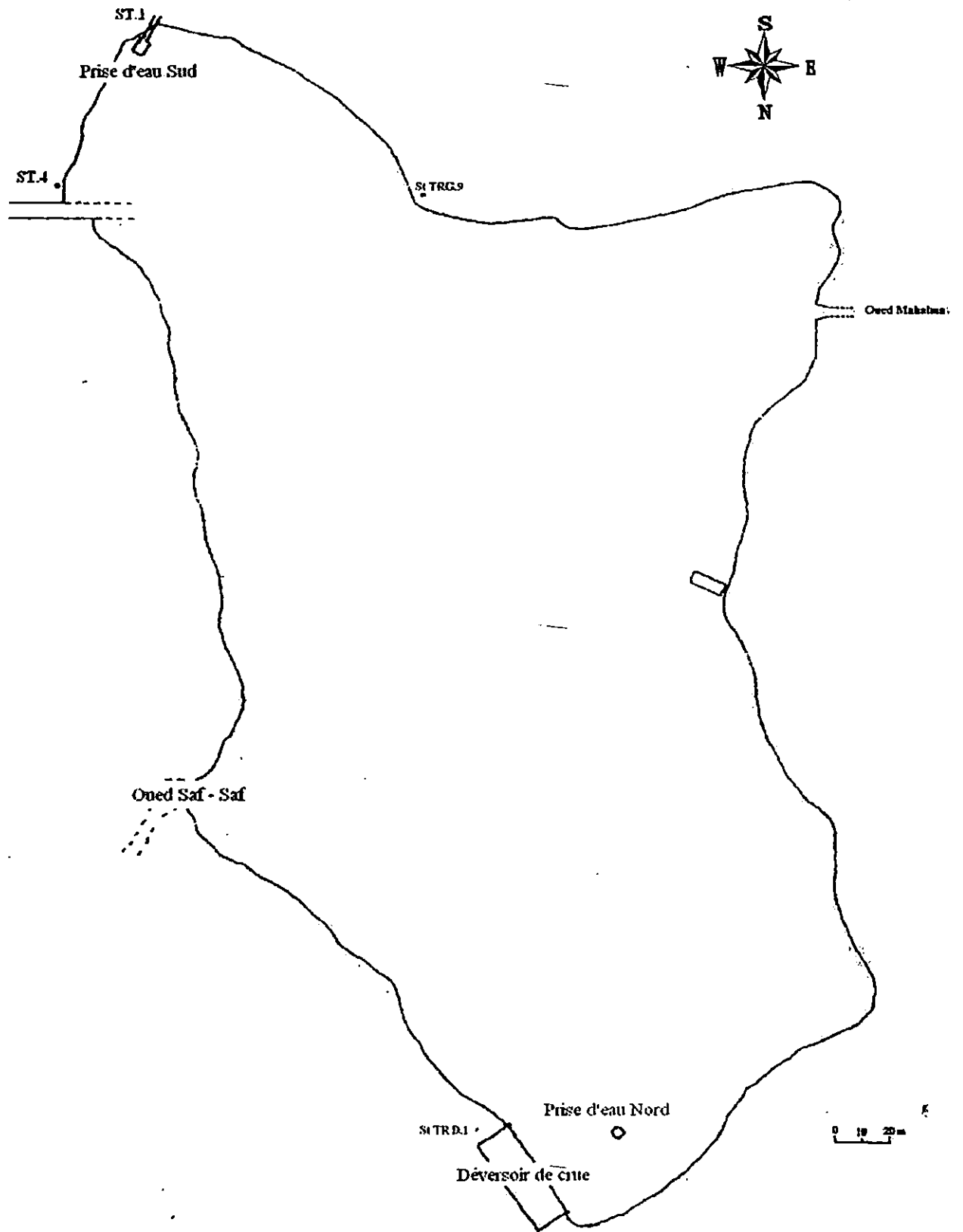


Figure 6: Carte de localisation de la base topographique du bassin inférieur

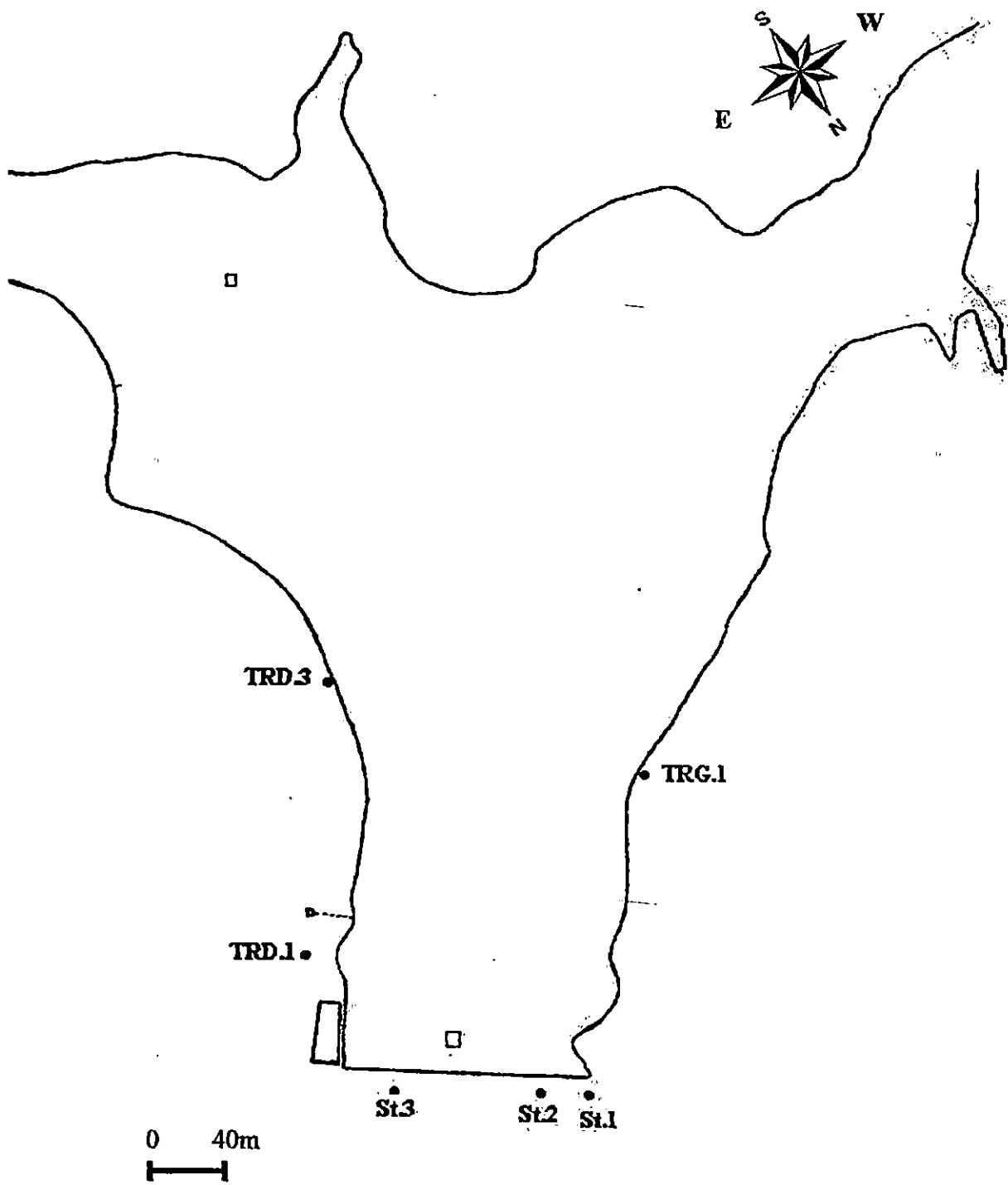


Figure 7: Carte de localisation de la base topographique du bassin supérieur

### II.1.2 Prélèvement de sédiments superficiels

Les prélèvements d'échantillons de sédiments superficiels ont été réalisés dans la retenue de Zéralda, 08 échantillons dans le bassin inférieur (fig.8) et 22 échantillons dans le bassin supérieur (fig.9). Ces prélèvements ont été récoltés à l'aide d'une benne preneuse de type Van-Veen (photo 2 en annexe).

Le positionnement du bateau est déterminé à l'aide de deux théodolites (Traversier et Guide) placés à terre en des points repérés sur la base topographique.

Cette méthode exige qu'un opérateur équipée d'un théodolite, stationné en tête de profil et sous un angle constant, se contente de remettre l'embarcation sur le cap du profil lorsqu'elle s'en écarte. L'autre théodolite relève les différents angles sous lesquels il aperçoit le bateau.

Les prélèvements de sédiments superficiels sont effectués à l'aide d'une benne preneuse de type Van-Veen. En touchant le fond la benne ouverte se referme et recueille un échantillon de sédiment superficiel géographiquement ponctuel. Une fois remontée en surface le contenu de la benne est déversé dans un conteneur étanche (Type bac).

L'échantillonnage se fait sur la mince pellicule superficielle du dépôt à l'aide d'une spatule en matière synthétique nettoyée et rincée au préalable à l'eau distillée pour éviter toute contamination.

On recueille la couche superficielle sur des boîtes à pétris numérotés qui feront l'objet d'analyses en métaux lourds. Le reste du contenu est mis dans des sachets plastiques dûment étiquetés qui feront l'objet d'analyses sédimentologiques.

*Les prélèvements ont fait l'objet de deux échantillonnages, le premier est destiné à l'analyse sédimentologique et le second à l'analyse des éléments métalliques. Ce dernier échantillonnage a nécessité un soin particulier qui consiste à les recueillir à l'aide d'instruments en matière synthétique, il a été aussitôt congelé afin de conserver les propriétés chimiques du sédiment en attendant leur traitement au laboratoire.*

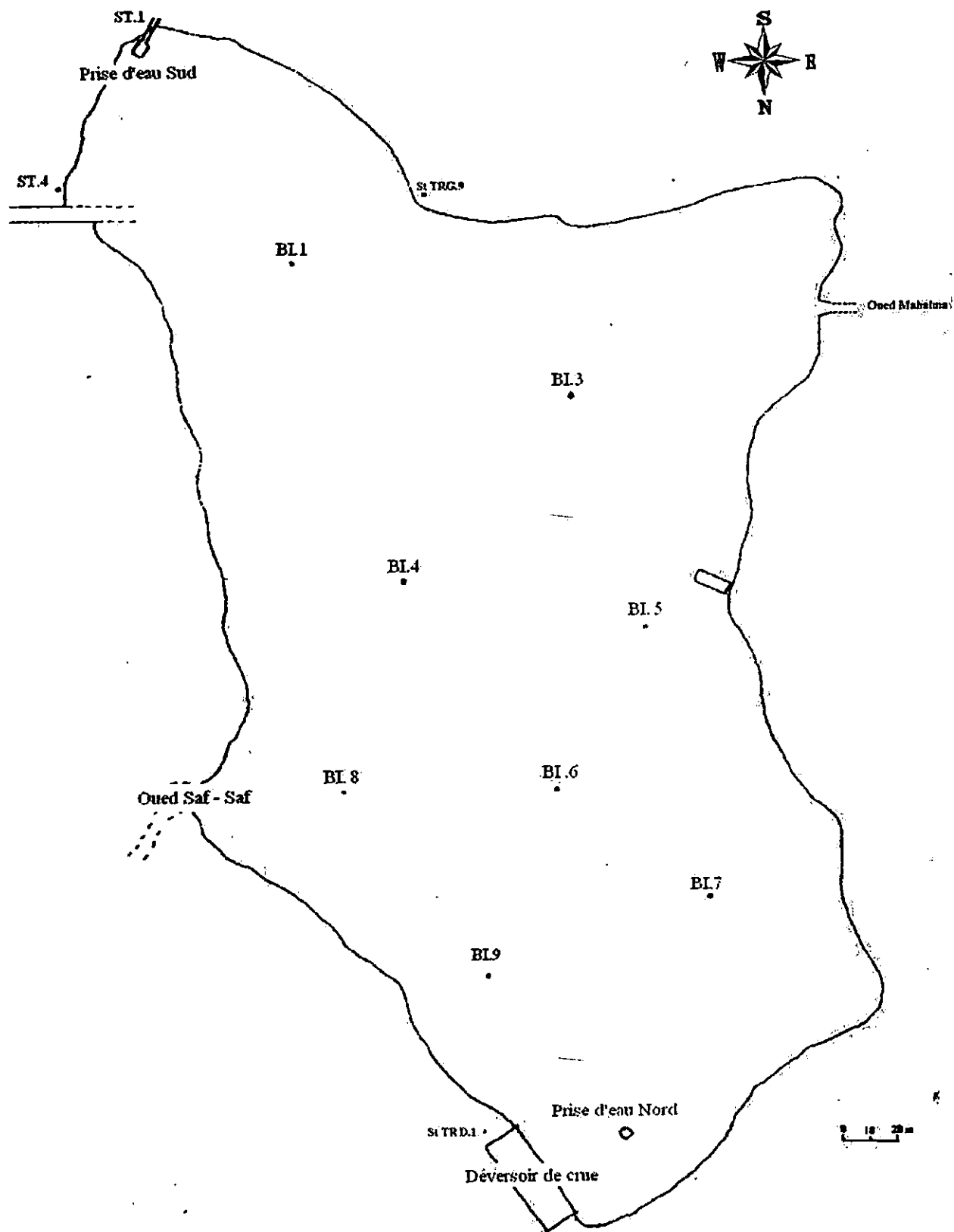


Figure 8: Carte de localisation des prélèvements des sédiments superficiels du bassin inférieur

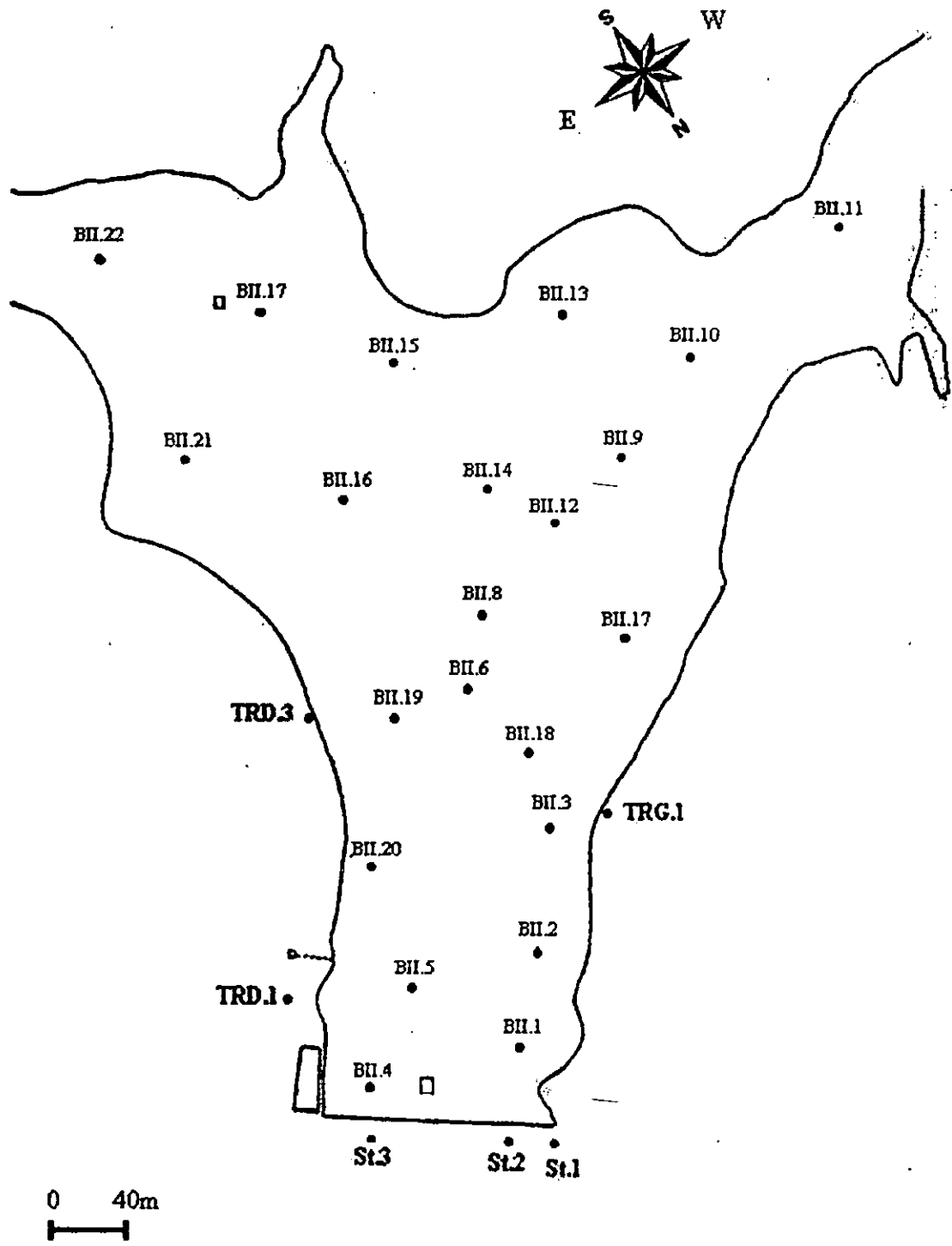


Figure 9: Carte de localisation des prélèvements des sédiments superficiels du bassin supérieur

### II.1.3 Prélèvements d'eau

Les prélèvements d'échantillons d'eau dont 8 au niveau du bassin inférieur (Fig.10) et 16 au niveau du bassin supérieur (fig.11) ont été effectués à l'aide d'une bouteille de type « NISKIN » de volume presque 1 litre (photo 3 en annexe).

La bouteille d'échantillonnage est immergée dans la colonne d'eau (surface, mi-surface et fond) et chaque échantillon d'eau est recueilli dans une bouteille en plastique numérotée. Le positionnement de ces prélèvements d'eau a été réalisé à l'aide de deux théodolites (Guide et Traversier). Ces prélèvements d'eau sont destinés à l'analyse des métaux lourds.

## II.2 Etudes au laboratoire

Les échantillons de sédiment prélevés au niveau des deux bassins ont fait l'objet de traitement au laboratoire. La première étape consiste à la séparation de la fraction grossière supérieure à  $40\mu\text{m}$  de la fraction fine ou lutitique inférieure à  $40\mu\text{m}$ .

- **La séparation**

Cette séparation est effectuée par voie humide à l'aide d'un tamis de maille égale à 40 micromètres (Norme Afnor). Cette coupure dimensionnelle permet d'obtenir deux fractions granulométriques majeurs. On obtient ainsi deux fractions :

- *Une fraction sableuse supérieure à 40 micromètres*
- *Une fraction lutitique inférieure à 40 micromètres*

### II.2.1 Techniques d'analyse de la fraction sableuse ( $\varnothing > 40 \mu\text{m}$ )

#### a. La granulométrie

La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de chaque dimension de particules (Rivière, 1977). Cette méthode est un outil qui permet la définition des conditions de transport et de dépôt de sédiments.

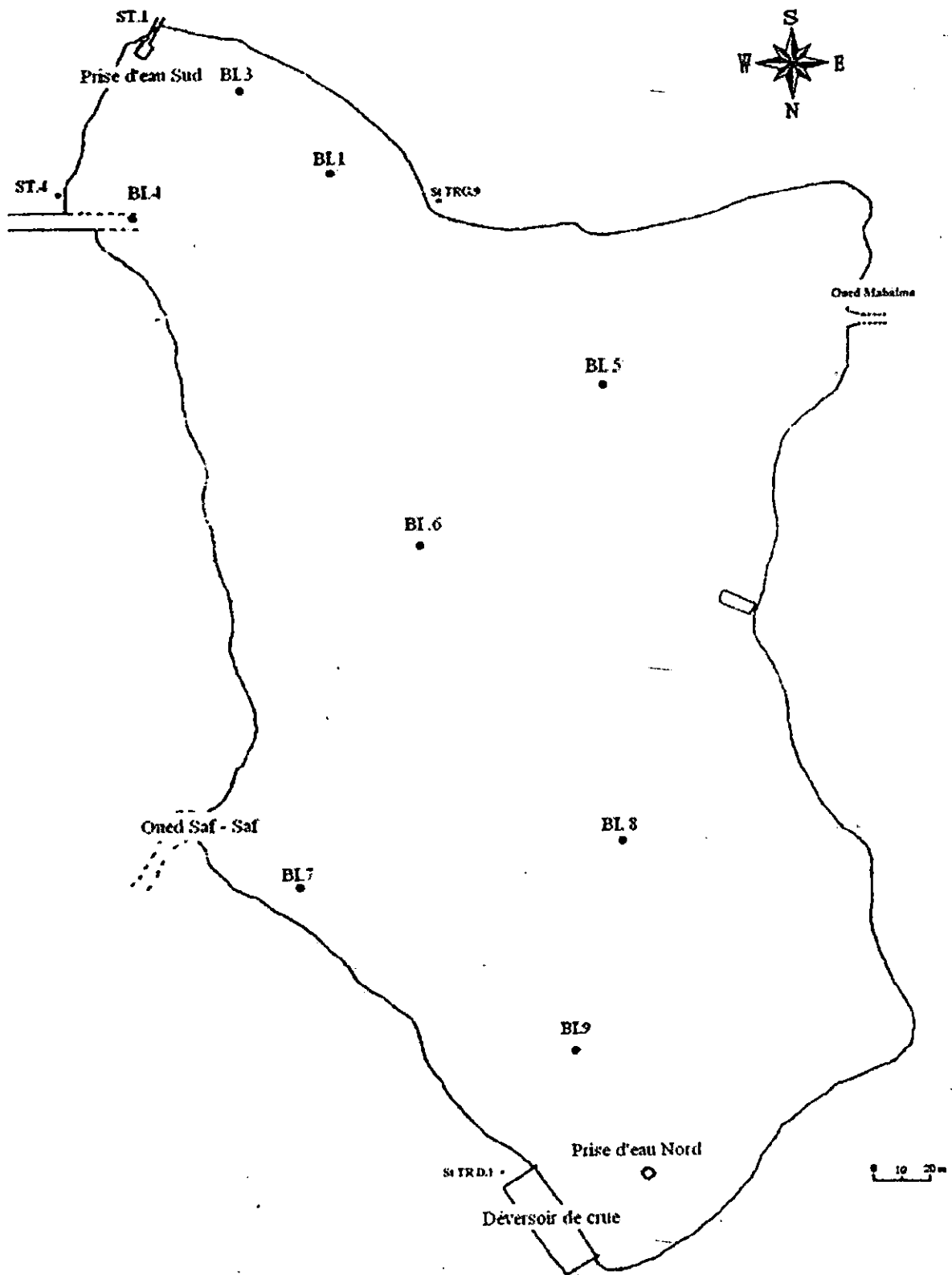


Figure 10 : Carte de localisation des prélèvements d'eau du bassin inférieur

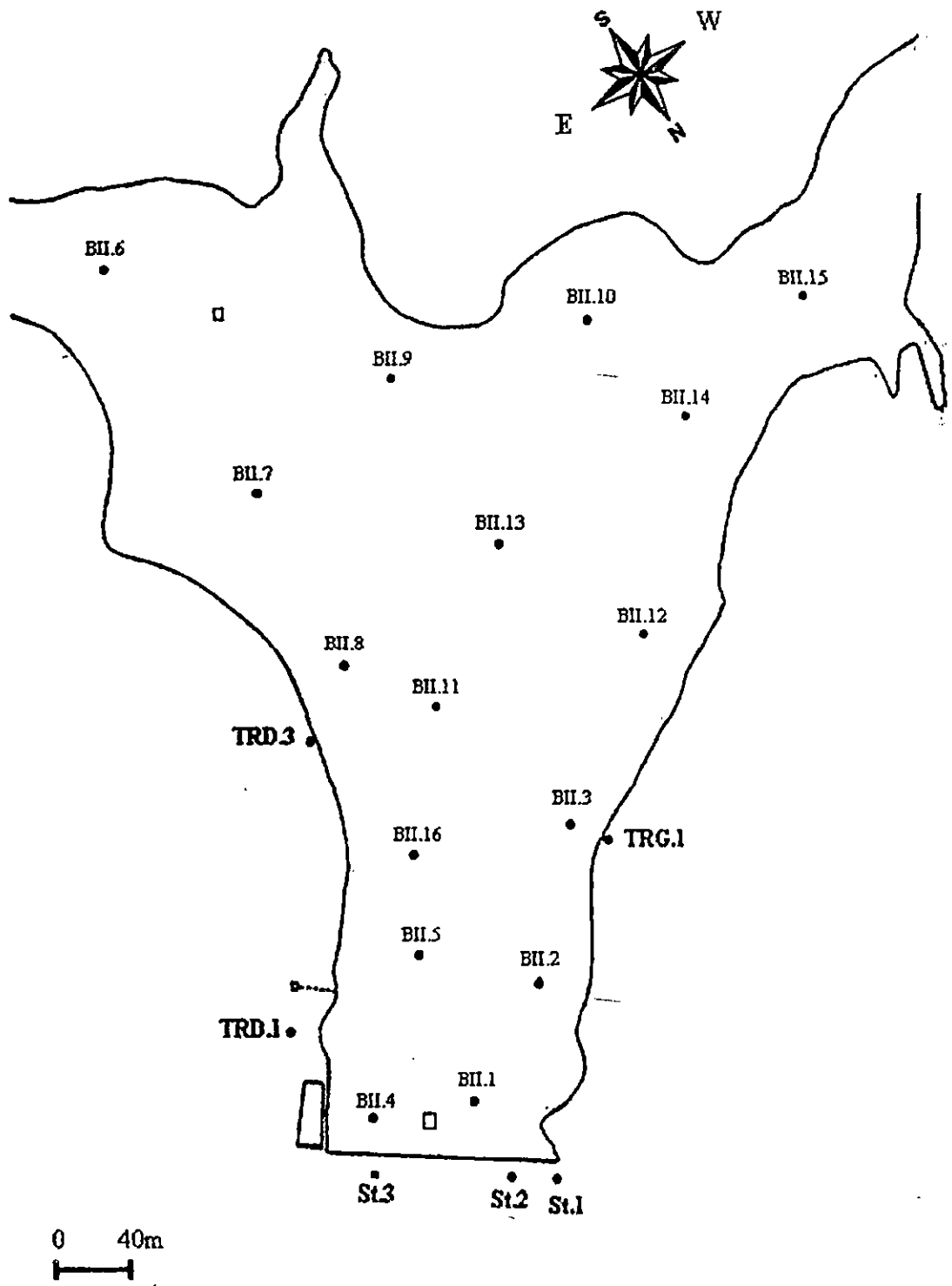


Figure 11: Carte de localisation des prélèvements d'eau du bassin supérieur

### *b. Le tamisage*

Quatre échantillons ont été traités parmi les 29 échantillons de sédiments superficiels prélevés au niveau des deux bassins, les autres représentent une fraction grossière trop faible inférieure à 20%, donc pas assez représentative (Tableau 2 en annexe).

