

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA
UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR
-ANNABA-



جامعة باجي مختار
-عنابة-

Faculté des sciences

Année 2004

Département de chimie

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de **Magister**

THEME

**Contribution à la
Cartographie de la qualité
physico-chimique et
biologique de l'eau des
zones humides de la
Numidie**

Option :

Physicochimie des matériaux et des interfaces

Par :

Mr ALLALI Ahmed

Directeur du mémoire : B. SAMRAOUI Professeur Université de Annaba

Devant le Jury :

Président : N-E. AOUF Professeur Université de Annaba

Examineurs : R. DELIMI Professeur Université de Annaba

S. HAZOURLI Maître de conférence Université de Annaba

ملخص :

بهدف إجراء دراسة نموذجية, لتقييم ووضع خرائط خاصة بنوعية الماء للأنظمة المائية لنوميديا, قمنا بأخذ عينات من إحدى و خمسين موضع, موزعة على كافة أرجاء المنطقة, و قمنا بتحليل خمسة عشرة متغير فيزيو كيميائي و متغير بيولوجي (معديات الأرجل) .

أظهرت النتائج بأن المعطيات أدت إلى التعرف على خمسة متغيرات (الملوحة, الثراء بمعديات الأرجل, الكدورة, التلوث) راجحة للحكم على نوعية الماء للمواضع التي أخضعت للدراسة.

الكلمات المفتاحية :

نوعية الماء, تلوث الماء, مرشد بيولوجي, علم الخرائط, المناطق

الرطبة.

RESUME :

Dans le but de dresser une typologie, d'évaluer et de cartographier la qualité de l'eau des hydrosystèmes de la Numidie, nous avons échantillonné cinquante et un sites, repartis dans toute la région et analysé quatorze variables physico-chimiques et une variable biotique (les gastéropodes).

Les résultats montrent que les données identifient cinq variables (salinité, richesse en gastéropodes, turbidité, pollution) comme prépondérantes pour juger la qualité de l'eau des sites étudiés.

Mots clés :

Qualité de l'eau; pollution de l'eau; bioindicateur; cartographie, zones humides.

ABSTRACT :

With the aim of elaborating a typology, estimating and mapping up the quality of the water of the hydrosystems of Numidia, we sampled fifty one sites, spread all over the region and analyzed fifteen physico-chemical variables and a biotic variable (gastropods).

The results show that the data identify five variables (salinity, richness in gastropods, turbidity and pollution) as dominating factors to judge the quality of the water of the studied sites.

Keywords:

Water quality; water pollution; bioindicator; cartography; wetlands.

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à mes chers parents, ma mère et mon père pour leur sacrifice, leurs encouragements et leur affection. Ils ont été la source de toute ma motivation.

Je dédie également ce travail à *Zina*.

**A mes frères et à toute la famille *ALLALI*,
A tous mes amis : *Nacer, Amar, Samou, Hafid, Youcef, Khayrou, Mazen et Mounir, Fateh et Hakou*.
A tous les collègues de ma promotion,
A tous le personnel de Dept Chimie, Fac des Sciences
A tous les amis de Reguiba.**

Ahmed.

Remerciements

Avant de commencer, nous remercions Dieu de nous avoir donné la chance et la bénédiction d'arriver à notre objectif.

Je tiens à présenter mes vifs remerciements à mon promoteur Mr. le professeur B. SAMRAOUI pour son aide et son assistance ;

Pour m'avoir honoré de sa présence au sein de ce jury, et pour avoir accepté sans hésiter d'assurer la présidence : Mr N-E. AOUF, professeur à l'université de ANNABA, est priée d'agréer l'expression de mes sincères remerciements;

A Mr R. DILIMI professeur à l'université de ANNABA, et à Mr S. HAZOURLI, Maître de conférence, m'honorent également de leur présence. Qu'ils veuillent croire en toute ma reconnaissance pour avoir bien voulu examiner ce travail et prendre part à son évaluation.

Je remercie Mr : FERKOUS Fouad de son aide toujours présente, de ses conseils et de ses orientations judicieuses.

A Mr EDRISSI B. (SARAH MEDIA) pour son aide en cartographie.

A Mr TOUATI L. et Mme LEKOUAGHET N. pour leur aide au laboratoire

A tous je dis : Mille fois MERCI !

Ahmed

Listes des Figures et Tableaux

Figs.	Légendes	Pages
1	Couche d'information	09
2	Séparation des espaces	09
3	Principaux domaines d'utilisation des SIG	13
4	Pollution affecter les milieux aquatiques	31
5	Source de pollution des eaux	33
6	Parametres-altérations-usages et biologie	42
7	Variation de la Conductivité entre les sites étudiés	49
8	Variation de la teneur en TDS entre les sites étudiés	50
9	Variation de la teneur en Chlorures entre les sites étudiés	51
10	Variation du Titre Hydrometrique entre les sites étudiés	53
11	Variation de la teneur en TH Calcium entre les sites étudiés	54
12	Variation de la teneur en TH Magnésium entre les sites étudiés	55
13	Variation du Titre alcalimétrique complet (TAC) entre les sites étudiés	57
14	Variation du pH entre les sites étudié	58
15	Variation de la teneur en Sulfates entre les sites étudiés	59
16	Variation de la teneur en Nitrates entre les sites étudiés	62
17	Variation de la teneur en Nitrites entre les sites étudiés	63
18	Variation de la teneur en Phosphat entre les sites étudiés	64
19	Variation de la teneur en Potassium entre les sites étudiés	66
20	Variation de la Turbidité entre les sites étudiés	67
21	Variation des effectifs de Gastéropodes entre les sites étudiés	68
22	Cercle de corrélation (a) et plan factoriel 1x2 (b) de l'ACP représentant 50 sites par 16 descripteurs	70
23	Carte de distribution de la conductivité en Numidie	76
24	Carte de distribution de la dureté en Numidie	77
25	Carte de distribution de la teneur en sulfates en Numidie	78
26	Carte de distribution de teneur en phosphates en Numidie	79
27	Carte de distribution de la teneur en Nitrates en Numidie	80
28	Carte de distribution de la teneur en Nitrites en Numidie	81
29	Carte de distribution des Gastéropodes en Numidie	82

Tabs.		
1	Sites Ramsar inscrits sur la liste en 29 octobre 2002	17
2	Mode de conservation des échantillons	39
3	Classes d'aptitudes de l'eau	42
4	Résumé de la présentation des sites	45
5	Extrait pour trois altérations	75
6	Classes d'aptitudes de l'eau	75
7	Classe de qualité de l'eau pour chaque site d'après le SEQ	77

Sommaire

	Page
INTRODUCTION :	1
Chapitre I :	
1. Système d'information géographique	3
1.1 Genèse des Systèmes d'Information Géographique	3
1.2 Qu'est ce que l'information géographique	4
1.3 Avantages et inconvénients des cartes papier	4
1.3.1 Avantages	4
1.3.2 Inconvénients	5
1.4 Les SIG comme technologie d'intégration	5
1.5 Les composantes d'un SIG	6
1.5.1 Matériel	6
1.5.2 Logiciel	6
1.5.3 Données	6
1.5.4 Personnes	6
1.5.5 Méthodes	6
1.6 Les sous-systèmes d'un SIG	7
1.6.1 L'entrée des données	7
1.6.2 Le stockage et gestion des données	7
1.6.3 La manipulation et l'analyse des données	7
1.6.4 Le sous-système graphique	7
1.7 Représentation du monde dans les SIG	7
1.7.1 Simplification de la complexité du monde réel	7
1.7.2 Exploration d'emplacements spécifiques	8
1.8 Les domaines d'applications des SIG	10
1.9 Question et stratégie de mise en œuvre	10
1.9.1 Matériel	10
1.9.2 Logiciel	10
1.9.3 Données	11
1.9.4 Applications	11
1.9.5 Mapinfo	11
1.10 Données cartographiées au GPS	12
Chapitre II :	
2. Les zones humides et les hydrosystèmes	14
2.1 Les zones humides :	14
2.1.1 Qu'est-ce qu'une zone humide ?	14
2.1.2 Pourquoi conserver les zones humides ?	14
2.1.3 Valeurs des zones humides	15
2.1.4 Les zones humides en Algérie	15
2.1.5 Importance internationale des zones humides algériennes	16
2.2 Notions d'écosystème	18
2.2.1 Qu'est-ce qu'un écosystème ?	18
2.2.2 L'importance d'un écosystème aquatique sain	18
2.3 Les hydrosystèmes	19
2.4 Notion de bassin versant	19

2.5 Importance de l'eau en Algérie	19
2.5.1 Préambule	19
2.5.2 Ressources hydriques en Algérie du Nord	19
Chapitre III :	
3. Qualité de l'eau	21
3.1 Que veut-on dire par qualité de l'eau ?	21
3.1.1 Etymologie	21
3.1.2 Commentaire	21
3.1.3 Remarque	21
3.1.4 Typologie	21
3.2 Qu'est-ce qui détermine la qualité de l'eau ?	22
3.3 Quels sont les principaux facteurs qui influent sur la qualité de l'eau ?	22
3.4 Comment détermine-t-on la qualité de l'eau ?	22
3.5 Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ?	23
3.6 La qualité des cours d'eau	23
3.6.1 Les paramètres physico-chimiques	23
3.6.2 Les paramètres biologiques	24
3.7 Substances nuisant à la qualité de l'eau	24
3.7.1 Les substances non rémanentes (dégradables)	24
3.7.2 Les substances rémanentes (dégradation lente)	24
3.8 Les paramètres d'évaluation de la qualité de l'eau	24
3.8.1 Les paramètres organoleptiques	24
3.8.2 Les paramètres physico-chimiques	24
3.8.3 Les substances indésirables	25
3.8.4 Les substances toxiques	25
3.8.5 Les paramètres microbiologiques	25
3.8.6 Les pesticides et produits apparentés	25
3.9 Signification et les limites de quelques paramètres physico-chimiques et biologiques	26
3.9.1 Chlore (Cl)	26
3.9.2 Chlorures (Cl ⁻)	26
3.9.3 Oxygène dissous (O ₂)	26
3.9.4 Phosphore	26
3.9.5 TA et TAC	27
3.9.6 Demande Biologique en Oxygène (DBO)	27
3.9.7 Demande Chimique en Oxygène (DCO)	27
3.9.8 Les Bioindicateurs	27
3.10 Les polluants	28
3.10.1 Les macropolluants	28
3.10.2 Les micropolluants	30
3.10.3 Les difficultés d'estimer l'état de pollution d'un cours d'eau	32
3.10.4 La pollution de l'eau d'origine naturelle	34
3.10.5 Les pollutions agricoles	35
3.10.6 L'eutrophisation est une forme de pollution	35
Chapitre IV :	
4. Matériel et méthodes d'analyses	36
4.1 Les mesures effectués sur terrains (in situ)	36
4.1.1 Mesure de la conductivité, TDS (taux de salinité) et température	36
4.1.2 Mesure de la turbidité	37

4.2 Au laboratoire	37
4.2.1 Mesure de pH	37
4.3 Méthodes spectrophotométriques	37
4.4 Mode Prélèvement	38
4.4.1 Introduction	38
4.4.2 Echantillonnage	38
4.4.3 Mode de conservation	38
4.5 Analyse des données	40
4.6 Présentation des résultats	40
4.7 Méthode d'analyse multi-variée à un tableau	40
4.8 Le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau SEQ	41
Chapitre V :	
5. Présentation des sites d'étude	43
5.1 Choix et description des sites d'étude	43
5.2 Situation géographique	43
5.2.1 Présentation de la Numidie orientale (région d'El Kala)	43
5.2.2 Présentation de la Numidie occidentale (région de Guerbès-Senhadja)	43
5.3 Menaces et dégradation	47
Chapitre VI :	
6. Résultats et discussions :	48
6.1 Conductivité, TDS et Chlorures	48
6.2 TH, Calcium et Magnésium	52
6.3 Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	56
6.4 pH	56
6.5 Sulfates SO_4^{-2}	56
6.6 Nitrates	60
6.7 Nitrites	60
6.8 Orthophosphates ou PO_4^{3-}	61
6.9 Potassium (K)	65
6.10 Turbidité	65
6.11 Gastéropodes (Bioindicateur)	65
6.12 Analyse multivariée	69
6.13 Analyses thématiques des cartes pour les paramètres physico-chimiques et biologiques	72
6.14 Cartographie	73
CONCLUSION	83
Références bibliographiques	84
Glossaire	87
Annexes	90

INTRODUCTION :

Les Systèmes d'Information Géographique sont une préoccupation qui revient fréquemment dans les interrogations reçues par les services de documentation spécialisés ou les services des universités. C'est un thème récurrent également dans les médias. C'est aussi un sujet au cœur des processus de modernisation des administrations publiques et un thème d'actualité en raison des différents débats en cours sur l'accès pour tous aux données publiques gérées dans les bases de données (Dimos & Donnay, 1994).

Les modalités de fonctionnement des opérateurs publics posent aussi question: la mise en place de systèmes d'informations géographiques, la création de bases de données de référence ont un coût et le développement de systèmes d'informations géographiques est dépendant et tributaire des politiques menées par les organismes chargés de produire les données de référence.

Cet outil de traitement de l'information intéresse de nombreuses politiques publiques, d'abord parce que c'est un outil de traitement de l'information et un formidable levier d'investigation pour mieux connaître un certain nombre de situations, auxquelles ont à faire face les politiques publiques.

C'est aussi un outil qui illustre les évolutions d'organisation engendrées par les nouvelles technologies de l'information et de la communication.

C'est enfin un outil qui peut contribuer à faire évoluer la qualité physico-chimique de l'eau dans notre pays, permettant de rendre accessibles un certain nombre de données, voire en permettant aux associations et aux organisations de citoyens de procéder à des recherches et à des investigations pour préparer les concertations.

Au cours de notre étude nous avons essayé d'évaluer la qualité physico-chimique de l'eau des hydrosystèmes de la Numidie, en intégrant l'outil SIG pour mieux maîtriser la gestion des données.

L'eau, source de vie est une ressource renouvelable que l'utilisation abusive par l'homme a rendu rare ou de qualité impropre à la consommation.

La Numidie, située à l'extrême nord-est de l'Algérie, de par son climat et son relief, est riche en hydrosystèmes mais ces ressources en eau, à moins d'une utilisation rationnelle, risquent d'être perdues à jamais pour les générations à venir.

Ce mémoire est structuré selon le plan suivant : après une brève introduction, nous abordons dans le premier chapitre, les Systèmes l'Information Géographique et ses domaines d'application. Le second chapitre présente les notions de base sur les zones humides. Le troisième chapitre souligne de l'eau et décrit la qualité de l'eau. Le quatrième chapitre cite le matériel et les méthodes alors que le cinquième chapitre décrit les sites d'échantillonnés. Le dernier chapitre présente les résultats et la discussion.

1. Système d'information géographique :

1.1 Genèse des Systèmes d'Information Géographique (SIG) :

La première application informatique à la cartographie remonte aux années 60, à l'époque des cartes perforées. Ce sont les canadiens qui, les premiers, ont ressenti la nécessité de gérer de manière automatique les informations, essentiellement agricoles et géologiques, disponibles sur leur vaste territoire. Deux ans plus tard, le gouvernement canadien a donné son accord au développement de ce qui sera appelé plus tard le Système d'Information Géographique du Canada (Canada Geographic Information System CGIS). IBM Canada été chargé de développer les logiciels et de fournir le matériel nécessaire en collaboration avec les services de l'agriculture et de la forêt de l'Etat (Pornon, 1997).

La période 1960-1980 a été une période de recherche ou d'incubation des SIG et à partir des années 80 a débuté la phase de développement. La recherche développement des SIG est laissée aux soins des sociétés privées qui exploitent les résultats des universitaires. Les premières applications SIG prêtes à l'emploi, équivalent cartographique des Systèmes de Gestion des Bases des Données - SGBD, ou SIG-outils, apparaissent sur un marché largement dominé par les grandes administrations. Enfin, depuis la fin des années 80, on peut considérer que les SIG sont entrés dans l'ère de la commercialisation. En plus des logiciels, les périphériques, tables à digitaliser, scanners, imprimantes en couleur, se sont démocratisés et permettent maintenant de maîtriser l'intégralité de la chaîne graphique pour un coût raisonnable (Pornon, 1997).

A l'heure actuelle, il y a plusieurs, concepts d'information géographique. Dans l'espace francophone, on a en effet préféré se démarquer du terme anglo-saxon GIS (Geographic Information System) en proposant ses propres appellations, relativement équivalentes, pour des raisons techniques ou commerciales :

- ✓ Système d'Information Environnementale à Référence Spatiale (SIERS),
- ✓ Système d'Information à Référence Spatiale (SIRS),
- ✓ Système d'Information et d'Aide à la Décision (SIAD),
- ✓ Système d'Aide à la Décision spatiale (SADS),
- ✓ Système de géomanagement,
- ✓ Système d'Information sur le Territoire (SIT) (Pornon, 1997).

1.2 Qu'est ce que l'information géographique ?

Elle concerne l'information sur les lieux de la surface terrestre, la connaissance de la localisation d'événements et la connaissance de ce qui est à un emplacement donné. Les sources d'information géographique sont les cartes, le cadastre, les photographies aériennes, les tableaux des données statistiques liés aux découpages administratifs, etc. Plus généralement, tout type de données qui peuvent être lié à un emplacement tels que adresse, code postal, nom de place ou de ville, des coordonnées géographiques (par exemple. La latitude, la longitude, etc.), sont des informations géographiques.

L'information géographique est importante pour les différents acteurs de la société, tels que les hommes politiques qui souhaitent avoir une analyse des données sociales de la population, les militaires qui veulent déployer leurs équipements, un livreur qui s'intéresse à l'itinéraire le plus court pour livrer les meubles aux clients, un commerçant qui veut savoir où il doit placer son prochain magasin pour assurer un bon niveau de vente, un pompier qui veut savoir où se placer pour éteindre le feu provenant d'une direction donnée (Pornon, 1995).

1.3 Les cartes papier :

Les cartes papier sont les supports traditionnels de l'information géographique. Jusqu'à récemment, les cartes étaient la seule manière de stocker et représenter des informations sur l'espace géographique. Les plus communes sont celles dont l'objectif principal est de décrire les caractéristiques physiques des paysages : **cours d'eau**, relief, routes, forêts et zones urbaines. Ce sont des cartes topographiques.

D'autres types de cartes sont nécessaires pour représenter des informations spécifiques sur l'espace. Ces informations ne sont pas toujours physiquement visibles : densité de population, nature du sol, géologie, climat, aire d'influence d'un marché, flux d'informations, propagation dans l'espace d'une maladie. Ce sont des cartes thématiques.

Avantages et inconvénients des cartes papier :

1.3.1 Avantages :

- ✓ Les cartes fournissent une vue synoptique de l'espace (spatialisation des phénomènes);
- ✓ Les cartes révèlent la structure spatiale des phénomènes et la position relative des objets dans l'espace (voisinage, proximité/éloignement, type de contact latéral);
- ✓ Les cartes sont un outil de prévision et d'aide à la décision (urbanisme, gestion des risques);

1.3.2 Inconvénients :

- ✓ La production des cartes est un processus long et coûteux qui rallongent leur mise à jour;
- ✓ La lisibilité des cartes exige en général de simplifier l'information originale et de représenter celle-ci par des symboles (d'où une perte d'information);
- ✓ Les cartes sont des documents fixes : la sélection et l'extraction des informations qu'elles contiennent sont des opérations difficiles;
- ✓ L'analyse quantitative est presque impossible pour effectuer des mesures de distance/surface, des dénombrements, etc., ainsi que la comparaison des cartes par croisement d'information;

1.4 Les SIG comme technologie d'intégration :

La démocratisation de l'informatique, le développement des techniques numériques de collecte, de gestion et de dissémination des données, combinés avec l'application de nouveaux besoins en information pour l'aménagement du territoire, la protection de l'environnement ont contribué à l'émergence des SIG. Le concept de SIG a évolué en incorporant progressivement un certain nombre de technologies en une totalité dont les potentialités sont plus importantes que la somme de ses parties :

- ✓ Conception assistée par ordinateur (CAO);
- ✓ Système de gestion de base de données (SGBD);
- ✓ Télédétection et traitement d'images;
- ✓ Méthodes d'analyse spatiale et géostatistique;

Les systèmes d'information géographiques ont plus contribué à intégrer ces nouvelles technologies qu'à en créer de nouvelles. En général, les SIG fournissent un ensemble d'outils pour la saisie, la gestion et l'analyse et la manipulation des données, ainsi que la présentation des résultats sous forme graphique ou de rapport.

La capacité d'intégrer, de gérer et d'analyser des données spatiales pour fournir des informations synthétiques sur les territoires afin de contribuer à résoudre leurs problématiques est la caractéristique distinctive des systèmes d'information géographiques.

Les SIG permettent d'exécuter certaines opérations spatiales complexes qui seraient difficiles (Rouet, 1993).

1.5 Les composantes d'un SIG :

Un SIG combine une série de composantes pour faire fonctionner le système. Un SIG intègre cinq composantes clés, suivant leurs qualités, ces composantes sont essentielles pour le bon fonctionnement d'un SIG.

1.5.1 Matériel :

Le matériel est le système informatique sur lequel un SIG fonctionne. Aujourd'hui, les SIG fonctionnent sur un large éventail de types de matériel, des serveurs centralisés aux ordinateurs personnels (PC) utilisés en autonomie ou selon des configurations en réseau.

1.5.2 Logiciel :

Les SIG fournissent les fonctions et les outils requis pour stocker, analyser, et afficher les informations géographiques.

Un examen des sous-systèmes clés de logiciel de SIG est fourni dessous.

1.5.3 Données :

Les données sont peut-être la composante la plus importante d'un SIG. Un SIG peut intégrer les données spatiales avec d'autres ressources en données existantes, souvent stockées dans un SGBD. L'intégration des données spatiales et des données attributaires est une fonctionnalité clé d'un SIG.

1.5.4 Personnes :

Les SIG sont de valeur limitée sans les personnes qui dirigent le système et élaborent des plans pour l'appliquer à des problèmes réels. Les utilisateurs de SIG vont du technicien qui conçoit et maintient le système à ceux qui l'utilisent pour les aider à effectuer leur travail quotidien (par exemple le gestionnaire et le thématicien). La claire identification des rôles de chacun des acteurs est souvent signe de bonne mise en oeuvre d'un SIG.

1.5.5 Méthodes :

Le succès de la mise en application d'un SIG est fonction de la bonne conception du plan de sa mise en oeuvre selon des méthodes et des pratiques propres à chaque organisation. Comme dans toutes les organisations intégrant des technologies nouvelles, celles-ci ne peuvent être efficaces que si elles sont correctement associées dans la stratégie globale de l'entreprise. Cela exige non seulement des investissements suffisants en matériels et logiciels, mais également dans la formation et ou la reconversion et la motivation du personnel amené à utiliser ces nouveaux outils.

Le simple achat d'un ordinateur avec un logiciel SIG et l'engagement de quelques personnes enthousiastes est loin d'être suffisant pour assurer le succès de l'installation d'un SIG dans une organisation (Denègre, 1996).

1.6 Les sous-systèmes d'un SIG :

Un SIG est composé schématiquement de quatre principaux sous-systèmes. Ce sont:

1.6.1 L'entrée des données :

Le sous-système d'entrée des données permet à l'utilisateur de saisir, collecter, et transformer les données spatiales et thématiques sous forme numérique. L'entrée de données est généralement dérivée de la numérisation de cartes papier, de photographies aériennes, d'images satellites, et de rapports ou de documents d'enquête, etc.

1.6.2 Le stockage et gestion des données :

Le sous-système de stockage et de gestion des données permet de structurer les données spatiales et des attributaires, dans une forme qui leur permettent d'être rapidement mobilisées par l'utilisateur pour diverses opérations. Il implique généralement l'utilisation d'un système de gestion de base de données (SGBD) pour maintenir les données attributaires.

1.6.3 La manipulation et l'analyse des données :

Le sous-système d'analyse et de manipulation des données permet à l'utilisateur de définir et d'exécuter un traitement spatial sur les données pour produire des informations dérivées. Ce sous-système est généralement considéré comme le cœur du SIG, et le distingue généralement des autres systèmes d'information et des systèmes de conception assistés par ordinateur (CAO).

1.6.4 Le sous-système graphique :

Le sous-système graphique permet à l'utilisateur de produire des documents graphiques tels les cartes, rapports et graphiques qui représentent des produits dérivés de l'information originale. Il est important de comprendre que le SIG n'est pas une nouvelle invention. En fait, le traitement de l'information géographique a une histoire riche dans une série de disciplines différentes (Claude, 1992).

1.7 Représentation du monde dans les SIG : (le concept de couche)

1.7.1 Simplification de la complexité du monde réel :

Le SIG stocke les informations sur le monde en une série de couches thématiques (ou couvertures). Cette approche simple mais extrêmement puissante et universelle permet d'organiser la complexité du monde réel en une représentation simple pour faciliter la compréhension des relations entre les objets géographiques. Toutes les couches

peuvent être alors considérées comme des variables géographiques. Une fois que ces cartes ont été enregistrées soigneusement dans un système commun de géoréférencement, les informations stockées dans les différentes couches peuvent être comparées et analysées conjointement. Ainsi, la densité de population peut-être comparée aux bassins d'emploi ou bien, les points de rejet des eaux usées aux zones de ressource en eau.

1.7.2 Exploration d'emplacements spécifiques :

Des lieux ou zones spécifiques peuvent être séparés des espaces environnants comme dans le diagramme ci-dessous, en coupant simplement toutes les couches de l'emplacement désiré de la carte plus grande. Que ce soit pour un lieu spécifique ou la région entière, les SIG offrent les moyens de rechercher des configurations spatiales particulières. Si par exemple, nous voulions considérer les effets sur le sol de l'élargissement d'une route, nous pourrions créer une nouvelle couche prenant en compte les nouvelles dimensions de la route et la combiner avec la couche représentant l'utilisation des terres (Longley, 1999).

Toutes les analyses n'exigeront pas d'utiliser l'ensemble des couches simultanément. Selon les problématiques, seules quelques couches sont suffisantes pour considérer certaines relations spatiales spécifiques. En outre, les informations de deux couches où davantage peuvent être combinées et ensuite transformées en nouvelle couche pour des analyses ultérieures. Cette procédure consistant en la combinaison et la transformation des informations des différentes couches est parfois appelée « algèbre cartographique » (puisqu'il implique l'ajout et soustraction d'informations) (Longley, 1999).

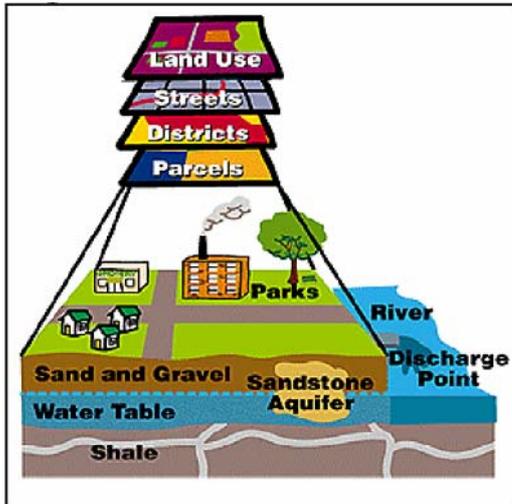


Fig. 1 : Couche d'information
(Longley, 1999).

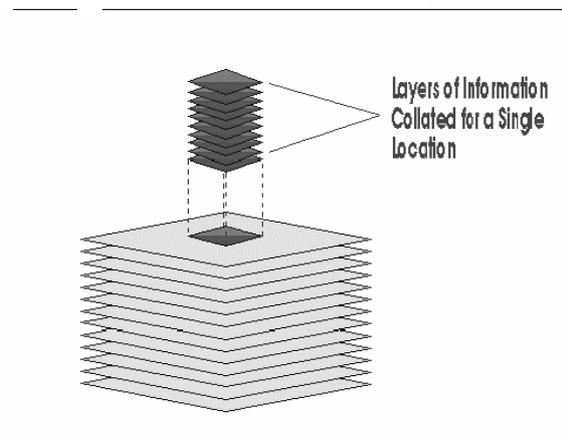


Fig. 2 : Séparation des espaces
(Longley, 1999).

1.8 Les domaines d'applications des SIG :

Le SIG est utilisé dans plusieurs types d'organisation tels les administrations nationales et locales, les agences d'environnement, les compagnies pétrolières, les banques, les universités, etc. La mise en oeuvre d'un SIG, l'importance des moyens en termes d'équipement, les ressources humaines, les données et les objectifs peuvent varier considérablement d'une application à une autre.

Néanmoins, quatre domaines d'applications peuvent être distingués, du plus simple au plus complexe de la façon suivante:

- ✓ Cartographie;
- ✓ Gestion;
- ✓ Analyse;
- ✓ Modélisation.

Les besoins en information géographique et des outils pour des traiter sont en constante augmentation. Plus que la production rapide de cartes complexes et le traitement des données spatiales, l'existence d'outils capables de fournir des fonctions efficaces pour l'analyse et la simulation est importante. Un SIG doit être considéré comme un outil permettant de modéliser de façon spécifique le monde réel et d'expérimenter de multiples scénarios concernant la gestion et l'évolution de l'espace géographique (Laurini, 1992).

