وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA

جامعة باجي مختار – عنابة



Année 2007 السنة

Faculté des Sciences de la Terre
Département de géologie

Mémoire

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

THEME

Qualité des eaux de surface de l'Est algérien et leur réactivité vis-à-vis du chlore

Option : Hydrochimie

Présenté par :
Mr : Nabil HARRAT

Devant le jury :

Président : Larbi DJABRI	Professeur	Université de Annaba
Examinateur : Azzeddine HANI	M.C	Université de Annaba
Examinateur : Hichem CHAFFAI	M.C	Université de Annaba
Examinateur : Yahia HAMMAR	M.C	Université de Annaba
Rapporteur : Samia ACHOUR	Professeur	Université de Biskra

Résumé :

Le présent mémoire porte sur l'étude de la réactivité du chlore à l'égard de plusieurs eaux de barrage de l'Est algérien (Nord-est et Sud–Est). La qualité physico-chimique de ces eaux est également étudiée et corrélée à cette réactivité.

L'étude bibliographique fait une mise au point sur l'évaluation de la qualité des eaux naturelles, sur le rôle du chlore pour la potabilisation des eaux et sur les ressources en eaux en Algérie, du point de vue quantitatif et qualitatif.

L'étude expérimentale a permis l'utilisation de méthodes analytiques variées aussi bien pour les paramètres de qualité que pour les essais de chloration en laboratoire. Les résultats obtenus ont permis de montrer que les eaux prélevés et testées présentaient globalement une qualité moyenne, parfois médiocre. Certaines eaux ont présenté une minéralisation importante et une dureté élevée (eaux du Sud-Est). Par contre, d'autres eaux ont été caractérisées par des charges organiques importantes dont une fraction sous forme de substances humiques.
Les essais de chloration ont mis en évidence des potentiels de consommation appréciables, notamment pour les eaux les plus chargées en matière organique. La réactivité de ces eaux est accrue par une compétition des réactions chlore/matières organique et chlore/éléments minéraux. La variation du taux de chlore a permis d'obtenir des courbes de break-point, caractéristiques de la formation et destruction de chloramines. L'évolution de la consommation de chlore en fonction du temps et l'évolution de l'absorbance en U.V a permis de distinguer deux étapes, une étape rapide et une étape lente. Les cinétiques observées sont conditionnées par la composition organique et minérale des eaux testées.

SOMMAIRE

Introduction générale *01*

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EAUX DE SURFACE

I.1. Introduction *02*
I.2. Généralités sur les eaux de surface *02*
I.3. Différents états des constituants de l'eau *03*
I.3.1. Matières en suspension *04*
I.3.2. Etats dissous *04*
I.4. Caractéristiques organoleptiques *04*
I.4.1. La couleur *04*
I.4.2. Goût et odeur *05*
I.4.3. Température *06*
I.4.4. Turbidité *07*
I.5. Caractéristiques minérales des eaux *09*
I.5.1. Dureté *09*
I.5.2. pH *10*
I.5.3. Agressivité *11*
I.5.4. Acidité *11*
I.5.5. Conductivité *11*
I.5.6. Alcalinité *12*
I.5.7. Oxygène dissous *12*
I.5.8. Sodium et potassium *13*
I.5.9. Chlorures et sulfates *14*
I.6. Eléments minéraux indicateurs de pollution *14*
I.6.1. Azote ammoniacal *14*
I.6.2. Nitrites et nitrates *14*
I.6.3. Phosphates *14*
I.7. Eléments Indésirables *15*
I.8. Eléments toxiques *15*
I.9. Caractéristiques organiques *16*
I.10. Caractéristiques biologiques *21*
I.11. Aspects toxicologiques et normes relatives à la qualité des eaux naturelles *24*
I.12. Conclusion *27*

CHAPITRE II : DONNEES SUR LES EAUX DE SURFACE ALGERIENNES.