L'analyse granulométrique a été faite à partir de 150g de sédiment sec. Pour chaque échantillon, le tamisage est effectué sur une colonne de 19 tamis de la série Afnor et de mailles décroissantes sur une table vibrante (photo 4 en annexe). Le poids (en grammes) de chaque refus de tamis est enregistré. Les mailles des tamis définissent les classes de diamètres dans les quelles les grains sont répartis.

## **II.2.2 Les représentations graphiques des résultats**

Les résultats de cette analyse granulométrique sont présentés sous forme de courbes cumulatives et histogrammes de fréquences sur un papier semi-logarithmique (Figures 12, 13, 14 et 15 ~~en annexe~~).

### *a. Les courbes cumulatives semi-logarithmiques*

Les courbes granulométriques semi-logarithmiques, tracées à partir de pourcentages cumulés depuis les particules fines vers les éléments grossiers, permettent de déduire les teneurs des différentes classes granulométriques et les paramètres granulométriques utilisés pour le calcul des différents indices qui caractérisent un sédiment.

### *b. Les histogrammes de fréquence*

Ils sont exprimés en coordonnées semi-logarithmiques. L'histogramme représentatif de la répartition granulométrique fait apparaître les irrégularités de la suite dimensionnelle et permet une meilleure visualisation des stocks sédimentaires constitutifs.

## **II.2.3 Les indices granulométriques**

Les courbes granulométriques sont utilisés pour déduire les valeurs des paramètres dimensionnels (Centiles : 5%, 16%, 84% et 95% - Quartiles : 25%, 50%, et 75%) qui serviront au calcul des différents indices granulométriques.

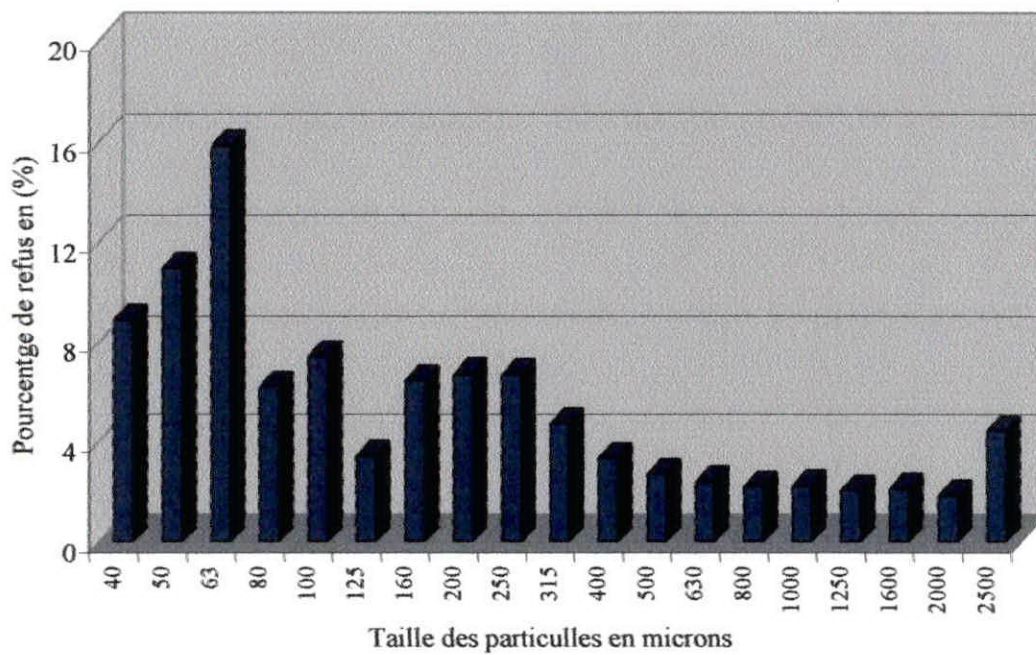
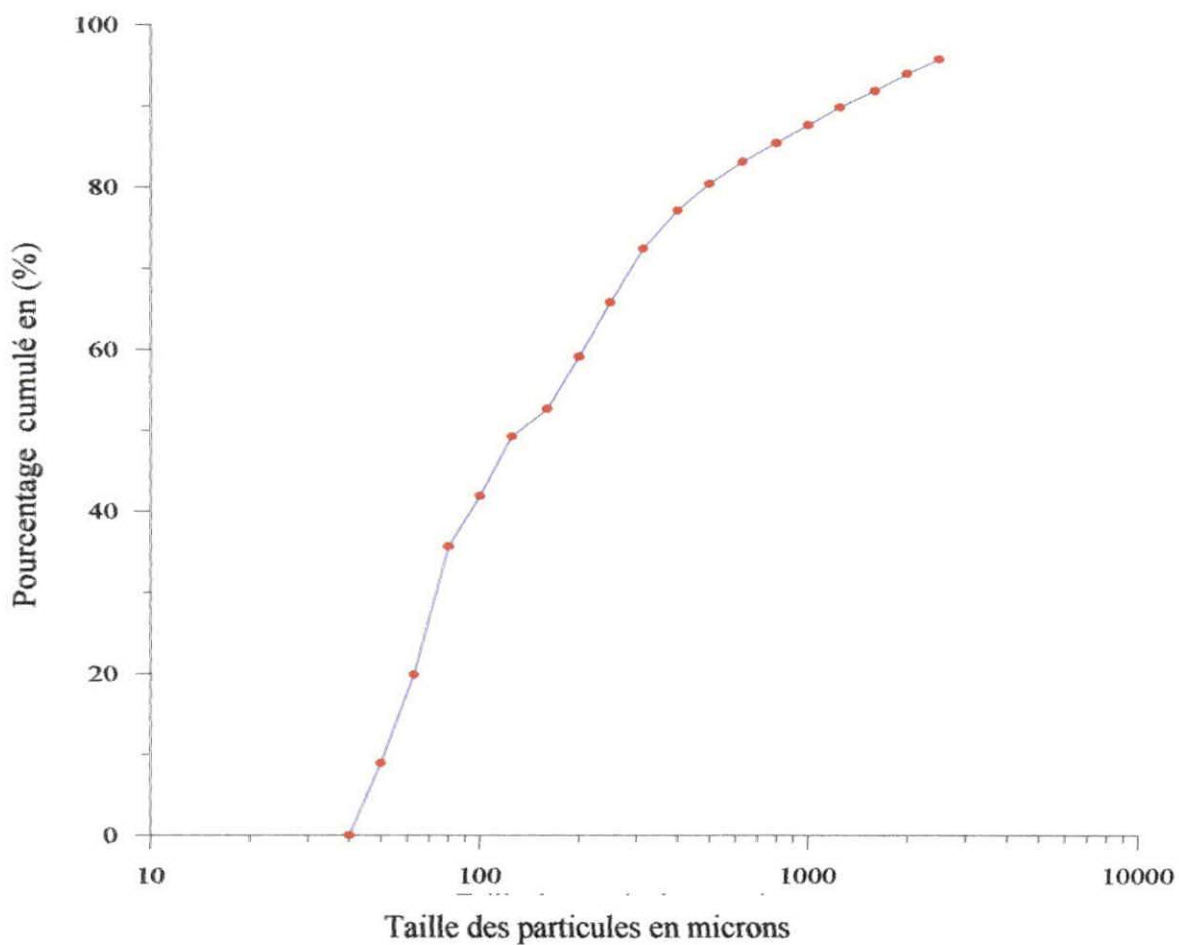


Figure 12 : Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BI.4

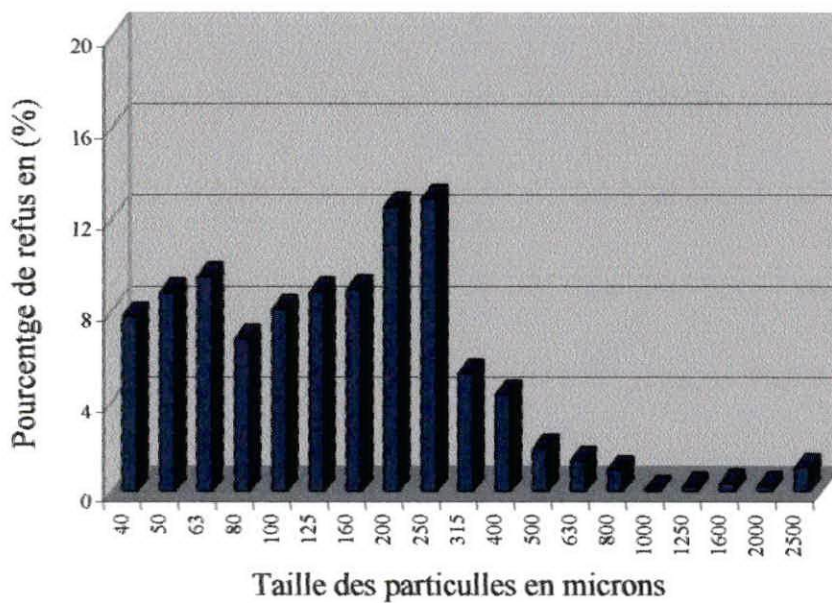
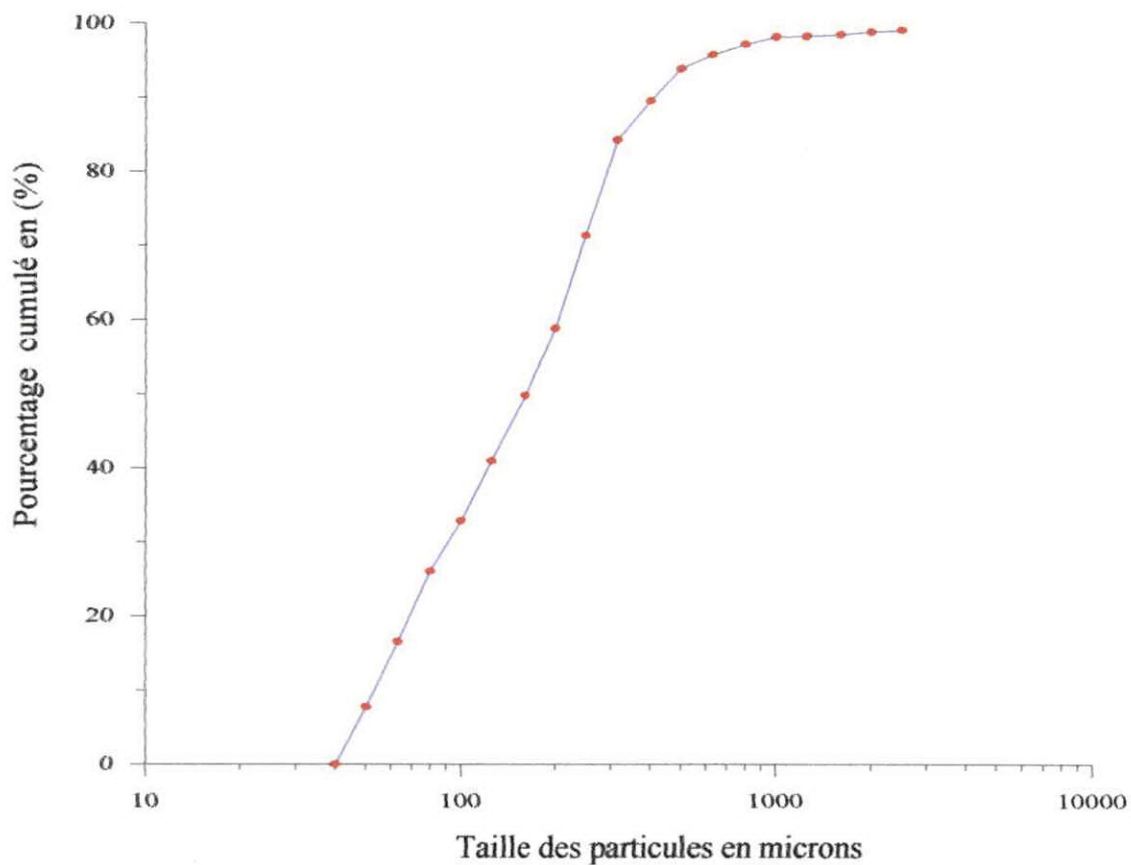


Figure 13 : Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BI.8

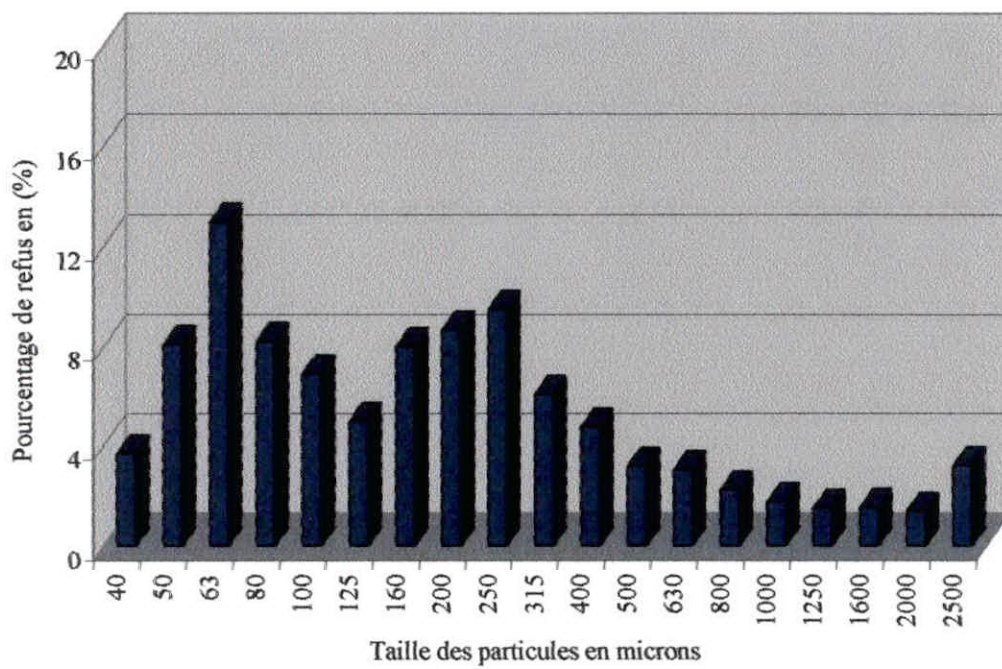
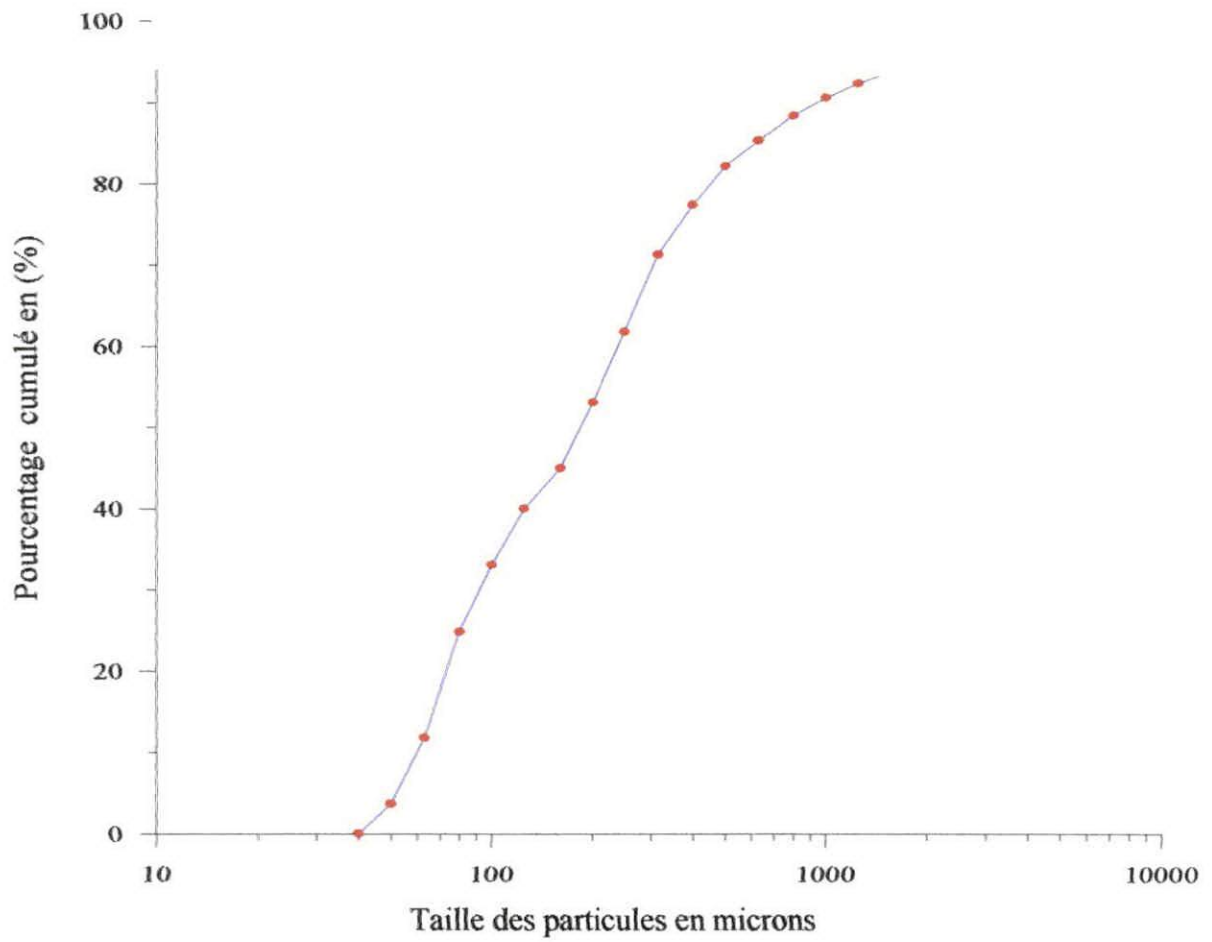


Figure 14 : Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BII.2

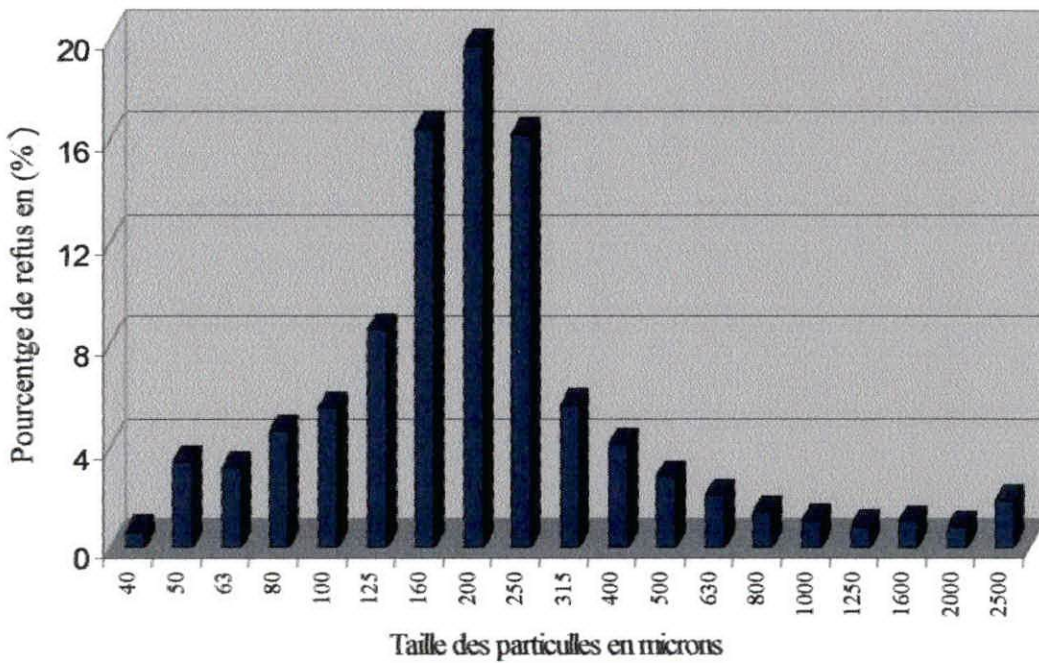
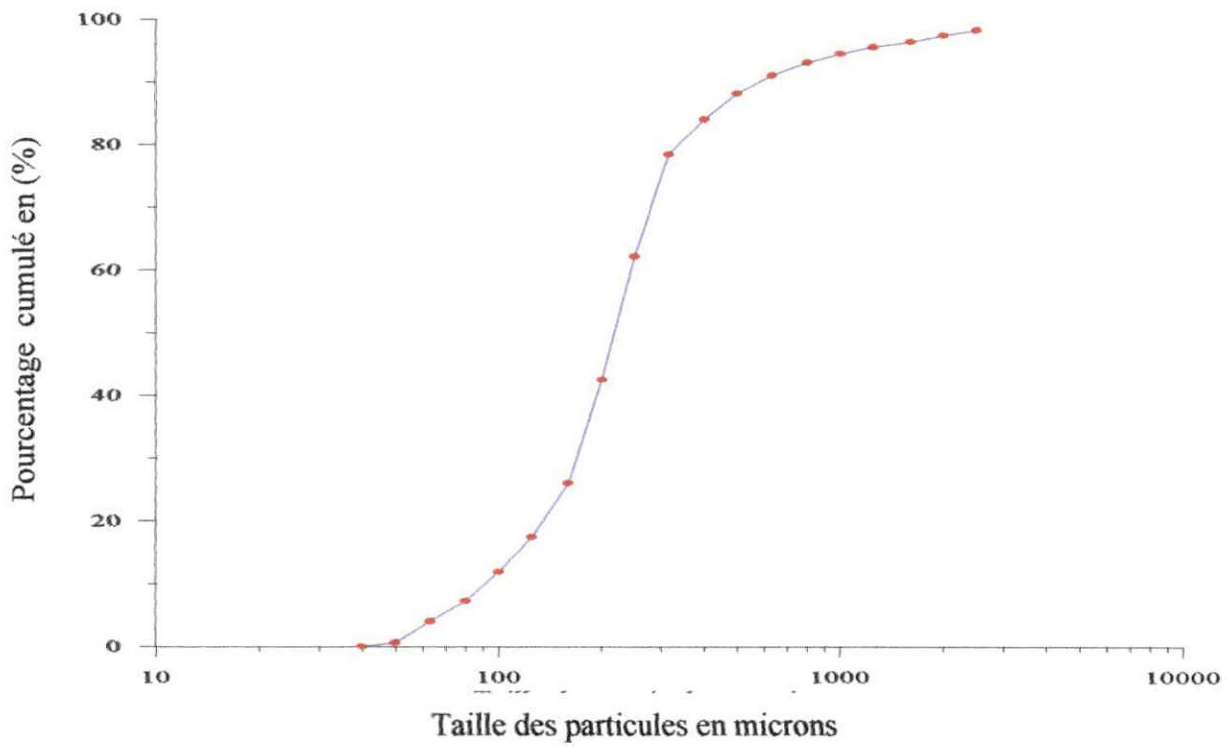
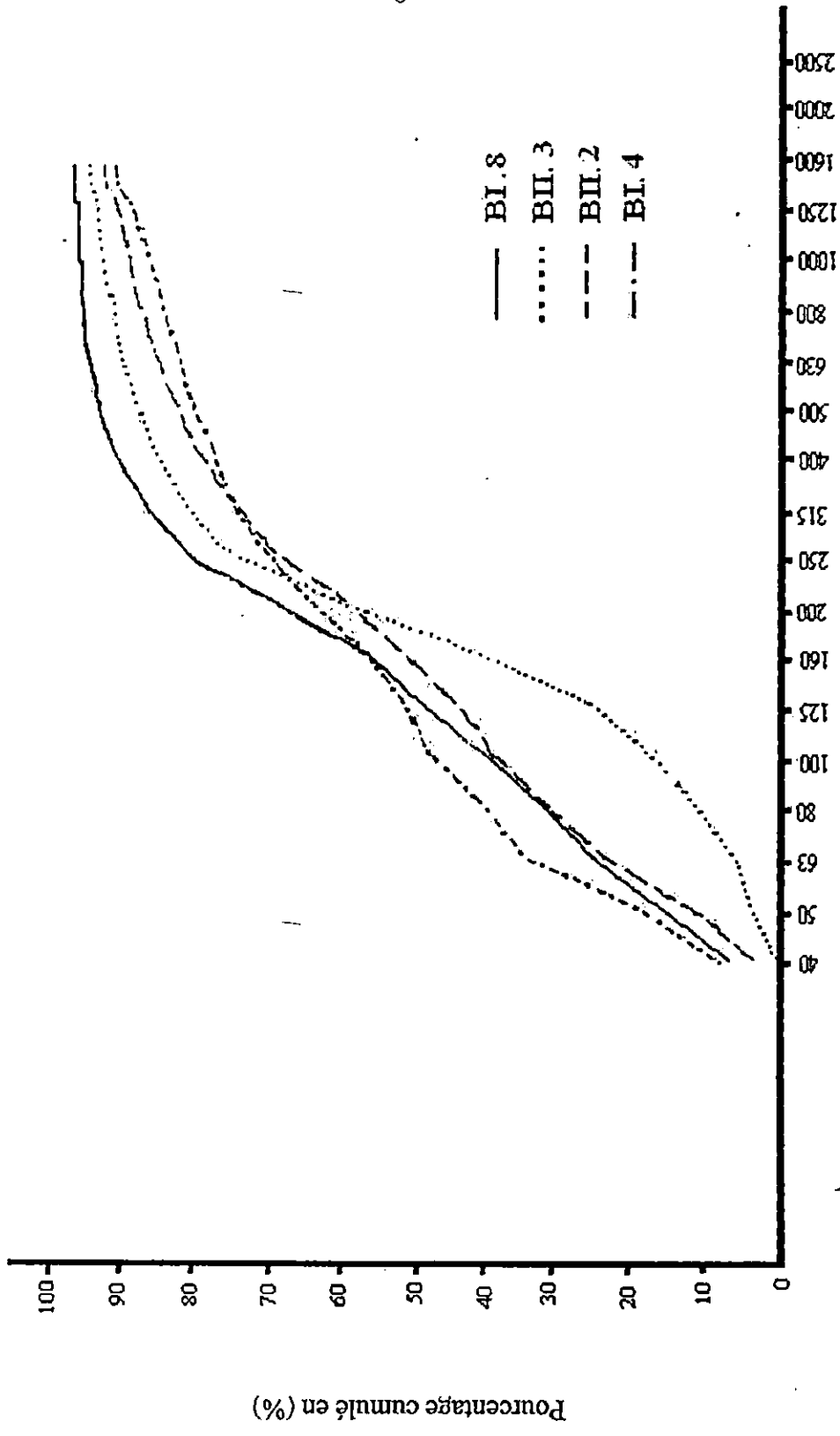


Figure 15: Courbe granulométrique et histogramme de fréquence de l'échantillon BII.3



Tailles des particules en microns

Figure 16 : Courbes granulométrique semi - logarithmique des échantillons analysés

22  
*G. Invernizzi*

Les paramètres sont lus en microns, mais pour des nécessités de calcul, ils sont convertis en unité « phi » introduites par Krumbein, 1936 (Tableau 3 en annexe).