1.9 Question et stratégie de mise en œuvre :

Le SIG est un système complexe qui peut révolutionner la manière dont les organisations gèrent leurs informations et leurs applications. Néanmoins la mise en oeuvre d'un SIG implique beaucoup plus le choix de matériels et de logiciels. Il y a cinq groupes de questions importantes à considérer.

1.9.1 Matériel :

Les types d'appareils, nombre de terminaux, besoins de mise en réseau, scanner et imprimante doivent être considérés comme un tout pour une mise en oeuvre réussie d'un SIG. Les choix dépendront du budget disponible, du nombre et de l'emplacement des utilisateurs potentiels et du type de SIG à installer.

1.9.2 Logiciel :

Le système d'exploitation nécessaire, les bases de données, les SIG et autres logiciels connexes doivent également être choisis. Le choix le plus approprié dépend de l'organisation, des besoins, du nombre et du type d'utilisateurs, du type d'applications

impliquées et du budget à sa disposition. La mise en oeuvre d'un SIG peut s'étendre d'un système basé sur PC pour une utilisation individuelle, à des postes de travail basés sur une unité centrale servant toute une organisation.

Le premier offre un degré élevé de flexibilité dans sa mise en oeuvre, néanmoins l'effort impliqué pour l'obtention d'un SIG est généralement important. Le second est généralement beaucoup plus convivial et peut être opérationnel très rapidement, néanmoins le choix des fonctions et des interfaces est limité.

De plus en plus, les SIG offrent une interface à base d'un menu mais avec l'option d'utiliser un macro-langage pour créer des fonctions plus élaborées et développer des applications spécifiques.

1.9.3 Données :

La précision, les sources, la propriété, les droits d'auteur, le secret, la sécurité, les normes et les formats de données sont des questions importantes à considérer. Les technologies SIG permettent l'intégration des données hétérogènes. Le plus grand soin doit ainsi être apporté à l'acquisition et l'entrée des données afin de maintenir un ensemble de données exactes et fiables.

Cela est d'une importance particulière puisque l'acquisition et la conversion des données représentent généralement le coût principal de la mise en oeuvre d'un SIG.

1.9.4 Applications :

Il est important de considérer si la technologie SIG est la plus appropriée pour une application particulière. Tous les types d'applications ne peuvent pas profiter des fonctionnalités du SIG. Les applications qui ont recours à l'analyse spatiale demandent des accès fréquents aux données et impliquent des mises à jour constantes. Elles satisfont donc les exigences d'un certain nombre d'utilisateurs et doivent automatiser autant que possible les tâches répétitives. Toutefois, une application qui est seulement appropriée pour un nombre limité de personnes, implique une utilisation limitée et son applicabilité pour un plus grand nombre est moins certaine.

1.9.5 Mapinfo :

L'utilisation de l'un des logiciels du SIG, a été traité et les sujets abordés lors des travaux pratiques sont:

- ✓ Ouverture d'un projet;
- ✓ Ouverture d'une vue;
- ✓ Concept des couches (ajoute des vues, couches...);
- ✓ Édition de la légende;

- ✓ Ouverture d'une table;
- ✓ Liaison d'une table à une autre;
- ✓ Cartographie (faire une carte) (Didier, 1990).

1.10 Données cartographiées au GPS :

Les systèmes GPS et DGPS ont apportés un grand progrès pour la localisation précise et « automatique » de données de terrain.

Les cartes de rendement, acquises dans le cadre de l'agriculture de précision, sont par exemple localisé point à point grâce a ce système (Gayte, 1997).

Principaux domaines d'utilisation des SIG

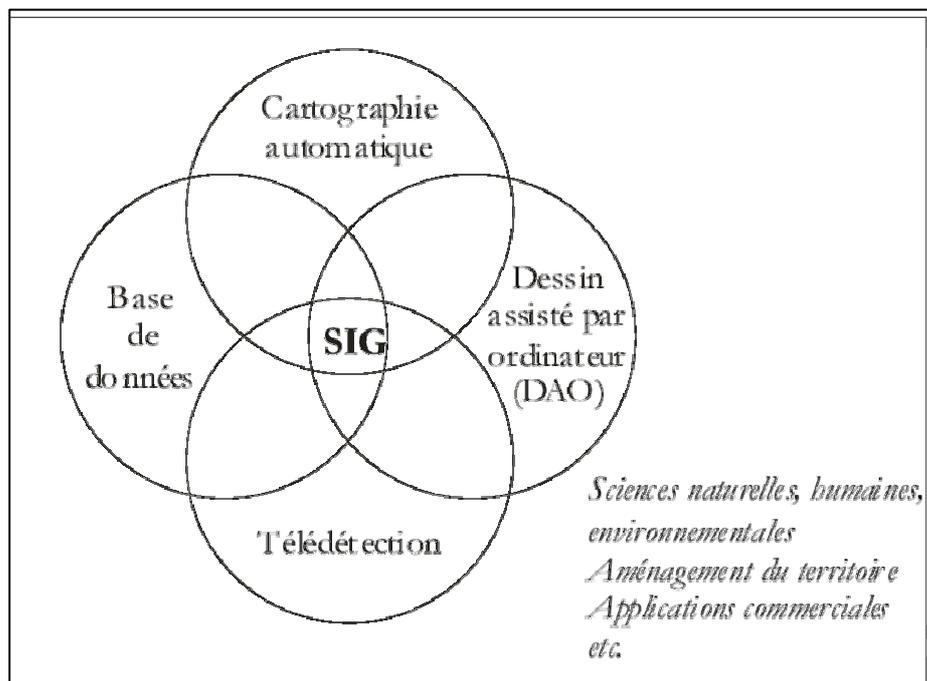


Fig. 3 : Principaux domaines d'utilisation des SIG (Gayte, 1997).

2. Les zones humides et les hydrosystèmes :

2.1 Les zones humides :

2.1.1 Qu'est-ce qu'une zone humide ?

Une zone humide est une région où l'eau est le principal facteur qui contrôle le milieu naturel et la vie animale et végétale associée. Elle apparaît là où la nappe phréatique arrive près de la surface ou affleure ou encore, là où des eaux peu profondes recouvrent les terres.

La convention de *Ramsar* a adopté une optique large pour déterminer quelles zones humides peuvent être placées sous son égide. Aux termes de la Convention, les zones humides sont : des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres. Peuvent être incluse des zones de rives ou de côtes adjacentes à la zone humide et des îles ou des étendues d'eau marine d'une profondeur supérieure à 6 mètres à marée basse, entourées par la zone humide.

La Convention s'applique donc à des types d'habitats très variés : rivières et lacs, lagunes côtières, mangroves, tourbières et même récifs coralliens. Il existe aussi des zones humides artificielles telles que les bassins de pisciculture ou d'élevage de crevettes, les étangs agricoles, les terres agricoles irriguées, les étendues de terres salées, les réservoirs, les gravières, les terrains d'épandage et les canaux (Fustec, 2000).

2.1.2 Pourquoi conserver les zones humides ?

Les zones humides sont parmi les milieux naturels les plus productifs du monde. La diversité biologique, elles fournissent l'eau et les produits primaires dont dépendent, pour leur survie, des espèces innombrables de plantes et d'animaux. On y trouve des concentrations élevées d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens, de poissons et d'invertébrés. Plus de 40% des 20 000 espèces de poissons du monde vivent dans les eaux douces. Les zones humides sont également des entrepôts importants de matériel phytogénétique. Le riz, plante commune des zones humides, est l'aliment de base de plus de la moitié de l'humanité.

Les interactions entre les éléments physiques, biologiques et chimiques tels que les sols, l'eau, les plantes et les animaux, permettent aux zones humides de remplir de nombreuses fonctions vitales, notamment : stockage de l'eau, protection contre les tempêtes et maîtrise des crues; stabilisation du littoral et maîtrise de l'érosion ; renouvellement de la nappe phréatique (le mouvement de l'eau de la zone humide vers la

nappe phréatique) ; restitution des eaux souterraines (mouvement de l'eau restituée par la nappe phréatique sous forme d'eau de surface dans une zone humide) ; épuration de l'eau par la rétention des éléments nutritifs, des sédiments et des polluants; et stabilisation des conditions climatiques locales, en particulier du régime des précipitations et de la température.

2.1.3 Valeurs des zones humides :

Les zones humides rendent des services économiques très importants, par exemple: alimentation en eau (quantité et qualité) ; pêcheries (plus des deux tiers des poissons pêchés dans le monde dépendent du bon état des zones humides côtières et intérieures) ; agriculture, grâce au renouvellement des nappes phréatiques et à la rétention des matières nutritives dans les plaines d'inondation ; production de bois d'œuvre ; ressources énergétiques telles que la tourbe et la litière ; flore et faune sauvages ; transports; activités récréatives et tourisme (Ramsar 2000).

2.1.4 Les zones humides en Algérie :

L'Algérie, depuis la signature du décret N° 82.439 du 11 décembre 1982 portant adhésion de l'Algérie à la convention relative aux zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitats de la sauvagine, signée à *Ramsar* (Iran) le 2 février 1971, a inscrit, le 4 novembre 1983, deux sites sur la liste *Ramsar*, les lacs Tonga et Oubeïra, avant de rajouter, en mars 1999, le lac des Oiseaux. En l'an 2001, la direction générale des forêts a réussi le pari audacieux d'inscrire en une seule année 10 nouveaux sites, passant de 3 à 13 zones humides d'importance internationale.

A travers ces sites classés, des pans entiers de la biodiversité de l'Algérie, souvent inexplorés et, par conséquence méconnus, sont mis sous l'éclairage des lampions de la communauté scientifique nationale et internationale. C'est assurément un grand pas qualitatif et quantitatif qui vient d'être franchi pour la valorisation de nos zones humides algériennes. D'un point de vue qualitatif, le chott et la Gueltate, en s'inscrivant pour la première fois sur la liste contribuent à enrichir les zones humides d'importance internationale de la convention de *Ramsar*. Les deux oasis de Tamenti et de Ouled Saïd, à Adrar s'inscrivent pour la première en Afrique et pour la deuxième fois dans le monde après l'oasis de Lazrag en Jordanie. Il est utile de constater que l'Algérie, de par la superficie classée est le deuxième pays en Afrique, après le Botswana et son fameux Delta de l'Okavango qui fait 6.846.000 hectares, et la septième dans le monde avec une superficie de 1.866.340 hectares.

2.1.5 Importance internationale des zones humides algériennes :

L'Algérie est riche de 254 zones humides naturelles importantes présentées dans un atlas des zones humides algériennes édité par la direction générale des forêts en 1999. Parmi elles, une soixantaine, d'importance internationale sont à inscrire sur la liste de la convention de *Ramsar*. La direction générale des forêts, point focale de la convention, envisage d'en classer une dizaine par an sur les cinq années à venir. Jusqu'au 2 février 2001 trois sites seulement étaient inscrits. Le 02 février 2001, dix zones humides sont venues enrichir la nomenclature algérienne des zones humides d'importance internationale :

Tab. 1 : Sites *Ramsar* inscrits sur la liste en 29 octobre 2002 (Samraoui & de Bélair 1998).

Base de données au 29 octobre 2002, Pays Algérie :

Date de désignation	Superficie (ha)	Site Ramsar
02/02/2001	855,500	Chott Ech Chergui
02/02/2001	362,000	Chott El Hodna
02/02/2001	337,700	Chott Merrouane et Oued Khrouf
02/02/2001	56,870	Sebkha d'Oran
02/02/2001	42,100	Complexe de zones humides de la plaine de Guerbes.Sanhadja
02/02/2001	6,500	La Vallée d'Iherir
02/02/2001	35,100	Les Gueltates d'Issakarassene
02/02/2001	44,500	Marais de la Macta
02/02/2001	25,400	Oasis de Ouled Saïd
02/02/2001	95,700	Oasis de Tamantit et Sid Ahmed Timmi

2.2 Notions d'écosystème :

2.2.1 Qu'est-ce qu'un écosystème ?

Un écosystème est une unité d'organisation biologique définie par les interactions qui existent entre les organismes présents et le milieu physique. Autrement dit, c'est une communauté où tous les éléments dépendent les uns des autres et dont on pourrait dire qu'il est plus complexe que la simple somme de ses parties.

Un écosystème peut occuper plus ou moins de place à l'intérieur d'un territoire donné : il peut s'agir d'un estuaire aussi bien que d'un parc national. Selon l'importance et l'objet du travail de recherche, on établit les limites à l'intérieur desquelles seront étudiées les interactions qui nous intéressent. Un écosystème ne correspond pas forcément aux limites d'un territoire délimité par l'homme puisqu'il s'agit d'un réseau complexe à l'intérieur duquel interagissent des éléments aussi bien humains que zoologiques, botaniques ou purement physiques. Un écosystème ne fonctionne pas isolément : il s'inscrit dans un vaste contexte environnemental, social et économique (Coudray, 1994).

2.2.2 L'importance d'un écosystème aquatique sain :

Pourquoi l'état des écosystèmes aquatiques revêt-il une importance pour l'être humain ? Puisque tous les êtres vivants font partie d'une même chaîne, un écosystème en déséquilibre aura nécessairement de graves répercussions sur l'être humain. Notre santé et un grand nombre de nos activités sont fonction de l'état des écosystèmes aquatiques. L'eau que l'on boit provient principalement de lacs ou de cours d'eau. Si le système d'un lac ou d'un cours d'eau est insalubre, l'eau qui s'y trouve sera peut être impropre à la consommation ou aux fins de l'industrie, de l'agriculture ou des loisirs, et ce, même après son traitement. La piètre santé des écosystèmes aquatiques réduit les usages que l'on fait de ces systèmes. En voici quelques exemples :

- ✓ Des pêcheries commerciales dans les eaux intérieures et le long des côtes ont été fermées en raison de la contamination des poissons ou des mollusques et crustacés ou de la disparition d'une espèce importante du système.
- ✓ La fréquence des fermetures de plages en régions urbaines s'est appréciablement accrue en raison de la contamination des eaux par les fèces d'animaux et les déchets d'origine médicale.
- ✓ Les problèmes liés à la navigation de plaisance (nautisme) ont augmenté en raison de la multiplication rapide des plantes poussant dans le fond des cours d'eau (Frontier, 1998).

2.3 Les hydrosystèmes :

Ensemble des éléments d'eau courante, d'eaux stagnantes, semi-aquatiques, terrestres, tant superficielles que souterrains et leurs interactions. Ce concept s'applique surtout pour les cours d'eau d'une certaine importance susceptibles de développer une plaine alluviale comprenant une mosaïque d'éléments suffisamment grands pour assurer le développement de communautés vivantes différenciées. (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2004).

2.4 Notion de bassin versant :

Surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un lac. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie. Aussi dans un bassin versant, il y a continuité : longitudinale, de l'amont vers l'aval (ruisseaux, rivières, fleuves), latérale, des crêtes vers le fond de la vallée, verticale, des eaux superficielles vers des eaux souterraines et vice versa. Les limites sont la ligne de partage des eaux superficielles (Environnement Canada 2004).

2.5 Importance de l'eau en Algérie : Ce chapitre est basé sur l'exposition de Mr kherraz, K., 2004.

2.5.1 Préambule :

Il y a déjà près de quinze ans que l'ensemble des acteurs de l'eau en Algérie a pris conscience de la nécessité de réformer le système général de gestion de l'eau. On s'est en effet vite aperçu que malgré les coûteux investissements consentis en trente années par l'état, la satisfaction des besoins restait insuffisante, et que de plus la protection quantitative et qualitative des ressources n'était pas assurée de façon satisfaisante. Dans le même temps, et avec la réalisation de transferts inter départementaux et l'apparition de pollutions externes, est apparue la difficulté de gérer ou d'arbitrer les conflits d'usages, à l'intérieur des limites administratives de la wilaya. Ceux ci remontaient donc invariablement à l'échelon central.

2.5.2 Ressources hydriques en Algérie du Nord :

En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et, compte tenu des problèmes démographiques et de l'occupation de l'espace (sachant que près de 60% de la population algérienne sont concentrés dans la frange septentrionale du territoire qui ne représente que le dixième de la surface totale du pays), d'importants efforts sont nécessaires en matière d'urbanisation

intégrée et de gestion rigoureuse dans l'exploitation des réserves, si on veut atteindre la satisfaction des besoins à l'horizon 2010. S'y ajoutent des problèmes de faible mobilisation et de mauvais recyclage par manque de maîtrise des stations d'épuration et l'envasement des retenues.

Le but de ce chapitre est de tenter une revue des causes du manque d'eau et des facteurs aggravants (Kherraz, 2004).

3. Qualité de l'eau :

3.1 Que veut-on dire par qualité de l'eau ?

On détermine la qualité de l'eau d'après sa concentration de composés chimiques et de particules minérales et organiques. La qualité de l'eau dans les cours d'eau et les lacs varie avec la saison et l'endroit, même en l'absence de pollution. Aucun paramètre ne permet de déterminer à lui seul la qualité de l'eau. Ainsi, on peut se servir d'eau potable pour l'irrigation, mais l'eau destinée à l'irrigation ne respecte pas nécessairement les normes applicables à l'eau potable.

Rappel sur le terme qualité :

3.1.1 Etymologie :

Emprunt au latin philosophique *qualitas*, formé sur *qualis*, "quel", "manière d'être, attribut propre de l'Être et en particulier l'aspect sensible et non mesurable des choses" (Le Robert, 1973).

3.1.2 Commentaire :

Dans ce sens, le concept de qualité implique bien une relativité à des critères, notamment d'usage, et une gradation de valeurs, ce qui s'appliquera parfaitement à l'eau. Aptitude de l'eau, déterminée par ses caractéristiques physiques, chimiques, biotiques ou organoleptiques, à servir à un usage défini ou à permettre le fonctionnement d'un milieu aquatique donné (Imbeaux, 1985).

3.1.3 Remarque :

En raison de la multiplicité et de la variété des relativités de son évaluation, il serait préférable de mettre qualité au pluriel dans les expressions générales telles que "dégradation de la qualité des eaux souterraines", "reconquête de la qualité des rivières" "...tout fait susceptible d'altérer la qualité de l'eau superficielle ou souterraine...".

3.1.4 Typologie :

Différentes variétés de qualité de l'eau se réfèrent respectivement aux principaux types d'usage dont dépendent les critères d'évaluation :

- ✓ Potabilité (alimentation humaine, eau de boisson)
- ✓ Aptitude à l'irrigation
- ✓ Aptitude au refroidissement
- ✓ Aptitude aux baignades
- ✓ Qualités thérapeutiques (eaux thermo-minérales)

3.2 Qu'est-ce qui détermine la qualité de l'eau ?

Même l'eau des rivières et des lacs les plus sains n'est pas complètement pure. N'importe quelle eau (même l'eau distillée) contient de nombreuses substances que l'on retrouve partout dans la nature, surtout des bicarbonates, des sulfates, du sodium, des chlorures, du calcium, du magnésium et du potassium. Ces substances parviennent jusqu'aux eaux de surface et souterraines ; elles proviennent :

- ✓ Du sol, des formations géologiques et du terrain dans le bassin versant (bassin hydrographique) ;
- ✓ de la végétation et de la faune avoisinantes ;
- ✓ des précipitations et des eaux qui s'écoulent par ruissellement sur les terres adjacentes ;
- ✓ des processus biologiques, physiques et chimiques dans l'eau ;
- ✓ des activités humaines dans la région (Letterman, 1999).

3.3 Quels sont les principaux facteurs qui influent sur la qualité de l'eau ?

Beaucoup de facteurs modifient la qualité de l'eau ; ainsi, les substances en suspension dans l'air altèrent la composition de l'eau de pluie. La poussière, les gaz volcaniques et les gaz naturellement présents dans l'atmosphère comme le dioxyde de carbone, l'oxygène et l'azote se dissolvent ou restent pris dans les gouttes de pluie. Quand l'air contient d'autres substances comme du dioxyde de soufre, des produits chimiques toxiques ou du plomb, ces substances s'ajoutent à la pluie qui tombe sur le sol. L'eau de pluie ruisselle sur la terre et s'infiltre dans le roc et le sol où elle dissout et absorbe d'autres composés. Ainsi, un sol riche en substances solubles comme la chaux augmentera la concentration de carbonate de calcium dans l'eau. En coulant sur des roches métallifères comme du minerai, l'eau accumulera également des métaux.

Il faut également tenir compte des eaux de ruissellement des zones urbaines qui ont elles aussi un effet sur la qualité de l'eau. En effet, celles-ci emportent les débris qui jonchent les rues jusqu'à un cours d'eau ou une autre masse d'eau et détérioreront la qualité de l'eau en augmentant la concentration de diverses substances comme les éléments nutritifs (phosphore et azote), les sédiments, les déchets animaux (coliformes fécaux et agents pathogènes), les dérivés du pétrole et le sel utilisé pour déglacer les routes (CIG, 2004).

3.4 Comment détermine-t-on la qualité de l'eau ?

On détermine la qualité de l'eau en procédant à des relevés sur le terrain ou en prélevant des échantillons d'eau, de matières en suspension, de sédiments de fond, en

effectuant des analyses physico-chimiques et microbiologiques pertinentes. On peut, par exemple, déterminer le degré d'acidité (pH), la couleur et la turbidité (mesure des particules en suspension dans l'eau) de l'échantillon sur place, mais la concentration de métaux, d'éléments nutritifs, de pesticides et d'autres substances doit l'être au laboratoire. On peut également se faire une idée de la qualité de l'eau en recourant à des épreuves biologiques qui indiqueront notamment si l'eau ou les sédiments sont toxiques pour une forme de vie particulière ou ont entraîné une modification du nombre et de la variété des espèces végétales et animales. Certains tests biologiques sont effectués en laboratoire, mais d'autres se font directement dans le cours d'eau ou le lac.

3.5 Comment mesure-t-on la qualité de l'eau ?

Pour identifier les substances présentes dans un cours d'eau ou un lac, on prélève des échantillons d'eau, d'organismes vivants, de sédiments en suspension et de sédiments de fond. On analyse ensuite les échantillons au laboratoire à l'aide de méthodes et d'instruments spécialisés. Certaines mesures, comme celles de la température, de l'oxygène dissous, de la turbidité et de la conductivité, peuvent être effectuées sur le terrain au moyen de matériel portatif. Les instruments d'analyse utilisés aujourd'hui dans les laboratoires, comme les « spectromètres d'émission à plasma » (pour doser les métaux) et les « chromatographes en phase gazeuse couplés à un spectromètre de masse » (pour doser les pesticides, les BPC, les dioxines et d'autres composés organiques), appartiennent au domaine de la haute technologie; ils ressemblent peu aux éprouvettes et aux brûleurs à gaz utilisés dans les laboratoires dans les années 50.

Maintenant, l'analyse des échantillons d'eau et de sédiments permet de déceler plus de substances qu'il y a dix ans, en partie parce que ces substances sont plus nombreuses dans l'eau, mais aussi en raison du perfectionnement des instruments d'analyse, grâce auquel les limites de détection ont été abaissées. Les instruments modernes peuvent déceler jusqu'à une partie par billion de certaines substances, ce qui équivaut à détecter un millième de cuillerée à thé de sel dissous dans l'eau d'une piscine olympique (Barthe, 1998).

3.6 La qualité des cours d'eau :

Les paramètres pris en compte pour qualifier la qualité des cours d'eau sont :

3.6.1 Les paramètres physico-chimiques :

Température, salinité, oxygène dissous, matières en suspension, matières oxydables (demande chimique en oxygène, demande biochimique en oxygène, carbone organique dissous...), formes de l'azote (organique, ammonium, nitrites, nitrates) et du

phosphore (phosphore total, orthophosphates), anions et cations majeurs dits naturels, éléments toxiques minéraux (métaux) et organiques.

3.6.2 Les paramètres biologiques :

Indices biologiques de pollution basés sur les invertébrés benthiques.

Aujourd'hui, les rivières de mauvaise qualité sur tout leur cours sont rares ; certaines comportent des tronçons très dégradés, toutefois en diminution.

3.7 Substances nuisant à la qualité de l'eau

3.7.1 Les substances non rémanentes (dégradables) :

- ✓ les déchets domestiques ;
- ✓ les engrais, et certains déchets industriels ;

Ces composés peuvent être décomposés en substances simples, non polluantes, telles que le dioxyde de carbone et l'azote, par des réactions chimiques ou par de simples bactéries naturelles. Lorsque le niveau de pollution est élevé, ce processus peut avoir pour résultat de faibles niveaux d'oxygène et l'eutrophisation. Toutefois, ces dommages sont réversibles.

3.7.2 Les substances rémanentes (dégradation lente) :

- ✓ certains pesticides (ex. le DDT et la dieldrine) ;
- ✓ certains produits de lixiviation provenant de lieux d'enfouissement (municipaux, industriels) ;
- ✓ le pétrole et les produits pétroliers ;
- ✓ les matériaux radioactifs, tels que le strontium 90, le césium 137, le radium 226 et l'uranium ;
- ✓ les métaux tels que le plomb, le mercure et le cadmium (Ministère de l'écologie, 2004).

3.8 Les paramètres d'évaluation de la qualité de l'eau :

Les paramètres permettant de caractériser la qualité d'une eau peuvent être classés en 6 groupes :

3.8.1 Les paramètres organoleptiques :

Ce sont les paramètres qui mesurent les qualités sensibles de l'eau (odeur, couleur, saveur...). Ils n'ont pas de critères sanitaires directs, étant donné que l'eau peut être trouble et consommable.

3.8.2 Les paramètres physico-chimiques :

Ils sont en relation avec la structure naturelle des eaux. On y retrouve des caractéristiques que l'eau brute a pu acquérir dans son parcours naturel. Température,

conductivité (paramètre en rapport direct avec la dureté et la teneur globale en minéraux dissous), pH (ce dernier doit être supérieur à 6,5 et inférieur à 8.5 unités) sont pris en compte, mais également teneur en oxygène dissous, carbone organique dissous, valeur de la turbidité, des MES (matières en suspension).

3.8.3 Les substances indésirables :

Ce sont des substances tolérées à très faible quantité (métaux lourds, matières azotées, phosphatées par exemple). En effet, le fluor est indispensable à la santé en faible quantité. Quant aux nitrates, leur seuil est fixé à 50 mg/litre. Au-delà, ils peuvent provoquer la mort chez les nourrissons.

3.8.4 Les substances toxiques :

Les normes retenues par ce groupe tiennent compte de la marge d'incertitude adoptée en toxicologie. Les teneurs tolérées sont en très petite quantité (chrome et plomb par exemple). Cette dernière est très faible (50 microns/litre), compte-tenu du fait que cela pourrait provoquer, en grandes quantités, des troubles neurologiques

3.8.5 Les paramètres microbiologiques :

L'eau doit être exempte de bactéries et de virus pathogènes, comme les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux et les salmonelles. La présence dans l'eau de ces bactéries indique une contamination d'origine fécale et donc la possibilité que des germes pathogènes dangereux soient présents dans l'eau. En revanche, la présence, en petites quantités, de germes banals est admise.

3.8.6 Les pesticides et produits apparentés :

Les pesticides sont des produits dont les propriétés chimiques contribuent à la protection des végétaux. Ils sont destinés à détruire, limiter ou repousser les éléments indésirables à la croissance des plantes, insectes, parasites et autres plantes. Les «pesticides», étymologiquement «tueurs de fléaux» sont aussi appelés, dans la réglementation nationale et européenne «produits phytosanitaires».

Les pesticides sont utilisés dans l'agriculture et dans les métiers du bois pour leurs propriétés toxiques. L'action des pesticides est multiforme. Elle peut être directe - par destruction de l'élément nuisible ou indirecte, par réduction des capacités de reproduction des insectes par exemple, ou en pénétrant d'abord la plante-hôte, qui élimine ensuite les bactéries nuisibles. Ces pesticides à action indirecte sont dits aussi «systémiques». (Cheverry, 1998).

3.9 Signification et les limites de quelques paramètres physico-chimiques et biologiques :

3.9.1 Chlore (Cl) :

L'eau du robinet contient en principe entre 0,05 et 0,15 mg / l de chlore. Une eau de piscine en contient 1mg / l. La limite au-delà de laquelle l'OMS estime qu'il y a un risque pour la santé est de 5mg / l. Aux États-Unis l'eau contient normalement 1 à 2 mg/l de chlore pour une limite fixée à 4 mg/l.

3.9.2 Chlorures (Cl) :

Les chlorures sont présents en grande quantité dans l'eau de mer (± 19 g/l). Leur concentration dans l'eau de pluie est approximativement de 3 mg/l. La teneur en chlorures d'une eau dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse. Les chlorures participent à la conductibilité électrique des cours d'eau (OMS, 1994).

3.9.3 Oxygène dissous (O₂) :

On trouve dans l'eau de l'oxygène dissous provenant : de la diffusion de l'oxygène en surface, de l'aération : mouvement de l'eau et de la photosynthèse : 3/4 de l'oxygène disponible sur terre est produit par le phytoplancton des océans. Cette production dépend de la lumière disponible, de la température, de la présence de matières organiques dégradables. La solubilité relativement faible de l'oxygène dans l'eau dépend de la température (5mg/l à 0°C et 7mg/l à 35°C). Une concentration de 3 à 6mg/l constitue la limite inférieure en dessous de laquelle la vie de la flore et de la faune est mise en péril. La valeur de saturation de l'oxygène dissous pour les eaux destinées à la consommation humaine doit être supérieure ou égale à 75% (Benson, 1984).