II.1.Introduction *28*
II.2. Principales ressources hydriques superficielles *28*
II.2.1. Données de base sur les ressources en eau *28*
II.2.2. Bassins hydrographiques *30*
II.2.2.1. Les ressources en eau de surface *30*
II.2.2.1.1. Les barrages *31*
II.2.2.1.2. Les retenues collinaires *34*
II.3. L'envasement des barrages *35*
II.4. Sources de pollution *35*

II.5. Qualité physico-chimique des eaux de surface Algériennes *37*
II.6. Conclusion *42*

CHAPITRE III : LA CHLORATION DES EAUX DE SURFACE

III.1. Introduction *43*
III.2. Propriétés physico-chimiques du chlore *44*
III.2.1. Généralités et propriétés physiques *44*
III.2.2. Propriétés chimiques *44*
III.2.3. Aspect chimique de la chloration *45*
III.3. Action du chlore sur les constituants de l'eau *46*
III.3.1. Action désinfectante de chlore *46*
III.3.2. Action du chlore sur les composés minéraux *47*
III.3.3. Action du chlore sur les matières organiques *50*
III.4. Incidence de la composante minérale sur la chloration des matières organiques *51*
III.4.1. Chloration en présence d'ammoniaque *52*
III.4.2. Chloration en présence de bromures *53*
III.4.3. Chloration en présence du fer et du manganèse *54*
III.5. Toxicité des sous produits de la chloration *55*
III.6. Pratique de la chloration *56*
III.6.1. Pratique de la chloration à travers le monde *56*
III.6.2. Pratique de la chloration en Algérie *57*
III.7. Conclusion *59*

DEUXIEME PARTIE:
ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : PROCEDURES EXPERIMENTALES

I.1. Introduction *61*
I.2. Echantillonnage *61*
I.3. Méthodes d'analyse physico-chimique *63*
I.4. Description des essais de chloration *69*
I.4.1. Potentiels de consommation en chlore *69*
I.4.2. Essais de break point *69*
I.4.3. Cinétique de consommation en chlore *70*
I.5. Conclusion *70*

CHAPITRE II : ETUDE EXPERIMENTALE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DE BARRAGES

II.1 Introduction *71*
II.2. Température *71*
II.3. pH *71*
II.4. Conductivité *72*
II.5. Turbidité *72*
II.6. Dureté *73*
II.7. Alcalinité *74*
II.8. Chlorures et sulfates *74*
II.9. Phosphate *75*

II.10. Sodium et potassium *76*
II.11. Fer et manganèse *77*
II.12. Nitrates et nitrites *77*
II.13. Ammoniaque *78*
II.14. Bromures *79*
II.15. Cuivre *79*
II.16. Cadmium *80*
II.17. Matières organiques *80*
II.18. Conclusion *82*

CHAPITRE III : RESULTATS EXPERIMENTAUX DES ESSAIS DE CHLORATION

III.1. Introduction *83*
III.2. Potentiels de consommation en chlore *83*
III.3. Influence du taux de chloration sur les eaux de surface (break point) *85*
III.3.1. Résultats *85*
III.3.2. Discussion des résultats *86*
III.4. Cinétique de consommation en chlore *87*
III.4.1. Résultats *87*
III.4.2. Discussion des résultats *91*
III.5. Conclusion *94*