**a. Taille moyenne ( $M_z$ )**

La taille moyenne est la dimension des grains moyens au sens arithmétique du terme

$$M_z = \frac{Q_{25} + Q_{75}}{2}$$

En phi :

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

**b. Indice de classement ( $S_o$ )**

Il indique la dispersion des tailles par rapport à la taille moyenne de l'échantillon (Folk et Ward, 1957). C'est un indicateur dynamique important qui rend compte du triage des matériaux en phase de transport et de dépôt (Chamelly, 1987).

$$S_o = (Q_{75} / Q_{25})^{1/2}$$

En phi :

$$Q_i = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

- $Q_i = 0.5$  sédiment bien classé
- $Q_i = 1$  sédiment moyennement classé
- $Q_i > 1$  sédiment mal classé

*c. Asymétrie de Skewness (Ski)*

Elle indique la prépondérance ou non des particules fines (valeurs positives) et grossières (valeurs négatives) par rapport à la taille moyenne .

$$SK = Q25 \times Q75 / (Q50)^2$$

*En phi :*

$$Ski = \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

*Pour Ski de :*

- 1.00 à 0.10 : asymétrie vers les petites tailles
- 0.10 à -0.1 : symétrie granulométrique de l'échantillon
- -0.10 à -1 : asymétrie vers les grandes tailles

## II.3 Etude sédimentologique

### II.3.1 Etude de la fraction lutitique (fraction $<40\mu\text{m}$ )

#### A. Teneur en lutites du bassin inférieur

Les échantillons traités au laboratoire montre des teneurs en pourcentage de lutites qui varient de **35.05 % à 95.17%** (Tableau 4).

- Répartition des teneurs en lutites du bassin inférieur

Les coupures retenues pour l'établissement de la carte de répartition géographique des teneurs en lutites (Fig.17) sont : 55%, 65%, 75%, 85% et 95%.

La répartition des teneurs en lutites suit un gradient croissant au fur et à mesure que l'on se rapproche du centre du bassin (Fig.18). Le taux de lutites supérieur à 95% est relevé au centre de la retenue (zone profonde favorisant le piégeage des particules en suspensions). Par contre, les teneurs en lutites des plus faibles se retrouvent le long du rivage et sont plus vite atteintes au niveau de l'embouchure des Oueds (présence de dépôts grossiers)

#### Conclusion

La répartition spatiale des pourcentages en lutites montre qu'il existe une relation directe avec les profondeurs. Les fortes teneurs en lutites sont observées au centre du bassin ou les profondeurs sont également les plus importantes. Par contre, les faibles teneurs en lutites sont relevés au niveau du rivage (faibles profondeurs).

<b>Echantillons</b>	<b>Pourcentage des lutites ( % )</b>
<b>BI - 1</b>	89,47
<b>BI - 3</b>	92,11
<b>BI - 4</b>	44,93
<b>BI - 5</b>	90,58
<b>BI - 6</b>	95,17
<b>BI - 7</b>	90,06
<b>BI - 8</b>	35,05

Tableau 4 : Pourcentage des teneurs en lutites des échantillons du bassin inférieur

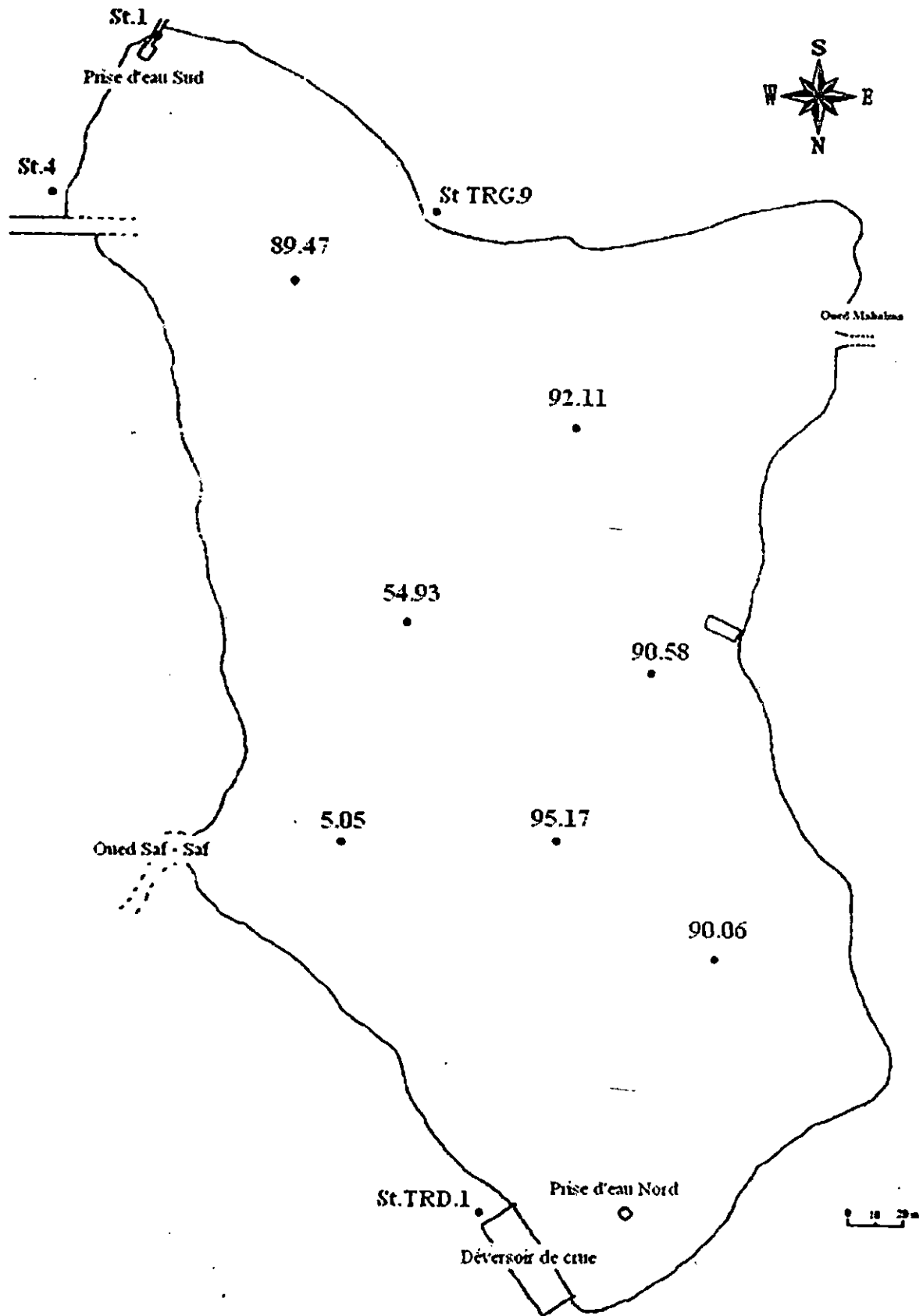


Figure 17: Carte de répartition des teneurs en lutites du bassin inférieur

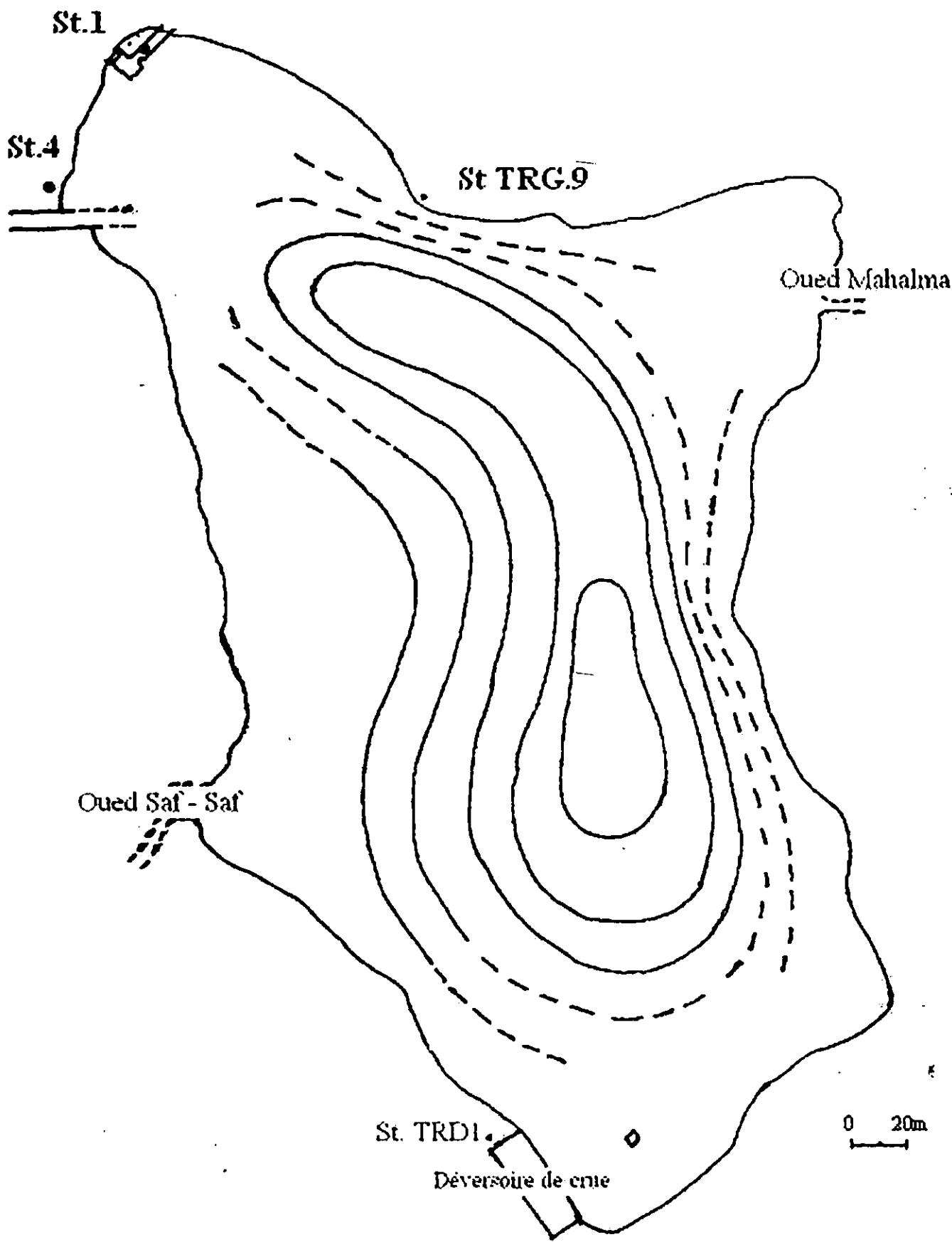


Figure 18: Carte de répartition des iso teneurs en lutites du bassin inférieur

### ***B. Teneur en lutites du bassin supérieur***

Les échantillons traités au laboratoire montrent des teneurs en pourcentage de lutites qui varient de **22.79 % à 98.97%** (Tableau 5).

- Répartition des teneurs en lutites du bassin supérieur

Les coupures retenues pour l'établissement de la carte de répartition géographique des teneurs en lutites (Fig.19) sont : 50% ,90%, 95% et supérieur à 95%. Le bassin supérieur (Fig.20) montre une répartition homogène de fortes teneurs en lutites supérieur à 90%. Par contre, dans la partie Nord Ouest du bassin, on relève de faibles teneurs en lutites inférieur à 50%.

### **II.3.2 Etude de la fraction grossière ( fraction > 40 $\mu$ m)**

#### ***A. Analyse granulométrique***

L'analyse granulométrique des quatre échantillons de sédiments de la retenue de Zeralda a permis de déterminer deux familles de courbes : unimodales et bimodales.

##### ***➤ Les courbes unimodales***

Les courbes unimodales au nombre de deux, traduisent la présence d'un seul stock sédimentaire. Elles présentent une allure parabolique légèrement redressée (Fig.13 et 15). Une seule classe granulométrique est prédominante avec une taille comprise entre **160 $\mu$ m et 250 $\mu$ m**.

##### ***➤ Les courbes bimodales***

Les courbes bimodales au nombre de deux, caractérisent la présence de deux stocks majeurs au sein d'un même échantillon (Fig.12 et 14). Deux classes granulométriques prédominent au sein de chaque échantillon :

- La première classe modale est généralement constituée de particules fines comprises entre **50 $\mu$ m et 80 $\mu$ m**.
- La deuxième classe modale est constituée de particules de tailles plus importantes et sont comprises entre **160 $\mu$ m et 250 $\mu$ m**.

<b>Echantillons</b>	<b>Pourcentage des lutites ( % )</b>
<b>BII - 1</b>	91,43
<b>BII - 2</b>	42,88
<b>BII - 3</b>	22,79
<b>BII - 4</b>	91,74
<b>BII - 5</b>	97,70
<b>BII - 6</b>	98,97
<b>BII - 7</b>	96,93
<b>BII - 8</b>	93,03
<b>BII - 9</b>	99,55
<b>BII - 10</b>	96,16
<b>BII - 11</b>	98,72
<b>BII - 12</b>	98,32
<b>BII - 13</b>	95,56
<b>BII - 14</b>	96,10
<b>BII - 15</b>	96,98
<b>BII - 16</b>	93,12
<b>BII - 17</b>	98,61
<b>BII - 18</b>	98,06
<b>BII - 19</b>	97,33
<b>BII - 20</b>	98,86
<b>BII - 21</b>	96,93
<b>BII - 22</b>	94,35

Tableau 5: Pourcentage des teneurs en lutites des échantillons du bassin supérieur

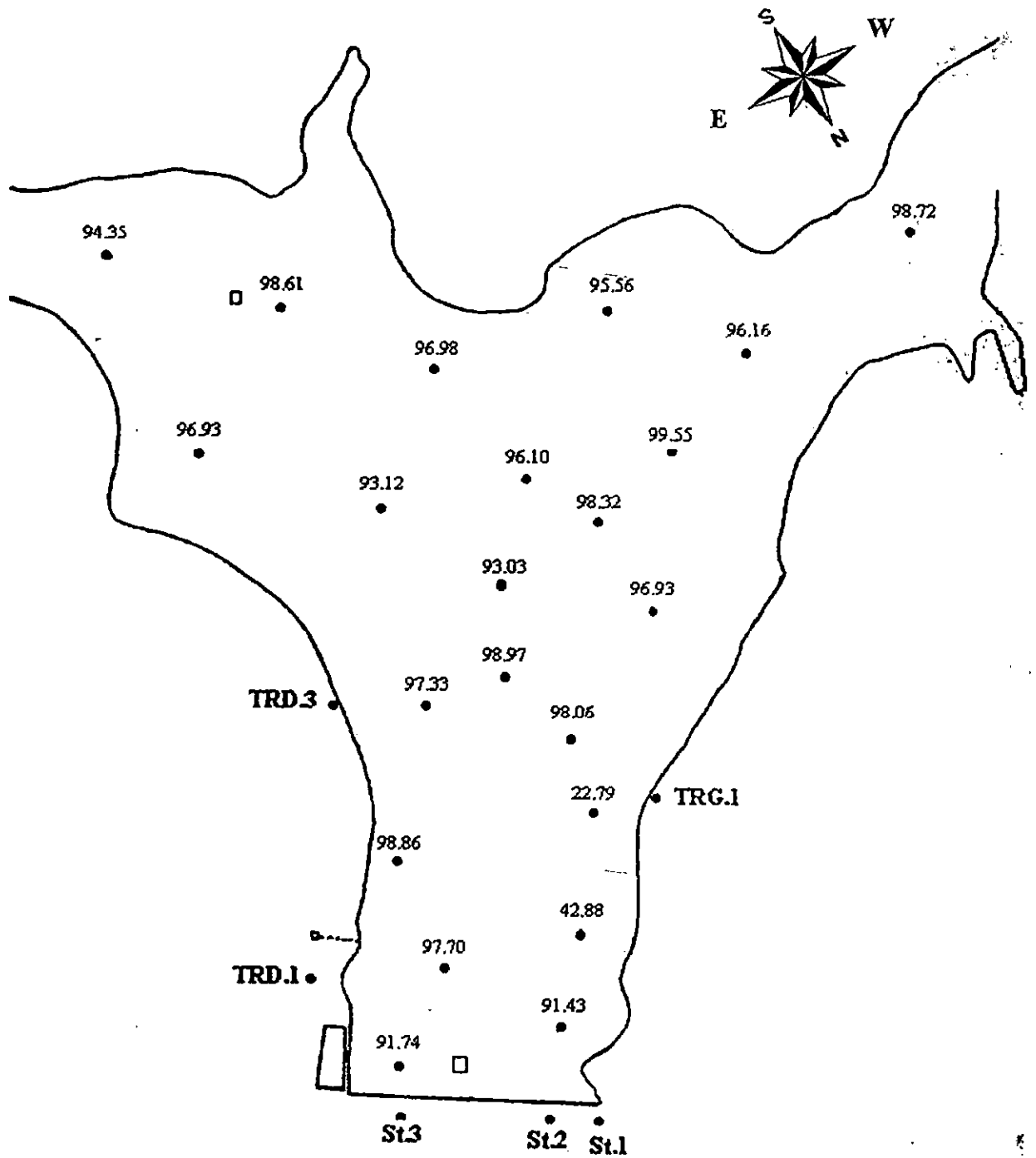


Figure 19: Carte de répartition des teneurs en lutites du bassin supérieur

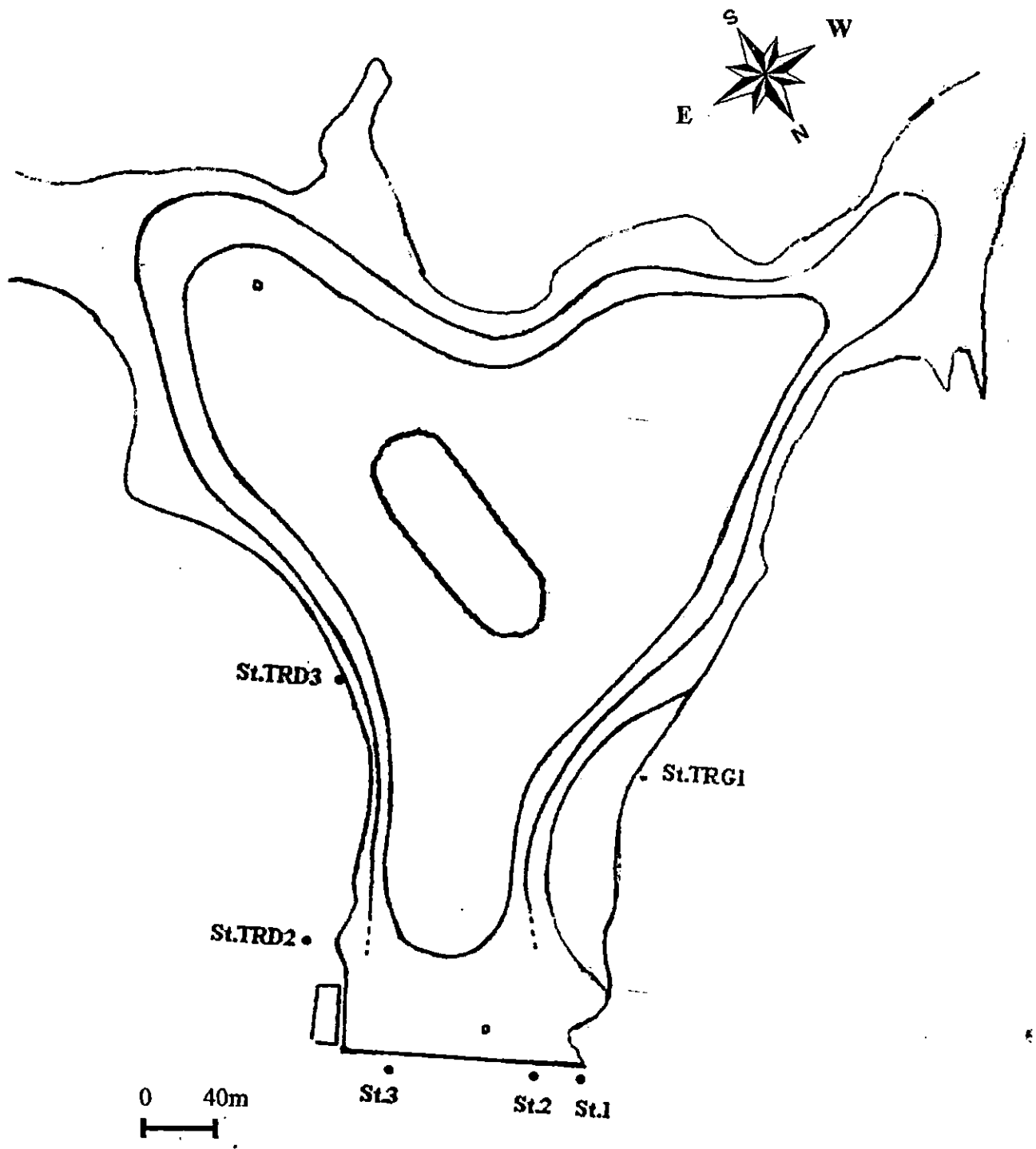


Figure 20: Carte de répartition des iso teneurs en lutites du bassin supérieur

### ***B. Les histogrammes de fréquence***

Ils expriment la teneur en pourcentage de chaque classe (refus de tamis). Les histogrammes tracés à partir des quatre échantillons montrent de fortes teneurs en particules dont le diamètre est compris entre  $160\mu\text{m}$  et  $250\mu\text{m}$  (Figures 12,13,14 et 15).

### **II.3.3 Indices granulométriques**

L'analyse granulométrique de la fraction sableuse n'est appliquée que pour les échantillons dont les teneurs en lutites est inférieur à 40% et cela pour des raisons de représentativité des différentes fractions.

#### ***a. Taille moyenne ( $M_z$ )***

Les valeurs de la taille moyenne obtenues pour les échantillons analysés varient de 2,27 à 2,88 ce qui correspond à des sables fins à moyens.

#### ***b. Indice de classement ( $S_o$ )***

Le classement permet d'exprimer l'importance des actions de tri au cours du transport sédimentaire et du dépôt. Les valeurs de l'indice de classement obtenues pour les échantillons analysés montrent des sables mal et moyennement classés.

#### ***c. Asymétrie de Skewness ( $S_{ki}$ )***

Cette indice montre la prépondérance ou non des particules fines ou grossières par rapport à la moyenne ( $M_z$ ). Les valeurs calculées de cet indice nous permet de conclure que les échantillons analysés présentent une asymétrie vers les particules fines et une symétrie granulométrique.

	Médiane (Mz)	Indice de classement (So)	Asymétrie de Skewness (Ski)	Conclusion
<b>BI .4</b>	2.43	0,71	0,35	<i>Sédiment moyennement classé Asymétrie vers les petites tailles</i>
<b>BI .8</b>	2.88	0,64	0.10	<i>Sédiment moyennement classé Symétrie granulométrique</i>
<b>BII .2</b>	2.45	2	0.25	<i>Sédiment mal classé Asymétrie vers les petites tailles</i>
<b>BII .3</b>	2.27	1,37	0.075	<i>Sédiment mal classé Symétrie granulométrique</i>

**d. Faciès granulométrique**

Les sédiments sont en général constitués de trois classes granulométriques :

- *Sables grossiers : Fraction comprise entre 600 et 2000µm*
- *Sables moyens : Fraction comprise entre 200 et 600µm*
- *Sables fins : Fraction comprise entre 40 et 200µm* *selon lecture*

	Pourcentage des sables grossiers 600 à 2000µm	Pourcentage des sables moyens 200 à 600µm	Pourcentage des sables fins 40 à 200µm
<b>BI.4</b>	9	25	66
<b>BI.8</b>	2.5	24.5	73
<b>BII.2</b>	6	33	61
<b>BII.3</b>	5	46	49

**Conclusion**

La fraction sableuse des échantillons de sédiments analysés est constituée essentiellement de sables fins à l'exception de l'échantillon BII.3 qui présente un pourcentage de 50% de sable moyen.

## *Chapitre III*

# Bathymétrie

### III. BATHYMETRIE

Les cartes bathymétriques du bassin inférieur et supérieur de la retenue de Zeralda ont été réalisées à partir des plans de sondes (Fig.21 et 22) établis lors des différentes missions sur le site, à l'aide d'un échosondeur de type *FURUNO FE 6300* (photo 5 en annexe). Cet appareil mesure la hauteur de la tranche d'eau et ce par l'émission continue d'une impulsion sonore qui se réfléchit sur le fond. Les enregistrements sont ensuite dépouillés au laboratoire.