3.9.4 Phosphore :

Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tout être vivant. Il entre notamment dans les cycles énergétiques cellulaires. Comme l'azote, le phosphore est inclus dans un cycle naturel où les apports et les pertes sont limitées. Le phosphore est assimilable par les êtres vivants sous forme oxydée (phosphates, hydrogénophosphates...) ou sous forme organique. Dans la nature, il provient essentiellement de la décomposition des cellules mortes qui sont minéralisées par les micro-organismes pour donner des phosphates rapidement assimilés.

Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquence sanitaire. Par contre, elle favorise la croissance des algues dès lors que l'eau est exposée à la lumière : phénomène de l'eutrophisation. Les organismes tels les cyanobactéries se développent de façon très

rapide participant à l'eutrophisation et provoquant parfois un phénomène appelé "bloom algal ou fleur d'eau" extrêmement néfaste à l'équilibre du milieu.

La concentration maximale admissible en phosphore dans les eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 5 mg/l.

Origine :

- ✓ Érosion des sols agricoles enrichis en phosphore (P sous forme particulaire)
- ✓ Rejets d'assainissement, d'usines, de piscicultures (P dissous ou phosphate)

Impact :

L'azote ainsi que le phosphore, sont utilisés par les algues et le phytoplancton pour leur croissance et peuvent être à l'origine de phénomènes d'eutrophisation (croissance excessive des algues entraînant une forte consommation d'oxygène et la mort des poissons). Le phosphore constitue généralement le facteur limitant de l'eutrophisation en eau douce (OMS 2000).

3.9.5 TA et TAC :

Le Titre Alcalimétrique (TA) permet de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau. L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution étalon d'acide fort en présence d'un indicateur coloré de pH : la phénolphthaléine qui vire du rouge à l'incolore à un pH de 8.2.

Le TA dose la totalité des hydroxydes et la moitié des carbonates qui sont alors entièrement transformés en bicarbonate à un pH de 8.2 (le Titre Alcalimétrique Complet correspond à la totalité des bicarbonates et des carbonates). Il s'exprime généralement en degré français (°F) (Rodier, 1996).

3.9.6 Demande Biologique en Oxygène (DBO) :

Consommation en oxygène des micro-organismes présents leur permettant d'assimiler les substances organiques présentes. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

3.9.7 Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

Consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées (Hoestland, 1991).

3.9.8 Les Bioindicateurs :

Si le terme de bioindicateur ou d'indicateur biologique a été largement employé dans les études visant à surveiller la contamination d'un milieu aquatique, sa définition reste ambiguë car il y a lieu de ne pas confondre :

- ✓ Les espèces indicatrices de pollution qui sont prédominantes dans un milieu contaminé parce qu'elles sont plus résistantes et capables de s'adapter au stress causé par la présence d'un contaminant. C'est le cas par exemple de certains vers polychètes très abondants dans des zones très chargées organiquement par des rejets d'eaux usées : *Nereis Diversicolor*, *Scolelepis Fuliginosa* ou encore *Capitella Capitata*

Les espèces indicatrices de la qualité des eaux qui disparaissent dans les milieux pollués parce que leur faible capacité d'adaptation les rend particulièrement sensibles à un contaminant. C'est le cas des oursins, de la phanérogame *Posidonia oceanica* ou encore de l'algue *Cystoseira stricta*, caractéristique des zones rocheuses, agitées et bien aérées, et le gastéropode *Hydrobia ventrosa* qui supporte de grands écarts de salinité (entre 6 et 30 pour mille) est aussi bien indicateur de perturbation haline que de pollution organique. (Dhainaut, 2000).

3.10 Les polluants :

Un polluant est un élément introduit dans un écosystème et contribuant à dégrader sa qualité, à perturber son fonctionnement ou à contraindre ses usages.

3.10.1 Les macropolluants :

Les macropolluants sont des molécules de grande taille (par rapport aux micropolluants), qui sont soit naturellement présents dans l'eau, soit apportés par l'activité humaine mais qui ne présentent pas d'inconvénient pour la vie aquatique, l'écosystème aquatique ou l'aptitude d'une eau à la fabrication d'eau potable, tant qu'elles restent à des niveaux ou des concentrations limitées. Ils doivent être contenus dans certaines limites de concentration, évaluées en milligrammes par litre (mg/l), par opposition aux micropolluants, chiffrés en microgrammes par litre (Letterman, 1999).

3.10.1.1 Les matières en suspension :

Sont des matières insolubles, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non. Leur principal effet est de troubler l'eau : c'est la turbidité. La turbidité est un élément important de la qualité de l'eau, tant pour la vie aquatique (car elle réduit la transparence, empêche la pénétration de la lumière, ce qui a pour effet de freiner la photosynthèse, élément important de la croissance des plantes) que pour la production d'eau potable (car elle réduit l'efficacité des traitements de potabilisation de l'eau). Les MES conduisent aussi à des fermentations contribuant aux carences en oxygène, et ont des effets mécaniques sur les poissons par colmatage des branchies.

Dans le milieu naturel, elles proviennent des effets de l'érosion et des débris d'origine organique. Les eaux résiduaires urbaines et industrielles contribuent également à l'élévation des matières en suspension, notamment les rejets en provenance des industries agroalimentaires et de la chimie.

3.10.1.2 Les matières organiques :

Un composé organique est caractéristique de toute matière vivante ou issue d'une matière qui a été vivante, et/ou contient du carbone un végétal, un excrément, mais aussi des hydrocarbures et des substances issues de la chimie (pesticides, solvants) sont des matières organiques. La plupart des matières organiques ne deviennent polluantes que lorsqu'elles sont en excès dans le milieu notamment dans le milieu aquatique, on distingue, d'une part, les matières organiques biodégradables qui se décomposent dans le milieu naturel. C'est le cas des polluants d'origine humaine les plus classiques (excréments humains ou animaux, résidus des activités agricoles...) qui peuvent générer divers problèmes (odeurs, consommation d'oxygène) et surtout être associées à des micropolluants bactériens.

3.10.1.3 Les nutriments :

Les nutriments sont des matières nutritives. Il s'agit principalement de l'azote et du phosphore. L'azote et le phosphore sont ce qu'on appelle en agronomie deux facteurs limitants : la capacité de développement des plantes (terrestres et aquatiques) dépend de la quantité d'azote et de phosphore qu'elles vont absorber. S'il y a beaucoup d'azote et peu de phosphore, le phosphore sera limitant, empêchera le développement des plantes. A l'inverse, s'il y a beaucoup de phosphore et peu d'azote, l'azote sera limitant. Quand il y a les deux, les plantes se développent. L'azote et le phosphore sont à la base des engrais agricoles.

3.10.1.4 L'azote :

A la faculté de changer très facilement de forme chimique, en s'associant à des molécules d'oxygène ou d'hydrogène. L'azote et l'hydrogène forment l'ammoniac (NH_4^+ : un atome d'azote, 4 atomes d'hydrogène, le terme « + » signifiant que la molécule ainsi constituée est chargée positivement). L'azote, en consommant de l'oxygène, forme des nitrites (NO_2^-) ou des nitrates (NO_3^-).

Ces éléments contribuent à des situations d'anoxie des milieux aquatiques et peuvent favoriser une eutrophisation des écosystèmes.

L'agriculture et la chimie industrielle apportent les plus grosses contributions à ce type de pollution.

3.10.1.5 L'excès de phosphore :

Comme l'azote, entraîne une prolifération d'algues grandes consommatrices d'oxygène, ce qui peut conduire à asphyxier les milieux aquatiques (eutrophisation). Le phosphore a pour principale origine l'agriculture et les rejets domestiques. Mais l'industrie en rejette également du fait de la présence de phosphore dans certains réactifs de laboratoire et dans les eaux de rinçage après utilisation d'une lessive.

3.10.2 Les micropolluants :

Le terme micropolluants désigne un composé minéral ou organique dont les effets sont toxiques à très faible concentration. Ces micropolluants contaminent les cours d'eau soit par apport direct, par ruissellement, par érosion, soit indirectement par la pluie. On distingue aussi des apports ponctuels avec des sources clairement identifiées (rejets industriels, pollution accidentelle, rejets des eaux usées domestiques) et des sources diffuses, liées aux activités agricoles ou aux pluies (les pesticides, épandus sur de très larges surfaces, sont être transportés dans l'atmosphère et retombent avec les pluies). On distingue quatre types de micropolluants :

3.10.2.1 Les métaux :

Sont naturellement présents dans les roches et les sols. La présence de gisements métallifères (Massif central, Alsace) contribue à la contamination métallique des eaux. Néanmoins, l'essentiel provient des apports d'origine industrielle, qu'il s'agisse des exploitations minières, des activités industrielles anciennes, ou des activités actuelles. Les éléments métalliques surveillés sont le fer, le chrome, le zinc, le nickel, qui sont utiles au monde vivant en très faible quantité, et les métaux lourds, dont on ne connaît aucune utilité pour l'homme, et qui ont la propriété de s'accumuler dans la chaîne alimentaire : mercure, cadmium, plomb, arsenic, etc.

3.10.2.2 Les autres micropolluants organiques :

Ce sont surtout des substances chimiques. On distingue principalement les hydrocarbures et les solvants. Les hydrocarbures, peu biodégradables, s'accumulent et enrobent les plantes, les berges, stoppant leurs échanges vitaux et interdisant le développement de la faune et la flore. Lorsqu'ils forment un film de surface, ils s'opposent à l'oxygénation naturelle de l'eau. Les principaux hydrocarbures sont les HAP (hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).

Paramètres mesurés	Symboles	Impacts	Principaux secteurs d'activité concernés
Mécaniques			
Matières en suspension	MES	- réduction de l'activité photosynthétique - colmatage des lits de rivières et frayères - colmatage des branchies des poissons	Agro-alimentaire, bois/papier, textile, industries extractives
Température	°C	- risque de prolifération d'amibes	Activités nucléaires, agro-alimentaire, textile
Organique			
Oxygène dissous	O ₂	- réduction de l'activité photosynthétique	Agro-alimentaire, bois/papier, textile, chimie, traitement de surfaces
Demande biochimique en oxygène,	DBO ₅	- consommation d'oxygène dissous au	
Demande chimique en oxygène,	DCO	détriment de la faune ou de la flore	
Matières oxydables	MO		
Azote			
Azote organique	N org	- perturbation de la production d'eau potable	Agro-alimentaire, chimie
Ammoniaque	NH ₄ ⁻	- toxiques pour les poissons	
Nitrites	NO ₂ ⁻	- eutrophisation des écosystèmes aquatiques	
Nitrates	NO ₃ ⁻		
Phosphore			
Phosphore total	P	- augmentation des risques d'eutrophisation	Traitement de surfaces, industrie des détergents, textile
Phosphates	PO ₄ ⁻	(asphyxie de la rivière par prolifération d'algues)	
Toxiques			
Cyanures,	CN ⁻	- inhibiteurs de la vie aquatique	Traitement de surfaces
Métaux lourds (cadmium, mercure, chrome, plomb,...),	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn (Métox)	- compromettent la fabrication d'eau potable si les normes sont dépassées	
Solvants et divers : phénols, fluor, solvants chlorés	Cl ⁻ , F	- risque de toxicité immédiate et/ou detoxicité différée par accumulation dans les chaînes alimentaires	Traitement de surfaces, industrie des métaux
Micro-polluants			
Micro-polluants organiques : organo-halogénés (chloroforme) et pesticides (atrazine,...)	AOX	- risques d'effets mutagènes et cancérogènes	Verrerie, industrie des métaux

Fig. 4 : Pollution affecter les milieux aquatiques (Lebourg, 1996).

3.10.3 Les difficultés d'estimer l'état de pollution d'un cours d'eau :

Déterminer l'état de pollution d'un cours d'eau et son évolution est difficile :

La qualité de l'eau d'une rivière est variable dans le temps. Par exemple, à l'échelle d'une journée, des phénomènes naturels comme la photosynthèse influent sur la teneur en oxygène dissous ; par ailleurs, les rejets varient de façon aléatoire ou cyclique (selon les rythmes des activités humaines). Le débit du cours d'eau peut être très variable et avoir une influence sur la qualité. La qualité de l'eau est également variable dans l'espace, en toute rigueur on ne peut formuler une appréciation qu'aux points où cette qualité est mesurée. Les représentations linéaires ne sont possibles que par extrapolation.

La pollution est multiforme : une bonne connaissance de la qualité de l'eau nécessite la détermination d'un grand nombre d'éléments. Pour des raisons de coûts, les fréquences de 6 à 12 mesures par an se limitent aux paramètres fondamentaux (Lebourg, 1996).

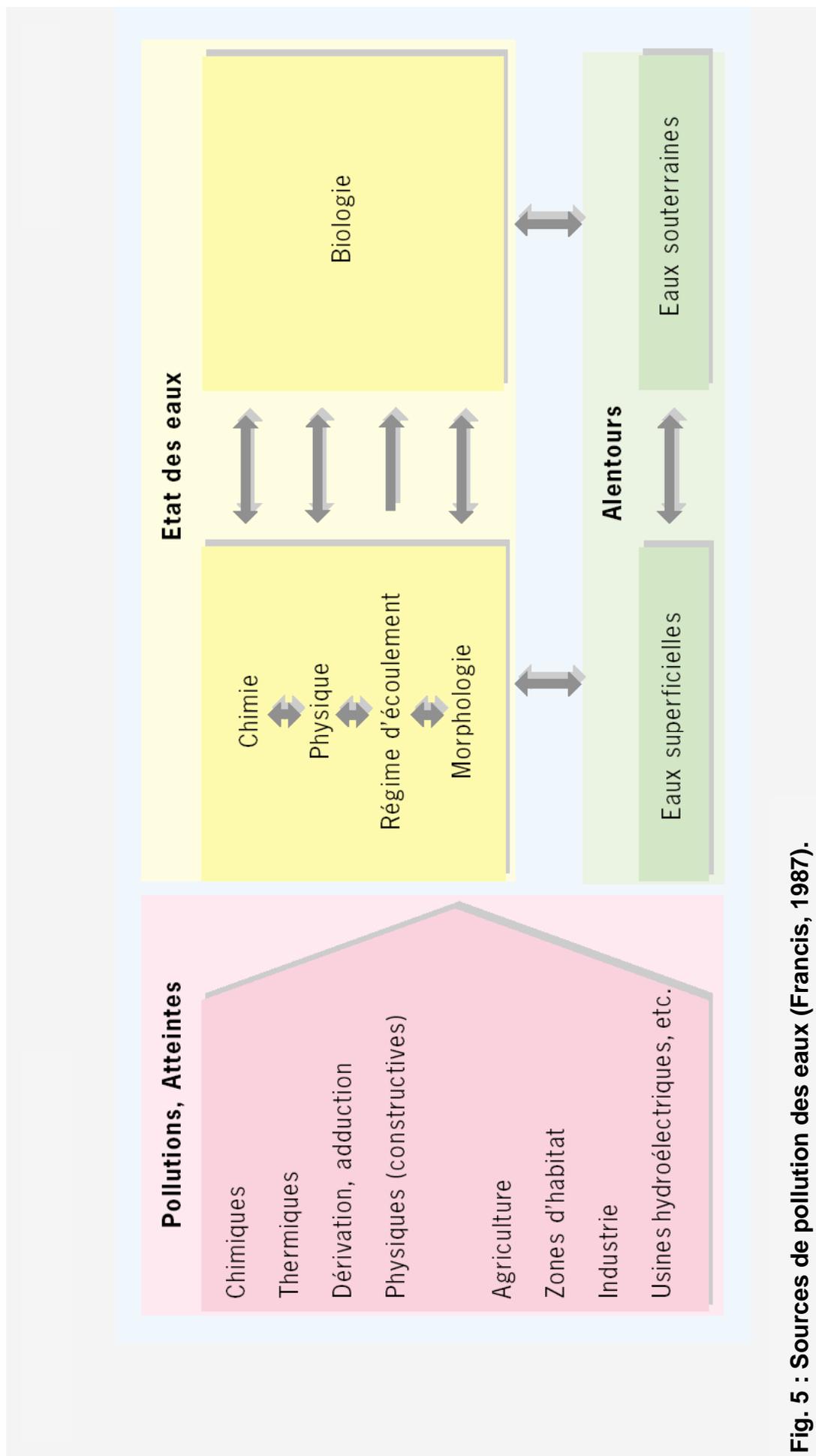


Fig. 5 : Sources de pollution des eaux (Francis, 1987).

3.10.4 La pollution de l'eau d'origine naturelle :

On entend par pollution d'origine naturelle toute pollution modifiant de manière indésirable, les différentes propriétés de l'eau, ceci de façon naturelle et non pas humaine. On divise les polluants en quatre catégories : agents physiques, agents chimiques organiques, agents chimiques inorganiques et agents biologiques.

3.10.4.1 Agents physiques :

Comprend les matières inertes insolubles de toutes dimensions pouvant rester en suspension dans l'eau. Elles sont sans activité chimique ou biologique. Que ce soit du sable, du limon ou de l'argile, ces matières est en grande partie le fait de l'érosion. La pluie, la neige, la glace amène une désagrégation des roches compactes, des dépôts meubles ou des sols. L'eau devient alors un véhicule privilégié pour ces substances. De toute évidence, le déboisement accélère ce processus et contribue à réduire la limpidité de l'eau. De plus, une partie de cette matière se dépose sur le fond des cours d'eau et forme une couche inerte qui nuit à l'activité biologique naturelle.

3.10.4.2 Agents chimiques organiques :

Le ruissellement dans les zones végétales entraîne toutes sortes de matières organiques dans les cours d'eau et dans les lacs. Par exemple, les substances humiques peuvent se retrouver en grande partie dans certaines eaux. Provenant de la dégradation des matières végétales, elles confèrent une coloration plus ou moins forte à l'eau et la rendent esthétiquement rebutante au consommateur. C'est souvent le cas des cours d'eau cheminant au travers des boisés, où tombent des parcelles de bois, d'écorce, ou des feuilles. Cette pollution organique colorante engendre souvent l'apparition de macromolécules acides comme l'acide humique ou fulvique, ce qui fait diminuer dangereusement, le pH c'est alors un cas bien réel de modification chimique due à des agents organiques d'origine naturelle.

3.10.4.3 Agents chimiques inorganiques :

Les polluants chimiques inorganiques apparaissent dans les eaux superficielles le sol et les formations géologiques sont lessivées par les précipitations. Ce lessivage provoque une solubilisation des sels constituants de la lithosphère et la présence d'ions plus ou moins toxiques dans les eaux de drainage. La nature géologique du terrain conditionne les types d'ions qui s'y trouvent. La quantité et la qualité de la précipitation déterminent l'intensité du phénomène. Le facteur humain agira ici comme catalyseur important.

3.10.4.4 Agents biologiques :

Les cours d'eau contiennent une multitude d'organismes de toutes tailles formant des chaînes alimentaires spécifiques. L'apport naturel d'éléments organiques ou inorganiques peut modifier ces équilibres de façon temporaire ou permanente en favorisant ou en inhibant la croissance de certains organismes. De plus, des organismes étrangers peuvent être injectés dans le milieu aquatique. Il s'agit de voir si ceux-ci nuisent aux êtres humains.

3.10.5 Les pollutions agricoles :

L'aggravation constante de la pollution agricole due à l'utilisation d'engrais et de produits de traitements des végétaux rend l'eau impropre à la consommation dans de nombreuses régions. Les causes des différentes formes de pollution agricole. Les engrais, les produits phytosanitaires, herbicides et pesticides, les déjections animales qui accompagnent les élevages intensifs, les accumulations de métaux (Cu, Zn) provenant des compléments alimentaires des animaux d'élevage et des résidus d'antibiotiques utilisés contre les infections animales ou pour favoriser leur croissance (Francis, 1987).

3.10.6 L'eutrophisation est une forme de pollution :

L'eutrophisation est le phénomène de vieillissement naturel des lacs, en d'autres mots, leur l'enrichissement, soit naturel ou artificiel, en éléments nutritifs. L'eutrophisation se produit naturellement avec l'apport graduel d'éléments nutritifs et de sédiments par l'érosion et les précipitations, ce qui entraîne le vieillissement progressif du lac. L'être humain accélère ce phénomène en rejetant des éléments nutritifs, notamment le phosphore, dans les cours d'eau et les lacs dans leurs effluents municipaux et industriels et en utilisant mal les terres, causant ainsi une érosion accrue du sol. Éventuellement, le lac présentera des concentrations élevées d'éléments nutritifs et une croissance dense d'algues et de plantes aquatiques. Celles-ci meurent et se décomposent en entraînant une réduction de l'oxygène dissous dans l'eau. Ce processus est souvent responsable de la mortalité massive de poissons et des changements d'espèces de poissons vivant dans le lac. L'eutrophisation finit par remplir le lac de sédiments et de matières végétales (Carel, 1994).

4. Matériel et méthodes d'analyses :

Notre travail d'analyse de l'eau s'est déroulé au sein du Laboratoire de Recherche des Zones Humides avec une grande partie (LRZH), Laboratoire de Traitement des Eaux et des Déchets Industriel et Laboratoire de Chimie bioorganique.

Pour aboutir au travail qui fait l'objet de ce mémoire on a fait des sorties hebdomadaires durant une compagnie de trois mois (08/04/2004 jusqu'à 13/06/2004), pour analyse physico-chimique

4.1 Les mesures effectuées sur terrains (in situ) :

Matériel :

- ✓ Une époussette pour la collecte des gastéropodes.
- ✓ Des bouteilles en plastique (PET), avec une étiquette (date de sortie).
- ✓ Agent conservateur formole 5%, pour conserver les échantillons (gastéropodes).
- ✓ Un multiparamètre qui mesure la conductivité, le TDS et la température.
- ✓ Un turbidimètre.

4.1.1 Mesure de la conductivité, TDS (taux de salinité) et température :

Avant d'effectuer la mesure de la conductivité, nous avons rincé plusieurs fois l'électrode avec de l'eau de l'échantillon puis nous l'avons plongé dans l'échantillon.

Nous avons effectué le dosage directement en plongeant l'électrode dans l'eau à analyser. Là encore, nous avons suivi la notice d'utilisation de l'appareil utilisé.

La conductivité électrique d'une eau correspond à la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. L'unité de conductivité est le micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La conductivité traduit la minéralisation totale de l'eau. Sa valeur varie en fonction de la température. Elle est donnée à 20 °C. Sa mesure permet de déceler immédiatement une variation de la composition de l'eau.

La conductivité est généralement mesurée en micro-Siemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$), approximativement la valeur en $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspond à la salinité en mg/l.

On utilise également la résistivité, inverse de la conductivité, mesurée en ohms.cm : Résistivité (ohms.cm) = 1 000.000 / conductivité (en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Niveau guide de la conductivité à 20°C d'une eau destinée à la consommation humaine : 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Brault, 1989).

4.1.2 Mesure de la turbidité :

Tube de verre incolore de 600 mm de long et d'un diamètre intérieur de 25 mm, fermé à sa partie inférieure par un bouchant la partie intérieur, peinte en blanc, comporte une croix noire. Nous avons versé de l'eau dans le tube jusqu'à ce que la croix ne se soit plus visible à travers l'épaisseur de l'eau et noté la hauteur d'eau (Brault, 1989).

4.2 Au laboratoire :

4.2.1 Mesure de pH :

Nous avons utilisé un pH mètre, en introduisant une sonde dans l'échantillon, et nous avons maintenu jusqu'à la stabilisation de la valeur sur l'écran du mètre. Nous avons effectué un nombre de mesures suffisant pour être assuré de la constante de la valeur obtenue.

4.3 Méthodes spectrophotométriques :

Cette méthode repose sur l'absorption moléculaire, quand un faisceau lumineux traverse une solution colorée, une fraction de la lumière incidente est absorbée, cette absorption dépend de la concentration du composé coloré.

Elle est basée sur la loi de Lambert-Beer: $\log I_0/I = \epsilon lc$

I_0 : intensité de du faisceau lumineux monochromatique.

I : intensité de du faisceau lumineux émergent.

l : épaisseur de la solution (cm).

ϵ : coefficient d'extinction moléculaire, sa valeur est fonction de la température, de la nature de colorant, de la longueur d'onde, de la lumière incidente.

$\text{Log } I_0/I$: densité optique.

Notre s'effectuent à l'aide de Photomètre de type Palintest 5000 avec une gamme de longueurs d'onde de 540 -720 nm.

Les avantages de cet appareil sont : sans préparations des étalons pour faire des courbes d'étalonnage, les pastilles de réactifs qui facilite la préparation et la précision de poids, avec la lecture direct de la concentration sur écran, plus la rapidité et l'efficacité.

Donc chaque paramètre avec une pastille ou réactif spécifique et aussi longueur d'onde bien choisi.

Les paramètres concernés sont TH, Mg^{++} , Ca^{++} , SO_4^{++} , K^+ , TAC, NO_2^- , NO_3^- , PO_4^- et Cl^- .

4.4 Mode de prélèvement :

4.4.1 Introduction :

Un des aspects les plus importants du processus lié à l'évaluation de la qualité de l'eau est la collaboration entre les utilisateurs des données, les préleveurs et le personnel chargé des analyses en laboratoire. Dans cette optique, ce fascicule présente les différents modes de prélèvement et de conservation des échantillons requis pour l'analyse des paramètres prévus au Règlement sur la qualité de l'eau potable (Rodier, 1996).

4.4.2 Echantillonnage :

L'étape d'échantillonnage influence directement la qualité des résultats analytiques obtenus. Des précautions élémentaires sont décrites (voir annexe 1), afin de minimiser les risques associés à la contamination et de permettre le maintien de l'intégrité des échantillons. En effet les échantillons peuvent être contaminés par un manque de soin dans l'application des techniques d'échantillonnage. Il est de la responsabilité du préleveur ou du responsable d'un système de distribution de s'assurer de la qualité du prélèvement, de la conservation et du transport adéquat des échantillons à soumettre au laboratoire accrédité. En plus de ces précautions générales, il est à noter que tous les échantillons destinés aux analyses microbiologiques doivent toujours être prélevés dans des contenants stériles fournis par le laboratoire accrédité, en laissant un espace d'air d'au moins 2,5 cm entre la surface du liquide et le bouchon, ce qui facilite l'homogénéisation de l'échantillon au moment de son analyse au laboratoire. De plus, toutes les conditions d'asepsie nécessaires doivent être respectées lors de la prise de l'échantillon.

4.4.3 Mode de conservation :

Les modes de conservation des différents paramètres analytiques prévus par différentes normes internationales (ISO, AFNOR...) ont été suivis. Ces modes de conservation sont intimement liés aux méthodes analytiques utilisées. En effet, la sensibilité et les limites de quantification souhaitées peuvent servir à définir le volume et le type d'échantillon à prélever. De plus, les méthodes d'analyse peuvent aussi influencer sur le choix des contenants et sur les techniques de conservation des échantillons.

Certaines précautions d'usage sont nécessaires (Annexe 1) (Rodier, 1996).

Tab. 2 : Mode de conservation des échantillons (Brault, 1989)

Détermination	Flaconnage	Conditions de conservation conseillées	Temps maximaux de non évolution
pH	250 ml pyrex	Analyse sur place de préférence	24 heures
TH, TAC, Cl, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , SO ₄ ²⁻ couleur, MES, résidu sec	2 l plastique ou pyrex	Réfrigération à 4 °C	48 heures
Oxygène dissous	125 ml pyrex	1 ml solution A (MnSO ₄) 1 ml solution B (KI) Réfrigération à 4 °C	12 semaines
Détergents, PO ₄ ³⁻	250 ml	1 ml 112 S0 ₄ ²⁻ Réfrigération 4 °C et obscurité	4 semaines

4.5 Analyse des données :

Utilisation des systèmes informatiques pour la représentation graphique :

Les performances graphiques de petits systèmes informatiques permettent de réaliser automatiquement de nombreuses représentations graphiques de résultats d'analyses, soit à partir des résultats bruts, soit après traitement statistique. Les représentations graphiques favorisent la compréhension rapide d'un ensemble de données soit par la comparaison de deux ou plusieurs eaux de nature différente, soit comparaison avec des normes ou des limites de tolérance pour plusieurs éléments et composés différents.

4.6 Présentation des résultats :

Pour la représentation des résultats, il convient essentiellement d'être claire et compréhensible, mais il peut être aussi utile d'attirer l'attention sur certains points de l'analyse et des méthodes d'analyses et des méthodes de mesures, ainsi que, dans certains cas, de conduire à une interprétation. Par ailleurs, il est indispensable de consigner des renseignements qui pourront être très utiles pour constitution d'un dossier sur l'eau.

Dans notre travail nous avons utilisé ADE-4 PCA (ACP) pour une analyse statistique.

4.7 Méthode d'analyse multi-variée à un tableau :

L'analyse en Composantes Principales (ACP) sur les profils lignes est l'analyse d'un schéma de dualité avec le jeu de paramètres :

1-Transformation initiale : passage en pourcentage par ligne (n'a de sens que pour des données positives ou nulles dont la division par la somme des éléments d'une ligne est possible), suivi d'un centrage par colonne ;

2-Pondération des lignes (3 options) : pondération uniforme (1/nombre de lignes, utilisée par défaut), pondération unitaire (1), pondération à lire dans un fichier à une colonne ;

3-Pondération des colonnes (3 options) : pondération uniforme (1/nombre de colonnes), pondération unitaire (1, utilisée par défaut), pondération à lire dans un fichier à une colonne (Thioulouse & Chessel 1997).