Conclusion générale *95*

Références bibliographiques

Liste des tableaux

Tableau 01 : Charge organique de quelques eaux de surface à travers le monde.
Tableau 02 : Principales maladies transmises par l'eau
Tableau 03 : Classification des métaux selon leur toxicité.
Tableau 04 : Normes et recommandation canadiennes pour les paramètres physiques et chimiques.
Tableau 05 : Limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (OMS 2004)
Tableau 06 : Limite de qualité des eaux destinées à la consommation humaine (OMS 2004), (suite).
Tableau 07 : Répartition spatiale des eaux de surface.
Tableau 08 : Variation inter annuelle des apports au niveau de certains barrages (1943-1993).
Tableau 09 : Localisation des barrages (capacité > 10 Hm^3)
Tableau 10 : ressources en eaux mobilisées en Algérie
Tableau 11 : Projets en cours de réalisation
Tableau 12 : Projets en étude de faisabilité
Tableau 13 : Variation de la capacité des retenues collinaires en Algérie
Tableau 14 : Barrages affectés par la pollution
Tableau 15 : Résultats d'analyses des eaux des barrages dans la région Est pour le mois Février 2005.
Tableau 16 : Résultats d'analyses des eaux des barrages dans la région Est pour le mois Juin 2005.
Tableau 17 : Résultats d'analyses des eaux des barrages dans la région Est pour le mois Août 2005.
Tableau 18 : Résultats d'analyses des eaux des barrages dans la région Est pour le mois Novembre 2005.
Tableau 19 : Bulletin mensuel de la qualité des eaux des barrages (Octobre 2005).
Tableau 20 : Evolution des paramètres physico-chimiques de l'eau du barrage Foum El-Gharza.
Tableau 21 : Valeurs guides de l'agence nationale des ressources hydrauliques.
Tableau 22 : Effets toxicologiques du chlore et ses dérivés.
Tableau 23 : Concentration moyenne des THM pour des eaux de surface françaises chlorées.
Tableau 24 : Caractéristiques et réactivité des eaux brutes algériennes vis-à-vis du chlore.
Tableau 25 : Analyse du chlore libre résiduel sur quelques eaux de consommation d'Alger
Tableau 26 : Analyse du chlore libre résiduel sur quelques eaux de consommation de la ville de Biskra.
Tableau 27 : Lieux et dates de prélèvement.
Tableau 28 : Etalonnage de la mesure du sodium par photométrie de flamme.
Tableau 29 : Etalonnage de la mesure du chlorure par potentiométrie.
Tableau 30 : Etalonnage de la mesure du cadmium par potentiométrie.
Tableau 31 : Tableau des potentiels de consommation en chlore.
Tableau 32 : Tableau récapitulatif des cinétiques de consommation en chlore.
Tableau 33 : Tableau des cinétiques.
Tableau 34 : Tableau présente les variations d'absorbance des eaux des barrages étudiés.