#### III.1 Morphologie du fond du bassin inférieur

Selon la carte bathymétrique (fig.23), le bassin inférieur de la retenue de Zeralda est peu profond dans son ensemble. Bien qu'il puisse atteindre plus de -9m par endroits, la profondeur moyenne de la retenue est de -6m. Des profondeurs maximales s'observent généralement dans la partie centrale du bassin alors que les profondeurs diminuent progressivement jusqu'à atteindre les rives.

La présence d'un chenal irrégulier et étroit au centre du bassin atteint la profondeur maximale de -7m au débouché du chenal (vers le Sud).

On observe localement des isobathes serrées et plus ou moins parallèles entre elles au niveau de la partie Ouest, le tracé de ces isobathes montre que les profondeurs maximales sont plus vite atteintes (pente raide).

Des isobathes régulières et étroites montrent le tracé d'un chenal au niveau de l'Oued avec des profondeurs qui diminuent de la rive jusqu'au centre du bassin.

Dans la partie Est du bassin, les isobathes sont très larges et irrégulières et le tracé montre l'existence de plates-formes de profondeur allant de -2m à -6m.

La zone étudiée présente, d'après la carte bathymétrique du bassin inférieur, un fond irrégulier marqué par de nombreux changements de pente. Les isobathes sont plus ou moins parallèles entre elles au niveau de la partie Ouest du bassin avec présence de pente raide alors qu'au niveau de la partie Est les isobathes sont très larges avec présence de pente assez faible.

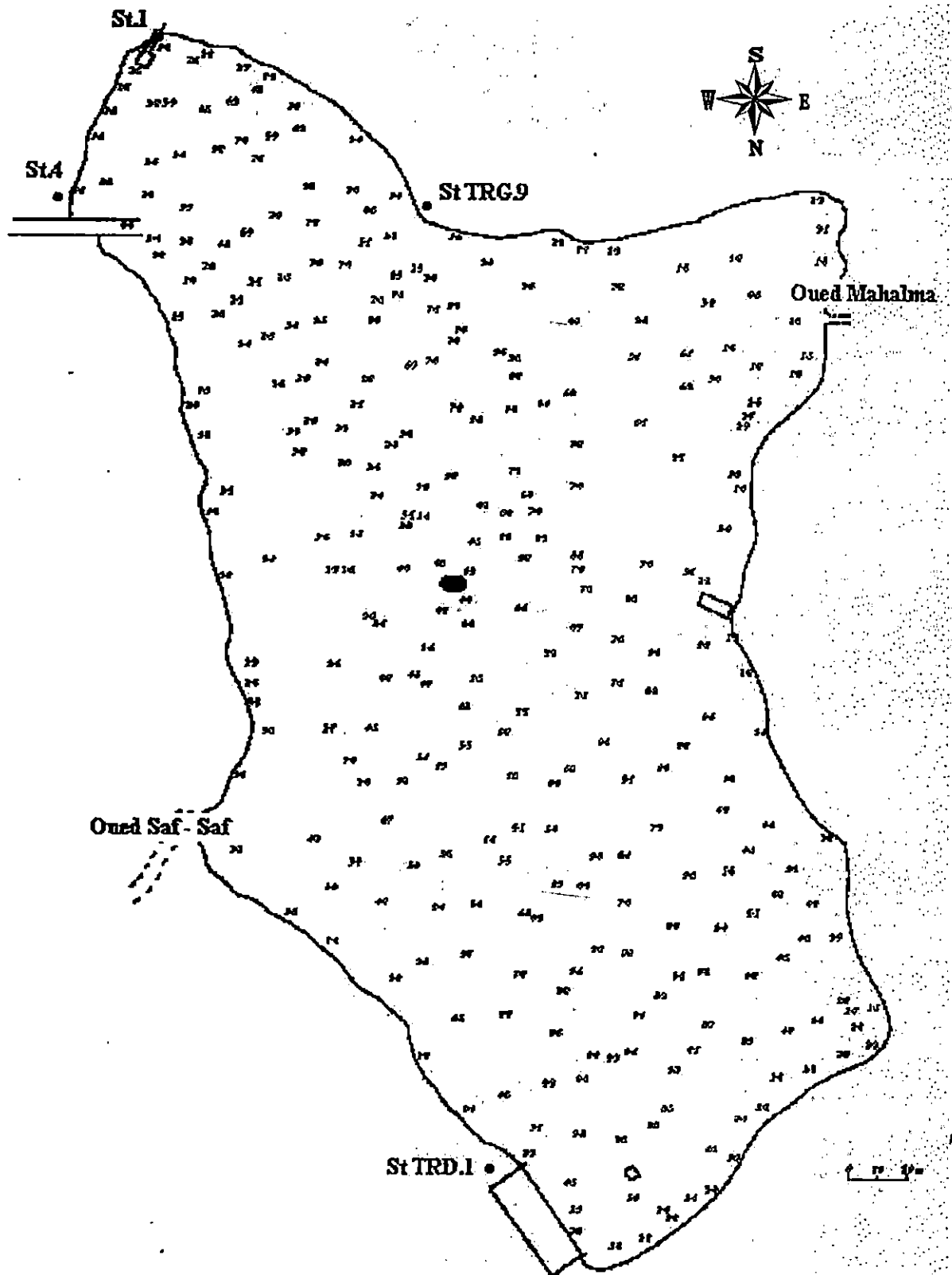


Figure 21 : Carte de localisation des points de sonde du bassin inférieur

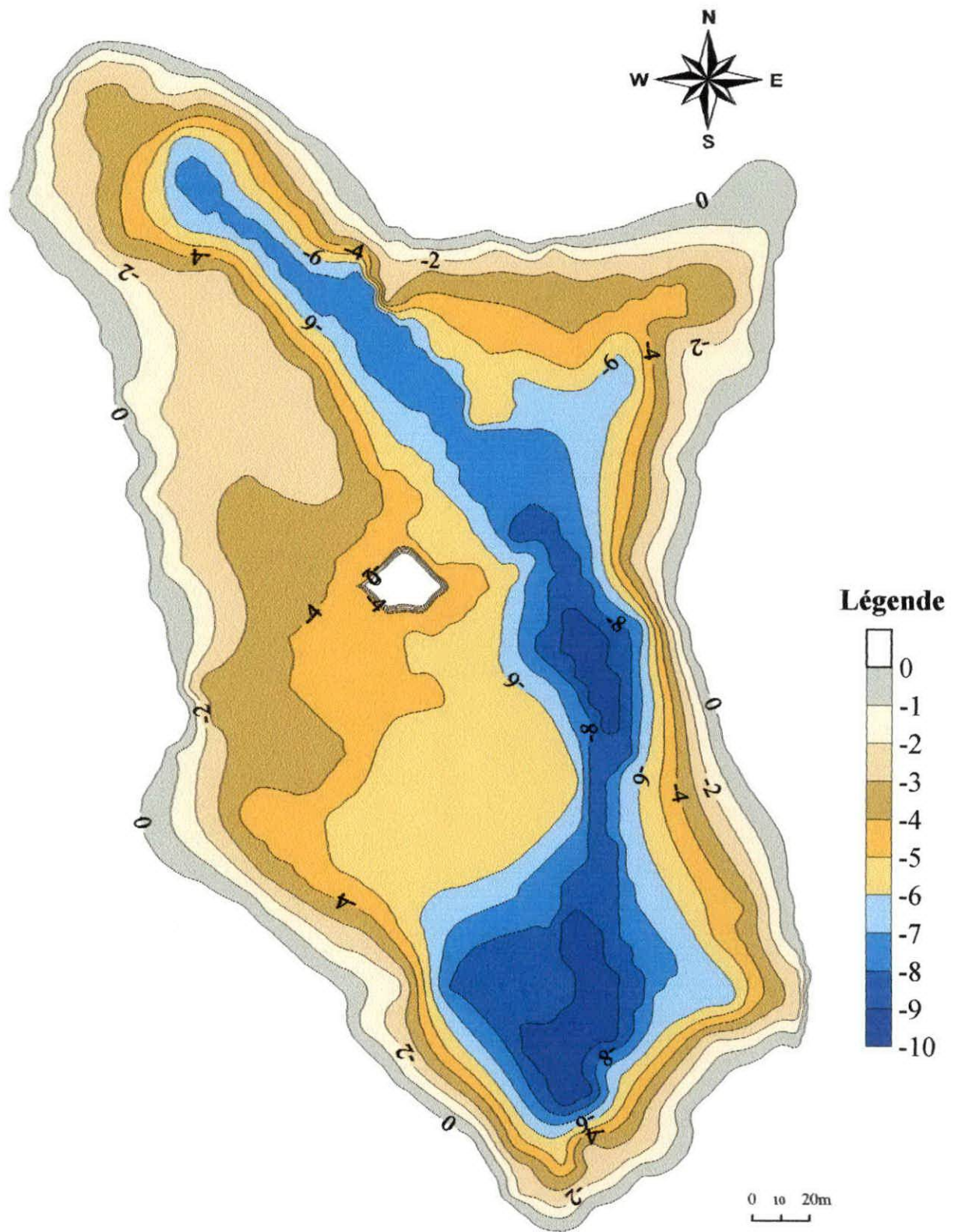


Figure 23: Carte bathymétrique du bassin inférieur de la retenue de Zeralda

Les profondeurs maximales sont relevées au centre du bassin ou il y'a présence d'un chenal étroit et entrecoupé par endroits. Les profondeurs maximales sont vite atteintes dans la partie Ouest (pente raide) alors que dans la partie Est, les profondeurs remontent en pente assez régulière (pente faible).

Les isobathes ont été tracées avec une équidistance de -1m. La topographie sous-marine complexe et irrégulière est composée de cuvettes, plates-formes, pointements et chenaux (Fig.24 /3D).

L'analyse de la bathymétrie met en évidence le caractère très irrégulier du fond. Ces irrégularités morphologiques sont liées aux apports de sédiments et aux différents aménagements qui ont été entrepris dans ce bassin. D'autre part, il existe une dissymétrie matérialisée par les ruptures de pentes -1m à -2,5m qui sont plus proche de la rive à l'Est qu'à l'Ouest.

### **III.2 Description des profils bathymétriques du bassin inférieur**

A partir de la carte bathymétrique du bassin inférieur (Fig.25), nous avons tracés des profils bathymétriques orientés de la rive droite (Est) vers la rive gauche (Ouest). Les profils sont notés respectivement de A à F d'aval en amont.

#### **Profil A**

Ce profil d'une longueur de 88.5m montre une pente raide en rive droite qui atteint rapidement la profondeur de -9m. Ce profil montre un plateau de 33m de longueur au centre du bassin, ensuite les profondeurs diminuent progressivement jusqu'à la rive gauche mais d'une manière irrégulière (Figure 26).

#### **Profil B**

Ce profil d'une longueur de 96m montre une pente raide jusqu'à une profondeur de -5m à proximité de la rive droite. Au delà de -5m de profondeur, on observe un plateau de pente faible de longueur 36m suivie d'une rupture de pente où la profondeur atteint -9m. Par contre, en rive gauche, les profondeurs diminuent d'une manière irrégulière (Figure 26).

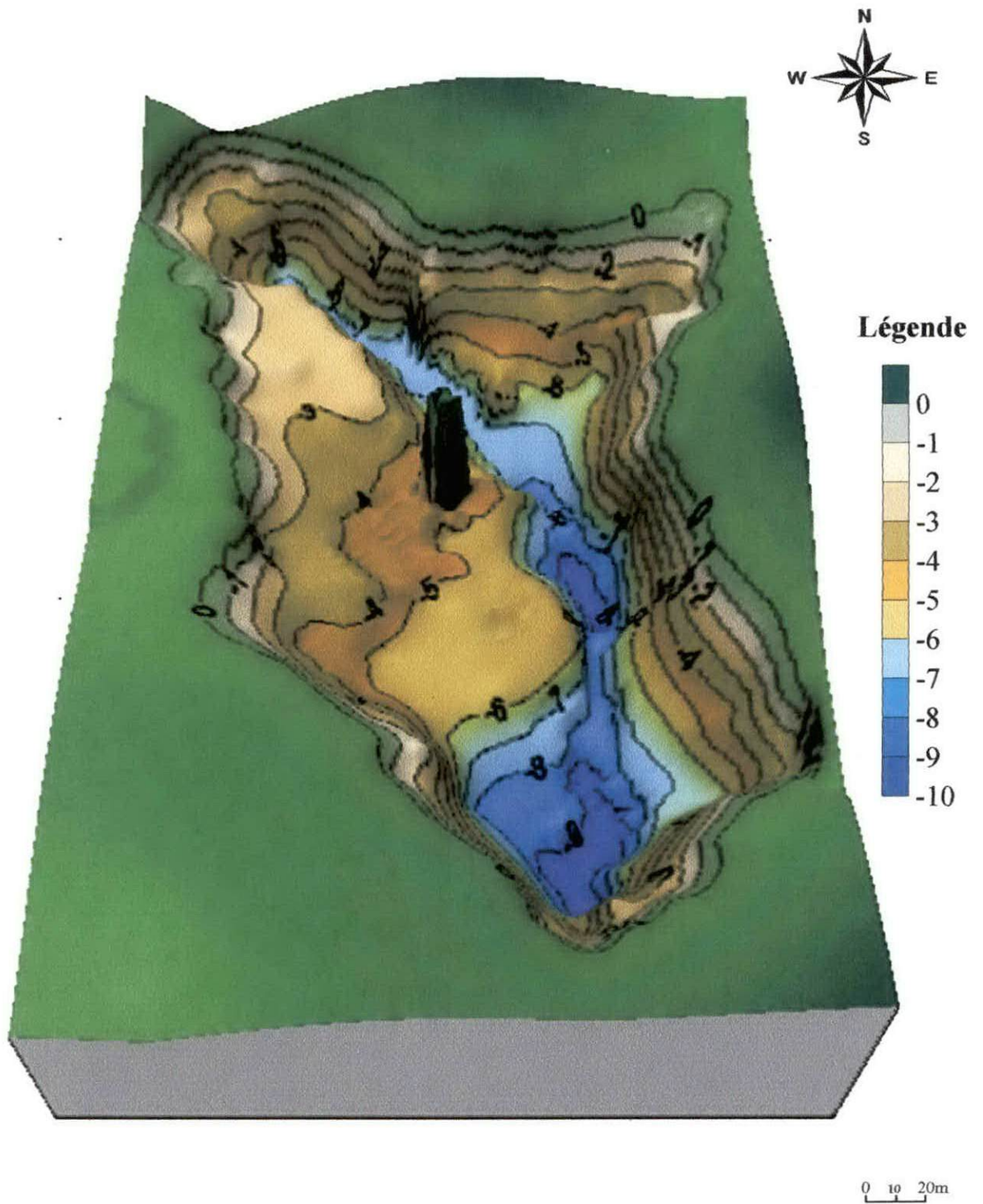


Figure 24: Carte bathymétrique <sup>en 3D</sup> du bassin inférieur de la retenue de Zéralda

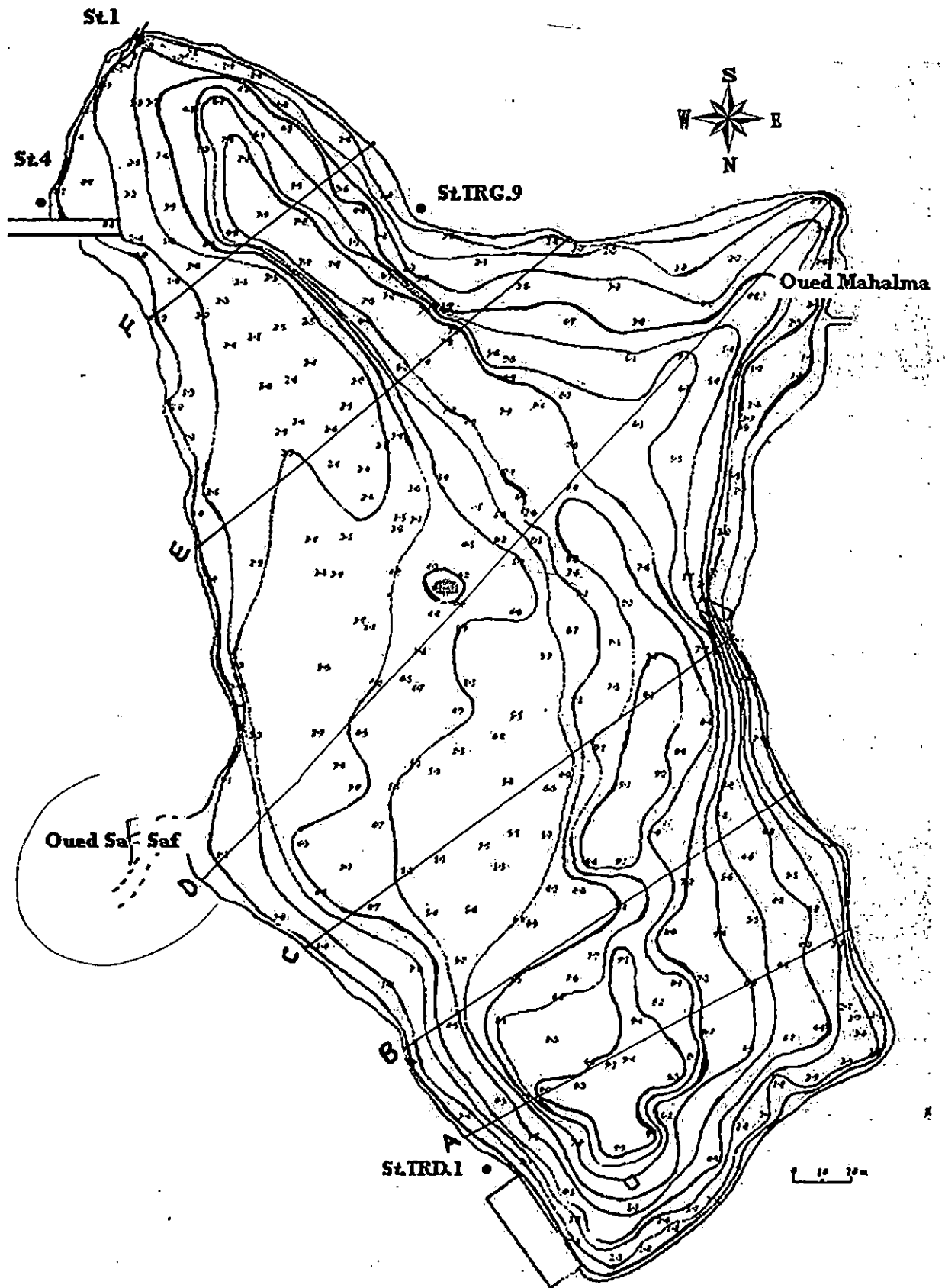


Figure 25 : Carte des profils bathymétriques du bassin inférieur de la retenue de Zeralda

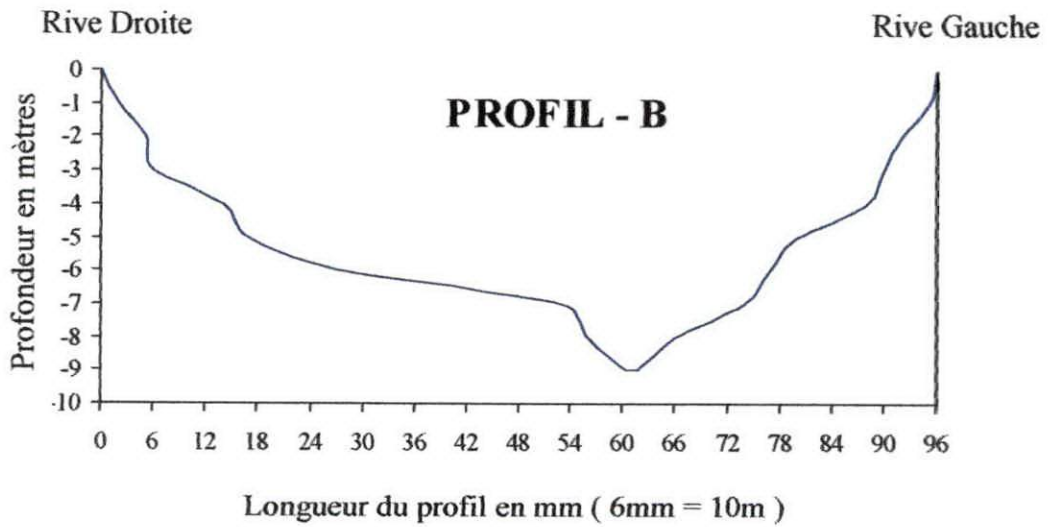
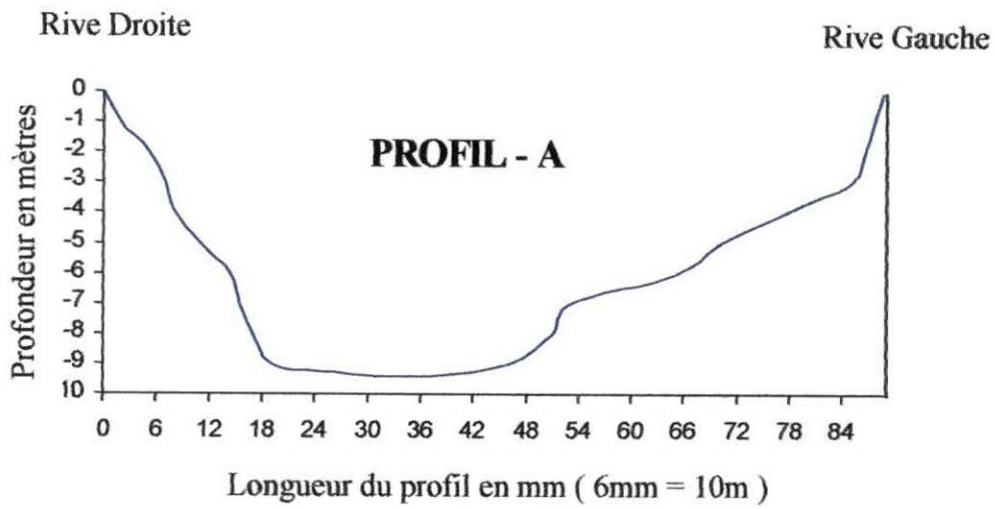


Figure 26 : Profils bathymétriques orientés Rive droite - Rive Gauche du bassin inférieur

### Profil C

Ce profil de longueur 186m présente un plateau de très faible pente, long de 120m et profond de -5m en rive droite. Ce plateau occupe presque la surface du bassin et dont la morphologie est inclinée vers le Nord Ouest. En allant vers la rive gauche, on observe un fond en forme de cuvette ou les profondeurs diminuent rapidement avec une pente plus marquée (Figure 27).

### Profil D

Ce profil, caractérisé par une longueur de 189m, montre un plateau de pente faible sur une longueur de près de 100m. On note la présence d'un fond en forme de cuvette de profondeur -8m au centre du profil. Les profondeurs diminuent progressivement en pente assez régulière en rive gauche (Figure 27).

### Profil E

Ce profil d'une longueur de 78m montre la présence d'un plateau sur environ 40m à partir de -2,5 m de profondeur en rive droite suivie d'une rupture de pente où les profondeurs passent rapidement de -2,5m à -7.5m. Les profondeurs diminuent progressivement jusqu'à la rive gauche en pente plus marquée (Figure 28).

### Profil F

Ce profil d'une longueur de 57m est situé en amont du bassin. En partant de la rive droite, les profondeurs augmentent régulièrement de 0 à -7,5m, puis diminuent tout aussi régulièrement pour atteindre la rive gauche (Figure 28).