4.8 Le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau SEQ :

Ce concept, applicable sur tous les milieux aquatiques, comprend deux notions fondamentales :

La notion de fonction naturelle (ex. : potentialité de l'eau à permettre la vie aquatique) et d'usages anthropiques (ex. : production d'eau potable) par rapport auxquels la qualité du milieu est évaluée. Les SEQ permettent d'évaluer un niveau d'aptitude à ces usages ou fonctions en cohérence avec les normes en vigueur (Vindimian, 2000).

La notion d'altérations de la qualité. Chaque altération (ex : couleur, température, nitrates, matières organiques et oxydables...) regroupe des paramètres de même nature ou ayant des effets comparables sur le milieu aquatique ou les usages. Les altérations, permettent de connaître les causes de dégradation de la qualité. (Fig. 6). Grille SEQ-Eau en fonction de la potentialité biologique : signification des classe et paramètres composants les altérations. L'aptitude de l'eau à la biologie est évaluée, pour chaque altération, à l'aide de cinq classes d'aptitude au maximum, allant du bleu (aptitude très bonne) au rouge (très mauvaise). La classe d'aptitude est déterminée au moyen de grilles de seuils établies pour chacun des paramètres de chaque altération.

Enfin, le SEQ eau permet la retranscription de l'indice de qualité en classe d'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages (Tab. 3). On peut donc déterminer, compte tenu des altérations étudiées précédemment, si l'eau est propre à certains usages tels que :

- ✓ La biologie ;
- ✓ La consommation d'eau potable ;
- ✓ Les loisirs ;
- ✓ L'irrigation ;
- ✓ L'abreuvement (Vindimian, 2000)

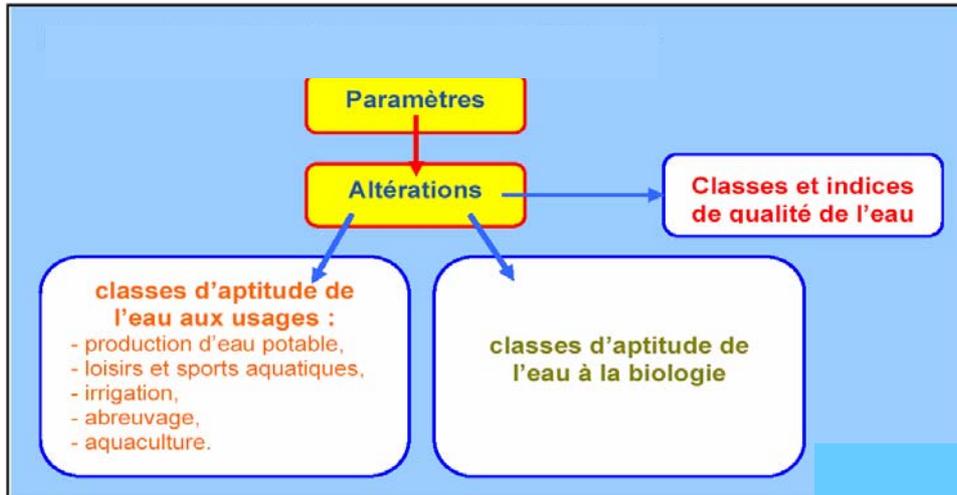


Fig. 6 : Paramètres, altérations, usages et biologie (Vindimian, 2000).

Tab. 3 : Classes d'aptitudes de l'eau (Vindimian, 2000).

	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
BIOLOGIE	Tous taxons présents	Taxons sensibles absents	Taxons absents nombreux	Diversité faible	Diversité très faible
EAU POTABLE	Acceptable	Traitement simple	Traitement classique	Traitement complexe	Inapte
LOISIRS	Optimal		Acceptable		Inapte
IRRIGATION	Plantes très sensibles Tous sols	Plantes sensibles Tous sols	Plantes tolérantes Sols alc/neut	Plantes très tolérantes Sols alc/neut	Inapte
ABREUVAGE	Tous animaux		Animaux matures		Inapte

5. Présentation des sites d'étude :

Nous avons échantillonné cinquante et un sites respectivement en Numidie, région Souk Ahras, région Khenchla et Oum El Bouaghi.

5.1 Choix et description des sites d'étude :

Nous avons sélectionné 16 Oued, 5 lacs, 21 mares, 6 Garaa, 2 Canaux, 1 Chott, sur la base de plusieurs critères :

- ✓ Les sites sélectionnés ne partagent pas les mêmes substrats ;
- ✓ La présence de poissons dans certains sites ;
- ✓ La diversité et la richesse biologique qui caractérisent ces sites ;
- ✓ Ces sites ne sont pas soumis aux mêmes conditions climatiques ;
- ✓ Un gradient de salinité ;
- ✓ Un gradient de l'hydropériode.

5.2 Situation géographique :

5.2.1 Présentation de la Numidie orientale (région d'El Kala) :

La région d'Annaba et celle d'El-Kala, forment le complexe humide de la Numidie Orientale qui englobe une grande superficie de zones humides. Celles-ci sont limitées au nord par la méditerranée, au sud par les collines de l'Atlas tellien, coïncidant à l'est avec la frontière algéro-tunisienne. La limite occidentale de cet ensemble est marquée par l'oued Seybouse.

La Numidie recèle une grande variété de milieux aquatiques et terrestres (Samraoui & de Bélair, 1998). Cette richesse se traduit par une grande diversité floristique et faunistique. Une autre particularité des zones humides est la présence d'espèces d'origines biogéographiques différentes (Samraoui & Menaï, 1999).

5.2.2 Présentation de la Numidie occidentale (région de Guerbès-Senhadja) :

L'ensemble des zones humides de Guerbès-Senhadja, s'étend entre les latitude 36° 45' 37 02' N et longitude 7° 30' 7 46' E. Ce complexe se situe dans la partie Nord orientale de l'Algérie, à l'Ouest du massif de l'Edough symétriquement opposé aux zones humides d'El-Kala. Au Sud-Ouest on aperçoit Dj Safia, au Sud-Est est localisé le bassin versant du lac Fetzara, à l'Est se trouve Dj El-Fedj et au Nord on rencontre la mer Méditerranée (Samraoui & de Bélair, 1997).

El Guelb : Une dépression marécageuse dominée par *Scirpus lacustris* située à l'intérieur de la vallée de l'Oued Esseghir. C'est un autre site de reproduction pour plusieurs espèces d'oiseaux aquatiques (Samraoui & de Bélair, 1997).

Garaet Hadj Tahar (36° 51' 774 N, 7° 15' 957 E ; superficie environ 75 ha) : Ce marais est enfermé au nord-ouest par les collines d'argile et de grès qui se lèvent graduellement à 200 m, à l'est par des dunes au sud-est par la plaine alluviale de O. Kébir. La dépression occupée par le marais est orientée du nord ouest au sud est. Sa plus grande partie est couverte par l'eau pendant la période pluvieuse. Elle peut rester ainsi tout au long de l'année pendant les années humides, malgré l'évaporation d'été et le pompage local intensif. Les éboulements colluviaux remplissent graduellement ce marais, dont la profondeur n'excède pas 2 m que nous avons note 89 espèces de plantes sont stratifiées dans quatre ceintures autour de l'eau libre et un réduit aulnaie (Samraoui & de Bélair, 1997).

Garaet Chichaya (36° 53' 791 N, 7° 18' 230 E ; superficie environ 50 ha) : Orienté nord ouest sud est, ce marais s'étend vers le bas pour adoucir la pente vers le sud est, dans le nord ouest, il est alimenté par les eaux souterraines dunaires, et se situe dans la dépression dunaire ouverte vers le sud est près de la plaine alluviale de l'Oued El-Kébir. Il y a une continuité avec Garaet Sidi Makhoulf. Le substratum est constitué dans le nord ouest, par le sable dunaire, mélangé avec de la tourbe. Ce sol est remplacé dans le sud est par l'argile limoneuse de la plaine. Le nord ouest est entièrement occupé par une aulnaie, plus ou moins incorporée dans la dune. L'aulnaie est constituée d'espèces habituelles dans ce type de formations. Au sud est, le marais suit sur une pente douce, vers le haut, l'eau libre temporaire ou pas selon les précipitations annuelles et la pression du pompage de l'eau (Samraoui & de Blair, 1997).

Garaet Sidi Makhoulf (36° 53' 094 N, 7° 18' 248 E ; superficie environ 50 ha) : La situation géomorphologique et le substratum de ce site sont identiques à ceux de G. Chichaya (Samraoui & de Bélair, 1997).

Canal Sidi Makhoulf (36° 53' 295 N, 7° 18' 478 E) : Un canal creusé, dominé par *Glyceria fluitans* et *Rorripia amphibia*... Il héberge le rare *Chirocephalus diaphanus* (Samraoui, Dumont, 2002).

Tab. 4 : Résumé de la présentation des sites d'étude (Chaib, 2002).

Sites	Latitude N	Longitude E	Altitude m	Superficie ha	Nature de Substrat
Afluent Meboudja	36° 49,811	007° 44,367	4	-	Argile Limoneuse
Lac Tonga Nord	36° 53,130	008° 31,431	9	-	Limon argilo sablonneux
Lac Oubeira	36° 50,315	008° 22,546	37	-	Limon argilo sablonneux
O. Mellah	36° 52,322	008° 18,612	-	-	Sables
M. Fedjoudj	36° 51,652	008° 15,065	102	6.5	Limon argilo sablonneux
G. Estah	36° 50,858	007° 58,951	2	4 ha	Sables
Tazouguert			-	-	-
Timerguenine			-	-	-
M. Souk Ahras	36° 16	007° 57	-	-	Argile Limoneuse
M. Sidi Achour	36° 52,727	007° 43,423	-	-	Argile Limoneuse
M. Boussedra	36° 51,224	007° 43,690	-	-	Argile Limoneuse
Canal Fetzara	36° 47,463	007° 34,948	-	-	Argile Limoneuse
Bordj du Cantonier	36° 52,387	007° 22,832	-	-	Argile Limoneuse
O. Kebir E	36° 51,935	007° 17,922	-	-	Argile Limoneuse
G. Sidi Makhoulf	36° 53,362	007° 18,396	10	-	Sables
C. Sidi Makhoulf	36° 53,465	007° 18,465	10	-	Sables
Elguelb	36° 53,422	007° 18,517	10	-	Limon argilo sablonneux
G. Chichaya	36° 54,104	007° 18,245	-	-	Limon argilo sablonneux
G. Hadj Tahar	36° 51,920	007° 16,269	-	-	Limon argilo sablonneux
M. des Oliviers	36° 51,731	007° 16,361	-	-	Limon argilo sablonneux
O. Bounamoussa	36° 45,677	007° 55,384	11	-	Argile Limoneuse
Mekhada	36° 44,715	008° 03,463	2	-	Argile Limoneuse
Lac des Oiseaux	36° 46,916	008° 07,547	4	-	Argile Limoneuse
O. Boulathane	36° 47,284	008° 09,111	10	-	Argile Limoneuse
O. Om Essaad	36° 47,413	008° 12,328	19	-	Argile Limoneuse
O. Dardane	36° 46,895	008° 13,277	21	-	Argile Limoneuse
O. Guergoure	36° 46,584	008° 17,264	34	-	Argile Limoneuse
O. Kebir O	36° 46,284	008° 21,911	37	-	Argile Limoneuse
O. Bouhchicha	36° 49,045	008° 24,270	35	-	Limon argilo sablonneux
O. Dare Elgraa	36° 51,471	008° 26,104	36	-	Limon argilo sablonneux
O. Bouarroug	36° 51,996	008° 20,147	15	-	Argile Limoneuse

M. Mafragh	36° 50,815	007° 57,270	1	-	Sables
O. Boukhmira	36° 50,970	007° 49,148	2	-	Limon argilo sablonneux
G. Bou Redim	36° 48,094	008° 15,235	-	-	Limon argilo sablonneux
O. Bou Redim	36° 49,141	008° 16,016	-	-	Sables
M. Sidi M'barek	36° 50,212	007° 56,133	-	-	Sables
M. Sangliers	36° 50,248	007° 56,754	2	7	Sables
O. Mafragh	36° 50,653	007° 56,980	7	-	Sables
Garaet	36° 50,813	007° 59,460	15	-	Sables
G. Elouaz	36° 50,958	008° 03,958	28	-	Sables
M. Berrihane Sud	36° 50,325	008° 06,777	19	6	Sables
M. Berrihane Ecole	36° 50,499	008° 08,089	13	3.5	Limon argilo sablonneux
La Saulaie Ferha	36° 50,961	008° 10,760	23	-	Limon argilo sablonneux
Lac Okréra	36° 51,013	008° 10,796	32	-	Sables
Lac Bleu	36° 54,701	008° 20,002	8	-	Sables
M.L.B	36° 54,701	008° 20,291	9	8	Sables
M. Gauthier 2	36° 50,243	008° 26,611	35	-	Limon
M. Gauthier 4	36° 50,298	008° 26,582	35	-	Limon
M. Gauthier 3	36° 50,205	008° 26,511	35	-	Limon
M. Gauthier 1	36° 50,220	008° 26,570	35	10	Limon
O. Bouhlalla	36° 49,486	007° 55,425	6	-	Argile Limoneuse

5.3 Menaces et dégradation :

Dans la région ces menaces sont multiples (Samraoui et de Bélair, 1998) :

- ✓ Pompages et forages sur les sources d'alimentation hydrique (nappes oueds, etc.)
par
l'E.P.E.A ;
- ✓ Décharges publiques (c'est le cas sur tout le pourtour de la Mekada) ;
- ✓ Carrières et sablières, entraînant suivant les cas une reprise par l'érosion éolienne (sable) ou un ruissellement intense à l'origine d'un colluvionnement et d'un comblement accéléré des plaines sub-littorales, des bassins versants des lacs et des marais ;
- ✓ Absence de reforestation avec des essences appropriées sur les grands bassins versants, d'où érosion, etc. ;
- ✓ Surpâturage, aggravé par la présence de plus en plus grande d'ovins, avec son corollaire, la banalisation du tapis végétal ;
- ✓ Colonisation efficace d'espèces exotiques ;

Isolement : vulnérabilité des sites humides en raison de l'urbanisation ou des labours qui affleurent toujours, plus les sites qui ne sont plus protégés par leur écotone.

6. Résultats et discussions :

Les résultats de l'analyse de l'eau des cinquante et un sites sont représentés par des histogrammes, par analyse multivariée et par mode cartographique.

6.1 Conductivité, TDS et Chlorures :

D'après le système d'évaluation de la qualité de l'eau, nous avons les classes des normes suivantes :

- ✓ 50 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$: qualité excellente ;
- ✓ 400 à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$: bonne qualité ;
- ✓ 750 à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$: qualité médiocre mais eau utilisable ;
- ✓ 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$: minéralisation excessive.

Les chlorures sont présents en grande quantité dans l'eau de mer ($\pm 19 \text{ g/l}$). Leur concentration dans l'eau de pluie est approximativement de 3 mg/l. La teneur en chlorures d'une eau dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse. Les chlorures participent à la conductibilité électrique des cours d'eau.

D'après les classes des normes données par la grille de classe de la qualité de l'eau, nous avons dix sites hors normes (Fig. 7) tels que: Tazougert (présentant une teneur plus élevée que les neuf sites qui suivent (conductivité, TDS, Cl) (Fig. 7, 8 et 9), car il correspond à un chott), M. Sangliers, O. Bouhlalla, Canal Fetzara, Mafragh, Mekhada, O. Boukhmira, O. Mafragh, Boussedra et Sidi Achour. Il est à noter que la proximité de ces sites M. Sanglier, Bouhlalla, Mafragh, Mekhada, Boukhmira, et O. Mafragh) à la mer explique ces résultats ; pour les autres sites, le taux de salinité est très élevé (Fig. 7,8 et 9), et il peut être expliqué par d'anciennes intrusions marines.

Le Niveau guide de la concentration en chlorures des eaux destinées à la consommation humaine est de 25 mg/l. La concentration maximale admissible des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 200 mg/l.

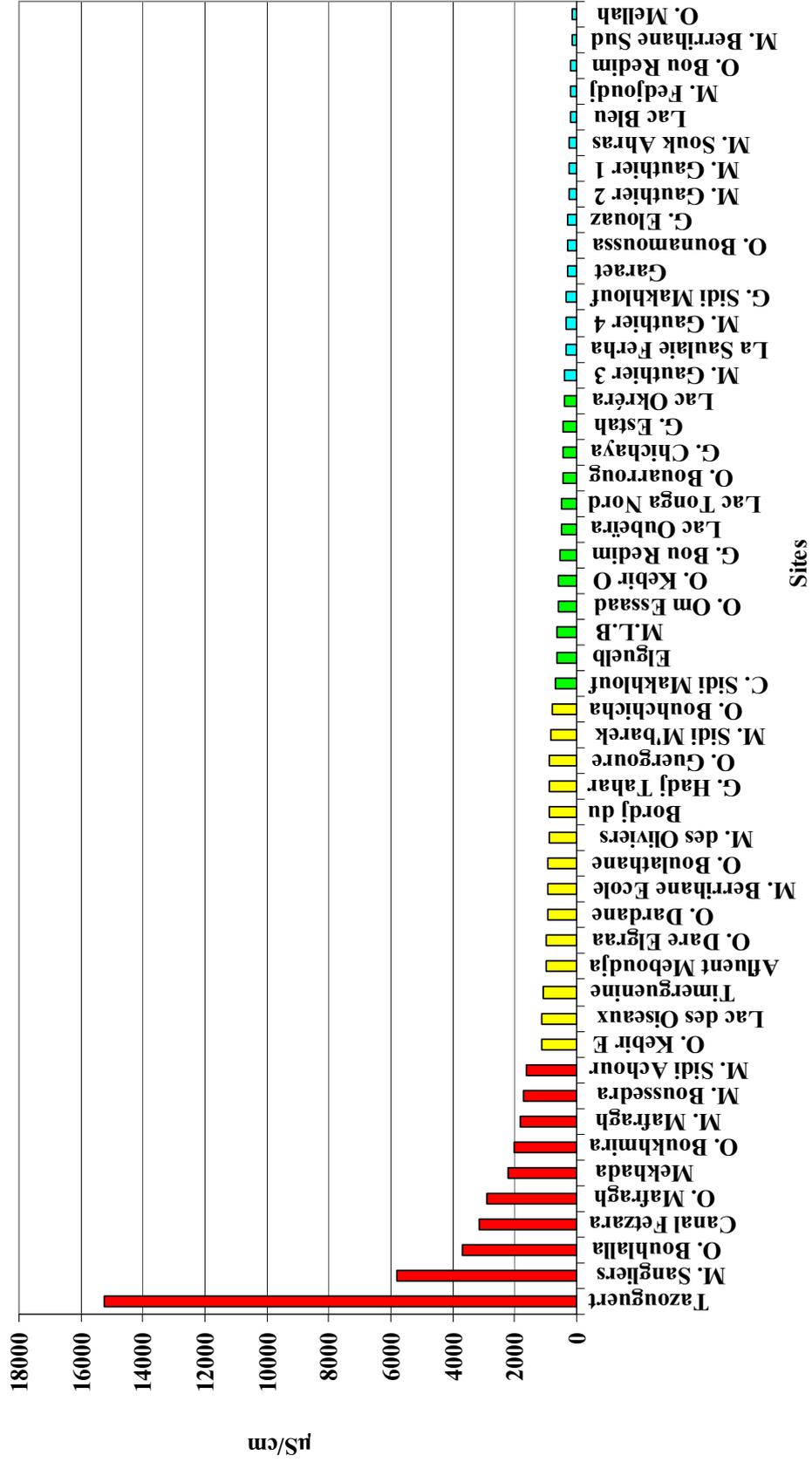


Fig. 7 : Variation de la Conductivité entre les sites étudiés

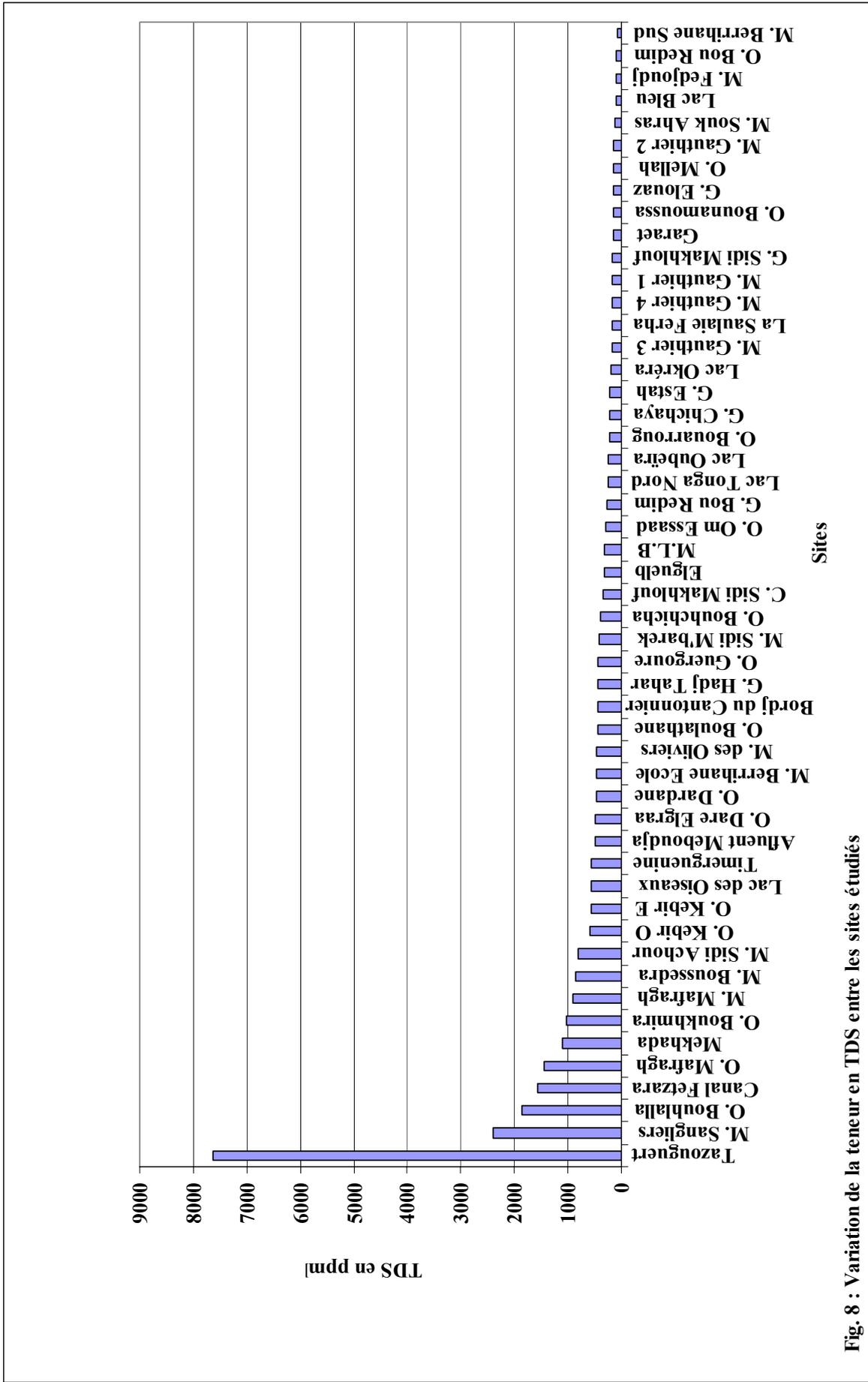


Fig. 8 : Variation de la teneur en TDS entre les sites étudiés

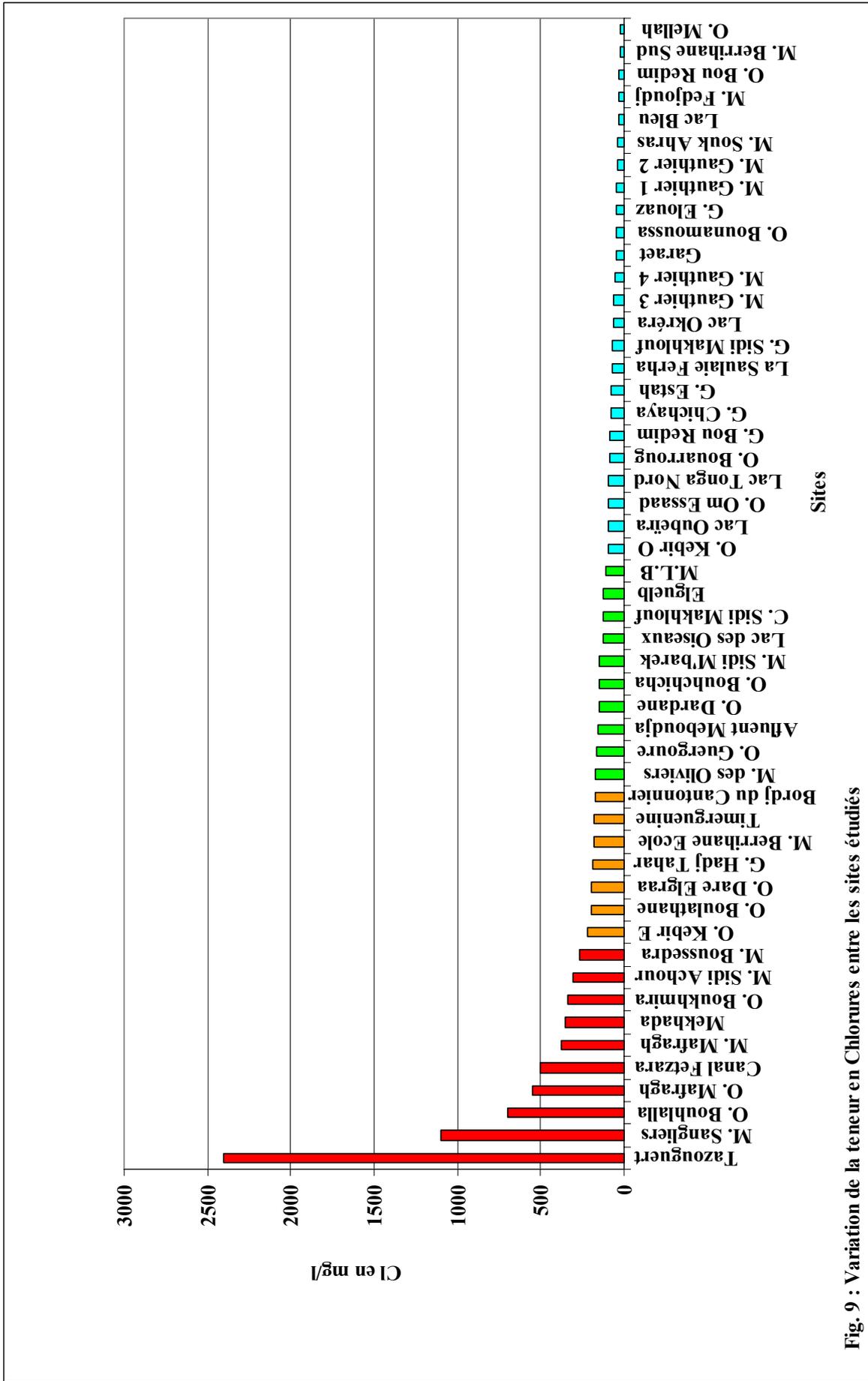


Fig. 9 : Variation de la teneur en Chlorures entre les sites étudiés

6.2 TH, Calcium et Magnésium :

L'eau est composée de nombreux éléments minéraux et organiques. Sa richesse en minéraux varie selon la composition des sols qu'elle traverse. Les terrains calcaires donneront une eau riche en calcium.

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. La dureté totale est surtout proportionnelle aux concentrations en calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les concentrations en fer, aluminium, manganèse et strontium.

Le titre hydrotimétrique s'exprime en degré français (°F). Un °F correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/l de CaCO_3 . Un °F équivaut à 4 mg de calcium par litre. Un meq de calcium correspond à 5°F.

Interprétation de la valeur du titre hydrotimétrique de l'eau :

- ✓ Valeur comprise entre 0 et 10°F : eau très douce
- ✓ Valeur comprise entre 10 et 20°F : eau douce
- ✓ Valeur comprise entre 20 et 30°F : eau moyennement dure
- ✓ Valeur comprise entre 30 et 40°F : eau dure
- ✓ Valeur supérieure à 40°F : eau très dure

Il n'existe pas de limite supérieure du titre hydrotimétrique.

La limite inférieure du titre hydrotimétrique pour les eaux destinées à la consommation humaine et n'ayant pas subies de traitement thermique est fixée à 15°F. Une eau trop douce peut présenter des inconvénients pour la santé suite à la dissolution de métaux des canalisations tels que le fer ou le plomb, qui seront alors ingérés par notre organisme. Ces eaux présentent également un risque de corrosion pour les canalisations (absence de formation de la couche carbonatée de protection).

Pour le Magnésium la concentration maximale admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 50 mg/l.