Liste des figures

Figure 01 : Courbe de break point, NH_4^+=1 mg/l.
Figure 02 : Influence du taux de chloration sur l'eau brute du barrage de Kaddara. Temps=1heur, pH=7,5, NH_4^+=0,22 mg/l.
Figure 03 : Evolution des trihalométhanes suivant le taux de bromures des eaux de Tennesse river. Cl_2=10 mg/l, COT=2,4 mg/l.
Figure 04 : Chloration d'un acide fulvique en présence d'ions bromures.
Figure 05 :
Figure 06 : Courbe d'étalonnage de la mesure du sodium
Figure 07 : Courbe d'étalonnage de la mesure du chlorure
Figure 08 : Courbe d'étalonnage de la mesure du cadmium.
Figure 09 : Courbe de substance humique (barrage de BNI ZID)
Figure 10 : Courbe de substance humique (barrage de FONTAINE DES GAZELLES).
Figure 11 : Courbe de substance humique (barrage de MEXA).
Figure 12 : Courbe de substance humique (barrage de HAMMAM DEBAGH)
Figure 13 : Courbe de substance humique (barrage de BNI HAROUN)
Figure 14 : Courbe de substance humique (barrage de CHEFIA)
Figure 15 : Courbe de substance humique (barrage de FOUM EL GHARZA)
Figure 16 : Courbe de substance humique (barrage de GUENITRA)
Figure 17 : Courbe de substance humique (barrage de ZARDEZAS)
Figure 18 : Courbe de substance humique (barrage de ZIT AMBA).
Figure 19 : Courbe de substance humique (barrage de AIN DALIA).
Figure 20 : Valeurs de la température des eaux des barrages étudiés.
Figure 21 : Valeurs du pH des eaux des barrages étudiés.
Figure 22 : Valeurs de la conductivité des eaux des barrages étudiés.
Figure 23 : Valeurs de la turbidité des eaux des barrages étudiés.
Figure 24 : Valeurs du TA des eaux des barrages étudiés.
Figure 25 : Valeurs du TAC des eaux des barrages étudiés.
Figure 26 : Valeurs des chlorures des eaux des barrages étudiés.
Figure 27 : Valeurs des sulfates des eaux des barrages étudiés.
Figure 28 : Valeurs des phosphates des eaux des barrages étudiés.
Figure 29 : Valeurs du sodium des eaux des barrages étudiés.
Figure 30 : Valeurs du potassium des eaux des barrages étudiés.
Figure 31 : Valeurs du fer des eaux des barrages étudiés.
Figure 32 : Valeurs du manganèse des eaux des barrages étudiés.
Figure 33 : Valeurs du nitrate des eaux des barrages étudiés.
Figure 34 : Valeurs du nitrite des eaux des barrages étudiés.
Figure 35 : Valeurs de l'ammoniaque des eaux des barrages étudiés.
Figure 36 : Valeurs du bromure des eaux des barrages étudiés.
Figure 37 : Valeurs du cuivre des eaux des barrages étudiés.
Figure 38 : Valeurs du cadmium des eaux des barrages étudiés.
Figure 39 : Valeurs de la matière organique des eaux des barrages étudiés.
Figure 40 : Valeurs du substance humique des eaux des barrages étudiés.
Figure 41 : Valeurs d'absorbance en UV des eaux des barrages étudiés.
Figure 42 : Corrélation entre turbidité et potentiel de consommation en chlore.
Figure 43 : Corrélation entre oxydabilité au $KMnO_4$ et potentiel de consommation en chlore.
Figure 44 : Break point (barrage de ZARDEZAS).
Figure 45 : Break point (barrage de BNI ZID).
Figure 46 : Break point (barrage de ZIT AMBA).

Figure 47 : Break point (barrage de CHEFIA).
Figure 48 : Break point (barrage de MEXA).
Figure 49 : Break point (barrage de HAMMAM DEBAGH).
Figure 50 : Break point (barrage de GUENITRA).
Figure 51 : Break point (barrage de AIN DALIA).
Figure 52 : Break point (barrage de FONTAINE DES GAZELLES).
Figure 53 : Break point (barrage de FOUM EL GHARZA).
Figure 54 : Break point (barrage de BNI HAROUN).
Figure 55 : Cinétique (barrage de ZARDEZAS).
Figure 56 : Cinétique (barrage de ZIT AMBA).
Figure 57 : Cinétique (barrage de BNI ZID).
Figure 58 : Cinétique (barrage de AIN DALIA).
Figure 59 : Cinétique (barrage de HAMMAM DEBAGH).
Figure 60 : Cinétique (barrage de GUENITRA).
Figure 61 : Cinétique (barrage de CHEFIA).
Figure 62 : Cinétique (barrage de MEXA).
Figure 63 : Cinétique (barrage de FONTAIN DES GAZELLES).
Figure 64 : Cinétique (barrage de FOUM EL GHARZA).
Figure 65 : Cinétique (barrage de BNI HAROUN).
Figure 66 : Absorbance en fonction du temps (ZARDEZAS)
Figure 67 : Absorbance en fonction du temps (BNI ZID).
Figure 68 : Absorbance en fonction du temps (ZIT AMBA).
Figure 69 : Absorbance en fonction du temps (CHEFIA).
Figure 70 : Absorbance en fonction du temps (MEXA).
Figure 71 : Absorbance en fonction du temps (AIN DALIA).
Figure 72 : Absorbance en fonction du temps (GUENITRA).
Figure 73 : Absorbance en fonction du temps (HAMMAM DEBAGH).
Figure 74 : Absorbance en fonction du temps (BNI HAROUN).
Figure 75 : Absorbance en fonction du temps (FOUM EL GHARZA)
Figure 76 : Absorbance en fonction du temps (FONTAIN DES GAZELLES).