44

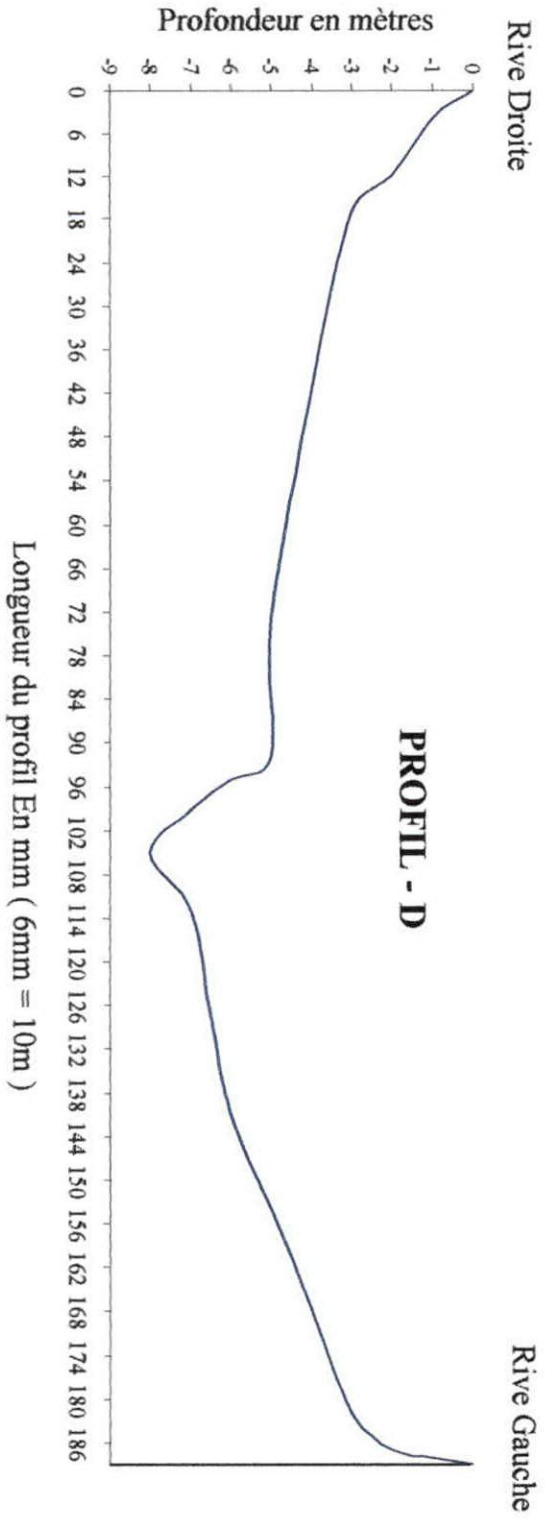
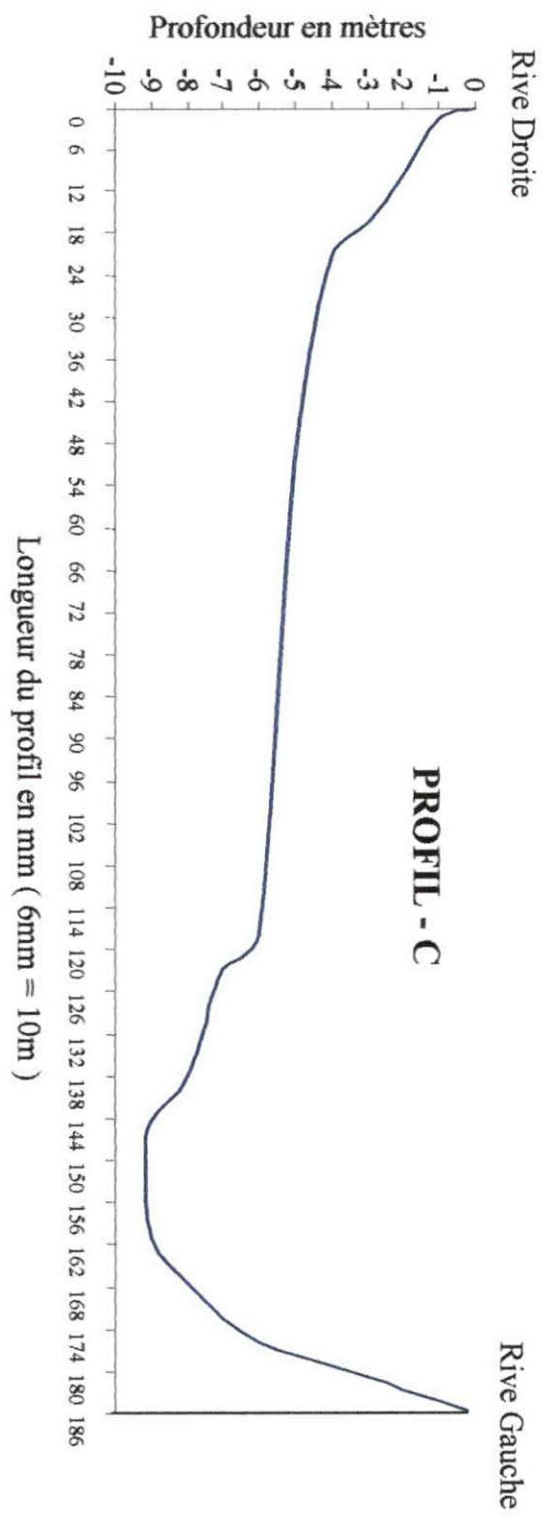


Figure 27 : Profils bathymétriques orientés Rive droite - Rive gauche du bassin inférieur

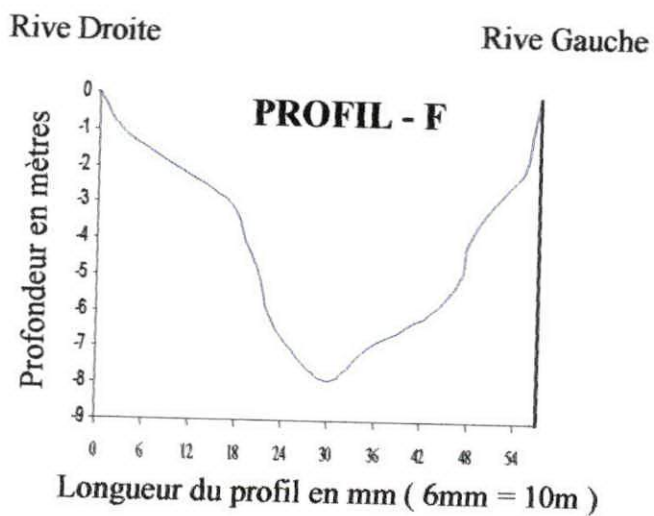
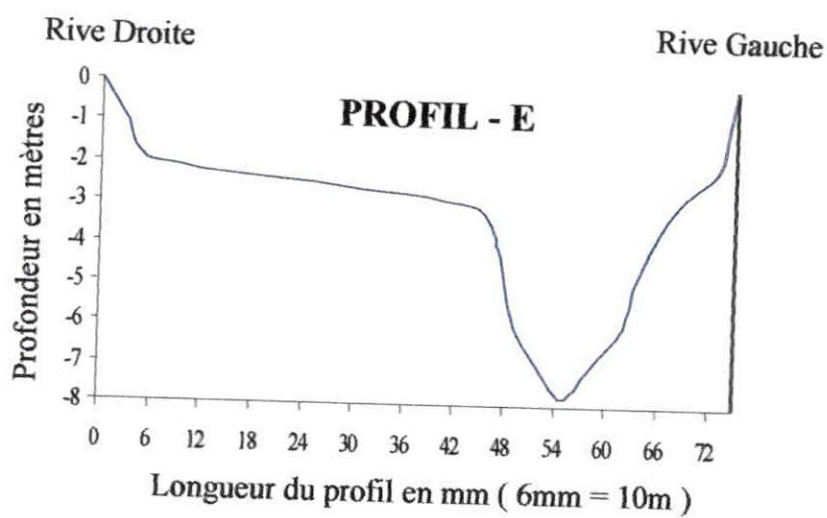


Figure 28 : Profils bathymétriques orientés Rive droite - Rive gauche du bassin inférieur

### III.3 Morphologie du fond du bassin supérieur

Le bassin supérieur de la retenue de Zeralda montre des profondeurs qui varient de 0 à -8m (Fig.29). Les isobathes ont été tracées à partir des points de sondes avec une équidistance de -1m.

On observe qu'au niveau de la partie aval (Nord) que les isobathes sont serrées et plus ou moins parallèles entre-elles en partant des rives puis se relâchent au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre du bassin. Alors que dans la partie amont (Sud), les isobathes sont plus étalées et les profondeurs varient de 0 à -7m.

Le tracé des isobathes forme au centre du bassin un chenal qui atteint la profondeur la plus élevée qui est de -8m.

En aval (Nord), les isobathes au niveau de la rive Est sont serrées et plus ou moins parallèles entre-elles. Par contre, le tracé des isobathes au niveau de la rive Ouest se relâchent à l'approche du centre du bassin.

En amont (Sud), les isobathes sont serrées près du rivage et plus ou moins parallèles entre-elles dans la partie Est avec présence de pentes raides. Les profondeurs maximales de -5m sont plus vite atteintes. Par contre, dans la partie Ouest les isobathes sont plus étalées et plus ou moins parallèles entre-elles avec des pentes régulières.

L'analyse de la bathymétrie met en évidence le caractère plus ou moins régulier du fond (Fig.30/3D). Les profondeurs maximales s'observent dans la partie centrale du bassin alors que les profondeurs diminuent progressivement jusqu'à atteindre les rives.

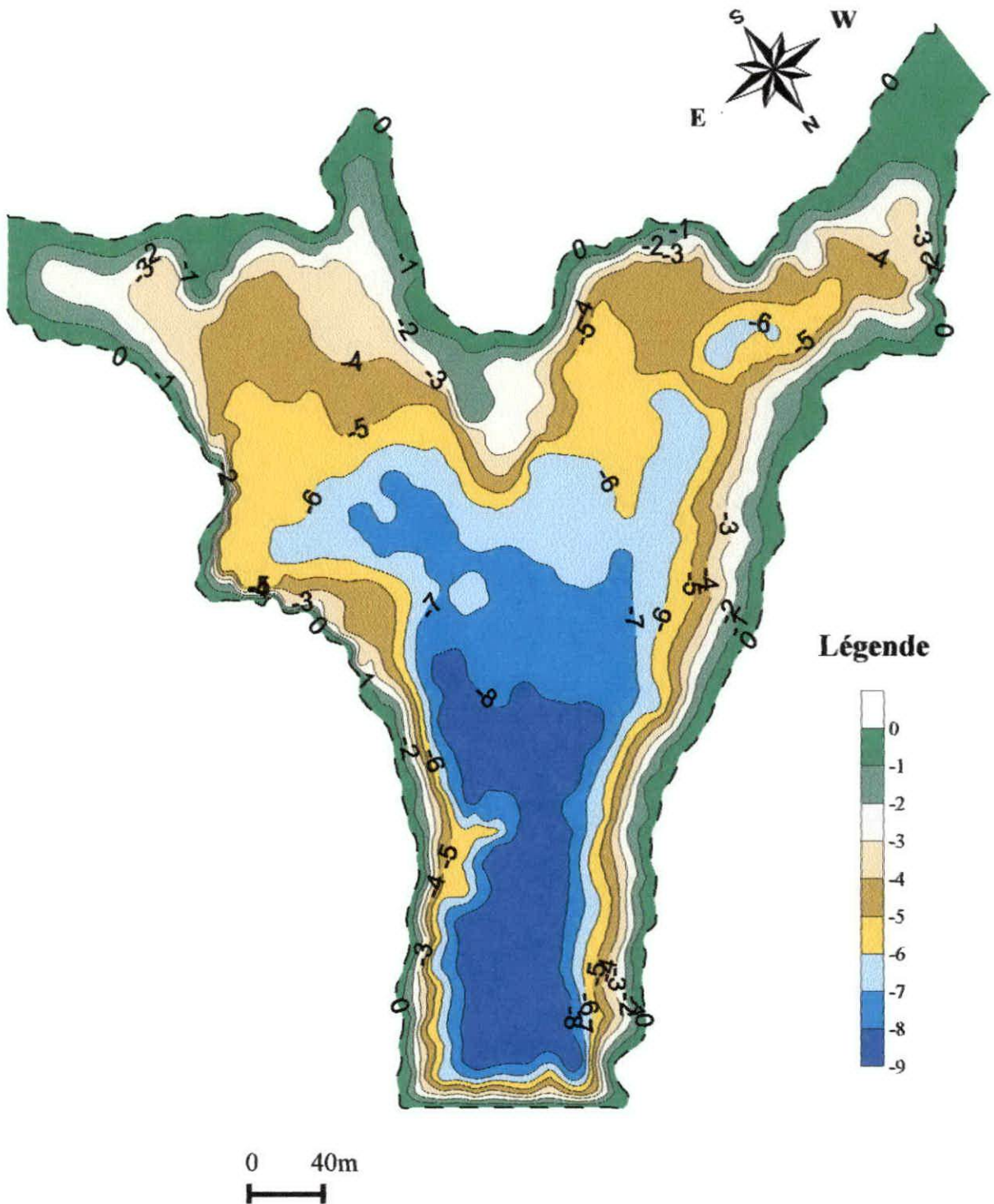
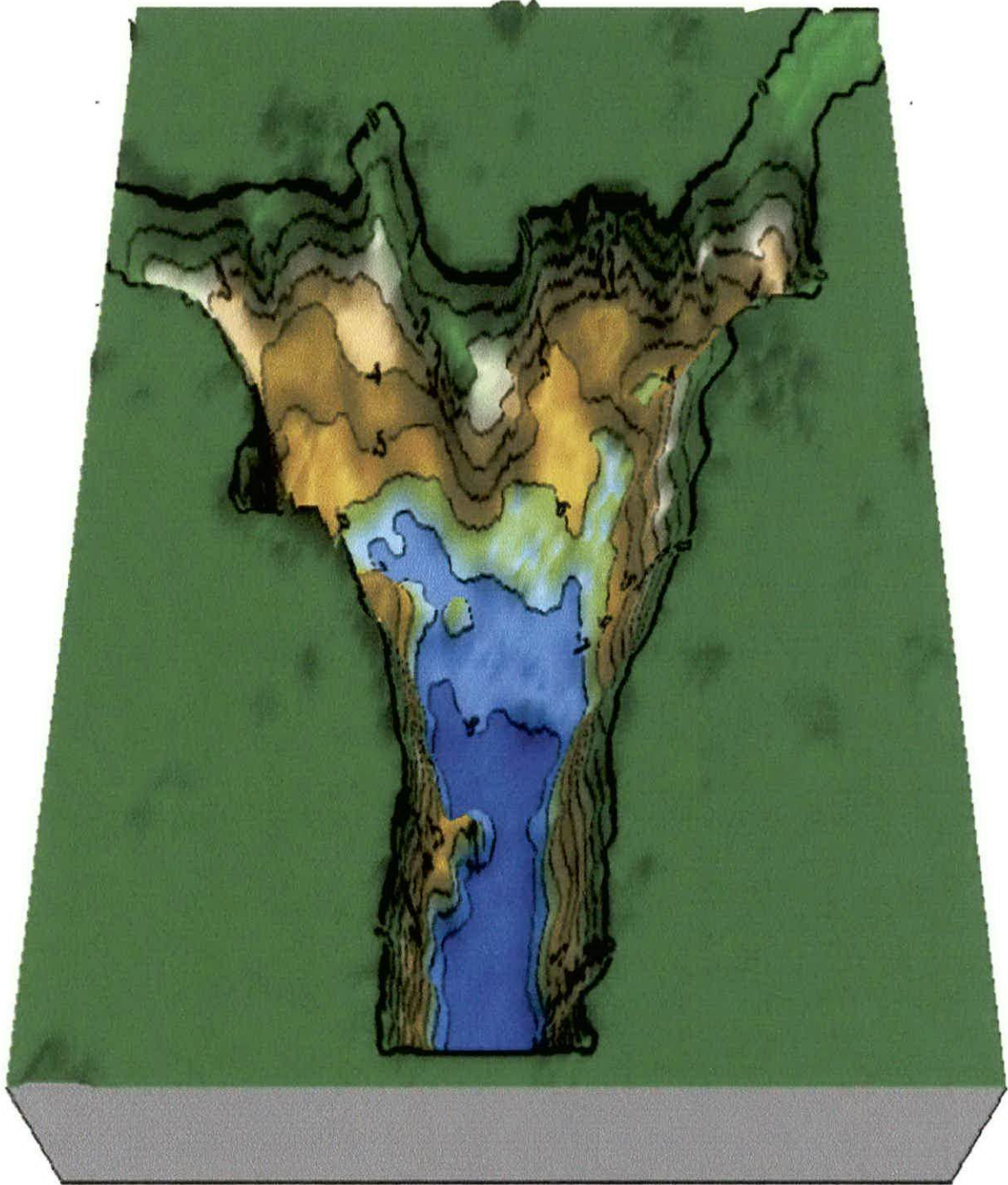


Figure 29: Carte bathymétrique du bassin supérieur de la retenue de Zeralda



0 40m  
|-----|

Figure 30 : Carte bathymétrique en 3D du bassin supérieur de la retenue de Zéralda

### III.4 Description des profils bathymétriques du bassin Supérieur

A partir de la carte bathymétrique du bassin supérieur (fig.31), nous avons tracés des profils bathymétriques orientés de la rive droite (Est) vers la rive gauche (Ouest). Les profils sont notés respectivement de G à J d'aval en amont.

#### Profil G

Ce profil d'une longueur de 154m montre une pente plus ou moins raide près de la rive droite. A la profondeur de - 8m, on note la présence d' un plateau de longueur de 70m situé au milieu du bassin. En s'approchant de la rive gauche, les profondeurs diminuent progressivement (Figure 32).

#### Profil H

Ce profil d'une longueur totale de 147m est caractérisé par une augmentation rapide des profondeurs en partant de la rive droite de 0m jusqu'à -5m, puis réaugmentent lentement pour former un plateau à -6m de profondeur, suivie d' une rupture de pente ou la profondeur atteint -8m. Les profondeurs diminuent progressivement pour atteindre la rive gauche (Figure 32).

#### Profil I

Ce profil d'une longueur de 270m présente en rive droite une pente raide jusqu'à la profondeur de -7m. Au centre du bassin, un plateau long de 160m occupe presque la totalité du profil. La rive-gauche est marquée par une diminution régulière des profondeurs (Figure 33).

#### Profil J

Ce profil traverse la partie la plus large du bassin, sa longueur est de 400m. En partant de la rive droite, les profondeurs augmentent de 0m à -5m (pente raide) et diminuent doucement pour former au centre du bassin « une bosse » large de 60m à une profondeur de -4m, ensuite on assiste à une augmentation lente des profondeurs jusqu'à presque -6m. Les profondeurs diminuent progressivement pour atteindre la rive gauche (Figure 33).

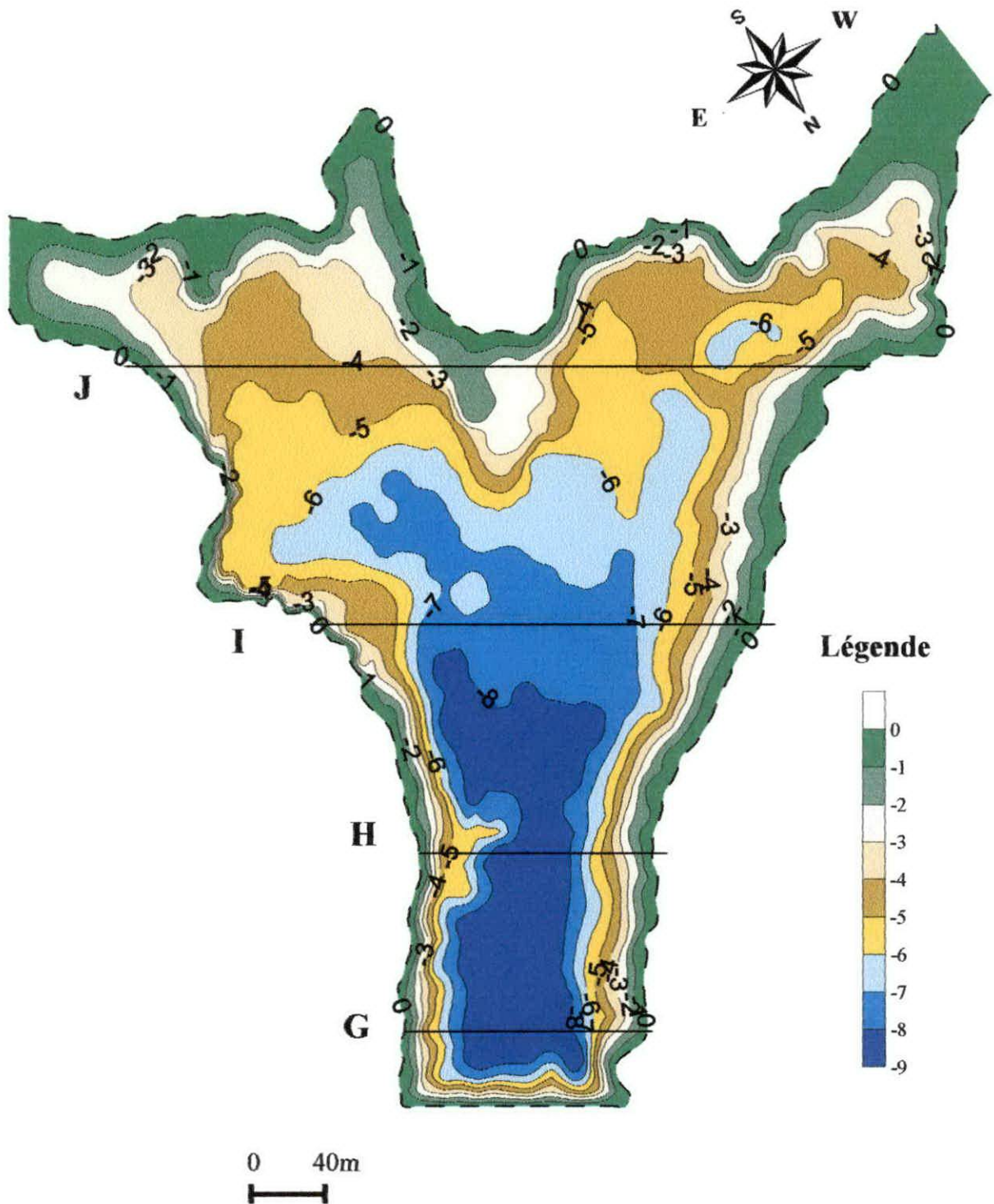


Figure 31: Carte des profils bathymétrique du bassin supérieur de la retenue du Zéralda

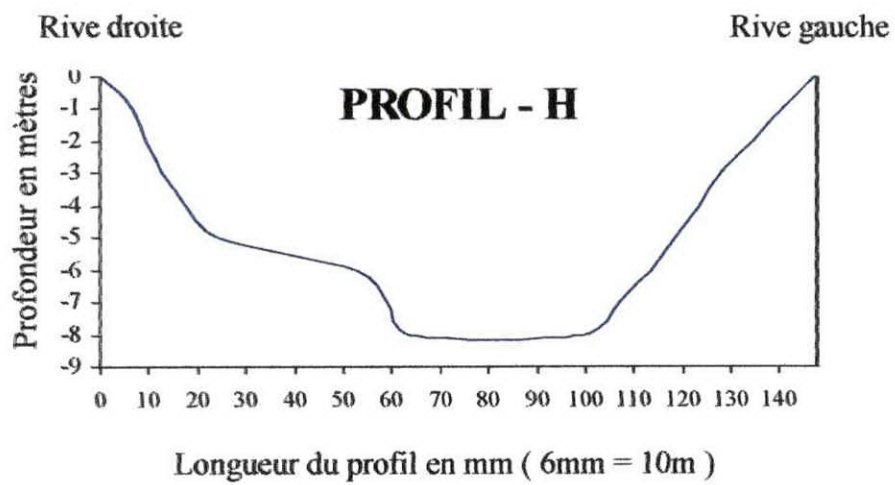
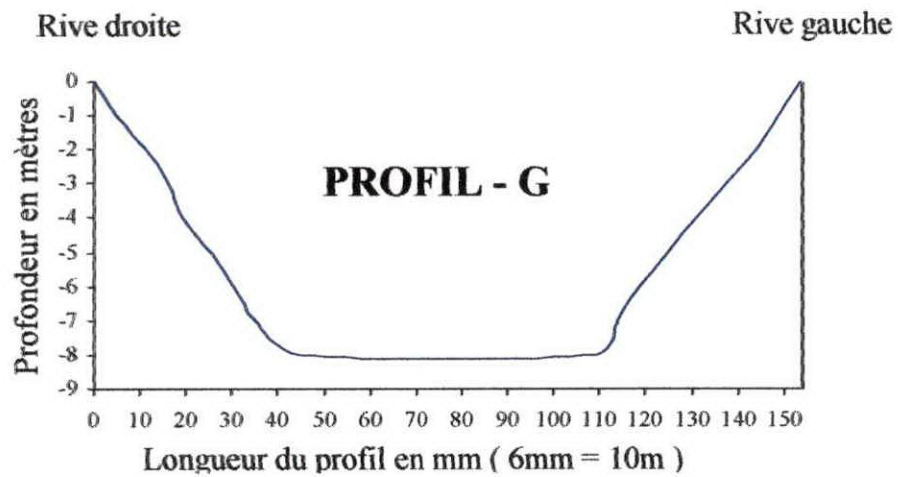


Figure 32 : Profils bathymétriques orientés Rive droite - Rive gauche du bassin supérieur

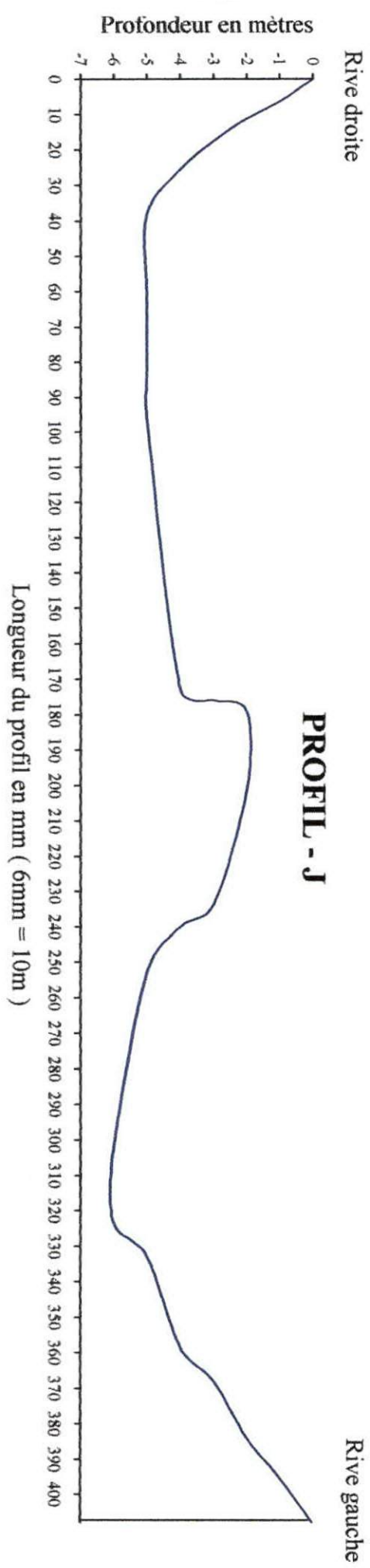
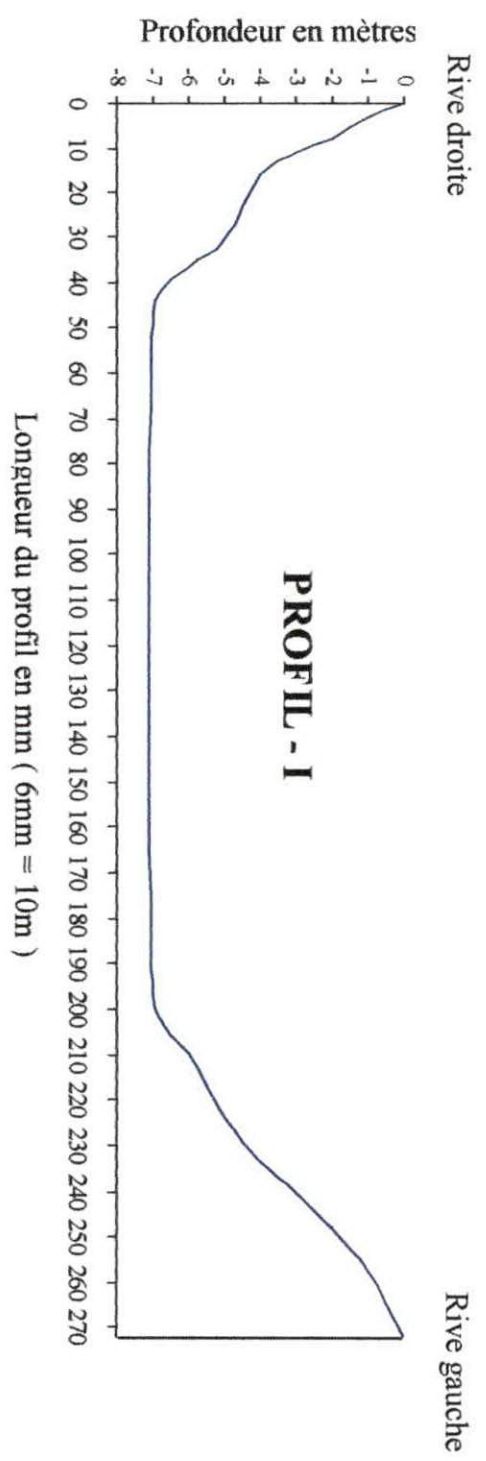


Figure 33: Profils bathymétriques orientés Rive droite - Rive gauche du bassin supérieur

# DEUXIEME PARTIE

## I.1 INTRODUCTION

La pollution chimique de l'environnement n'a cessé d'augmenter avec l'urbanisation et l'industrialisation croissante. Les micro polluants métalliques sont une composante essentielle de cette contamination chimique, au même titre que les polluants organiques.