Un maximum de TH = 116 °F, THMg 20 °F, THCa 96 °F a été enregistré pour le site Tazouguert, indiquant qu'elle renferme une eau très dure. Tandis que la dureté totale pour G. Bou Redim = 1,65 °F est très faible, pour le reste, le TH varie entre 2.35-38.2 °F (TH), 1-10 °F (THMg) et 1-35 (THCa), (Fig. 10, 11 et 12).

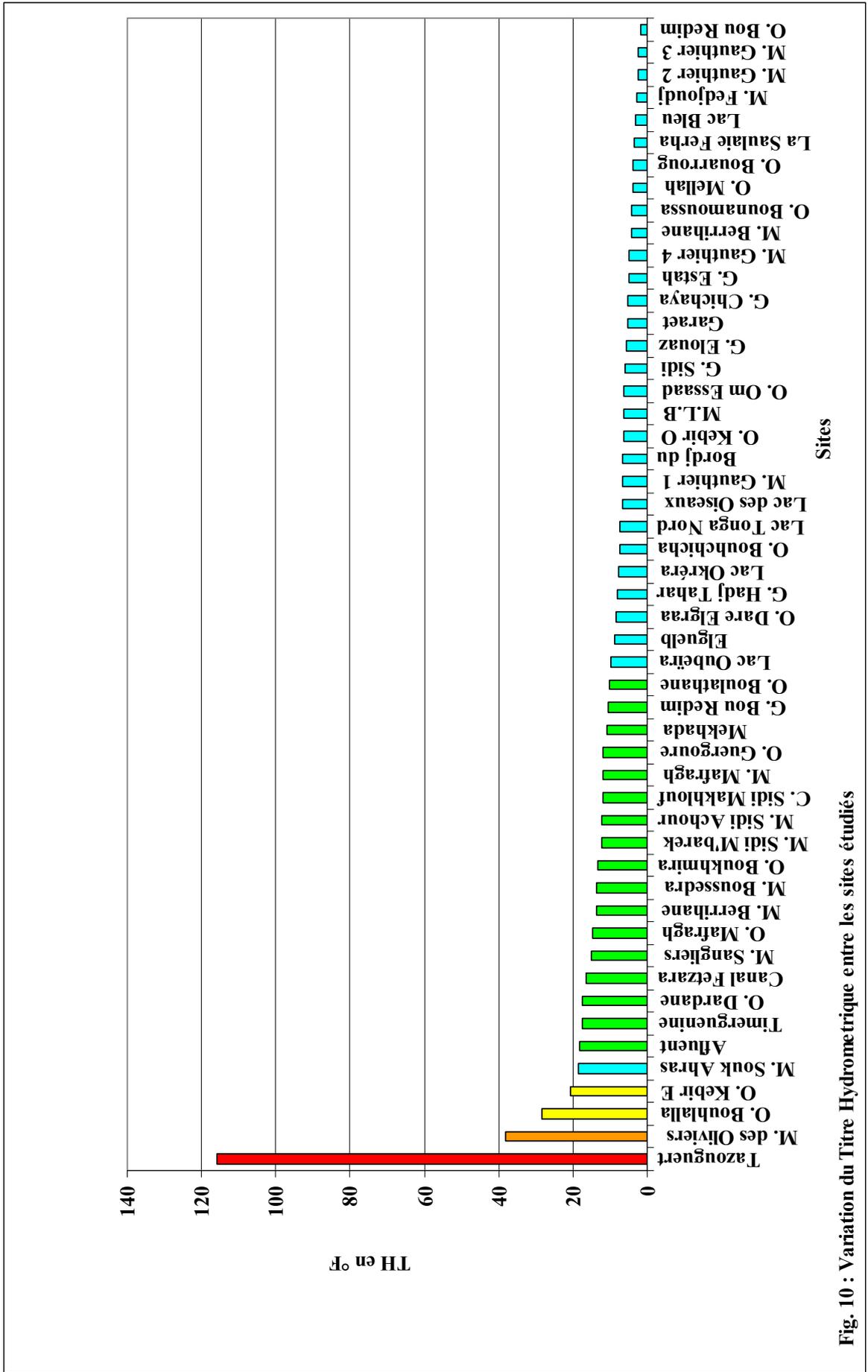
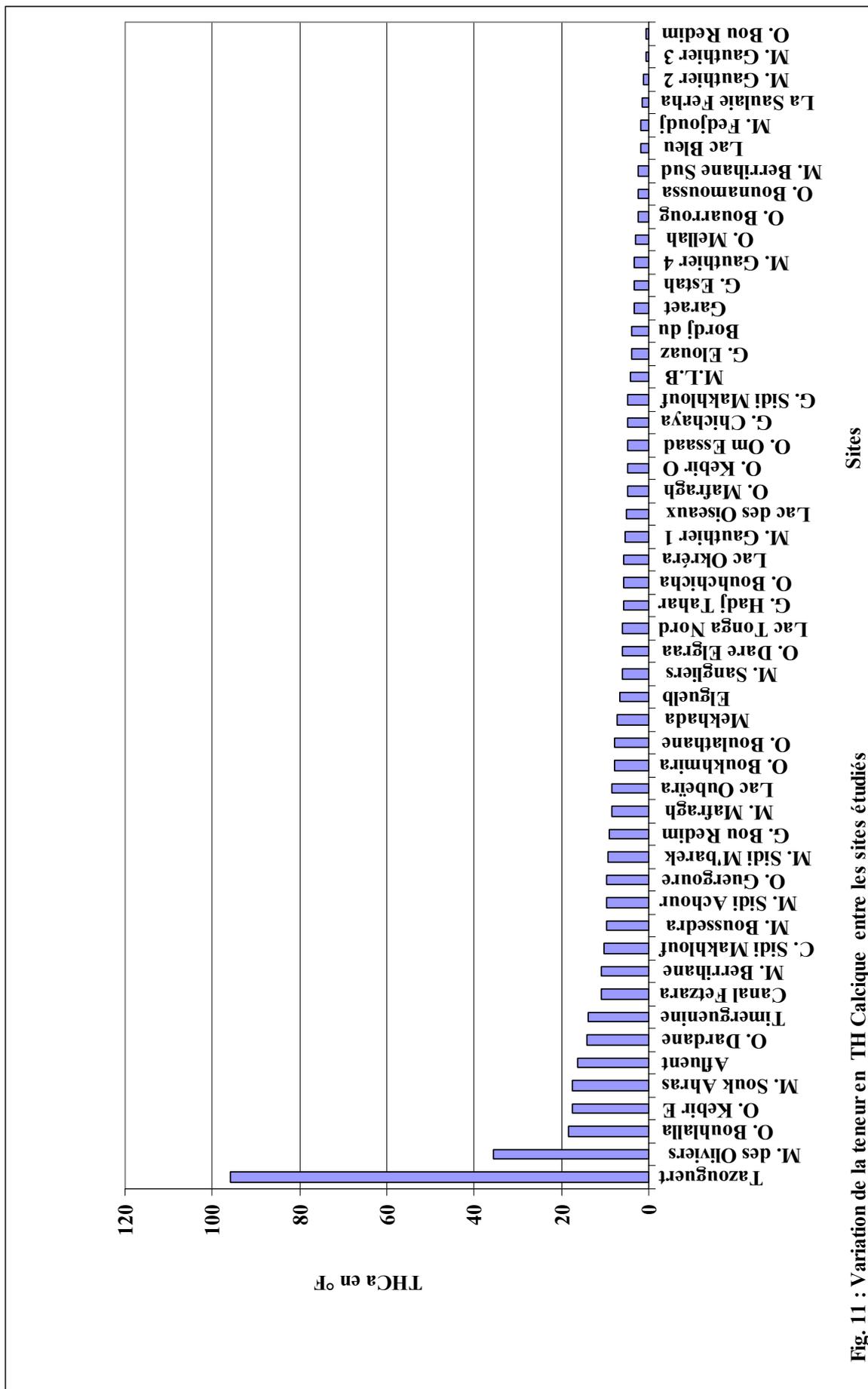
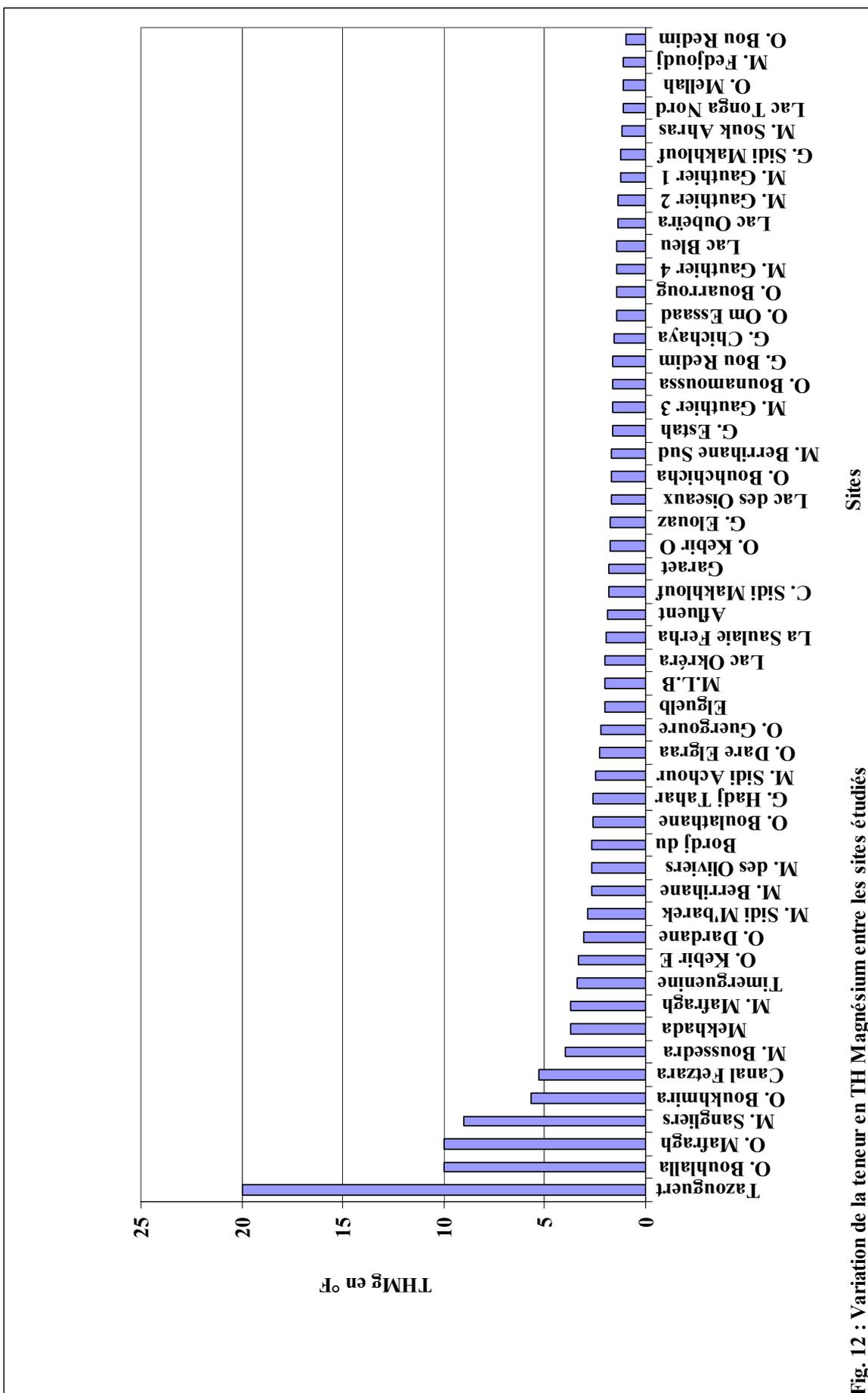


Fig. 10 : Variation du Titre Hydrometrique entre les sites étudiés





Sites

Fig. 12 : Variation de la teneur en TH Magnésium entre les sites étudiés

6.3 Titre Alcalimétrique Complet (TAC) :

Le TAC correspond à la teneur de l'eau en carbonates et hydrogénocarbonates (CO_3^{2-} et HCO_3^-). Il est équivalent à l'alcalinité.

Le TAC s'exprime en degrés français (°F) :

- ✓ 1° F = 3.4 mg/l OH^- (hydroxyde)
- ✓ 1° F = 6.0 mg/l CO_3^{2-} (carbonate)
- ✓ 1° F = 12.2 mg/l HCO_3^- (bicarbonate)

D'après les résultats obtenus, seul Tazouguert 46,4 °F a un taux de TAC très élevé par rapport aux autres sites qui varient entre 0.99 et 15.4 °F, (Fig. 13).

Le niveau guide dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 50 °F.

6.4 pH :

L'acidité ou la basicité d'une eau : Une eau est dite neutre à pH 7. Des eaux ayant des pH inférieurs à 7 sont dites acides et un pH supérieurs à 7 sont dites basiques.

D'après la (fig. 14), les sites de Mekhada, MLB, Bordj du Cantonner, M. Sangliers, Timerguenine, Mafragh, O. Mafragh, O. Bounamoussa, O. Boulathane ont un pH moins élevé, mais aucune valeur aberrante n'est à signalée (Fig. 14).

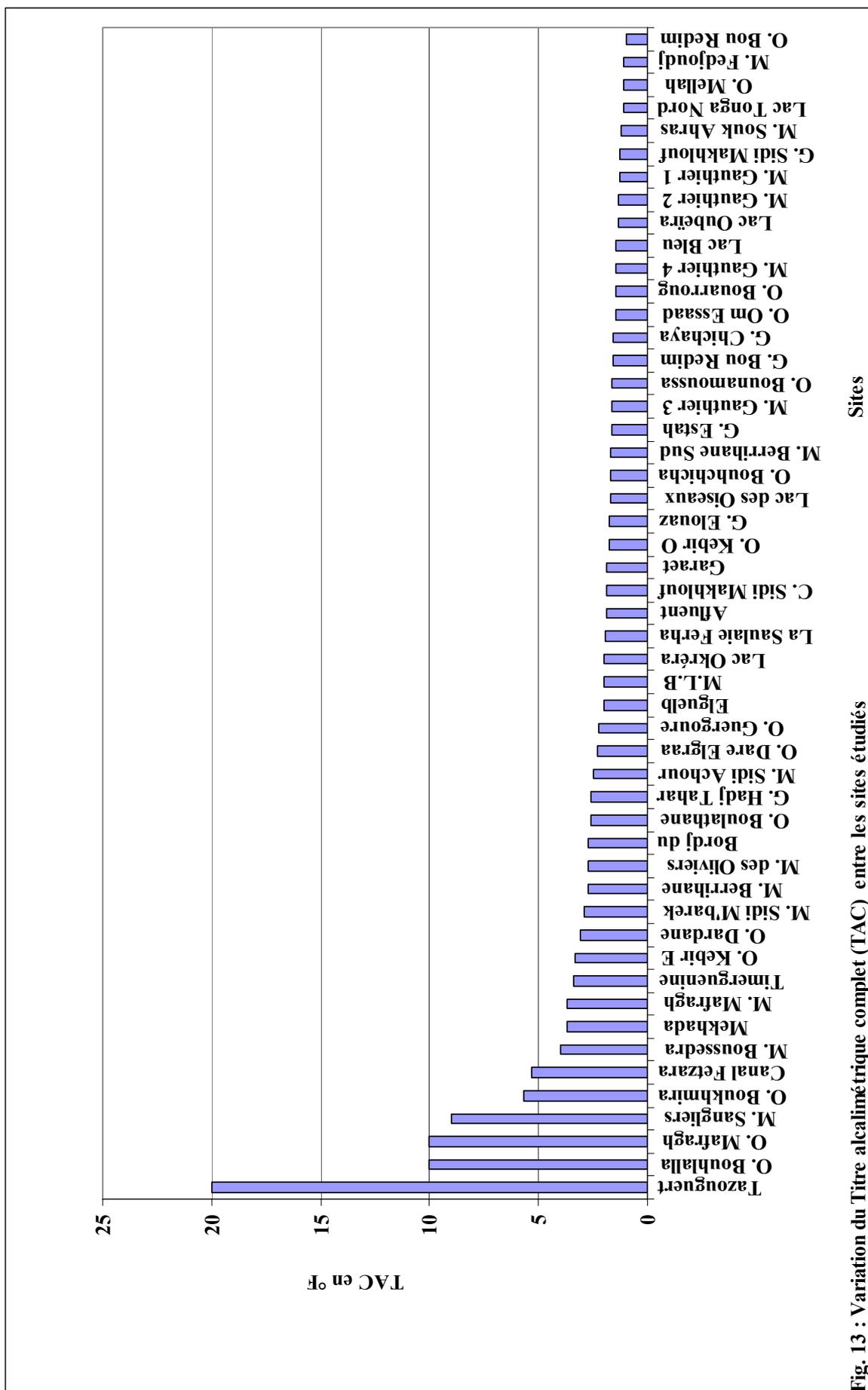
6.5 Sulfates SO_4^{-2} :

Les sulfates contenus dans les eaux souterraines sont fournis par la dissolution du gypse. Le gypse est un sulfate de calcium hydraté qui est faiblement soluble (7 g/l dans les conditions normales).

Les nappes captives en terrains calcaires sont moyennement à très sulfatées (30 à 200 mg/l, parfois supérieures à 250 mg/l). Leur présence est liée à la nature des terrains traversés.

On note, d'après les premières constatations, que les sulfates ont un teneur très élevé au site de Tazouguert (site correspondant à un chott) (Fig. 15). Pour le reste les valeurs varient entre 3 - 207 mg/l

Les concentrations supérieures à 250 mg/l peuvent provoquer des diarrhées chez l'enfant. Devant des concentrations importantes de sulfates dans l'eau, il convient de rechercher s'il n'y a pas des rejets industriels.



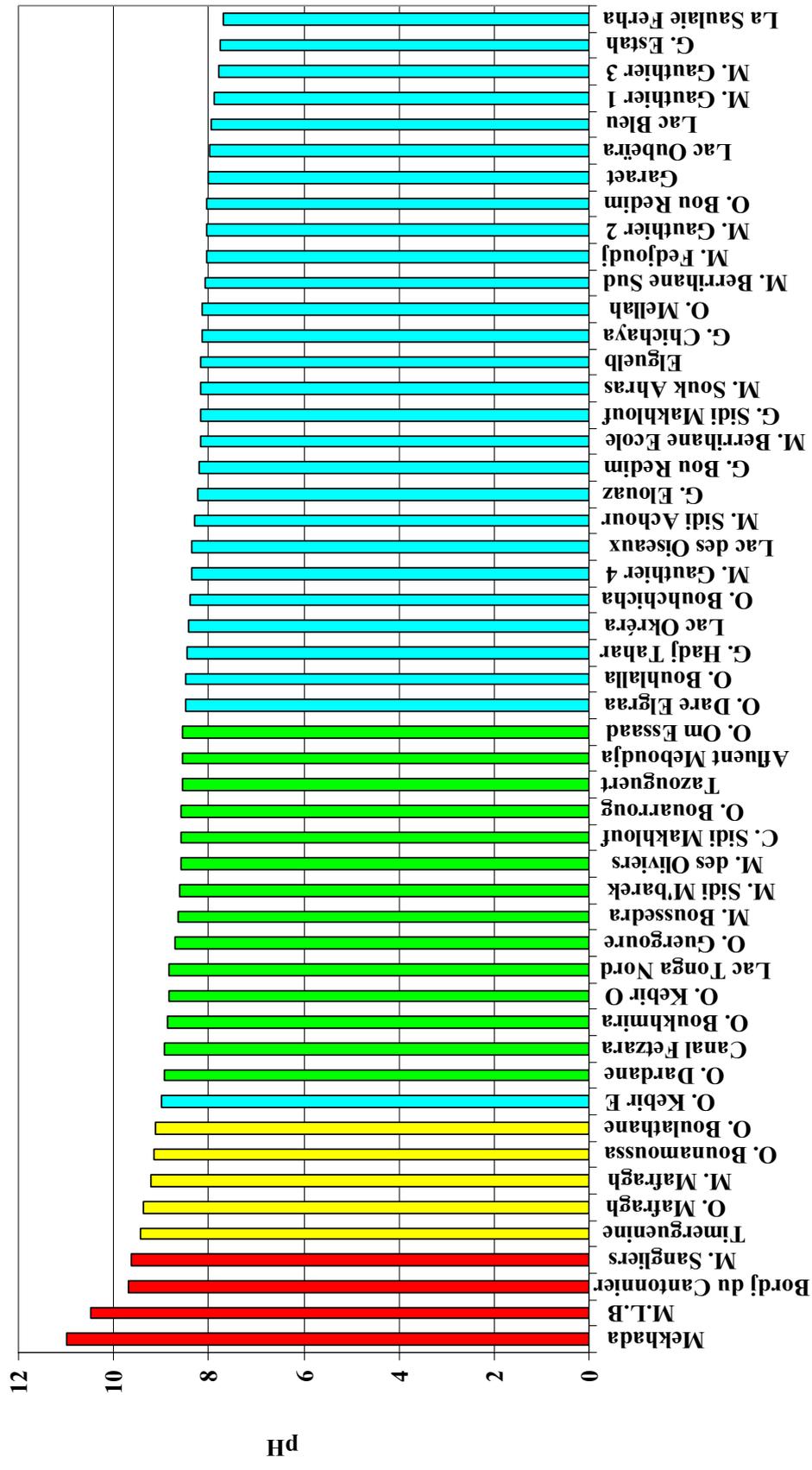
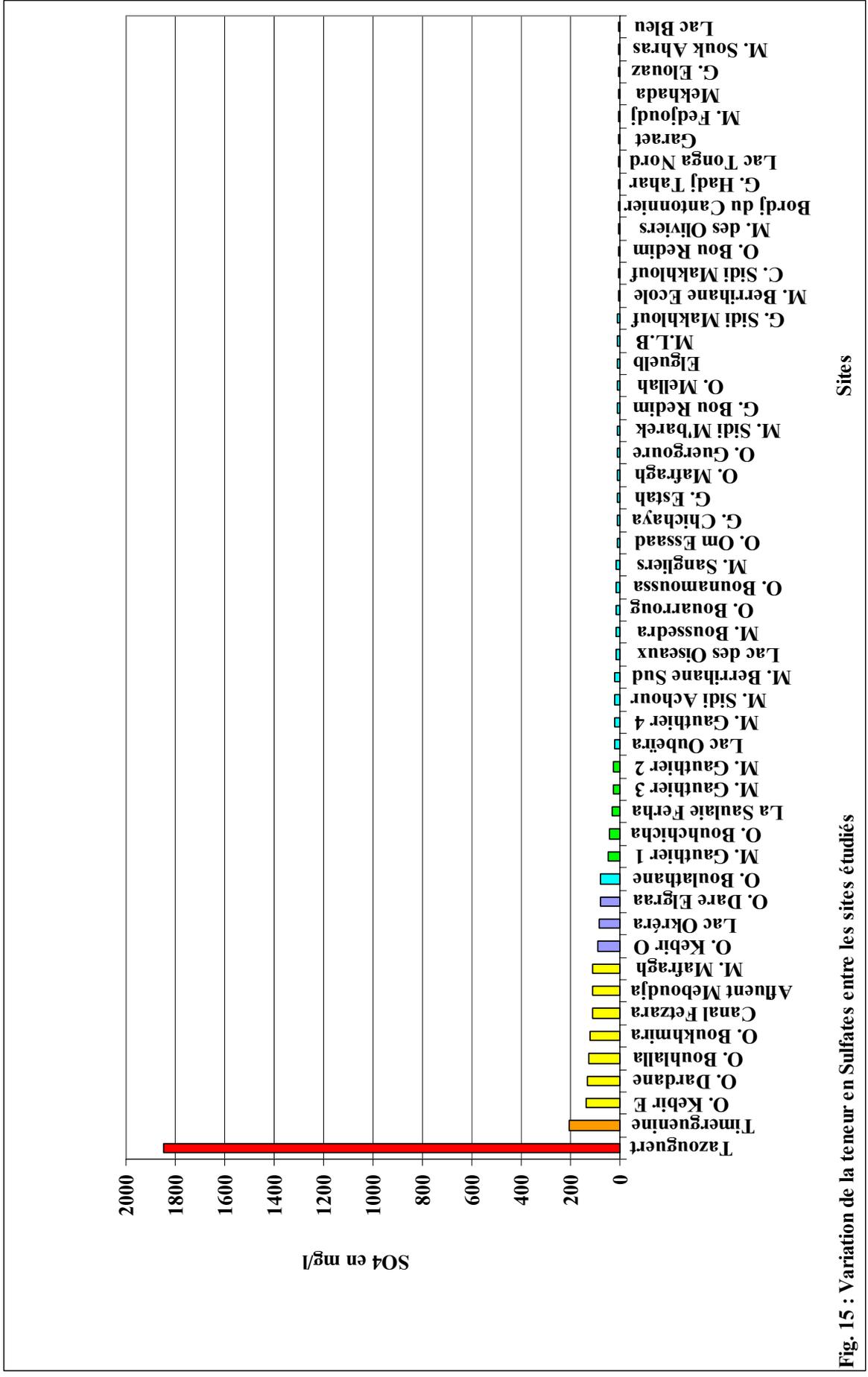


Fig. 14 : Variation du pH entre les sites étudié

Sites



Sites

Fig. 15 : Variation de la teneur en Sulfates entre les sites étudiés

6.6 Nitrates :

Ils sont abondamment répandus dans le sol, dans la plupart des eaux et des plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Solubles dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux superficielles et souterraines. Les eaux de surface ne contiennent pas plus de 10 milligrammes par litre.

L'effet des nitrates sur l'organisme n'est pas lui-même dangereux pour la santé mais c'est leur transformation en nitrites dans l'organisme qui présente un risque.

En tant que source d'azote pour les algues et les végétaux, les nitrates participent activement au phénomène d'eutrophisation. D'autre part, leur présence en forte concentration peut rendre l'eau impropre à la consommation humaine.

Dans l'ensemble des cas étudiés, les sites sont qualifiés dans les normes, sauf le site G. Elouaz à 27,2 mg/l (très pollué); les autres sites ont des valeurs dans les normes (Fig. 16).

6.7 Nitrites :

La contamination des eaux souterraines et superficielles par les nitrates est un problème rencontré de plus en plus fréquemment. Les nitrates se transforment en nitrites et éventuellement en nitrosamines au niveau du tube digestif. Les nitrites sont responsables des risques de méthémoglobinémie aiguë qui s'observent principalement chez le nourrisson

Les risques liés à la formation de nitrosamines, à savoir la survenue de cancers, sont actuellement moins bien établis.

- ✓ Concentration guide dans les eaux destinées à la consommation humaine : 0,1 mg/l,
- ✓ Concentration maximale admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine : 1 mg/l
- ✓ Concentration supérieure à 1 mg/l : signe de pollution. Il convient de réaliser une analyse microbiologique si elle n'a pas déjà été pratiquée.

Impact :

L'azote, ainsi que le phosphore, sont utilisés par les algues et le phytoplancton pour leur croissance et peuvent être à l'origine de phénomènes d'eutrophisation (croissance excessive des algues entraînant une forte consommation d'oxygène et la mort des poissons).

Dans l'ensemble, les sites sont qualifiés en qualité dans les normes, mais La Saulaie Ferha à 4 mg/l, M.Gauthier2 3,5 mg/l, M.Gauthier1 2,9 mg/l, O. Bouarroug 2 mg/l, O.

Boukhmira 1,5 mg/l Gauthier4 1,5 mg/l ont des teneurs très élevés, hors norme ce qui implique une pollution (Fig. 17). Pour les quatre sites Gauthier1, Gauthier2 Gauthier4 et O. Bouarroug, élevage de vaches, d'ovins et de caprins est la cause principale de cette pollution.

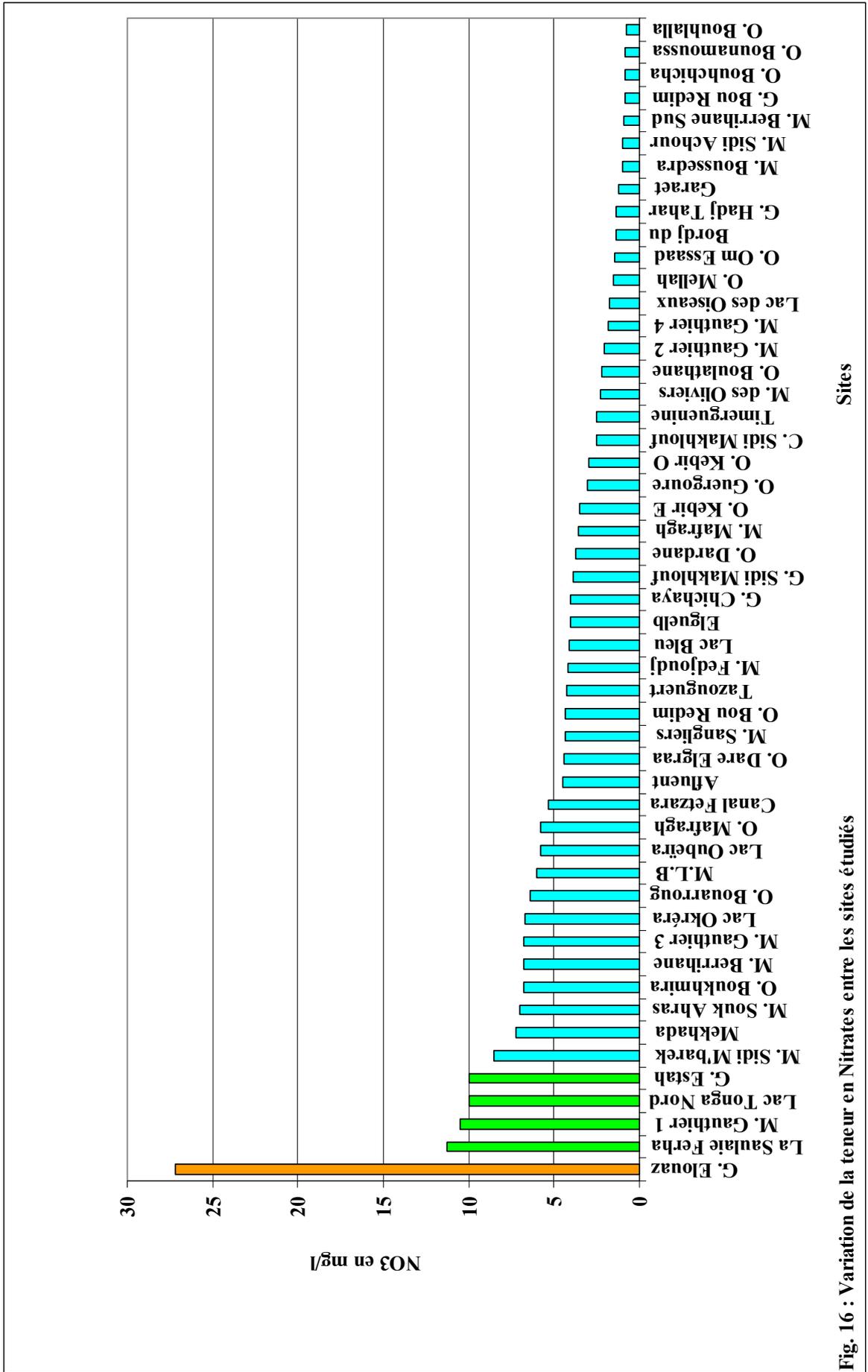
6.8 Orthophosphates ou PO_4^{3-} :

Une des formes du phosphore dans l'eau, il appartient au phosphore dissous.

Les nitrates, ainsi que le phosphore, sont utilisés par les algues et le phytoplancton pour leur croissance et peuvent être à l'origine de phénomènes d'eutrophisation (croissance excessive des algues entraînant une forte consommation d'oxygène et la mort des poissons).

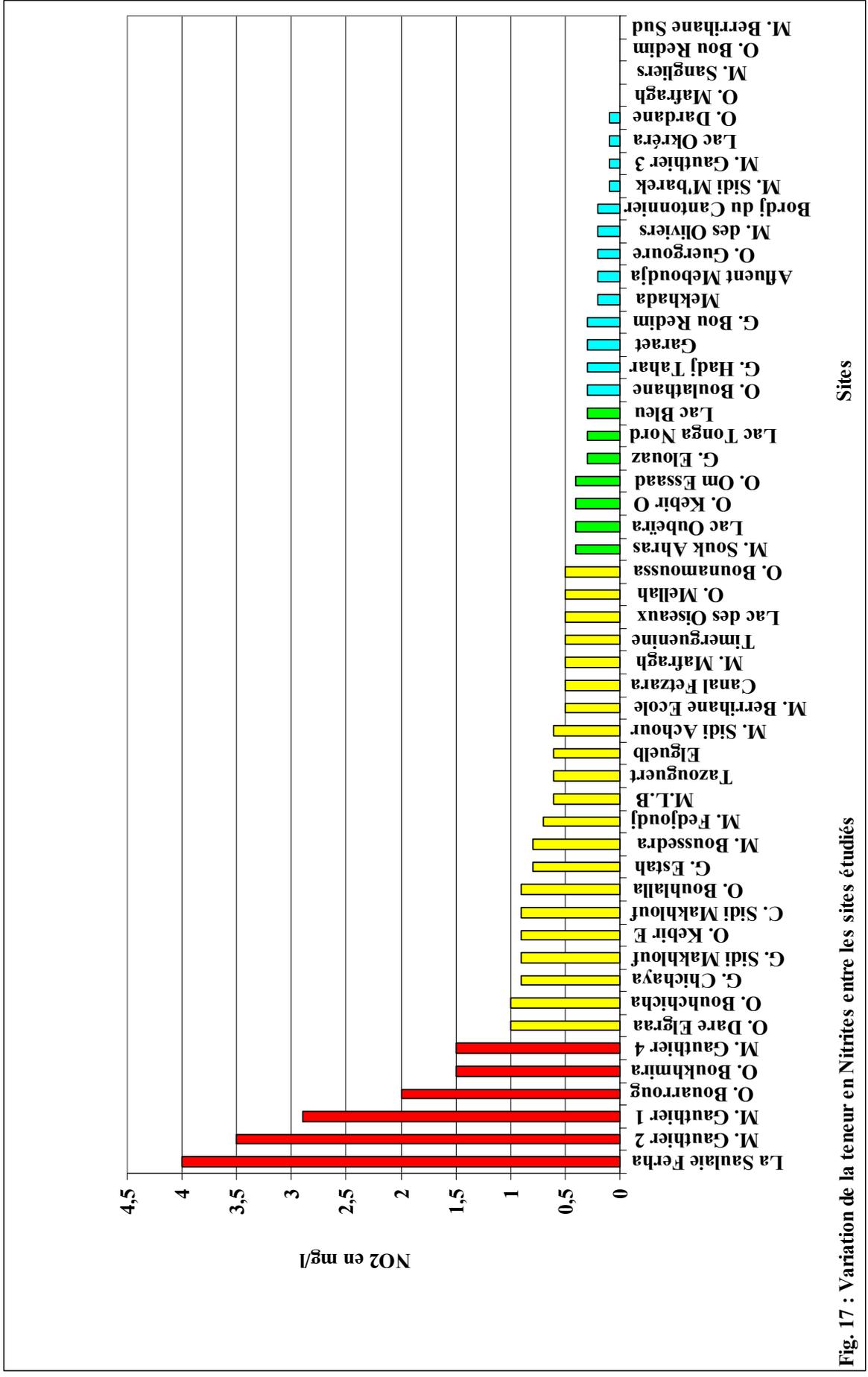
Le phosphore constitue généralement le facteur limitant de l'eutrophisation en eau douce. Les orthophosphates ne constituent qu'une partie du phosphore disponible.

D'après l'analyse des sites, nous constatons que la teneur de phosphates est extrêmement élevé à Sidi Achour avec 11.6 mg/l. Ceci s'explique par le fait qu'il est contenu dans les détergents, présents dans les rejets d'eaux usées non traitées (Fig. 18).



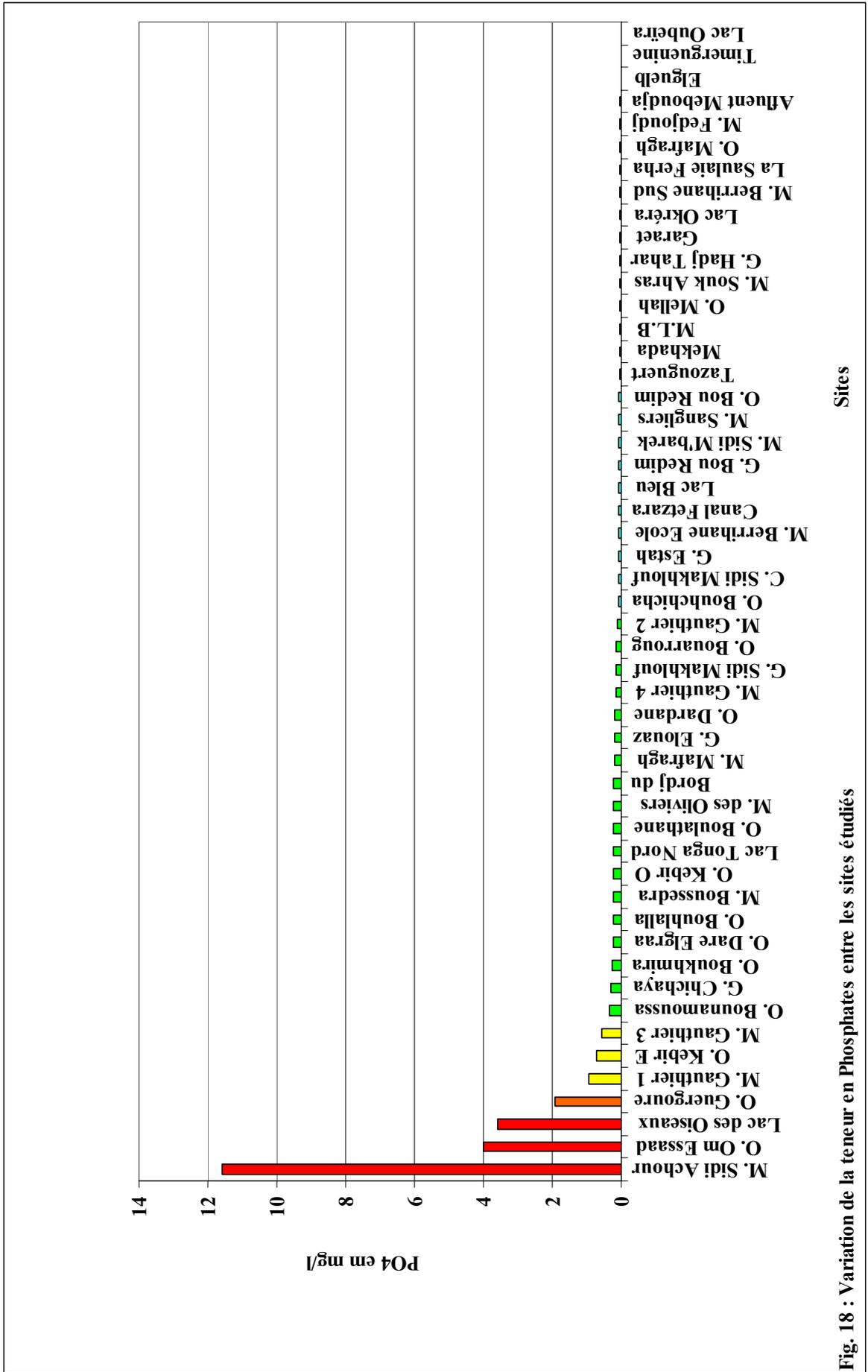
Sites

Fig. 16 : Variation de la teneur en Nitrates entre les sites étudiés



Sites

Fig. 17 : Variation de la teneur en Nitrites entre les sites étudiés



Sites

Fig. 18 : Variation de la teneur en Phosphates entre les sites étudiés

6.9 Potassium (K) :

On trouve le potassium en grandes quantités dans la nature. Il se rencontre sous forme de chlorures doubles dans de nombreux minerais, tels que la carnallite de Stassfurt et la sylvinite. On trouve également le potassium dans les cendres des végétaux sous forme de carbonate.

Le niveau guide de la concentration de potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine est fixé à 12 mg/l.

Les quatre sites : Sanglier, Mafragh, Gauthier⁴ et Gauthier² ont des valeurs élevées. Il est à noter une valeur hors norme d'un seul site Sidi Achour (Fig. 19).

6.10 Turbidité :

Elle caractérise la capacité de l'eau à diffuser la lumière du fait de la présence de matières colloïdales. Les colloïdes ou matières colloïdales sont des particules de très faibles dimensions pour lesquelles la gravité terrestre est insuffisante pour les faire décanter naturellement (dans un temps respectable) car elle est mise en concurrence avec des forces d'origine électrostatique du fait de la présence de charges électriques à la surface de ces particules. Les colloïdes issus de l'abrasion naturelle des parois rencontrées par l'eau dans son cycle sont généralement chargés négativement.

Les trois sites (Gauthier¹, Gauthier⁴, Gauthier³) ont des valeurs significativement plus élevées que le reste. Ceci pourrait être expliqué par le fait que ces sites aient des substrats limoneux et une forte fréquentation d'animaux (Fig. 20).

6.11 Gastéropodes (Bioindicateur) :

Des outils vivants peuvent être utilisés dans la lutte contre la pollution. Tous les êtres vivants fournissent des informations plus ou moins précises concernant le milieu dans lequel ils se développent. Depuis longtemps déjà l'homme utilise, consciemment ou non, ces indicateurs naturels ou "bioindicateurs" (Vrije Universiteit Brussel, 2004).

D'après Fig. 21, nous distinguons trois catégories de population de gastéropodes :

- ✓ Première catégorie : entre 313 et 400 individus (correspond à Bordj du Cantonnier et Elguelb), elle correspond à une population très concentrée ;
- ✓ Deuxième catégorie : entre 47 et 112 individus (correspond à Mare aux oliviers, C. Sidi Makhlouf, G. Hadj Tahar) qui correspond à une population moyennement concentrée ;
- ✓ Troisième catégorie : entre 1 et 25 individus (correspond à Tonga Nord, O. Bou Redim, Lac des Oiseaux, Chichaya, Affluent Meboudja et Sidi Makhlouf), liée à une faible population (Fig. 21).

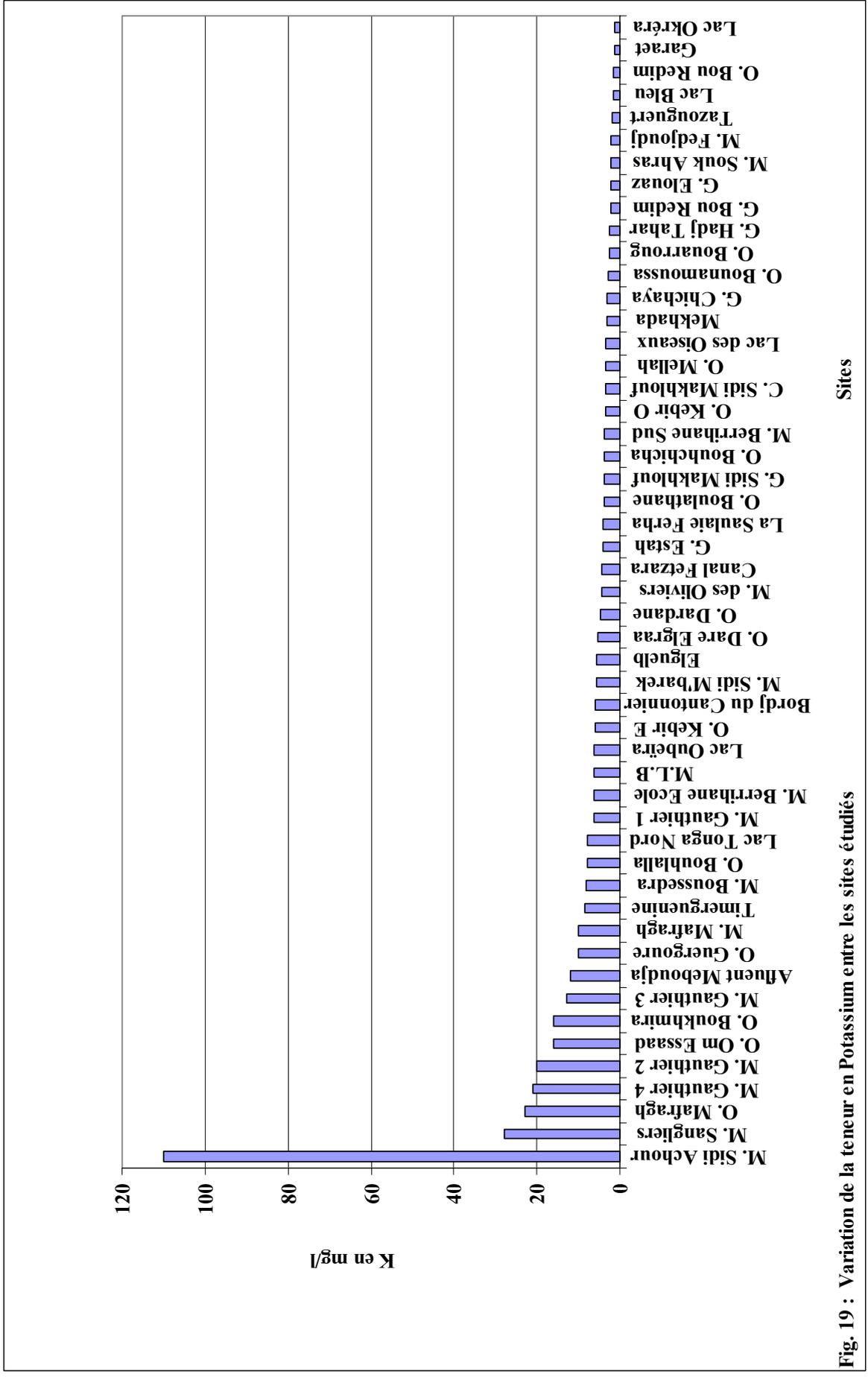
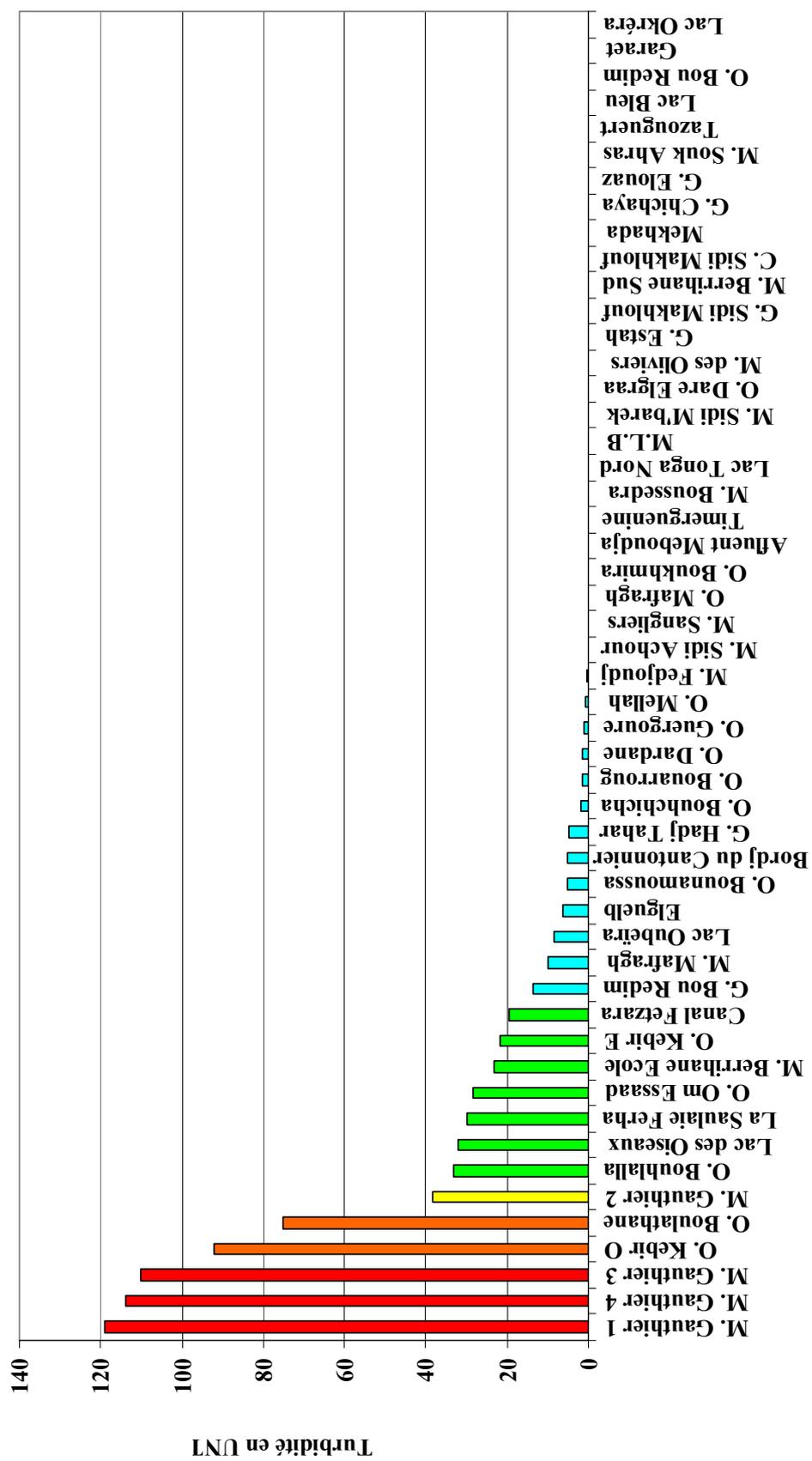
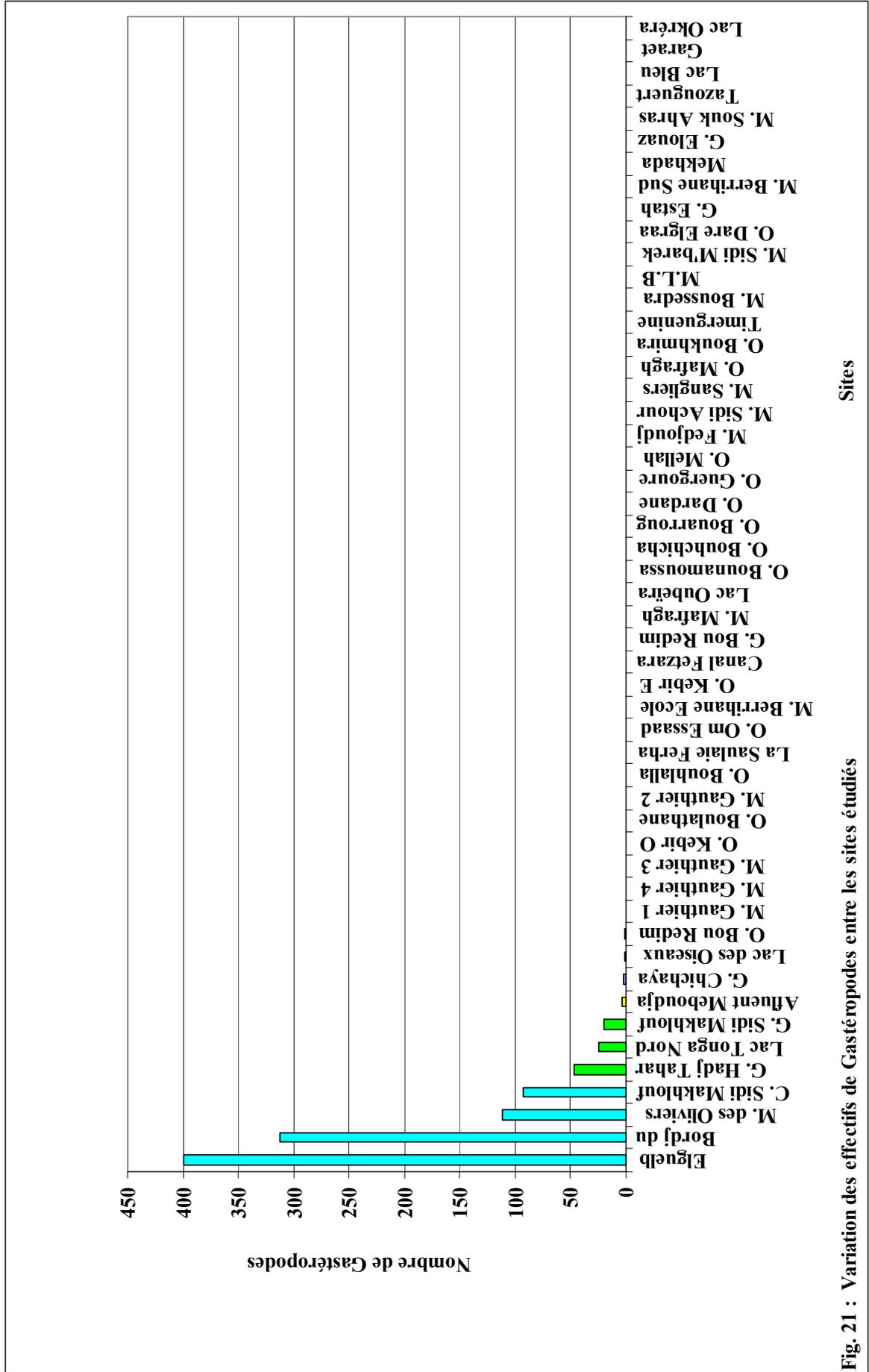


Fig. 19 : Variation de la teneur en Potassium entre les sites étudiés



Sites

Fig. 20 : Variation de la Turbidité entre les sites étudiés



6.12 Analyse multivariée :

Notre but était d'évaluer la qualité physico-chimique et biologique de l'eau de quelques zones humides de la Numidie, Souk Ahras, Tazougert et Timerguene. Sur une période 08/04/2004 jusqu'à 13/06/2004, avec 16 variables physico-chimiques et biologiques (bioindicateurs).

L'analyse en composantes principale (ACP) s'est déroulée avec une matrice de 51 sites et 16 descripteurs.

La première analyse nous montre que l'axe 1 sépare distinctement (outlier) Tazougert des autres sites.

Nous avons donc refait l'analyse en excluant le site de Tazougert et nous avons donc retenu 50 sites.

Dans cette nouvelle analyse nous avons retenu seulement les deux premiers axes qui contribuent à 48% de l'inertie totale. Le plan factoriel 1x2 (Fig. 22), montre clairement au niveau de l'axe 1 la distinction entre sites saumâtres et sites d'eaux douces.

L'axe 2 oppose les sites comme Sidi Achour riche en phosphates et potassium, des sites riche en gastéropodes (Bordj du Cantonnier, Tonga et Elguelb).

Le plan 1x2 permet également d'identifier :

1. Les sites atteints de pollution organique (NO_3 et NO_2) et de forte turbidité comme les Gauthiers et S. Ferha.
2. Les sites dont la dureté de l'eau est élevée comme M. aux Oliviers.

En résumé, le plan 1x2 qui extrait 48 % de l'inertie totale identifient les descripteurs suivants: salinité, pollution (nitrates, nitrites et phosphates), dureté de l'eau, turbidité, et richesse en gastéropodes.

Notre analyse permet donc de séparer les chotts des autres hydrosystèmes à cause de leur forte teneur en sel. Les sites saumâtres sont également séparés des milieux dulçaquicoles. La pollution organique ou chimique est également identifiée et cette pollution semble négativement corrélée à la présence de gastéropodes qui semblent agir comme bioindicateurs. La qualité de l'eau semble également refléter la nature du substrat comme le montre la dureté de l'eau de la M. aux Oliviers.