Les métaux lourds sont présents dans tous les compartiments de l'environnement à l'état de traces (quantités très faibles). Ils comprennent notamment les oligoéléments (cuivre, zinc, molybdène, manganèse). Ceux-ci sont nécessaires à très faibles doses aux activités biologiques et sont toxiques à doses plus élevées.

On peut également trouver d'autres métaux tels que : le mercure, le plomb, le cadmium et le chrome. Les plus **toxiques** d'entre eux sont le **plomb, le cadmium et le mercure**.

Dans notre étude, nous sommes limités à l'étude de quelques éléments métalliques. Ces métaux qui sont indispensables dans les cycles biologiques, peuvent se montrer dangereux à des taux supérieurs à leurs concentrations dites normales.

## I.2 Les métaux lourds

Les éléments métalliques font référence à tous les métaux et métalloïdes, à l'exception des alcalins et alcalino-terreux. Nous distinguons deux groupes :

- Les métaux qui entrent dans le processus métabolique des organismes vivants : *métaux essentiels ou oligoéléments*
- Les métaux qui ne présentent aucun intérêt dans le système biologique : *métaux non essentiels*

### a. Les métaux essentiels

Ce sont des éléments essentiels qui jouent un rôle nutritionnel important dans le métabolisme cellulaire des organismes vivants. Ils sont au nombre de onze : le fer, le cuivre, le zinc, le chrome, le cobalt, le manganèse, le vanadium, le sélénium, le molybdène, le nickel et l'étain (Underhood 1956 ; Schroeder et al, 1970). Cependant, ces éléments peuvent devenir toxiques à des concentrations trop élevées.

### **b. Les métaux non essentiels**

Cette catégorie de métaux comme le cadmium, le mercure, le plomb, et l'arsenic,....ne présente aucune activité biologique dans l'organisme, mais leur présence surtout avec des teneurs élevées provoquent des perturbations dans le métabolisme cellulaire (Brayan, 1984).

### **I.3 Origine des métaux lourds**

Les métaux lourds présents dans les eaux et sédiments peuvent avoir deux origines majeures et distinctes :

#### **a. Origine naturelle**

Elle est essentiellement due aux phénomènes naturelles tels que l'érosion, le lessivage des sols par les eaux de pluies, le transfert non négligeable par voie atmosphérique et les activités volcaniques.

#### **b. Origine liée aux activités humaines ou anthropiques**

Les métaux lourds proviennent des apports liés aux rejets urbains, les déversements industriels et l'emploi des divers produits en agriculture (Tableau 6).

<b>Eléments</b>	<b>Sources des rejets</b>
<b>Plomb</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Raffinerie de pétroles</li><li>- Canalisations</li><li>- Engrais</li></ul>
<b>Cadmium</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Raffinerie de pétroles</li><li>- Métallurgie</li><li>- Industrie chimique</li></ul>
<b>Mercure</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Métallurgie</li><li>- Industrie pharmaceutique</li><li>- Cimenterie et peintures</li></ul>
<b>Zinc</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Métallurgie</li><li>- Industrie chimiques (peinture, insecticides...)</li></ul>
<b>Cuivre</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Catalyseur de réactions chimiques</li><li>- Electricité, chauffage, alliages, métallurgie</li><li>- Cuivre métallique</li></ul>
<b>Fer</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Métallurgies</li><li>- Fabrication de colorants</li></ul>

Tableau 6 : Principales sources des rejets anthropiques des métaux

## *Chapitre II*

**Etudes au  
laboratoire**

## II. ETUDES AU LABORATOIRE

La méthodologie appliquée pour le traitement des échantillons destinés à l'analyse des éléments métalliques s'effectue à partir des étapes suivantes (Figure 34).

### II.1 Traitement des échantillons au laboratoire

#### *II.1.1 Conservation des échantillons*

Les échantillons recueillis (eau et sédiment) sont directement conservés à des basses températures ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) afin d'éviter toute perte d'éléments volatiles.

#### *II.1.2 Lyophilisation*

La lyophilisation est une technique permettant la deshydrataion de l'échantillon congelé par sublimation à basse température ( $-58^{\circ}\text{C}$ ) et sous vide (5ml torr) pendant 26 heures. La lyophilisation est préférable à la déshydratation à l'étuve qui entraîne une perte des métaux les plus volatiles en particulier le plomb et le mercure

#### *II.1.3 Broyage et tamisage*

La quantification des éléments métalliques se fait sur la fraction fine. Les échantillons sont d'abord broyés au moyen d'un mortier en porcelaine, puis on procède à un tamisage avec un tamis de  $63\mu\text{m}$  (diamètre des mailles) (photo en annexe 2).

Cette fraction est en effet le siège de la plupart des phénomènes d'adsorption et de désorption des éléments métalliques donc la plus significative.

#### *II.1.4 Minéralisation*

Le dosage des métaux lourds dans les sédiments nécessite une digestion (minéralisation) qui doit conduire à une solution. Son principe repose sur une opération d'extraction des éléments métalliques contenus dans le sédiment.

Les méthodes de mise en solution sont nombreuses et dépendent du domaine d'application. Le choix retenu s'est porté sur la minéralisation aux acides forts en utilisant l'eau régale. Cette méthode, préconisée par

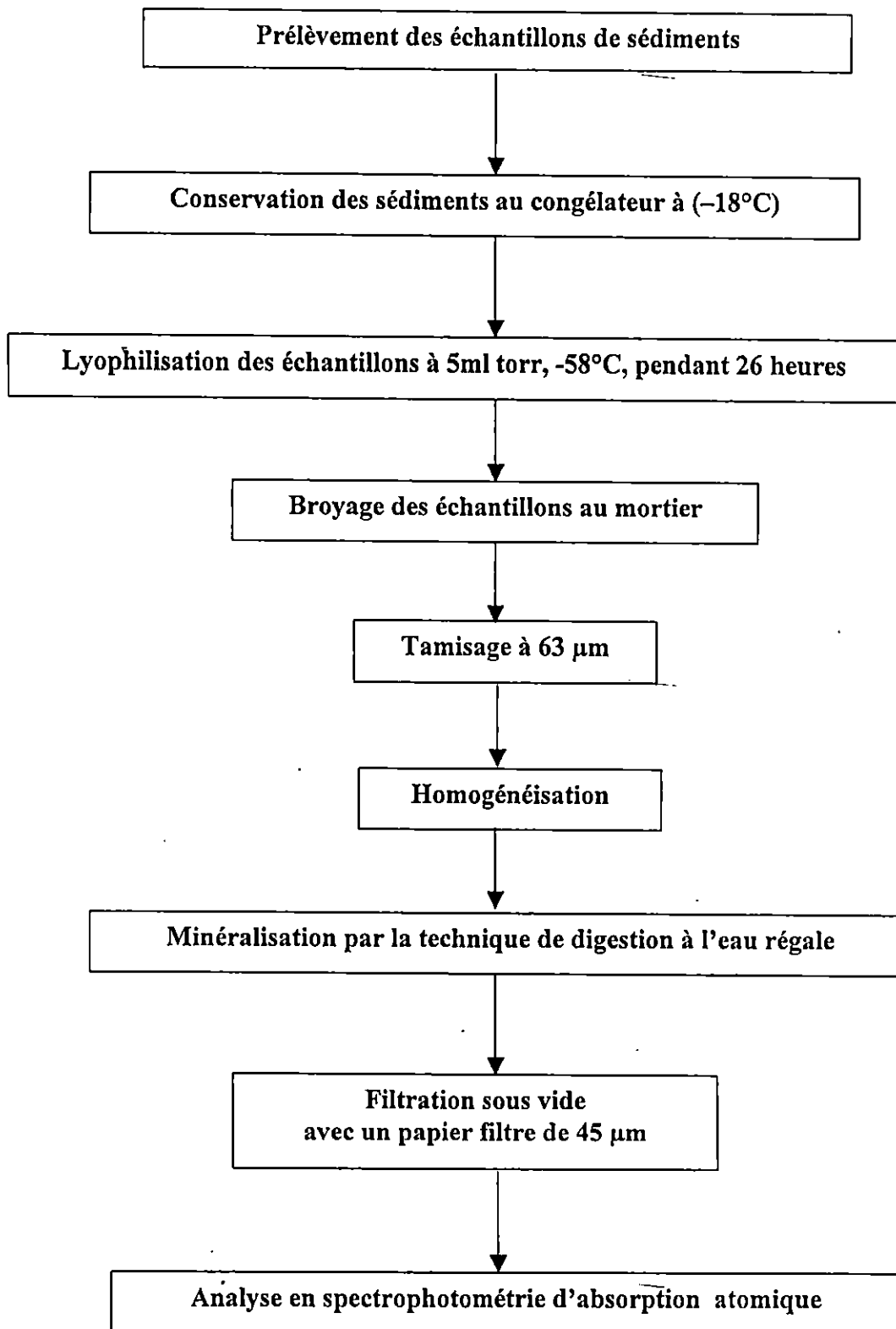


Figure 34: Résumé des différentes phases de traitement du sédiment

plusieurs auteurs (Pinta, 1973 et Wollast, 1980), est la plus utilisée par de nombreux laboratoires spécialisés dans la quantification des éléments métalliques.

### *II.1.5 Digestion à l'eau régale*

La digestion à l'eau règle a été réalisée au niveau de la <sup>same</sup>chambre blanche classe 10.000 (photo en annexe 2) du laboratoire des Cellules Photovoltaïques de l'Unité de Développement des Technologies du Silicium (UDTS).

On place 10 g de sédiment prétraité (lyophilisé et broyé) dans un bécher de 200ml, auquel on ajoute 25ml d'HCL concentré à 35%. Le bécher recouvert de papier aluminium est placé sur une plaque chauffante à une température médium de 80°C pendant 15mn. On verse doucement (il peut y avoir une forte réaction) 15ml d'HNO<sub>3</sub> concentré à 65 % et on laisse digérer pendant 20mn.

Après, on ajoute dans la solution 25ml d'HCL concentré et 25ml d'eau déionisée. On couvre et on chauffe la solution pour laisser échapper les gaz de digestion par HNO<sub>3</sub>. La solution de chaque échantillon est enfin filtrée et transférée dans une fiole jaugée à 100ml. Ensuite on complète le volume jusqu'à 100 ml avec de l'eau déionisée (photo en annexe 2).

## **II.2 Dosage des éléments métalliques**

La méthode la plus utilisée pour le dosage des éléments métalliques dans l'eau et les sédiments reste la spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A). c'est une méthode d'analyse quantitative qui présente une haute sensibilité et une grande précision.

### *II.2.1 Principe de la spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A)*

La spectrophotométrie d'absorption atomique repose sur le principe de l'émission ou absorption de la lumière d'un élément métallique. Le dosage des éléments métalliques est basée sur la technique de la spectrophotométrie d'absorption atomique au four au graphite.

L'échantillon est placé dans une capsule au niveau de l'échantillonneur automatique. Une goutte de l'échantillon de volume 20 $\mu$ l est déposée sur un tube en graphite qui est progressivement chauffé pour évaporer, calciner, volatiliser et enfin atomiser les éléments métalliques présents dans l'échantillon.

Le faisceau lumineux d'une lampe à cathode creuse contenant le métal à doser est dirigé à travers le tube en graphite et le métal volatilisé et atomisé absorbe l'énergie de la lampe. La quantité de cette lumière absorbée est proportionnelle à la concentration en atomes. L'absorption de la lumière s'effectue à des longueurs d'ondes définies pour chaque élément à doser (photo en annexe 2).

### *II.2.2 La loi d'absorbance en absorption atomique*

La mesure de l'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la loi de *Beer Lambert* selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'adsorption spécifique  $a$ , au trajet optique  $b$  et à la concentration  $c$ .

$$A = abc = \log I_0/I$$

Ou  $I$  : Intensité après absorption par les atomes  
 $I_0$  : Intensité initiale de la source lumineuse

### *II.2.3 Etalonnage*

La mesure de la concentration d'un élément à doser dans un échantillon se fait par comparaison directe avec des teneurs connues du même élément. Ainsi l'appareil est étalonné à partir de solutions étalons qui contiennent des teneurs connues de l'élément à doser.

Ces solutions étalons (standards) sont préparées à partir de solutions mères qui ont une concentration d'un gramme par litre (1g/l) de l'élément à doser. Plusieurs dilutions sont effectuées afin d'obtenir des solutions étalons (standards) correspondant à chaque élément à doser (photo en annexe 2).

La spectrophotométrie d'absorption atomique nous donne directement les concentrations ( $C_x$ ) du métal considéré dans l'échantillon analysé exprimé en  $\mu\text{g/l}$ . Sachant que 5g de sédiment minéralisé est dilué dans 200ml d'eau déionisée, nous calculons ainsi la concentration ( $C'_x$ ) de l'élément dans 5 g de sédiment et le résultat est exprimé en  $\mu\text{g/g}$  ou  $\text{mg/g}$  suivant la formule :

$$C'_x (\mu\text{g/g}) = C_x (\mu\text{g/l}) \times V (\text{ml}) / M (\text{g})$$

$C_x$  : Concentration du métal en  $\mu\text{g/l}$

$C'_x$  : Concentration du métal en  $\mu\text{g/g}$

$M$  : Masse du sédiment minéralisé en g

$V$  : Volume de la solution finale après dilution en ml

#### II.2.4 Conditions spectrophotométriques et électrothermiques

Les conditions spectrophotométriques et électrothermiques des éléments métalliques analysés sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Elément	Longueur d'onde (nm)	Longueur de la fente (nm)	Courant lampe (%)	Correction de fond	Température de carbonisation (°C)	Température d'atomisation (°C)
Plomb	217	0.5	90	Quadline	800	1200
Cadmium	228.8	0.5	50	Quadline	300	900
Mercure	253.7	0.5	90	Quadline	200	750
Zinc	213.9	0.5	75	Quadline	700	1100
Cuivre	224.8	0.5	75	Quadline	950	2100
Fer	--	0.5	--	Quadline	1100	2100

Remarque : On note que la cuvette utilisée dans le four graphite est de type *electrographite cuvette (E.L.C)*

### *II.2.5 Eléments constitutifs d'un Spectrophotomètre d'absorption Atomique*

Le spectrophotomètre d'absorption atomique utilisé est de type double faisceau avec correcteur de bruit de fond (lampe à deutérium ou Zeeman) de type **Solaar M6** équipé d'un four graphite type **Solaar GF95**, muni d'une caméra vidéo de type **GFTV** et d'un passeur d'échantillons modèle **Solaar FS95**. Cet appareil est composé (photo en annexe 2) :

- Une source de radiation (lampe à cathode creuse)
- Une source d'atomisation (brûleur et un nébuliseur)
- Un système de miroir
- Un monochromateur
- Un détecteur lié à un amplificateur
- Un dispositif d'acquisition

## *Chapitre III*

# **Résultats et interprétations**

### III.1 Teneurs des éléments métalliques dans l'eau

Les divers éléments métalliques analysés dans la retenue de Zéralda montre que la distribution des teneurs en métaux lourds dépend essentiellement du comportement spécifique de chaque élément. Dans notre étude, l'analyse des métaux lourds porte sur 24 échantillons prélevés au niveau de la colonne d'eau des deux bassins.

#### III.1.1 Bassin inférieur

Les résultats des concentrations en éléments métalliques des 8 échantillons prélevés au niveau de la colonne d'eau du bassin inférieur sont donnés dans le tableau 7.

##### *a. Cadmium*

Les teneurs en cadmium dans l'eau au niveau du bassin inférieur sont faibles. Elles varient de 0,08 à 2,3 $\mu\text{g/l}$ . La teneur maximale de 2,3 $\mu\text{g/l}$  est enregistrée au niveau de la station BI-1 par contre, la teneur minimale de 0,08 $\mu\text{g/l}$  est retrouvée au niveau des stations BI-6 et BI-8. La répartition des concentrations en cadmium au niveau de la colonne d'eau est irrégulière.

##### *b. Mercure*

Les concentrations du mercure dans le bassin inférieur varient de 0,09 à 5,12 $\mu\text{g/l}$ . La valeur maximale de 5,12 $\mu\text{g/l}$  est retrouvée au niveau de la station BI-3 alors que la valeur minimale de 0,09 $\mu\text{g/l}$  est enregistrée au niveau de la station BI-9.

On note une absence du mercure au niveau des stations BI-7 et BI-8. La répartition des concentrations en mercure au niveau de la colonne d'eau du bassin inférieur montre une distribution irrégulière.

##### *c. Cuivre*

La concentration de 7,17 $\mu\text{g/l}$  est retrouvée au niveau de la station BI-8, alors que la concentration très faible de 0,86 $\mu\text{g/l}$  est enregistrée au niveau de la station BI-9. On note l'absence de cuivre dans les stations BI-3, BI-4, BI-5 et BI-7. Les concentrations en cuivre au niveau de la colonne d'eau des différentes stations présentent une distribution ponctuelle.

<b>Echantillon</b>	<b>Cadmium en (µg/L)</b>	<b>Mercuré en (µg/L)</b>	<b>Cuivre en (µg/L)</b>
<b>BI - 1</b>	2,2977	—	3,4709
<b>BI - 3</b>	0,1223	5,1202	—
<b>BI - 4</b>	0,1416	4,8916	—
<b>BI - 5</b>	0,0986	1,2343	--
<b>BI - 6</b>	0,0837	0,32	1,7831
<b>BI - 7</b>	0,1078	—	--
<b>BI - 8</b>	0,081	--	7,1758
<b>BI - 9</b>	0,1602	0,0914	0,8656

**Tableau 7: Concentrations des éléments métalliques au niveau de la colonne d'eau du bassin inférieur**

### III.1.2 Bassin supérieur

Les résultats des concentrations en éléments métalliques des 16 échantillons prélevés au niveau de la colonne d'eau du bassin supérieur sont donnés dans le tableau 8.

#### *a. Cadmium*

Les teneurs en cadmium dans la colonne d'eau du bassin supérieur sont très faibles. Elles varient de 0,033 à 1,10 $\mu\text{g/l}$ . Les teneurs les plus fréquentes soit 48% sont comprises entre 0,07 à 0,17 $\mu\text{g/l}$ .

La valeur maximale de 1,10 $\mu\text{g/l}$  est enregistrée au niveau de la station BII-14 par contre, la valeur minimale de 0,033 $\mu\text{g/l}$  est retrouvée au niveau de la station BII-8. On note l'absence de cadmium au niveau des stations BII-5 et BII-9. La répartition des teneurs en cadmium au niveau de la colonne d'eau est irrégulière.

#### *b. Mercure*

Les concentrations du mercure dans le bassin supérieur varient de 0,32 à 3,52 $\mu\text{g/l}$ . La valeur maximale de 3,52 $\mu\text{g/l}$  est retrouvée au niveau de la station BII-2 alors que la valeur minimale de 0,32  $\mu\text{g/l}$  est enregistrée au niveau des stations BII-3 et BII-15.

On note une absence du mercure au niveau de 09 stations (voir tableau 8). La répartition des concentrations en mercure au niveau de la colonne d'eau du bassin supérieur montre une distribution ponctuelle.

#### *c. Cuivre*

La concentration de 31,73 $\mu\text{g/l}$  est retrouvée au niveau de la station BII-15, alors que la concentration faible de 1,36 $\mu\text{g/l}$  est enregistrée au niveau de la station BII-4. On note l'absence de cuivre dans 10 stations (voir tableau 8). Les concentrations en cuivre au niveau de la colonne d'eau des différentes stations présentent une distribution ponctuelle.

<b>Echantillon</b>	<b>Cadmuim (µg/L)</b>	<b>Mercuré (µg/L)</b>	<b>Cuivre (µg/L)</b>
<b>BII - 1</b>	0,155	2,6058	8,9057
<b>BII - 2</b>	0,1096	3,5201	--
<b>BII - 3</b>	0,1147	0,32	--
<b>BII - 4</b>	0,1246	--	1,3699
<b>BII - 5</b>	0	--	--
<b>BII - 6</b>	0,044	3,2915	--
<b>BII - 7</b>	0,0377	--	--
<b>BII - 8</b>	0,033	--	--
<b>BII - 9</b>	0	--	--
<b>BII - 10</b>	0,1719	--	2,9037
<b>BII - 11</b>	0,0687	--	4,6265
<b>BII - 12</b>	0,0144	--	--
<b>BII - 13</b>	0,9023	1,4629	--
<b>BII - 14</b>	1,1017	0,5486	--
<b>BII - 15</b>	0,0447	0,32	31,7302
<b>BII - 16</b>	0,07	--	2,3994

Tableau 8: Concentrations des éléments métalliques au niveau de la colonne d'eau du bassin supérieur

### III.2 Répartition géographique des teneurs en éléments métalliques dans les sédiments superficiels

La répartition des divers éléments métalliques analysés dans la retenue de Zéralda montre que la distribution des teneurs en métaux lourds dépend essentiellement du comportement spécifique de chaque élément. Dans notre étude, l'analyse des métaux lourds porte sur 30 échantillons prélevés dans les sédiments superficiels au niveau des deux bassins.

#### III.2.1 Bassin inférieur

Les résultats des concentrations en éléments métalliques des 8 échantillons prélevés au niveau des dépôts superficiels du bassin inférieur sont donnés dans le tableau 9.

##### *a. Plomb*

Les teneurs en plomb dans les dépôts superficiels du bassin inférieur varient de 1350 à 2138 $\mu\text{g/g}$ . Les échantillons au nombre de six (06) présentent des valeurs comprises entre 1580 et 1837 $\mu\text{g/g}$ .

La teneur maximale de 2138 $\mu\text{g/g}$  est retrouvée dans la station BI-1, alors que la teneur minimale est enregistrée au niveau de la station BI-4. La répartition des concentrations en plomb des dépôts superficiels du bassin inférieur présente une distribution irrégulière (Figure 35).

##### *b. Cadmium*

Les teneurs élevées en cadmium dans les dépôts superficiels du bassin inférieur varient de 160 à 546 $\mu\text{g/g}$ . Les teneurs les plus fréquentes sont comprises entre 198 et 346 $\mu\text{g/g}$ . Les stations BI-1 et BI-7 présentent des teneurs élevées de 500 $\mu\text{g/g}$  en cadmium. La répartition des concentrations en cadmium des dépôts superficiels du bassin inférieur présente une distribution irrégulière (Figure 36).

##### *c. Mercure*

Les teneurs en mercure dans les dépôts superficiels du bassin inférieur varient de 220 à 643 $\mu\text{g/g}$ . Comme pour le cadmium, les stations BI-1 et BI-7 situées à proximité des Oueds présentent des teneurs très élevées de 1000 et 1500 $\mu\text{g/g}$ . La répartition des concentrations en mercure des dépôts superficiels du bassin inférieur présente une distribution irrégulière (Figure 37).