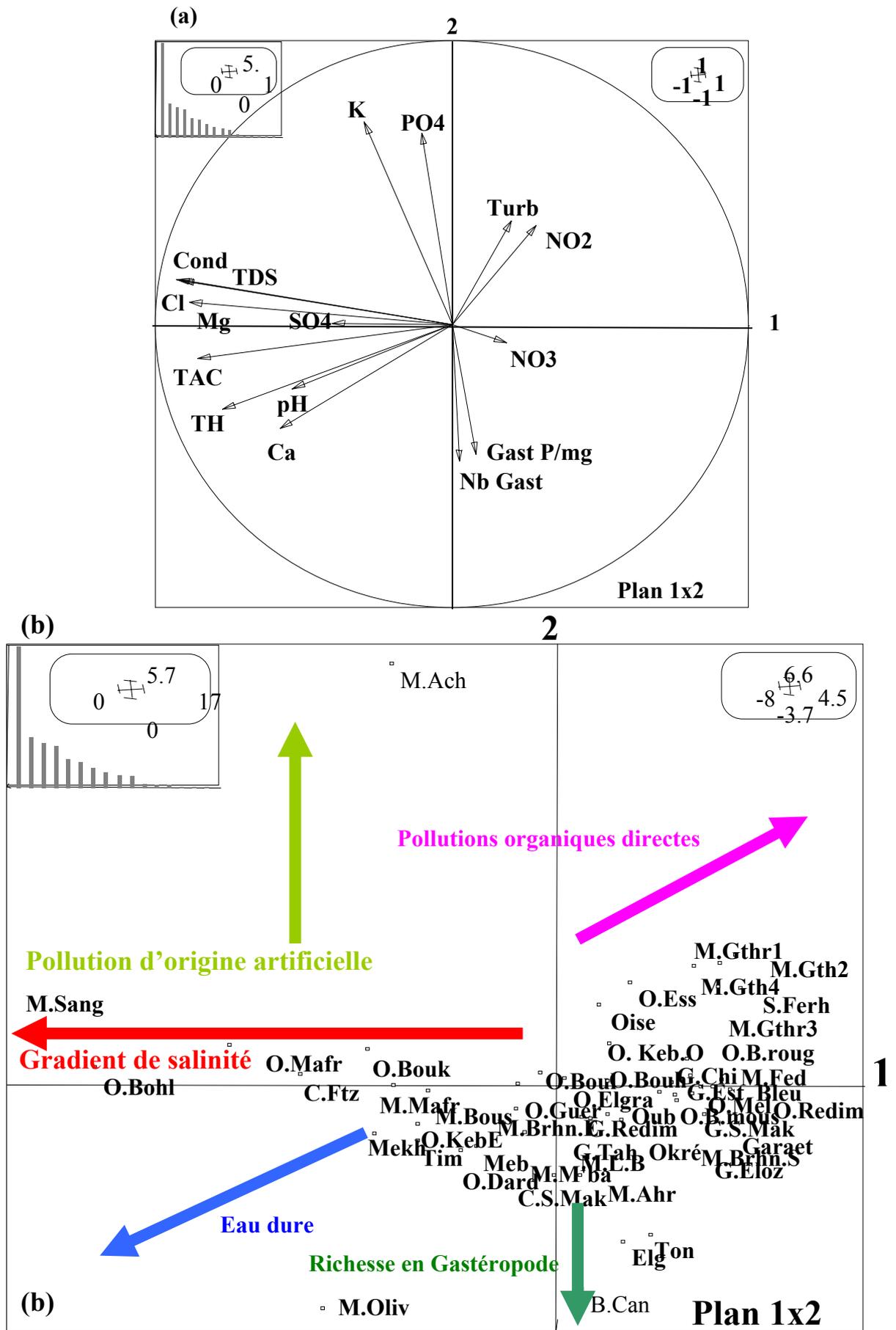


Fig. 22 : Cercle de corrélation (a) et plan factoriel 1x2 (b) de l'ACP représentant 50 sites par 16 descripteurs

Listes des abbreviations :

Affluent Meboudja	Meb
Lac Tonga Nord	Ton
Lac Oubeïra	Oub
O. Mellah	O.Mel
M. Fedjoudj	M.Fed
G. Estah	G.Est
Timerguene	Tim
M. Souk Ahras	M.Ahr
M. Sidi Achour	M.Ach
M. Bousadra	M.Bous
Canal Fetzara	C.Ftz
Bordj du Cantonnier	B.Can
O. Kebir E	O.KebE
G. Sidi Makhlouf	G.S.Mak
C. Sidi Makhlouf	C.S.Mak
Elguelb	Elg
G. Chichaya	G.Chi
G. Hadj Tahar	G.Tah
M. aux Oliviers	M.Oliv
O. Bounamoussa	O.B.mous
Mekhada	Mekh
Lac des Oiseaux	Oise
O. Boulathane	O.Boul
O. Om Essaad	O.Ess
O. Dardane	O.Dard
O. Guergoure	O.Guer
O. Kebir O	O. Keb.O
O. Bouhchicha	O.Bouh
O. Dare Elgraa	O.Elgra
O. Bouarroug	O.B.roug
M. Mafragh	M.Mafr
O. Boukhmira	O.Bouk
G. Bou Redim	G.Redim
O. Bou Redim	O.Redim
M. Sidi M'barek	M.M'ba
M. Sangliers	M.Sang
O. Mafragh	O.Mafr
Garaet	Garaet
G. Elouaz	G.Eloz
M. Berrihane Sud	M.Brhn.S
M. Berrihane Ecole	M.Brhn.E
La Saoulaie Ferha	S.Ferh
Lac Okréra	Okré
Lac Bleu	Bleu
M.L.B	M.L.B
M. Gauthier 2	M.Gth2
M. Gauthier 4	M.Gth4
M. Gauthier 3	M.Gth3
M. Gauthier 1	M.Gth1
O. Bouhlalla	O.Bohl

6.13 Analyses thématiques des cartes pour les paramètres physico-chimique et biologique :

Pour bien répartir les classes de la qualité de l'eau de nos sites, nous avons utilisé le Système d'Évaluation de la qualité de l'eau (SEQ), la classe de qualité de l'eau est déterminée grâce au Tab. 5. Les seuils présentés dans cette grille sont relatifs à chacun des paramètres de chaque altération. Ces chiffres-clé résultent de la prise en compte de la réglementation française et communautaire, des recommandations internationales (US EPA, OMS).

En fait, l'indice de qualité pour chaque paramètre d'une altération est obtenu par la correspondance entre des valeurs de concentration de ce paramètre et un indice dont la valeur est comprise entre 0 et 100 (Tab. 6).

La qualité de l'eau pour chaque altération est ensuite déterminée par le biais du paramètre le plus déclassant (Tab. 6).

Tab. 5 (Extrait pour trois altérations) (US EPA). OMS 2004).

NO3	2	10	25	50	>50
NO2	0.03	0.3	0.5	1	>2
PO4	0.1	0.5	1	2	>2
Cond	50 - 400	750	1500	>1500	
TH °F	10	20	30	40	>40
Sulfates	25	100	175	250	>250
pH	6.5	8.5	9.0	9.5	>9.5
Turb	15	35	70	100	>100
Chlorures	25	100	175	250	>250

Tab. 6 Les classes et indices de qualité (US EPA, OMS 2004).

qualité	
	très bonne
	bonne
	passable
	mauvaise
	très mauvaise

6.14 Cartographie :

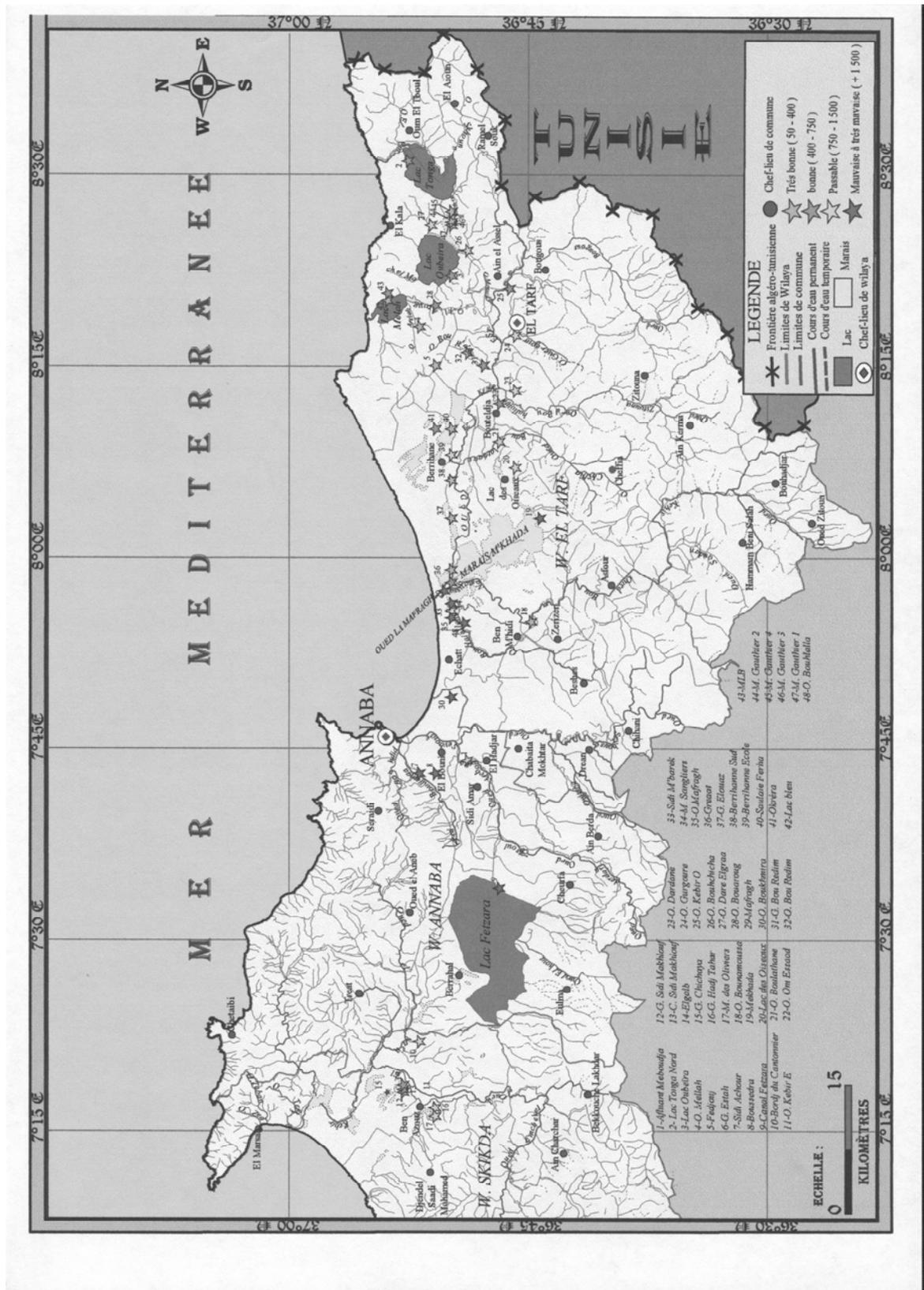
Nous avons sélectionné 7 descripteurs sur les 16 que nous avons mesurés. Ces descripteurs représentent fidèlement la qualité de l'eau.

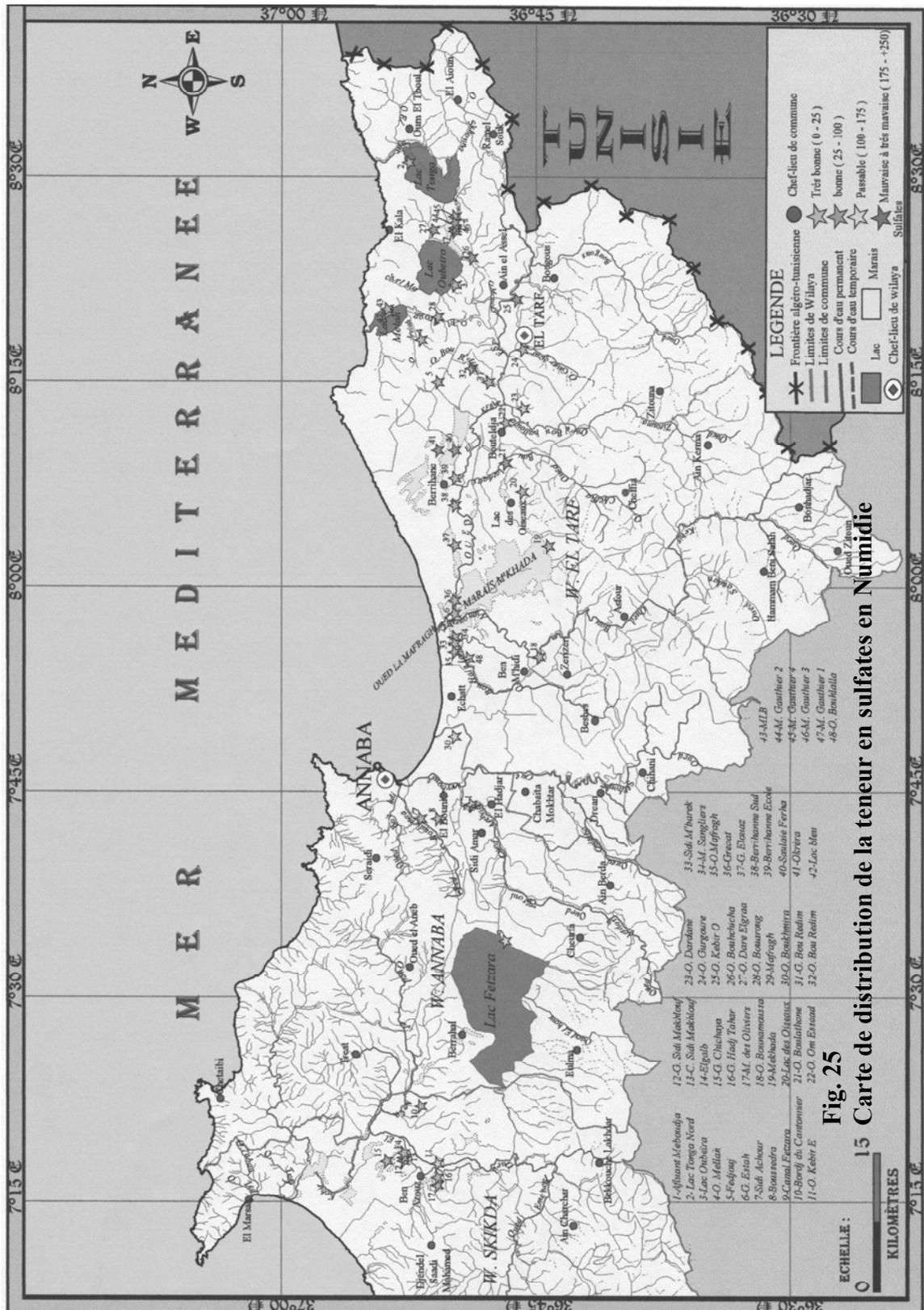
- ✓ La conductivité, qui donne la salinité et la minéralisation de l'eau (Fig. 23).
- ✓ TH, sulfates qui montrent la dureté de l'eau (Fig. 24 et 25).
- ✓ Nitrates, Nitrites et les phosphates, qui donnent le degré de la pollution des sites (Fig. 26, 27 et 28).
- ✓ Les gastéropodes qui représentent d'indice biologique (Fig. 29)

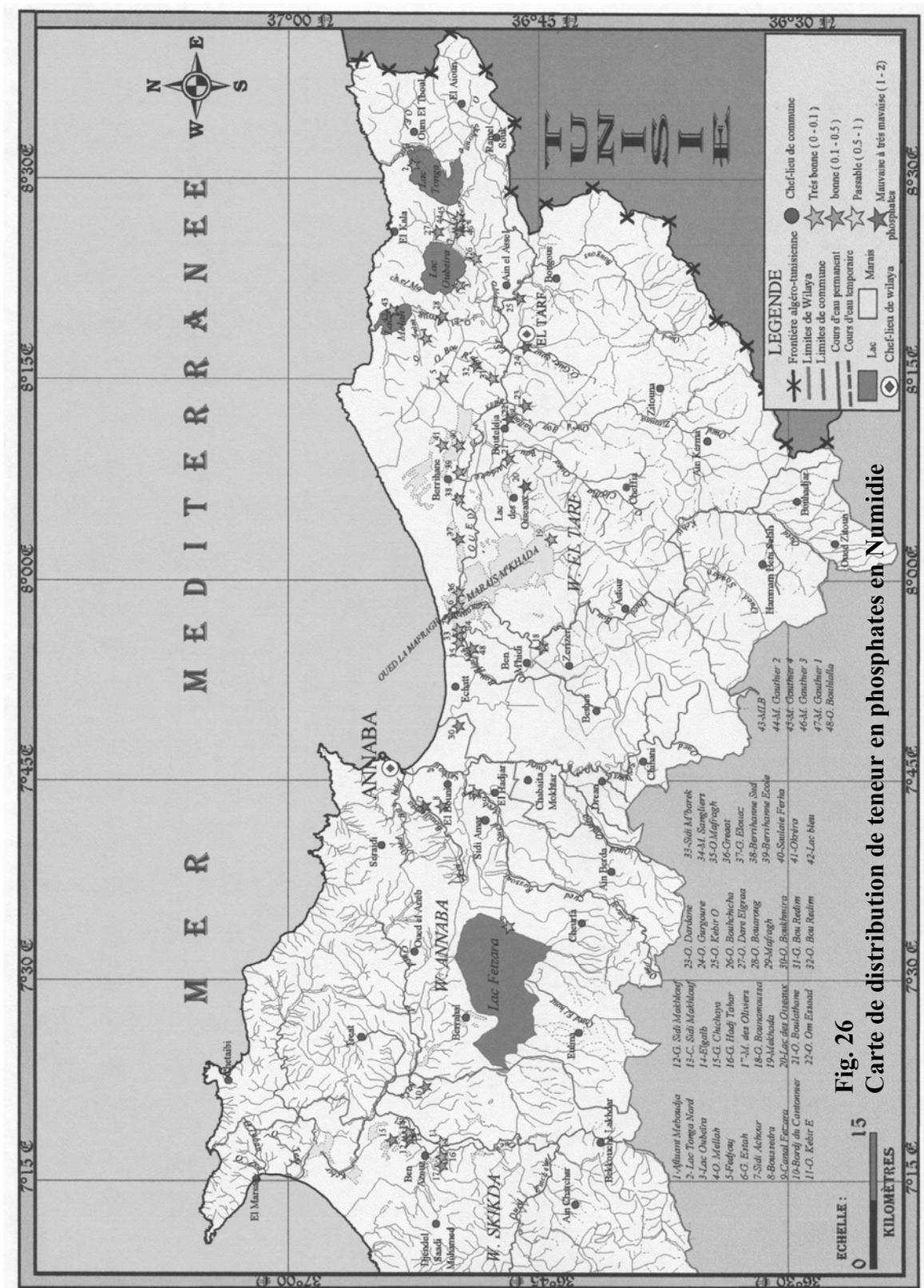
Tab. 7 : Classe de qualité de l'eau pour chaque site d'après le SEQ :

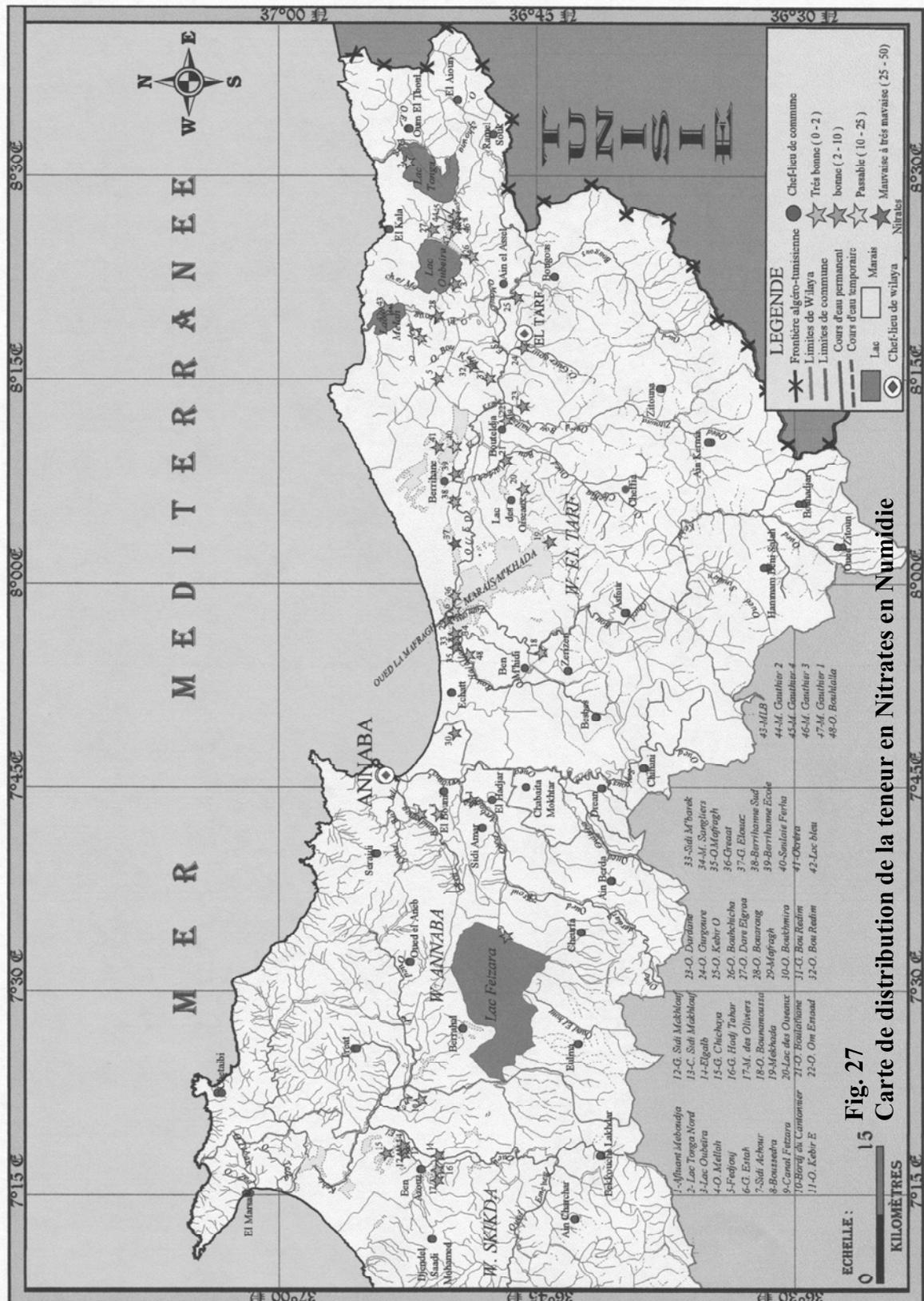
Site/Paramètre	NO3	NO2	PO4	TH	SO4	Cond	Turb	pH	Cl
Afluant Meboudja	4,5	0,2	0,02	18,29	113	970	0	8,54	155,2
Lac Tonga Nord	10	0,3	0,24	7,2	5	484	0	8,82	91,96
Lac Oubeira	5,8	0,4	0	9,65	22	494	8,36	7,98	93,86
O. Mellah	1,5	0,5	0,03	4	9	135	0,63	8,15	21,6
Fedjouj	4,2	0,7	0,02	2,9	5	197	0,5	8,04	31,52
G. Estah	10	0,8	0,07	4,95	12	423	0	7,77	80,37
Tazougeurt	4,3	0,6	0,04	116	1850	15250	0	8,54	2400
Timerganine	2,5	0,5	0	17,4	207	1105	0	9,43	176,8
M. Souk Ahras	7	0,4	0,03	18,7	3	223	0	8,17	35,68
Sidi Achour	0,99	0,6	11,6	12,1	19	1606	0	8,28	305,1
Boussedra	0,99	0,8	0,24	13,6	17	1717	0	8,65	270
Canal Fetzara	5,31	0,5	0,07	16,3	113	3130	19,63	8,92	500
Bordj du Cantonnier	1,35	0,2	0,22	6,5	5	886	5,12	9,68	176
O. Kebir E	3,51	0,9	0,72	20,8	138	1147	21,67	8,99	217,9
Sidi Makhlouf	3,87	0,9	0,16	5,95	8	354	0	8,18	67,26
C. Sidi Makhlouf	2,52	0,9	0,07	12,05	7	675	0	8,58	128,3
Elguelb	4,05	0,6	0	8,6	8	645	6,2	8,16	122,6
G. Chichaya	4,05	0,9	0,32	5,25	13	434	0	8,15	82,46
G. Hadj Tahar	1,35	0,3	0,03	8,2	5	877	4,78	8,44	188
Mare aux olivier	2,25	0,2	0,22	38,2	5	902	0	8,59	171,4
O. Bounamoussa	0,8	0,5	0,34	4,15	17	303	5,34	9,16	48,48
Mekhada	7,2	0,2	0,04	10,9	3	2220	0	11	355,2
Lac des Oiseaux	1,76	0,5	3,6	6,8	18	1114	31,88	8,35	129
O. Boulathane	2,24	0,3	0,22	10,3	79	923	75	9,11	194
O. Om Essaad	1,44	0,4	4	6,15	13	599	28,4	8,54	92
O. Dardane	3,76	0,1	0,18	17,4	133	949	1,39	8,94	151,8
O. Gurgoure	3,04	0,2	1,94	11,85	10	867	1,27	8,7	164,7
O. Kebir O	2,96	0,4	0,24	6,45	87	591	92	8,83	94,56
O. Bouhchicha	0,8	1	0,07	7,3	43	765	1,95	8,4	148
O. Dare Elgraa	4,4	1	0,24	8,4	81	963	0	8,5	194
O. Bouarroug	6,4	2	0,14	3,95	17	434	1,64	8,58	90
M. Mafragh	3,57	0,5	0,18	12	110	1825	9,82	9,22	380
O. Boukhmira	6,8	1,5	0,28	13,4	120	2030	0	8,86	335
G. Bou Redim	0,85	0,3	0,06	10,5	10	526	13,57	8,21	84,16
O. Bou Redim	4,335	0	0,06	1,65	7	176	0	8,03	28,16
Sidi M'barek	8,5	0,1	0,06	12,2	10	839	0	8,62	148
M. Sangliers	4,335	0	0,06	15,1	14	5790	0	9,63	1100
O. Mafragh	5,78	0	0,024	14,7	10	2900	0	9,38	551
Greaat	1,19	0,3	0,03	5,3	5	312	0	8,01	49,92
G. Elouaz	27,2	0,3	0,18	5,65	3	290	0	8,22	46,4
M. Berrihane Sud	0,935	0	0,03	4,2	19	153,7	0	8,07	24,59
M. Berrihane Ecole	6,75	0,5	0,07	13,7	7	932	23,17	8,18	177,1
La Saulaie Ferha	11,25	4	0,024	3,55	29	362	29,82	7,69	68,78
Lac Okréra	6,675	0,1	0,03	7,6	83	400	0	8,42	64
Lac bleu	4,125	0,3	0,06	3,25	3	206	0	7,95	32,96
MLB	6	0,6	0,03	6,2	8	623	0	10,49	109

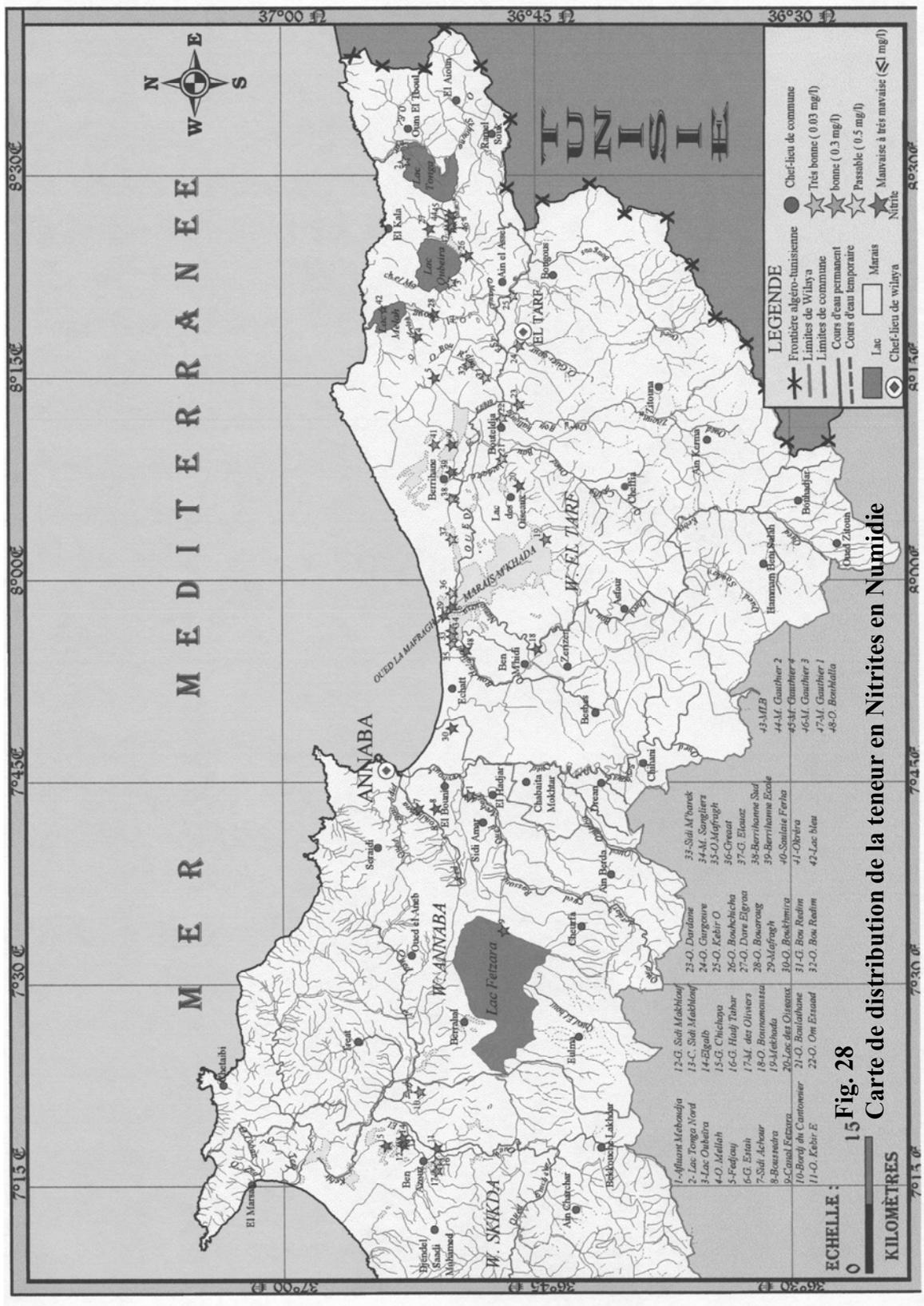
M. Gauthier 2	2,025	3,5	0,12	2,45	27	268	38,33	8,03	41
M. Gauthier 4	1,8	1,5	0,16	4,75	20	358	114	8,36	57,28
M. Gauthier 3	6,75	0,1	0,56	2,35	28	386	110	7,8	62
M. Gauthier 1	10,5	2,9	0,94	6,55	50	254	119	7,88	46
O. Bouhlalla	0,75	0,9	0,24	28,5	128	3670	33,15	8,48	697,3











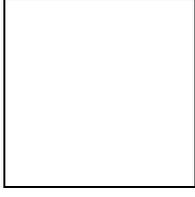


Fig. 29
Carte de distribution des Gastéropodes en Numidie

CONCLUSION :

Les eaux continentales de l'Algérie recèlent une grande diversité d'hydrosystèmes. Ces milieux remplissent de nombreuses fonctions d'importance écologique et socio-économique mais sont sujets à une anthropisation accrue.

Notre travail donne un instantané de la qualité de l'eau de cette palette d'hydrosystèmes.

Tous d'abord, nos données indiquent clairement que la qualité de l'eau des chotts est distincte de celle des autres hydrosystèmes. Ceci est due à la forte teneur en sels et à la dureté de l'eau des chotts. Dans notre typologie nous avons donc exclu les chotts, mais la conductivité a permis également de distinguer les sites saumâtres (M. Sangliers, O. Bouhlalla, Canal Fetzara, O. Mafragh, Mekhada, O. Boukhmira, M. Mafragh, Bousseadra, Sidi Achour) des sites d'eau douce.

La pollution sous des traits divers (organique ou chimique) joue un rôle prépondérant dans la typologie des hydrosystèmes de la région. Nos données distinguent les sites comme Sidi Achour à fort taux de phosphates et potassium des autres sites. Effectivement, ce site est soumis au rejet des eaux usées domestiques et agricoles. Nos données indiquent que les gastéropodes peuvent agir comme des marqueurs biologiques de ce type de pollution.

Une pollution aux nitrates et nitrites et une forte turbidité séparent des sites comme les M. Gauthiers, O. Kebir O, O. Boulathane, O. Bouhlalla, Lac des Oiseaux, La Saoulaie Ferha et O. Om Essaad.

Il y a lieu de poursuivre et d'étendre ce travail pour qu'un biomonitoring régulier des hydrosystèmes du pays soit initié. L'élaboration d'indices biotiques est à développer pour que le coût et la fiabilité d'un tel suivi soit respectivement réduit et assurée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

1. **Barthe, C., Perron, J., Perron, J.M.R.,** 1998. Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Paris: DUNOD.
2. **Benson, B.B., Krause, D., Jr.,** 1984. The concentration and isotopic fractionation of oxygen dissolved in fresh water and seawater in equilibrium with the atmosphere. *Limnol. Oceanogr.*, 1(3): 620-632.
3. **Brault J.L.,** 1989. Memento Technique de l'eau. Tome 1. France, Degrémont.
4. **Carel, A.,** 1994. Spécificité de l'eutrophisation des lacs et rivières. *Adour-Garonne* 4(5): 20-23.
5. **Chaib N.,** 2002. Contribution à l'étude écologique et hydrochimique de quelques hydrosystèmes de la Numidie (Régions d'El Kala et de Guerbès-Senhadja). Thèse de magister, Université Annaba.
6. **Cheverry, C.,** 1998, Agriculture intensive et qualité des eaux. INRA Editions.
7. **Claude, C.,** 1992. SIG en mode image. Presse polytechnique et universitaires romandes. Collection gérer l'environnement.
8. **Coudray, J., Bouguerra, M.L.,** 1994. Sources de l'enrichissement en sels nutritifs de l'écosystème récifal à la Réunion: impact des eaux souterraines. Paris: ESTEM.
9. **Denègre, J.,** 1996. Les SIG. PUF. QSJ.
10. **Dhainaut, C., Pruvot C., Empis A., Baudet K.,** 2000. Les peuplements macrozoobenthiques, indicateurs des qualités physico-chimiques et chimiques des sédiments portuaires- Exemple du port de Boulogne-sur-mer. *Bull. Soc. zool. Fr.* 125(1): 49-62.
11. **Didier, M.,** 1990. Utilisation et valeur de l'information géographique. Service Technique de l'Urbanisme, Economica.
12. **Dimos, P., Donnay, J.P.,** 1994 La conception de SIG: méthode et formalisme: collection géomatique Paris: Hermes.
13. **Francis, C.W., White, G.H.,** (1987). Leaching of toxic metals from incinerator ashes. *Journal of Water Pollution Control Federation* 59(11): 979-986.
14. **Frontier, S.,** 1998. Ecosystème Structure et fonctionnement, évaluation. Paris: DUNOD.
15. **Fustec, El.,** 2000. Fonction et valeur des zones humides. Paris: DUNOD.

16. **Gayte, O.T., Libourel, JP., Cheylan, S.,** 1997. Conception des systèmes d'information sur l'environnement. Lardon. Paris: Hermès.
17. **Hoestland, H.,** 1991. Dynamique de pollutions et qualité de l'eau. Paris: Gauthier-Villars.
18. **Imbeaux, D.,** 1985. Essai d'hydrogéologie. Paris: DUNOD.
19. **Laurini, R., Thompson, D.,** 1992. Fundamentals of Spatial Information Systems. Academic Press.
20. **Le Robert,** 1973. 1^{ère} éd. France.
21. **Lebourg, A.,** 1996. Etude de l'extraction des métaux en traces de sols pollués en vue de la détermination de leur biodisponibilité. Université des Sciences et Technologie de Lille. Th., 154pp.
22. **Letterman, R.,** 1999. Water Quality and treatment; a Handbook of Community water supplies. American Water Works Association.
23. **Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., Rhind, D.,** 1999. Geographical Information Systems: principles and applications. New York. John Wiley & Sons Inc.
24. **OMS,** 1994. Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1 recommandations. Organisation mondiale de la Santé, 2^{ème} édition.
25. **OMS,** 2000. Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 – critères d'hygiène et documentation à l'appui.
26. **Pornon, H.,** 1995. Les SIG: Mise en oeuvre et applications. Paris: Hermes.
27. **Pornon, H.,** 1997. SIG: des concepts aux réalisations. Service technologique de l'urbanisme. Paris: Hermes.
28. **RAMSAR.,** 2000. La "boite à outils" de l'utilisation rationnelle des zones humides. Suisse: Bureau de la convention RAMSAR.
29. **Rodier, J.,** 1996. Analyse de l'eau, France: DUNOD.
30. **Rouet, P.,** 1993. Les données dans les SIG. Paris: Hermes.
31. **Samraoui, B. & de Bélair G.,** 1997. - The Guerbès-Senhadja wetlands (N.E Algeria). Part I: an overview. *Ecologie* 28(3): 233-250.
32. **Samraoui, B. & de Bélair G.,** 1998. Les zones humides des la Numidie Orientale (bilan des connaissances et perspectives de gestion). Synthèse n° 4: 1 — 98.

33. **Samraoui, B. & Dumont, Hi.**, 2002. — A survey of large Branchiopods (Anostraca, Notostraca and Spinicaudata) and a review of their diversity and status within Algeria. *Hydrobiologia* (In press).
34. **Samraoui, B., & Menai, R.**, 1999. - A contribution to the study of Algeria Odonata. *International journal of odonatology* 2 145-165.
35. **Samraoui, B., Benyacoub, S., Mecibah, S., et Dumont, H.J.**, 1993. Afrotropical libellulids (Insecta, Odonata) in the lake district of El-Kala, Northeast Algeria with a rediscovery of *Urothermis edwardi* (selys) and *Acisoma panospoides wvalaphoides* (Rambur). *Oonotologica*. 22(3): 365-372.
36. **TARDAT-HENRY M.**, 1992. *Chimie des eaux*, Canada: Les éditions Le Griffon d'argile.
37. **Thioulouse, J., Chessel, D., Dolédec S., & Olivier, 1997.** ADE-4 a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* 7: 75-83.
38. **Vindimian, E.**, 2000. Complément au SEQ-Eau: méthode de détermination des seuils de qualité pour les substances génotoxiques INERIS.

REFERENCES WEB-GRAPHIQUES:

39. **CIG - Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris:** Site, www.cig.ensmp.fr. 2004.
40. **Environnement Canada.** www.on.ec.gc.ca, consultée le 16/05/2004.
41. **kherraz, K.**, Gestion intégrée des ressources en eau en Algérie. Principes et moyens d'une nouvelle politique. Agence de Bassin Hydrographique. le www.oieau.fr. Site consulté le 23/05/2004.
42. **Ministère de l'écologie et du développement durable.** France: www.ecologie.gouv.fr. Site consulté le 13/01/2004.
43. **Ministère de l'Environnement.** Canada: www.menv.gouv.qc.ca. Site consulté le 12/03/2004.
44. **Office International de l'Eau.** www.oieau.fr. Site consulté le 24/06/2003.
45. **US EPA, L'Environ/ent Protection Agency.** Etats-Unis. www.epa.gov. Site consulté le 13/008/2004.
46. **Vrije Universiteit Brussel.**, 2004. Site: www.vub.ac.be, consulté 29/01/2004.

Glossaire :

- **Algues macro et microphytes** : Végétaux aquatiques de grande taille (exemple: phanérogames macrophytes) par rapport aux végétaux de petite taille (exemple: phytoplancton microphyte).
- **Algues macro et microphytes** : Végétaux aquatiques de grande taille (exemple: phanérogames macrophytes) par rapport aux végétaux de petite taille (exemple: phytoplancton microphyte).
- **Altération (d'un milieu aquatique)**: Modification de l'état d'un milieu aquatique ou d'un hydrosystème, allant dans le sens d'une dégradation. Les altérations se définissent par leur nature (physique, organique, toxique, bactériologique,...) et leurs effets (eutrophisation, asphyxie, empoisonnement, modification des peuplements,...).
- **Autoépuration** : Ensemble des processus biologiques (dégradation, consommation de la matière organique, photosynthèse, respiration animale et végétale...), chimiques (oxydoréduction...), physiques (dilution, dispersion, adsorption...) permettant à un écosystème aquatique équilibré de transformer ou d'éliminer les substances (essentiellement organiques) qui lui sont apportées (pollution). On doit distinguer l'auto épuration vraie (élimination de la pollution) de l'auto épuration apparente (transformation, transfert dans l'espace ou dans le temps de la pollution).
- **Biodégradation** : Phénomène généralement lié à l'action de micro-organismes des sols ou des eaux qui permettent la dégradation (minéralisation) - et en règle générale - la neutralisation d'agents polluants dans les milieux terrestres ou aquatiques.
- **Biodisponibilité** : Etat physique (solubilisé ou adsorbé) ou chimique (complexé ou ionisé) dans lequel se trouve un polluant et qui conditionne son écotoxicité. La biodisponibilité joue un rôle très important dans la nocivité réelle d'un élément - métal ou métalloïde contaminant les eaux ou les sols.
- **Biomasse** : Masse totale de matière organique contenue dans un échantillon ou une région.
- **Biseau salé** : Partie d'un aquifère côtier envahi par l'eau salée (généralement marine), comprise entre la base de l'aquifère et une interface de séparation eau douce / eau salée: le coin d'eau salée est sous l'eau douce. L'intrusion d'un biseau salé au delà d'une position naturelle de faible pénétration, est quasi systématiquement la conséquence d'une surexploitation de l'aquifère. Une diminution suffisante des exploitations, dans le cadre d'une gestion concertée par exemple, permet d'envisager un retour à la normale à moyen terme.

- **CE 50** : Concentration efficace 50 %.

Ce sont des substances chimiques utilisées pour la protection des cultures contre les maladies, les insectes ravageurs ou les "mauvaises herbes".

- **Coliformes fécaux** : Bactéries d'origine fécale servant d'indicateurs de pollution ou de contamination par des micro-organismes possiblement pathogènes.
- **Coliformes totaux** : Bactéries servant d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique.
- **Colonies atypiques** : Colonies bactériennes qui n'ont pas la couleur vert métallique lors du dénombrement des coliformes par la méthode de la membrane filtrante et à la croissance des coliformes lorsque leur nombre est supérieur à 200/100 ml.

Concentration d'un polluant qui cause un effet toxique donné chez 50 % des individus exposés après un temps d'exposition normalisé, par exemple 24 heures.

- **Efflorescence** : Pousse et prolifération de phytoplancton (**bloom**) dans des conditions hydroclimatiques favorables.

Elle peut être un des moyens pour la mise en oeuvre du **SDAGE** par exemple sur les thèmes de la gestion des champs d'inondation, de la préservation du fonctionnement physique et écologique des milieux, de l'accès au cours d'eau, ou de la protection des nappes.

- **Equitox** : L'équitox est la quantité de toxicité qui, dans 1 m³ d'eau, immobilise, au bout de 24 heures, 50 % des daphnies présentes (micro-crustacés d'eau douce).
- **Equivalent-Habitant (eq-h)** : Cette unité de mesure est employée pour connaître les rejets moyens d'un habitant par jour.
- **Escherichia coli** : Espèce de bactéries faisant partie du groupe coliforme. Leur présence indique une contamination récente par les matières fécales et la possibilité de micro-organismes pathogènes.
- **Géoréférencement** : Rattachement de données à des coordonnées géographiques.
- **Gravière** : Plan d'eau d'origine artificielle créé par extraction de granulats et alimenté essentiellement par la nappe souterraine.
- **METOX** : est calculé par la somme pondérée (exprimée en g/l) de huit métaux et métalloïdes, affectés des coefficients de pondération liés aux différences de toxicité des éléments: mercure 50, arsenic 10, plomb 10, cadmium 10, nickel 5, cuivre 5, chrome 1, zinc 1.

Le plus souvent ces altérations sont anthropiques mais peuvent aussi être d'origine naturelle.

L'emploi du terme alcalin signifie que cette capacité est élevée.

- **Nitrification** : Première phase de l'élimination biologique de l'azote, réalisée notamment dans les stations d'épuration. La nitrification est le traitement d'une eau usée qui vise la transformation de l'ammonium (NH_4^+) en nitrate (NO_3^-).
- **Pesticides** : Ce terme regroupe les herbicides, les insecticides, fongicides...
- **Pollution diffuse** : Pollution des eaux due non pas à des rejets ponctuels et identifiables, mais à des rejets issus de toute la surface d'un territoire et transmis aux milieux aquatiques de façon indirecte, par ou à travers le sol, sous l'influence de la force d'entraînement des eaux en provenance des précipitations ou des irrigations.
- **Pollution dispersée** : Ensemble des pollutions provenant de plusieurs ou de nombreux sites ponctuels. Elle est d'autant plus préjudiciable que le nombre de sites concernés est important.
- **Pollution toxique** : Pollution par des substances à risque toxique qui peuvent, en fonction de leur teneur, affecter gravement et durablement les organismes vivants. Ils peuvent conduire à une mort différée voire immédiate, à des troubles de reproduction, ou à un dérèglement significatif des fonctions biologiques (troubles de reproduction,...).
- **Up-welling** : Remontée des eaux profondes vers la surface.

Annexe 1 :

Protection contre la contamination des échantillons :

Il faut prendre les précautions suivantes:

Citer quelque certains dosages est nécessaire.

- ✓ Ne jamais fumer pendant l'échantillonnage ou lors du transport des échantillons;
- ✓ Ne jamais échantillonner immédiatement après avoir effectué le plein d'essence d'une voiture.
- ✓ Ne jamais rincer les contenants fournis par les laboratoires, qui contiennent les agents de préservation requis pour les analyses.
- ✓ Préparer les récipients des analyses effectuées par les exploitants (aux sites d'échantillonnage) de façon à ce qu'ils soient exempts de contaminants.
- ✓ Ne pas utiliser du matériel d'échantillonnage en métal si l'analyse porte sur des métaux à l'état de traces.
- ✓ Entreposer le matériel d'échantillonnage dans des endroits propres et bien aérés.
- ✓ Boucher soigneusement et hermétiquement tous les contenants après le prélèvement.
- ✓ Enregistrer adéquatement les échantillons prélevés à l'aide des formulaires appropriés.
- ✓ Emballer soigneusement les échantillons pour éviter les bris ou déversements et utiliser des contenants d'expédition identifiés et adéquats pour le transport des échantillons.

S'assurer l'utilisation un service de transport fiable afin de maintenir les échantillons en bon état à l'intérieur des délais analytiques prescrits. (TARDAT-HENRY, 1992)

Annexe 2 :

Méthodes d'analyse physicochimique de quelques paramètres :

1-Mesure du pH :

Objet :

La mesure du pH s'effectue sur les prélèvements d'eau.

Moyens techniques

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre, vérifié et étalonné avec au moins deux solutions étalons (7 et 10 ou 7 et 4 suivant la gamme de mesure à réaliser).

Gamme	0,00 à 14,00 unités pH. Température: -10 à 125°C
Résolution	0,01 unité pH
Précision	± 0,01 pH. Température: ± 0,4°C
Compensation de température	Automatique ou manuelle

Mode opératoire :

Vérifier que le pH-mètre est connecté au réseau électrique ou que ses batteries sont en état de fonctionnement

Retirer la capsule contenant la solution de stockage protégeant la sonde de mesure. Rincer cette dernière à l'eau déminéralisée avant toute mesure.

Mesure :

Plonger la sonde dans le milieu à analyser. Remuer avec soin et légèrement la sonde et attendre que la lecture se stabilise.

1er cas : pas de sonde de température.

Mesurer la température du milieu à analyser avec un thermomètre, puis afficher la valeur sur le pH-mètre. Relever la valeur de pH à la température mesurée.

2^{ème} cas : il existe une sonde de température.

Plonger les deux sondes (température et pH).

Relever les deux lectures: pH et température.

Généralement, la mesure s'effectue à 20°C.

Il est recommandé de refroidir ou réchauffer le prélèvement vers 20°C avant de mesurer le pH.

Entretien :

Après utilisation, rincer les sondes à l'eau déminéralisée. La sonde pH est rincée puis plongée dans la solution de stockage contenue dans une capsule. Il est recommandé de changer régulièrement cette solution.

Réactifs :

- Solution tampon pH 4.01 à 25°C
- Solution tampon pH 7.01 à 25°C
- Solution tampon pH 10.01 à 25°C

Titre Alcalimétrique et Titre Alcalimétrique Complet :

Mode opératoire :

Le TA et le TAC se mesurent après détermination du pH de l'eau, sur une prise d'échantillon de 50 ml.

2-Mesure du TA :

Dans un erlenmeyer contenant 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 gouttes de phénolphtaléine.

- Si le pH < 8,3, la solution ne se colore pas en rose: le TA est = 0
- Si le pH > 8,3, la solution est rose: le TA est déterminé par addition de liqueur alcalimétrique (solution d'acide sulfurique N/25), V (ml), nécessaire au virage de la phénolphtaléine

D'où: TA = V (ml) x 4°F

3-Mesure du TAC

Elle succède à celle du TA sur le même échantillon.

Si le TA est non nul, ne pas réajuster la burette de liqueur alcalimétrique à zéro.

Dans l'échantillon précédent, ajouter 3 gouttes d'hélianthine.

- Si le pH < 4,3, la solution est immédiatement rouge ou orangée: TAC = TA
- Si le pH > 4,3, la solution est jaune: le TAC est déterminé de la même manière que le TA

D'où: TAC = V (ml) X 4°F

Avec V (ml) volume total de titrant versé

Utilisation et préparation des réactifs :

Pour la préparation des réactifs, n'utiliser que de l'eau déminéralisée (conductivité inférieure ou égale à 2 µS/cm). Les matières premières doivent être de qualité analytique.

5-Détermination du TH ou titre hydrotimétrique :

1. Objet :

La mesure du TH s'effectue sur les eaux ayant une dureté à déterminer.

La dureté correspond à l'ensemble des ions alcalino-terreux, soient les ions calcium et magnésium.

Méthodes de dosage :

Méthode :

Dosage par liqueur complexométrique (ou liqueur hydrotimétrique).

Principe :

La mesure est un dosage volumétrique par un réactif titrant complexant, l'EDTA (sel tétrasodique de l'acide éthylène diamine tétra-acétique).

La méthode peut être mise en défaut lorsque les eaux sont riches en cuivre et/ou en fer dissous.

L'EDTA a la propriété de se combiner avec les ions calcium puis magnésium pour former des composés solubles, les chélates.

La fin du dosage est décelée par la couleur bleue de l'indicateur coloré (Indicateur Net), étant violet tant que les ions magnésium restent à l'état libre en solution.

Mode opératoire laboratoire :

Prélever 50 ml d'eau à analyser dans une fiole de 50 ml. Les verser dans un erlenmeyer adapté puis ajouter 20 gouttes de solution tampon K10 (solution $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$) permettant la complexation totale des ions calcium et magnésium à pH = 10.

En cas de perturbation (cas des eaux riches en cuivre et/ou fer dissous), ajouter une ½ jauge d'ascorbate de sodium et une ½ jauge de cyanure de potassium. Ajouter 6 à 8 gouttes d'Indicateur Net :

- si la solution est bleue: **TH = 0** . L'eau est adoucie ou non-dure.
- si la solution est violette: doser le mélange par la liqueur hydrotimétrique (solution d'EDTA N/25). Ajouter jusqu'au virage du violet au bleu:

Soit V (ml) volume de coulée d'où: **TH = V (ml) x 4 °F**

Kit TH-test :

Verser l'eau à analyser dans le tube à essai jusqu'au repère.

Ajouter 2 gouttes de réactif K; agiter.

Ajouter 5 gouttes de réactif TH test 1 (NET); agiter.

- Si la couleur est bleue, le TH = 0: l'eau n'est pas dure.

- Si la couleur est violette, l'eau a une certaine dureté : ajouter goutte à goutte le réactif TH test 2 (complexo). Compter le nombre de gouttes ajoutées jusqu'à obtenir une coloration bleue.

La dureté ou TH en °F est égale à deux fois le nombre de gouttes de réactif TH test 2 versées.

6-Dosage des phosphates totaux et ortho sur les prélèvements d'échantillons :

Dosage des orthophosphates :

Objet et domaine d'application :

Description de la méthode d'analyse colorimétrique des orthophosphates (avec ou sans transformation) présents dans les échantillons d'eau pour des concentrations comprises entre 0 et 10 mg/l de P₂O₅ en cuve de 10 mm d'épaisseur.

Principe :

En milieu acide et en présence d'heptamolybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'ascorbate de sodium, développent une coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 710 nm.

Mode opératoire :

Etalonnage :

- Dans une série de fioles de 50 ml, introduire à la suite 0 - 5 - 10 - 15 - 20 - 25 ml de solution-fille à 20 mg/l de P₂O₅ et compléter à 50 ml avec de l'eau déminéralisée. Ceci correspond à une gamme étalon respectivement de 0 - 2 - 4 - 6 - 8 - 10 mg/l de P₂O₅.
- Effectuer les mesures selon le mode opératoire du dosage (4.3).
- Tracer la courbe d'étalonnage (régression linéaire): absorbance en fonction de la concentration en P₂O₅. En déduire le coefficient K qui est donné par la formule:

$$K = \frac{C(\text{P}_2\text{O}_5)\text{mg/l}}{\text{absorbance (D.O.)}}$$
à une température donnée.

NB: Il est important de noter et de maintenir la même température dans tous les échantillons pour l'établissement de la courbe (entre 20 et 25°C).

Contrôle (tous les 6 mois)

- A partir de la solution-mère étalon à 1000 mg/l de P₂O₅, préparer une solution à 5 mg/l de P₂O₅.
- Effectuer la mesure selon le mode opératoire du dosage (4.3).

- Si la valeur trouvée est à $\pm 5\%$ de la valeur théorique, le contrôle est satisfaisant. Dans le cas contraire, effectuer un étalonnage (4.1) pour redéterminer le coefficient K.

Dosage

- Prélever une prise d'essai de 25 ml d'échantillon à analyser.
- Amener éventuellement l'échantillon à un pH compris entre 2 et 8,3 à l'aide d'acide sulfurique au $\frac{1}{4}$, ou de lessive de soude à 30% en finissant par l'acide sulfurique 5N en présence d'1 goutte de phénolphtaléine (passage du rose à l'incolore).
- Ajouter 2,5 ml de sulfomolybdique, puis 30 à 40 mg d'ascorbate de sodium (une $\frac{1}{2}$ jauge).
- Attendre 5 mn le développement de la coloration.
- Passer au colorimètre dans une cuve de 10 mm d'épaisseur à une longueur d'onde de 710 nm. Noter l'absorbance trouvée.

NB :

- Effectuer, pour obtenir le zéro d'absorbance, un témoin avec de l'eau déminéralisée additionnée des réactifs précités.
- Mélanger après chaque introduction de réactif.
- Noter la température de l'échantillon analysé en cours de réaction.

Expression du résultat

- La concentration en P_2O_5 , exprimée en mg/l, est donnée par les formules suivantes:
- sans correction de température: $C (P_2O_5) \text{ mg/l} = K * A$
- pour une température comprise entre 10 et 30°C: $C (P_2O_5) \text{ mg/l} = (K*A) / (1+0,02(t_1-t_0))$
- pour une température comprise entre 30 et 40°C:

$$C (P_2O_5) \text{ mg/L} = (K*A) / [(1+0,045(t_1-30)) * (1+0,02(30-t_0))]$$

où K est le coefficient déduit de la courbe d'étalonnage

A est l'absorbance de l'échantillon analysé en D.O.

t_1 est la température en °C de l'échantillon analysé en cours de réaction

t_0 est la température en °C à laquelle la courbe d'étalonnage a été effectuée.

Reporter le résultat sur le bulletin d'analyse.

Remarques

- Il est important d'introduire l'ascorbate de sodium immédiatement après le sulfomolybdique pour éviter un développement trop rapide de la coloration bleue.
- Le temps de réaction de 5 mn est important. Par dépassement de temps, on obtiendrait une valeur par excès (environ 2% par minute supplémentaire).
- La température de l'échantillon en cours d'analyse a une influence sur la mesure.

Entre 10 et 30°C, on obtient une valeur par excès de 2% environ par degré supplémentaire.

Entre 30 et 40°C, on obtient une valeur par excès de 4,5% environ par degré supplémentaire.

- La concentration maximale en P_2O_5 de la mesure est de 10 mg/l. Au-delà, effectuer une dilution.
- La limite de détection est de 0,1 mg/l de P_2O_5 .

Utilisation et préparation des réactifs :

Pour la préparation des réactifs, n'utiliser que de l'eau déminéralisée (conductivité inférieure ou égale à 2 $\mu S/cm$). Les matières premières doivent être de qualité analytique.

1. Acide sulfurique au $\frac{1}{4}$
2. Acide sulfurique 5N
3. Lessive de soude à 30%
4. Phénolphtaléine à 5 g/l
5. Réactif sulfomolybdique
6. Ascorbate de sodium
7. Solution-mère étalon à 1000 mg/l de P_2O_5

Dissoudre 1,9170 g de dihydrogénophosphate de potassium (pour une pureté de 100%) dans de l'eau.

Ajouter 1 ml d'acide sulfurique au $\frac{1}{4}$ et compléter à 1000 ml avec de l'eau.

Solution-fille étalon à 20 mg/l de P_2O_5

Diluer au 1/50 en volume la solution précédente au moment de l'emploi.

7-Dosage des chlorures :

Objet :

Le dosage des chlorures s'effectue sur des échantillons d'eau, après détermination du TA et du TAC.

Modes opératoires :

Sur un échantillon d'eau de 50 ml, ajouter 5 gouttes de chromate de potassium: le mélange se colore en jaune.

La solution est dosée par une solution de nitrate d'argent N/25: le nitrate d'argent précipite les chlorures alcalins et alcalino-terreux sous forme de chlorure d'argent.

La fin de la réaction est repérée par l'apparition de la teinte rouge brique du chromate d'argent.

D'où: **Chlorures = V (ml) x 4 °F**

V (ml) volume versé de solution de nitrate d'argent N/25.

(TARDAT-HENRY, 1992)

Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada :

Les paramètres concernant les substances inorganiques (TARDAT-HENRY, 1992).

Substances inorganiques	Concentration maximale (mg/L)
Arsenic (As)	0,025
Baryum (Ba)	1
Bore (B)	5
Bromates	0,010
Cadmium (Cd)	0,005
Chloramines	3
Chlore résiduel libre	0,3* (sortie du traitement)
Chrome total (Cr)	0,05
Cyanures (CN)	0,2
Fluorures (F)	1,5
Nitrates + nitrites (exprimés en N)	10
Mercure (Hg)	0,001
pH	Entre 6,5 et 8,5 unités
Plomb (Pb)	0,01
Sélénium (Se)	0,01
Turbidité	0,5 UTN (eau filtrée)
Uranium (U)	0,02

* Ceci est une valeur minimale

10.2 - Les paramètres concernant les substances organiques

Les paramètres concernant les substances organiques (TARDAT-HENRY, 1992).

Pesticides	Concentration maximale (\square g/L)
Atrazine et ses métabolites	5
Azinphos-méthyle	20
Bromoxynil	5
Carbaryl	90
Carbofurane	90
Chlorpyrifos	90
Cyanazine	10
Diazinon	20
Dicamba	120

Dichloro-2,4-phénoxyacétique, acide(2,4-D)	100
Diméthoate	20
Diquat	70
Diuron	150
Glyphosate	280
Malathion	190
Méthoxychlore	900
Métolachlore	50
Métribuzine	80
Paraquat (en dichlorures)	10
Parathion	50
Phorate	2
Piclorame	190
Simazine	10
Terbufos	1
Trifluraline	45
Autres substances organiques	Concentration maximale (micro g/L)
Benzène	5
Benzo (a) pyrène	0,01
Chlorure de vinyle	2
Dichloro-1,1-éthylène	14
Dichloro-1,2 benzène	200
Dichloro-1,4 benzène	5
Dichloro-1,2 éthane	5
Dichlorométhane	50
Dichloro-2,4 phénol	900
Monochlorobenzène	80
Pentachlorophénol	60
Tétrachloroéthylène	30
Tétrachloro-2,3,4,6 phénol	100
Tétrachlorure de carbone	5
Trichloro-2,4,6 phénol	5
Trichloroéthylène	50
Trihalométhanes totaux	Moyenne annuelle: 80