<b>Echantillon</b>	<b>Plomb (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	<b>Cadmium (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	<b>Mercure (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	<b>Zinc (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	<b>Cuivre (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	<b>Fer (<math>\text{mg/g}</math>)</b>
<b>BI - 1</b>	2138,196	545,992	1503,136	4302,912	5968,296	24,756408
<b>BI - 3</b>	1828,472	346,28	643,68	4295,768	6015,92	22,777868
<b>BI - 4</b>	968,16	198,716	250,524	4292,912	53743,96	20,475644
<b>BI - 5</b>	1353,46	277,684	433,384	4276,48	5657,06	22,652668
<b>BI - 6</b>	1584,592	256,812	314,524	4312,2	5380,84	23,09768
<b>BI - 7</b>	1532,892	489,416	1045,976	4299,34	5570,496	24,229864
<b>BI - 8</b>	1854,44	1592,68	223,092	4303,628	5665,464	23,2166
<b>BI - 9</b>	1837,052	345,032	424,244	4295,768	6082,312	21,80298

Tableau 9: Concentrations des éléments métalliques dans les dépôts superficiels au niveau du bassin inférieur

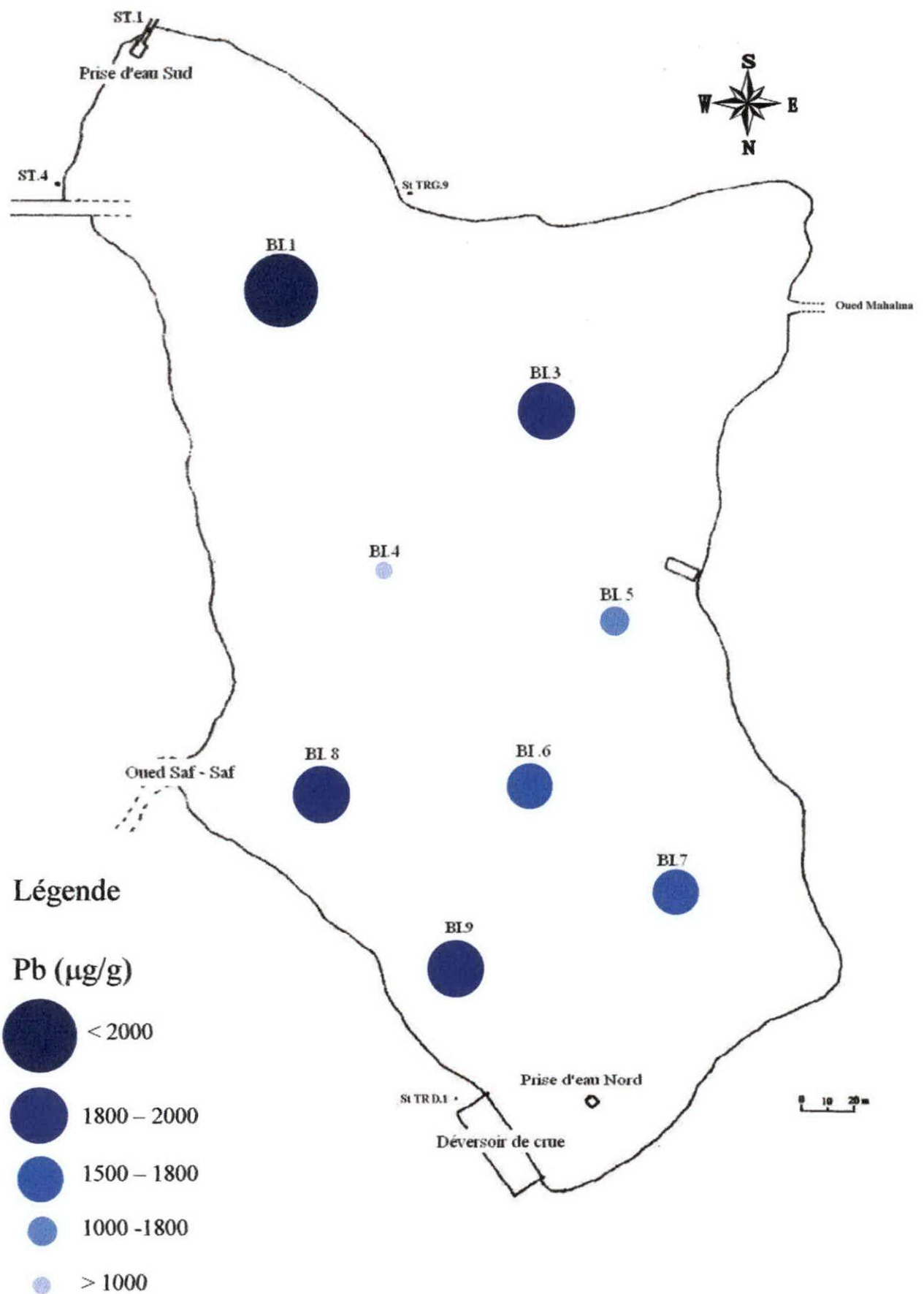


Figure 35 : Répartition des teneurs en plomb du bassin inférieur de la retenue de Zeralda

#### *d. Zinc*

Les teneurs en zinc dans les dépôts superficiels du bassin inférieur présentent des valeurs de l'ordre de 4300 $\mu$ g/g. Contrairement à la distribution des concentrations des éléments (plomb, cadmium et mercure), le zinc présente une répartition homogène dans l'ensemble du bassin (Figure 38).

#### *e. Cuivre*

Les teneurs relativement importantes en cuivre dans les dépôts superficiels du bassin inférieur montrent que les valeurs varient de 5300 à 6000 $\mu$ g/g. La distribution des concentrations en cuivre est globalement homogène et plus ou moins identique à celle du zinc (Figure 39).

#### *f. Fer*

Les teneurs en fer dans les dépôts superficiels du bassin inférieur sont comprises entre 20,47 et 24,75mg/g. Comme pour le cadmium et le mercure, les stations BI-1 et BI-7 présentent des concentrations élevées de l'ordre de 24mg/g. La répartition des concentrations en fer présente une distribution plus ou moins homogène au niveau du bassin inférieur (Figure 40).

### **III.2.2 Bassin supérieur**

Les résultats des concentrations en éléments métalliques des 22 échantillons prélevés au niveau des dépôts superficiels du bassin supérieur sont donnés dans le tableau 10.

#### *a. Plomb*

Les teneurs en plomb dans les dépôts superficiels du bassin supérieur varient de 1100 à 2000 $\mu$ g/g. La concentration maximale de 2180 $\mu$ g/g est retrouvée au niveau de la station BII-19 alors que la concentration minimale apparaît au niveau des dépôts superficiels de la station BII-2 avec une teneur de 100 $\mu$ g/g.

Les teneurs les plus fréquentes soit 68% se situent entre 1500 et 1900 $\mu$ g/g. Dans les dépôts de sédiments superficiels du bassin supérieur, les concentrations en plomb présentent une répartition irrégulière (Figure 41).

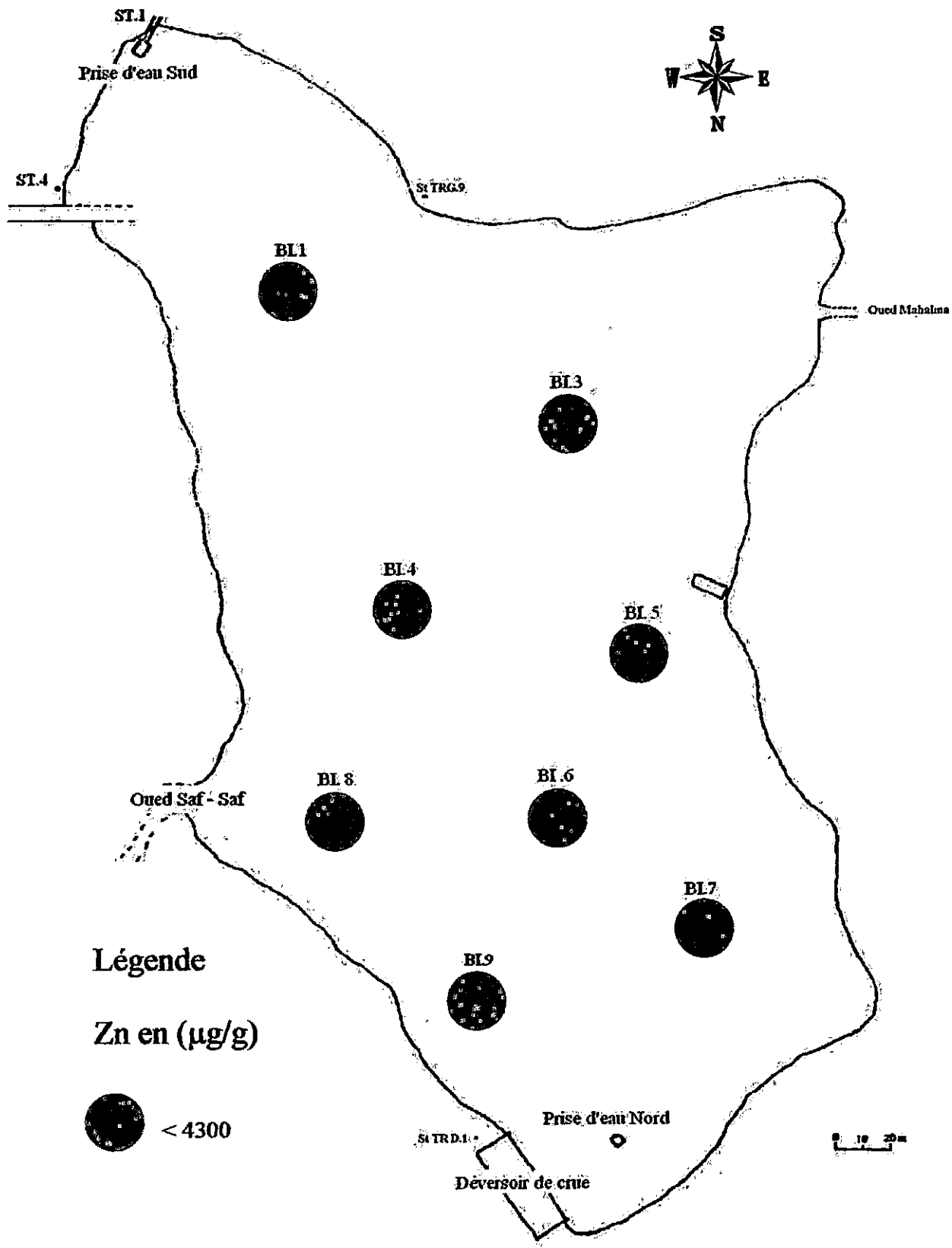


Figure 38 : Répartition des teneurs en zinc du bassin inférieur de la retenue de Zeralda

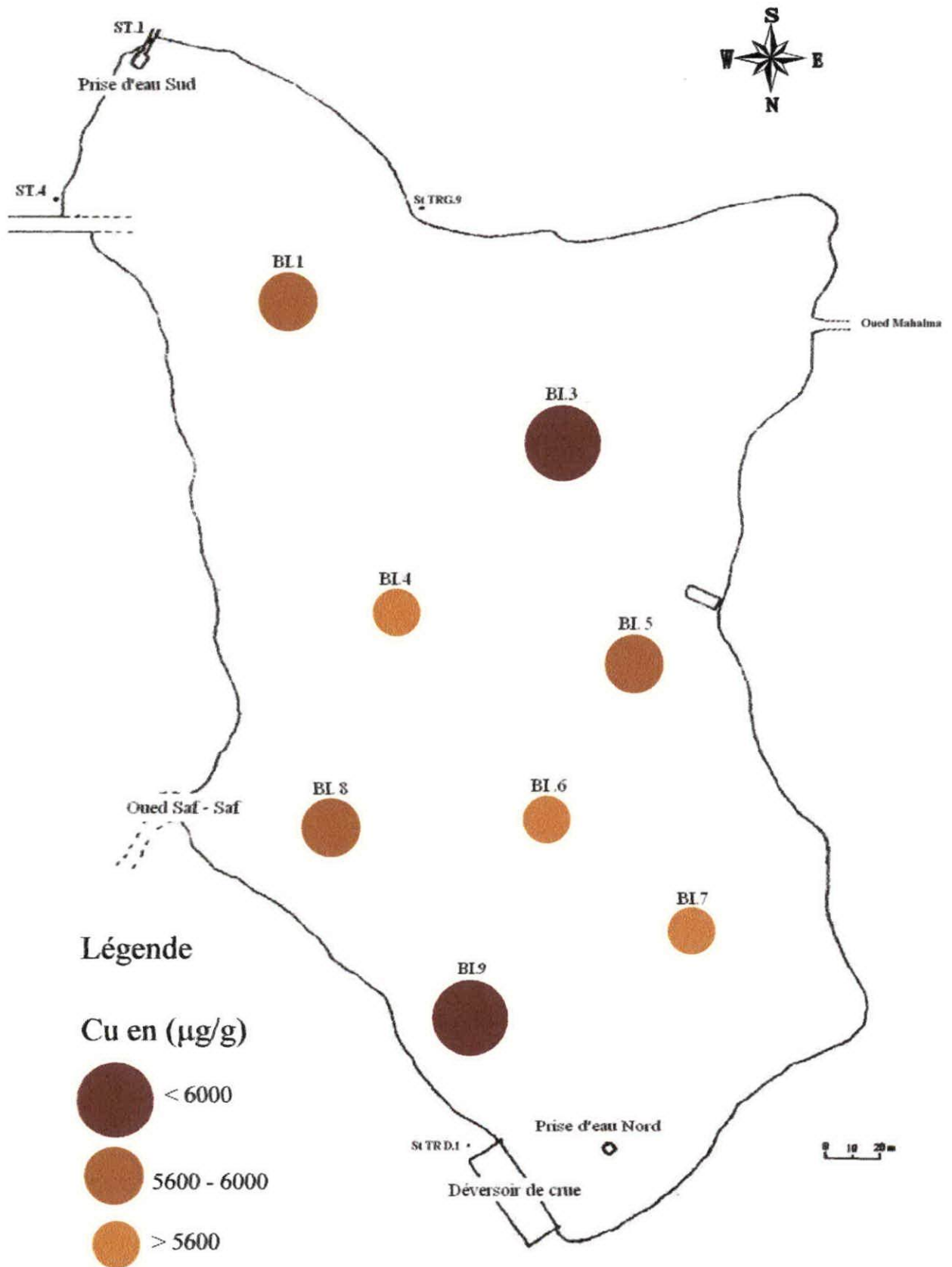


Figure 39 : Répartition des teneurs en cuivre du bassin inférieur de la retenue de Zeralda

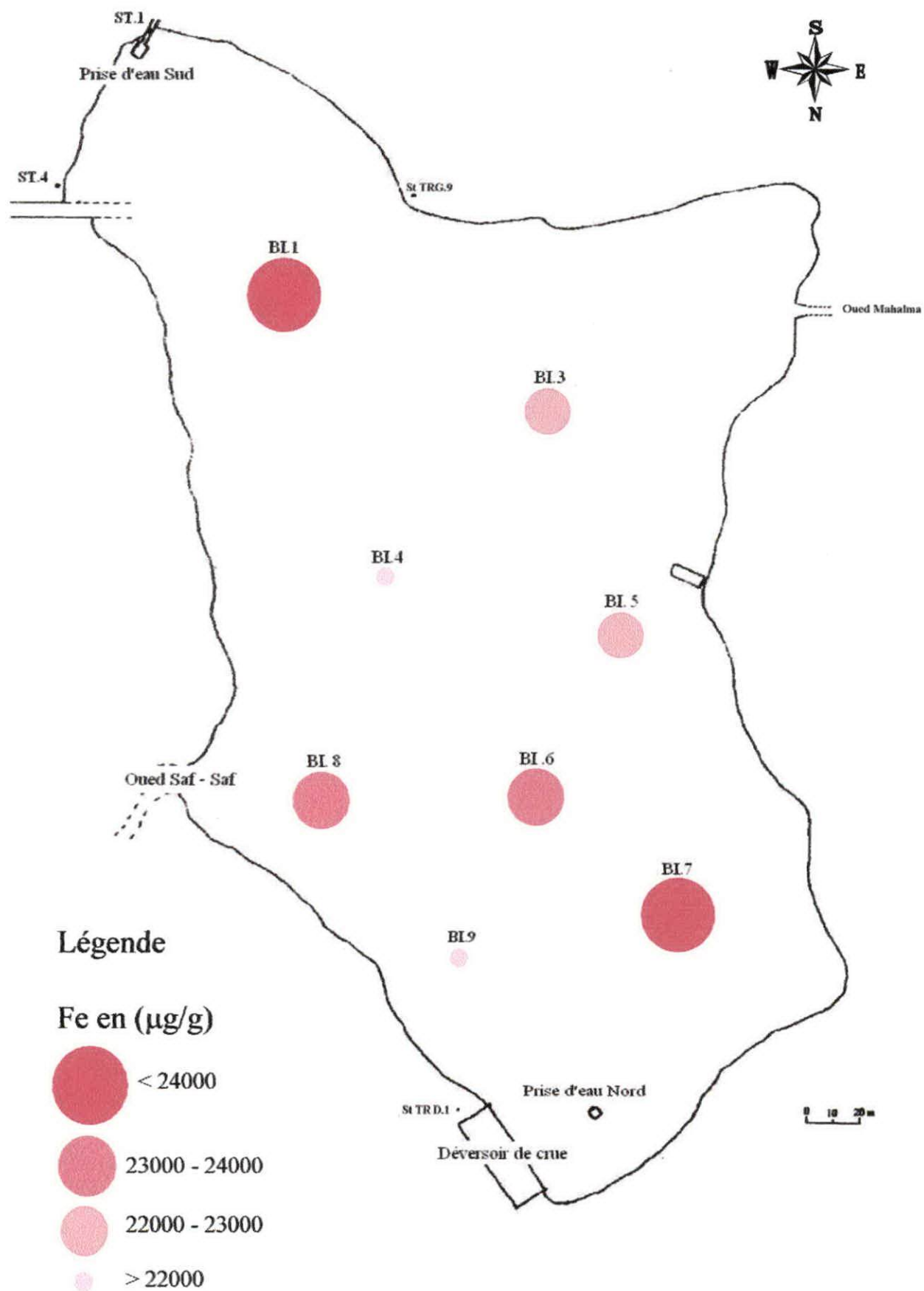


Figure 40 : Répartition des teneurs en fer du bassin inférieur de la retenue de Zeralda

<b>Echantillon</b>	<b>Plomb (µg/g)</b>	<b>Cadmium (µg/g)</b>	<b>Mercuré (µg/g)</b>	<b>Zinc (µg/g)</b>	<b>Cuivre (µg/g)</b>	<b>Fer (mg/g)</b>
<b>BII - 1</b>	1794,396	437,096	241,38	4308,628	6076,432	21,936156
<b>BII - 2</b>	99,964	219,54	140,804	4245,044	5379,16	20,572236
<b>BII - 3</b>	531,86	133,68	095,088	4277,192	5594,868	20,51132
<b>BII - 4</b>	1850,728	177,952	195,664	4321,488	5464,604	23,222144
<b>BII - 5</b>	1800,888	163,86	204,808	4331,488	5524,832	23,268012
<b>BII - 6</b>	1236,384	141,668	296,24	4347,92	5517,828	21,265628
<b>BII - 7</b>	1934,884	161,98	570,532	4333,632	6267,488	21,821216
<b>BII - 8</b>	1091,724	92,588	369,384	3982,14	6448,46	22,803024
<b>BII - 9</b>	1541,704	164,892	305,38	4338,632	5309,404	22,833652
<b>BII - 10</b>	1636,984	234,364	296,24	4339,348	6088,756	22,812868
<b>BII - 11</b>	1937,664	100,888	241,38	4342,204	5592,348	23,346076
<b>BII - 12</b>	1853,512	168,928	213,952	4350,776	5624,844	23,266388
<b>BII - 13</b>	1384,756	183,028	277,952	4348,636	5500,18	22,481364
<b>BII - 14</b>	1867,42	159,352	268,808	4337,204	5397,648	24,52288
<b>BII - 15</b>	2025,76	146,14	305,38	4353,636	5672,748	24,196716
<b>BII - 16</b>	1905,672	173,32	305,38	4347,92	5900,504	23,043476
<b>BII - 17</b>	1923,06	136,468	195,664	4342,204	5632,688	23,490236
<b>BII - 18</b>	1669,672	136,152	177,376	4354,348	5667,424	23,529348
<b>BII - 19</b>	2181,316	156,86	369,384	4352,208	6001,352	23,4855
<b>BII - 20</b>	1992,144	155,516	323,668	4356,492	5876,972	24,763116
<b>BII - 21</b>	1578,564	180,264	259,664	4365,064	5885,936	23,555228
<b>BII - 22</b>	1981,944	129,844	351,096	4364,352	6777,904	24,542296

Tableau 10: Concentrations des éléments métalliques dans les dépôt superficiels au niveau du bassin supérieur

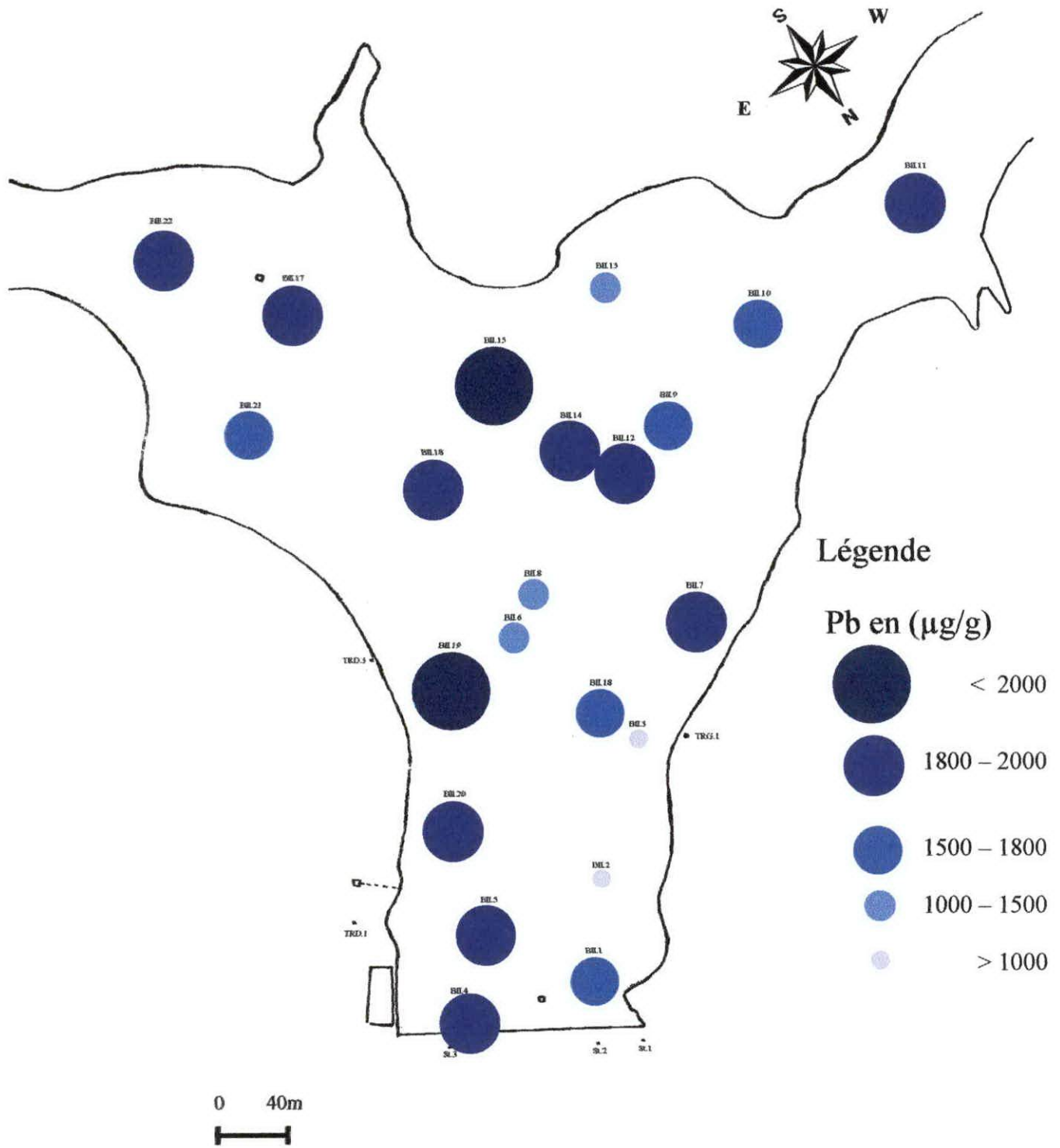


Figure 41 : Répartition des teneurs en plomb du bassin supérieur de la retenue de Zeralda

### *b. Cadmium*

Les fortes teneurs en cadmium dans les dépôts de sédiments superficiels varient de 100 à 234 $\mu\text{g/g}$ . Le cadmium présente une valeur maximale de 437 $\mu\text{g/g}$  au niveau de la station BII-1. La valeur minimale de 92 $\mu\text{g/g}$  est retrouvée au niveau de la station BII-8.

Les teneurs les plus fréquentes soit 77% se situent entre 130 et 183 $\mu\text{g/g}$ . En effet, on note que la distribution des concentrations en cadmium au niveau du bassin supérieur est irrégulière (Figure 42).

### *c. Mercure*

Les teneurs élevées en mercure dans les dépôts de sédiments superficiels sont comprises entre 140 et 370 $\mu\text{g/g}$ . La valeur maximale de 570 $\mu\text{g/g}$  est retrouvée au niveau de la station BII-7, par contre la valeur minimale est enregistrée au niveau de la station BII-3 avec une valeur de 95 $\mu\text{g/g}$ .

Les teneurs les plus fréquentes soit 86% varient de 170 à 360 $\mu\text{g/g}$ . La répartition des concentrations en mercure au niveau du bassin supérieur affiche une distribution irrégulière (Figure 43).

### *d. Zinc*

Les teneurs en zinc dans les dépôts superficiels du bassin supérieur montrent des valeurs de l'ordre de 4300 $\mu\text{g/g}$  à l'exception de la station BII-8 où on a enregistré une valeur de 3900 $\mu\text{g/g}$ . La répartition des concentrations en zinc présente une distribution homogène dans l'ensemble du bassin supérieur (Figure 44).

### *e. Cuivre*

Comme pour le zinc, les teneurs relativement importantes en cuivre dans les dépôts de sédiments superficiels du bassin supérieur présentent des valeurs qui varient de 5400 à 6200 $\mu\text{g/g}$ . La valeur maximale de 6777 $\mu\text{g/g}$  est retrouvée au niveau de la station BII-22 alors que la valeur minimale de 5300 $\mu\text{g/g}$  est enregistrée au niveau des stations BII-9 et BII-2.

Les teneurs les plus fréquentes soit 77% sont comprises entre 5500 et 6000 $\mu\text{g/g}$ . La distribution des concentrations en cuivre dans l'ensemble du bassin supérieur est plus ou moins régulière (Figure 45).

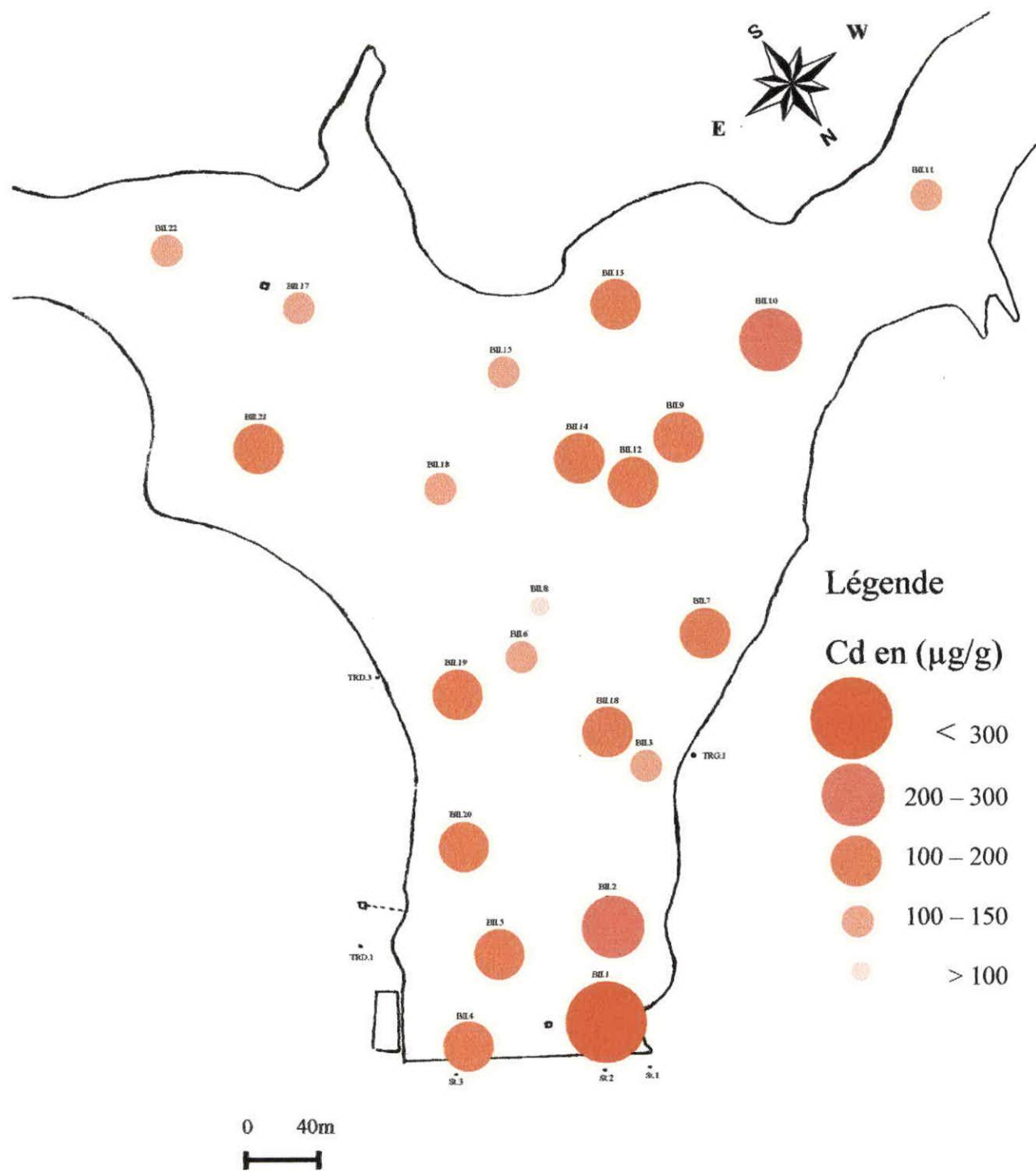


Figure 42 : Répartition des teneurs en cadmium du bassin supérieur de la retenue de Zeralda

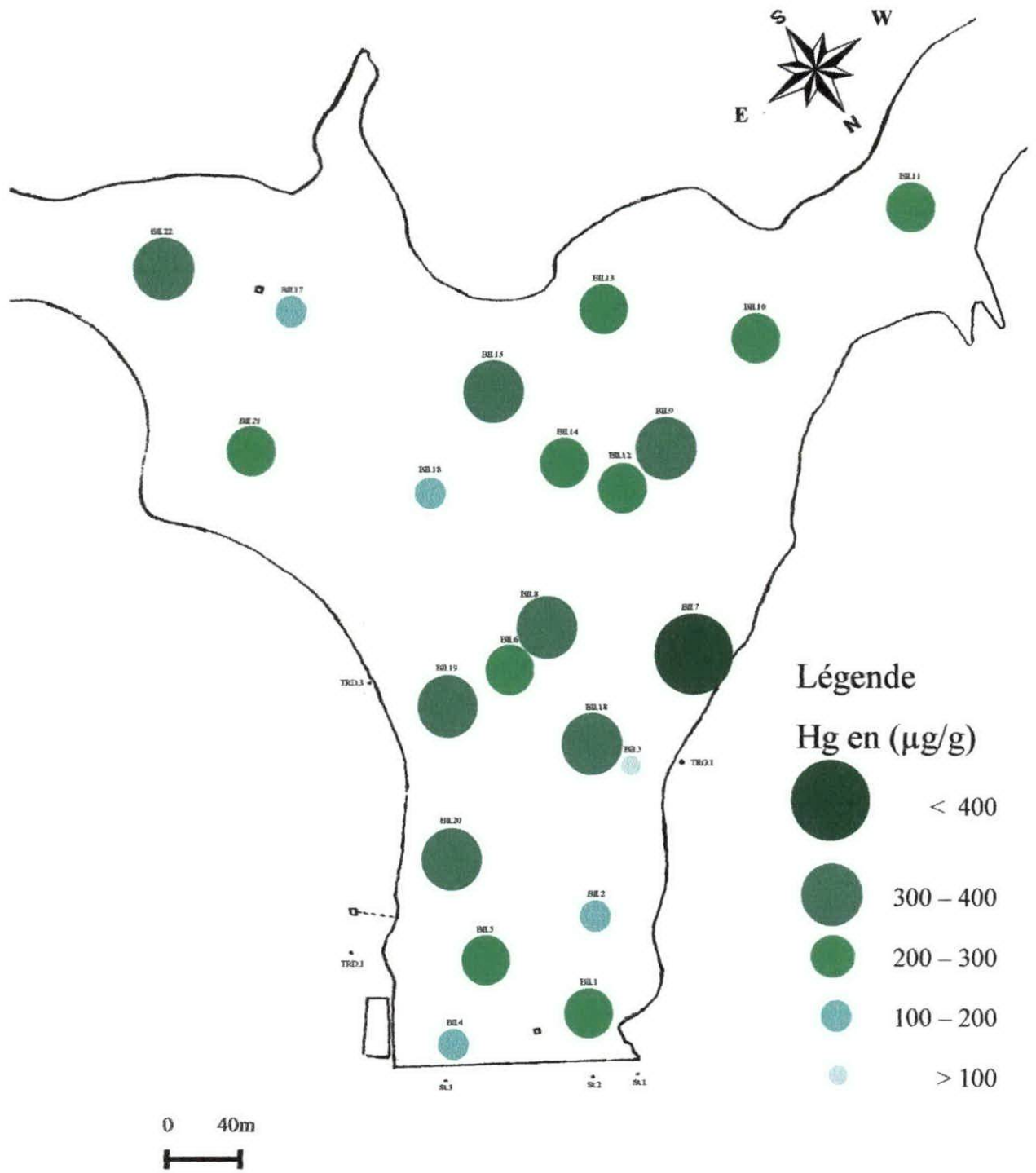


Figure 43 : Répartition des teneurs en mercure du bassin supérieur de la retenue de Zeralda

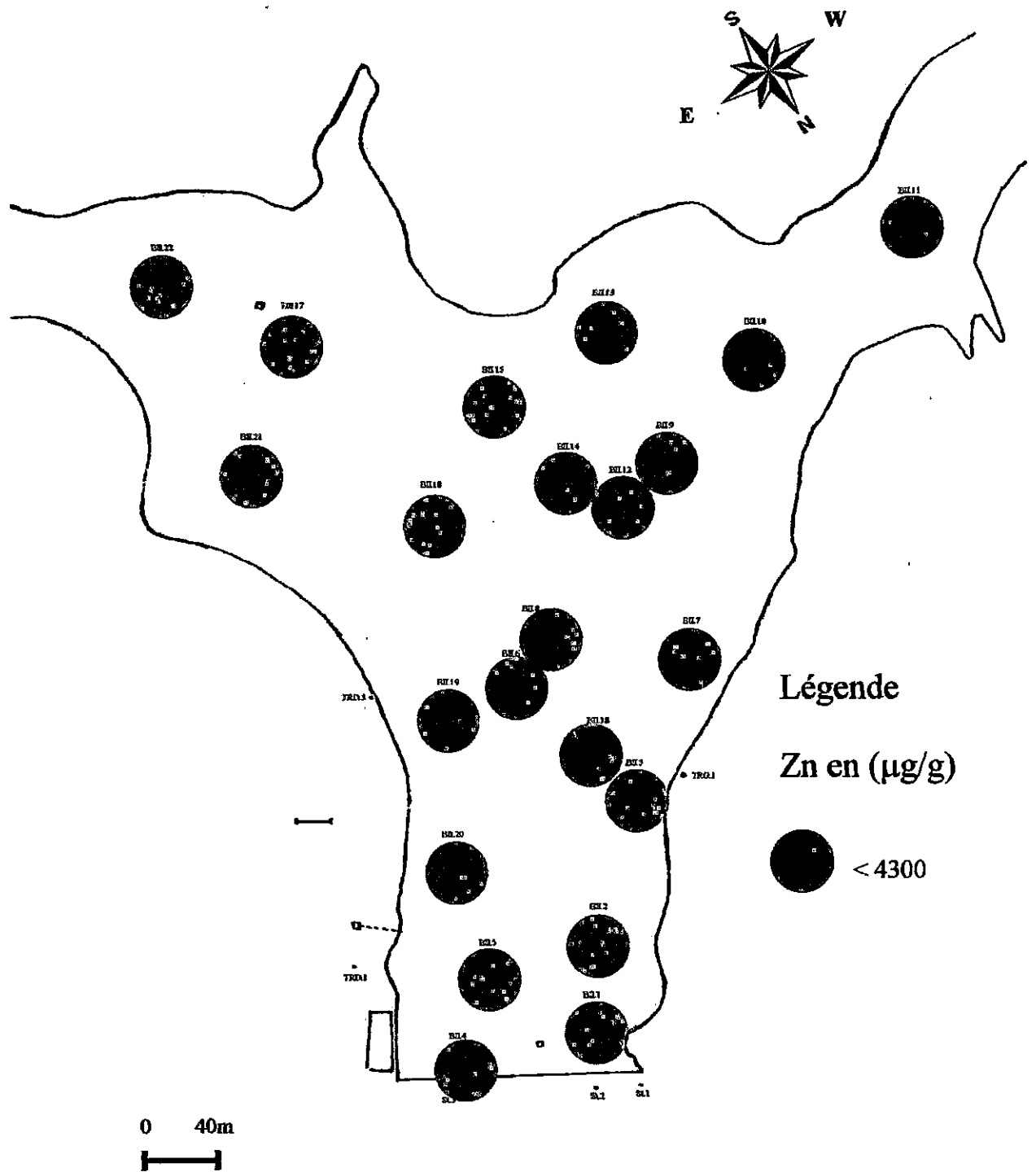


Figure 44 : Répartition des teneurs en zinc du bassin supérieur de la retenue de Zeralda

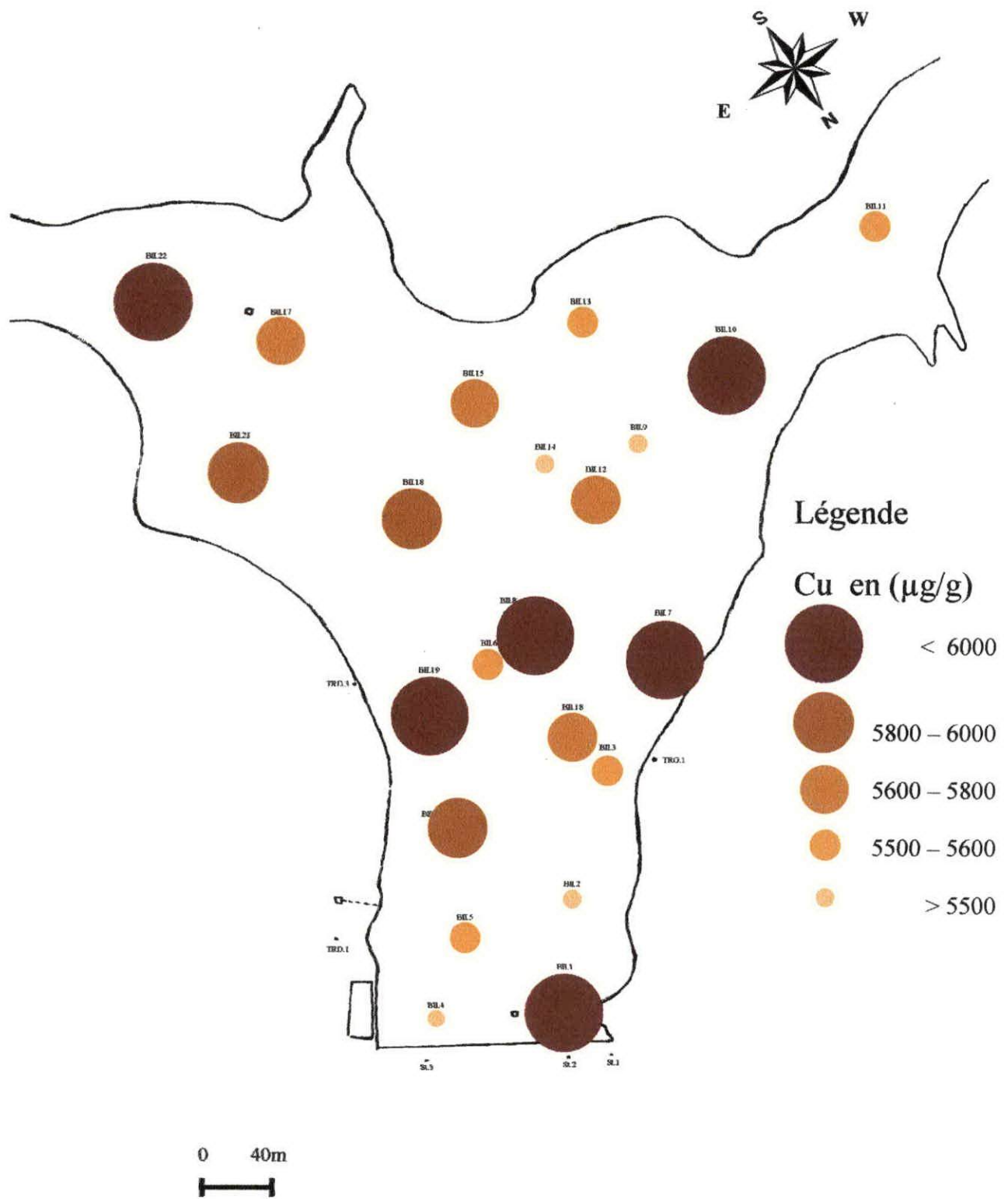


Figure 45 : Répartition des teneurs en cuivre du bassin supérieur de la retenue de Zeralda

*f. Fer*

Les teneurs en fer dans les dépôts de sédiments superficiels du bassin supérieur sont comprises entre 21,20 et 24,50mg/g. Les teneurs les plus fréquentes soit 80% sont comprises entre 21,80 et 23,50mg/g.

La valeur maximale de 24,76mg/g est retrouvée au niveau de la station BII-20 et la station BII-2 enregistre une valeur minimale de 20,57mg/g. La répartition des concentrations en fer présente une distribution plus ou moins homogène au niveau du bassin supérieur (Figure 46).

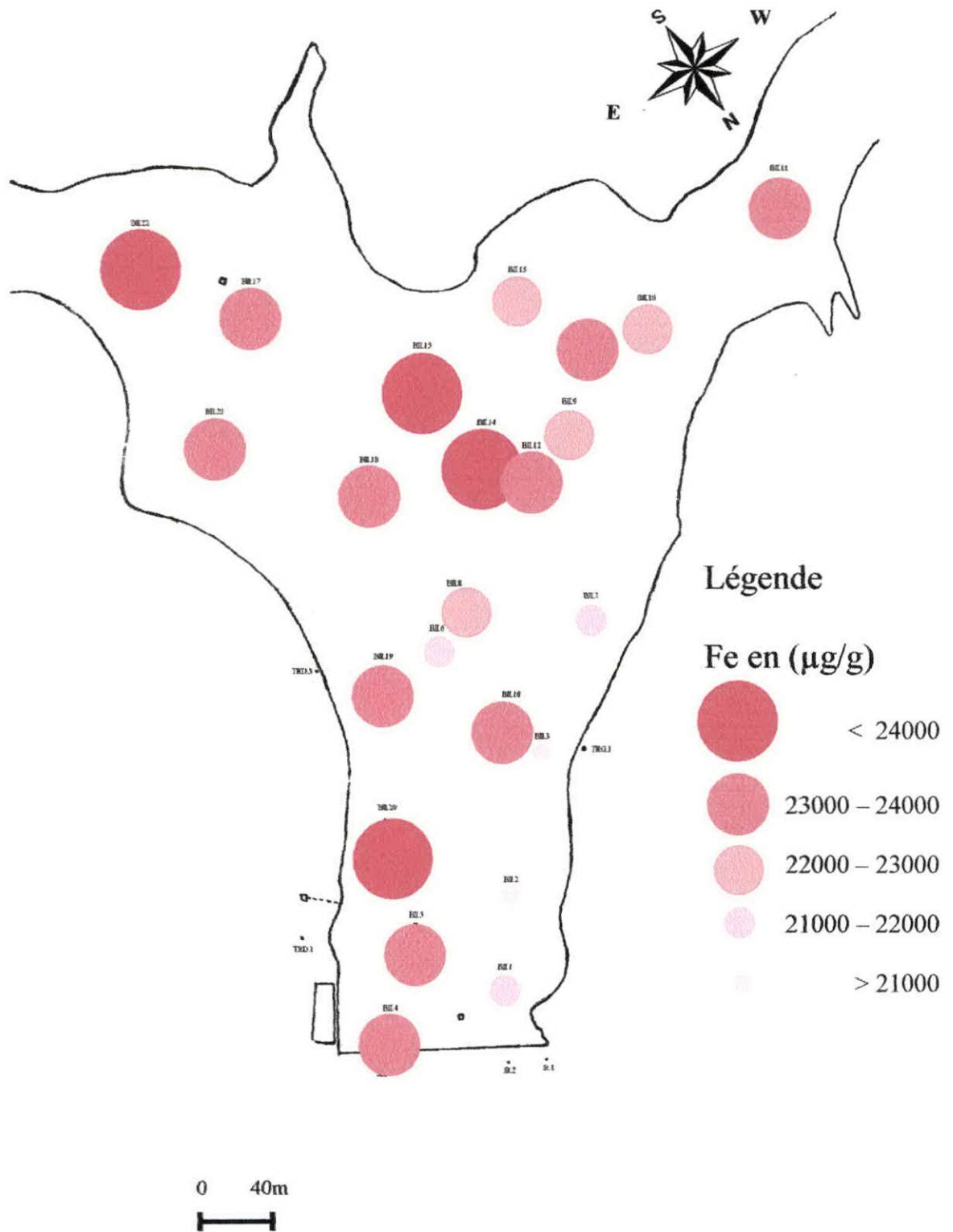


Figure 46 : Répartition des teneurs en fer du bassin supérieur de la retenue de Zeralda

# Conclusion Générale

# Bibliographie

## BIBLIOGRAPHIE

**Aoumeur. D**

Contribution à l'étude de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels de la baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état en halieutique, ISMAL (1991).

**Azeggagh. Y**

Etude géochimique des sédiments superficiels du port d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état en géologie marine, USTHB/IST, (1995).

**Bakalem. A**

Pollution et sources de pollution marine d'origine industrielle sur la cote Ouest algérienne, étude préliminaire. Communication V<sup>ème</sup> journées d'études pollutions. pp 195-200, Cagliari, CIESM (1980).

**Bakalem. A ; Romano. J**

Pollution et peuplement dans la région algéroise (baie d'Alger et bou-Ismaïl) VI<sup>ème</sup> journée d'études de la pollution. CIESM, Cannes, (1982).

**Boutier. B ; Chiffolleau. JF**

La contamination de la Gironde par le cadmium: origine, extension et importance. Rapport scientifique et technique de l'IFREMER, N° 14, (1989).

**Braik. D**

Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou-ismail, sédimentologie-morphologie et Problème d'érosion du littoral- Aménagement. Thèse de magister en géologie, USTHB (1980).

**Cauwet .G et Faguet. D**

The role of organic matter in transport process of metals in Estuarine Environments. Thalassa, (1982).

**Charlou. J ; Joually. M**

Dosage du Mercure et d'autres éléments (pb, zn, cu, cd, ni, cr et mn) dans les sédiments marins par absorption atomique in CNEXO manuel des analyses chimiques en milieu marin. Edition A. Aminot et M. Chausse pied, Brest, (1983).

**Cossa. D et Lassus. P**

Le cadmium en milieu marin, biogéochimie et écotoxicologie, rapport scientifique et technique de l'IFREMER, N° 16, (1989).

**Daniel Cossa**

Le plomb en milieu marin, bio géochimie et écotoxicologie programme scientifique, Seine Aval. Edition, IFREMER, (1993).

**Daniel Cossa**

La dynamique du mercure. Programme scientifique, Seine-Aval. Edition IFREMER, (1993).

**Dessaint. F**

Répartition spatiale des métaux lourds dans le sédiment sableux en manche orientale et en mer du nord. Journal de Recherche Océanographique, 12, 3 et 4, (1987).

**Djemaoui. K**

Niveau en métaux lourds (hg, cu, zn, mn, fer) dans les sédiments superficiels du port de Skikda. Mémoire DEUA, ISMAL, (1996).

**Dominique Bouts**

Fer et manganèse, réactivités et recyclages, édition IFREMER. Programme scientifique, Seine-Aval, (1990).

**Dominique Boust**

Fer et manganèse, réactivités et recyclages .Programme scientifique Seine -Aval, IFREMER (1999).

**Faguet. D**

Influence des substances humiques sur les formes dissoutes et particulaires des métaux lourds (zn, fer, cu, mn) dans les milieu marin et lagunaire. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle Université de Perpignan, (1982).

**Guilland. J**

Mer et rejets urbains. Edition Bendor, 13 -15 juin 1990. IFREMER. Actes des Colloques n°11, (1991).

**Hocini. N ; Mami. S ; Mami. M**

Etude de l'envasement et de la pollution de la retenue de Zeralda. Rapport interne, CDTN/COMENA, (1999).

**Mami. M**

Contribution à l'étude de la pollution par quelques éléments métalliques (zn, cu, pb, cr, mn, fer et cd ) des sédiment du port d'Arzew. Mémoire d'ingénieur d'état, USTHB/ IST, (1990).

**Oued Hocine, Hedroug .S**

Contribution à l'étude de quelques métaux lourds présents dans la matière en suspension, l'herbier à posidonies et les sédiments superficiels de la baie de Bou-Ismaïl, Mémoire d'ingénieur d'état en chimie industrielle, USTHB, (1993).

**Pinta. M**

Spectrophotométrie d'absorption atomique. Problèmes généraux , 2<sup>ème</sup> éditions Masson, (1979).

**Rivière. A**

Méthodes granulométriques techniques et interprétations, (1970)

**Rodier. J ; Bazin. R ; Broutai. JP**

Analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduelles et l'eau de mer), 8<sup>ème</sup> éditions Dunod, (1996).

# Annexe I

	Poid de sédiment brut	Poid de sédiment > 40µm	poid de sédiment < 40µm	Pourcentage de sédiment < 40µm
BI - 1	45,43	4,78	40,65	89,478318
BI - 3	71,51	5,64	65,87	92,112991
BI - 4	84,99	38,3	46,69	44,935684
BI - 5	76,02	7,16	68,86	90,581426
BI - 6	61,98	2,99	58,99	95,175863
BI - 7	46,99	4,67	42,32	90,061715
BI - 8	76	34,16	41,84	35,052648
BII - 1	86,75	7,43	79,32	91,435159
BII - 2	89,92	51,36	38,56	42,882562
BII - 3	100,89	77,89	23	22,797106
BII - 4	70,99	5,86	65,13	91,745316
BII - 5	68,55	1,57	66,98	97,709701
BII - 6	55,57	0,57	55	98,974267
BII - 7	65,85	2,02	63,83	96,932422
BII - 8	61,46	4,28	57,18	93,036121
BII - 9	73,82	0,33	73,49	99,552967
BII - 10	60,42	2,32	58,1	96,160212
BII - 11	81,57	1,04	80,53	98,725021
BII - 12	77,78	1,3	76,48	98,328619
BII - 13	62,48	2,77	59,71	95,566581
BII - 14	71,2	2,77	68,43	96,109551
BII - 15	71,39	2,15	69,24	96,988374
BII - 16	59,46	4,09	55,37	93,121426
BII - 17	75,75	1,05	74,7	98,613861
BII - 18	56,72	1,1	55,62	98,060649
BII - 19	57,34	1,53	55,81	97,331706
BII - 20	49,49	0,56	48,93	98,868458
BII - 21	70,25	2,15	68,1	96,939502
BII - 22	93,91	5,3	88,61	94,356299

**Tableau 2 : Pourcentage des lutites des deux bassins de la retenue de Zéralda**

Type Ech	Centiles								Quartiles					
	5%		16%		84%		95%		25%		50%		75%	
	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$	$\mu\text{m}$	$\Phi$
<b>BL4</b>	46	4.64	59	4.06	660	0.6	2500	-1.32	690	0.54	165	2.64	350	1.51
<b>BL8</b>	46	4.64	62	4.06	320	1.64	600	0.74	640	0.64	135	2.94	270	1.89
<b>BII2</b>	52	4.32	68	4.06	560	0.84	2000	-1	80	3.64	185	2.47	320	1.64
<b>BII3</b>	66	4.06	108	3.32	400	1.32	1100	-0.14	156	2.74	220	2.18	295	1.79

$\Phi$  : diamètre des particules ,sur l'échelle Phi correspond à des pourcentages pondéraux respectivement des 16% ,50% ,84% ...

$$\Phi = - \log_2 D \text{ (mm)}$$

**D** : diamètre des particules en mm

**Tableau 3** : Indices granulométriques des échantillons BI-4, BI-8, BII-2 et BII-3

# Annexe II