Liste des symboles

AEP: Alimentation en eau potable.
B.P: Break point
CMA: Concentration maximale admissible
CMAP: Concentration maximale admissible provisoire
COD: Carbone organique dissout
COT: Carbone organique totale
DBO: Demande biochimique en oxygène
DBO_5: Demande biochimique en oxygène en 5 jours.
DCO: Demande chimique en oxygène.
EDTA:
F.T.U: Formazine turbidity unites.
J.T.U: Jackson turbidity unites.
LARHYSS: Laboratoire de recherche en hydraulique de surface et souterraine.
M.E.S: Matières en suspensions.
MO: Matières organiques.
N.T.U: Néphélométrie turbidity unites.
$PCCl_2$: potentiel de consommation en chlore.
PFTOX: potentiel de formation des organohalogénés totale.
PPm: Partie par million.
Rés: Résiduel
R.C: Robinet de consommateur
STEP: Station d'épuration
TA: Titre alcalin.
TAC: Titre alcalin complet
THM: Trihalométhane
U.V: Ultra violet

Introduction générale

Introduction générale :

Les ressources naturelles en eau sont constituées d'eaux souterraines et superficielles. Elles sont prélevées pour être destinées à la consommation humaine, l'agriculture ou l'industrie.

Ces eaux sont susceptibles de contenir des substances diverses, de nature physico-chimique (sels minéraux, matières en suspension, micropolluants organiques et minéraux) et de nature biologique (bactéries, virus, parasites, …). Certains de ces éléments peuvent non seulement dégrader la qualité organoleptique de ces eaux mais aussi créer des problèmes de santé publique (BEAUDRY, 1984). Il est donc indispensable de caractériser précisément la composition de ces eaux pour cerner les paramètres à corriger et prévoir le traitement adéquat.

Afin de potabiliser une eau, différentes étapes de traitement peuvent être nécessaires, notamment dans le cas des eaux de surface. Parmi les procédés utilisés, la désinfection est universellement appliquée et empêche la propagation de maladies en inactivant des microorganismes pathogènes (DEGREMONT, 1989). Dans les pays en développement, les maladies à transmission hydrique tels que le choléra, la typhoïde ou la dysenterie constituent encore un problème majeur.

La chloration apparaît alors comme un procédé de désinfection justifié du fait que le chlore présente un bon pouvoir biocide et oxydant, que sa mise en œuvre est relativement simple. Il possède aussi un effet rémanent qui permet au résiduel de chlore de rester actif dans l'eau même dans les conduites du réseau de distribution d'eau (DORE, 1989). Cependant, la composition physico-chimique de l'eau peut influencer la désinfection, voire la perturber. En effet, le chlore est un oxydant puissant pouvant réagir avec de nombreux composés minéraux (ammoniac, bromures, fer,…) ou organiques (substances humiques, acides aminés, pesticides,…) présents dans l'eau. Avant toute désinfection, le chlore sera consommé par toutes ces substances (demande en chlore de l'eau), ce qui rend indisponible une partie de la dose de chlore introduite. Des paramètres tels que le pH, la température ou la turbidité peuvent également conditionner la réactivité du chlore et par la même l'efficacité de la désinfection (ELLIS, 1991 ; ACHOUR, 2001 ; SANTE CANADA, 2003).

Dans ce contexte, l'objectif de notre travail est d'étudier la réactivité du chlore vis-à-vis de quelques eaux de surface algériennes après avoir déterminé les principales caractéristiques physicochimiques de ces eaux. Les eaux testées sont prélevées dans différents barrages situés dans l'Est algérien où l'on a assisté à la construction de nombreux barrages ces dernières décennies et dont la plupart alimentent des agglomérations urbaines.

Au cours de cette étude, deux grandes parties constituent le mémoire. La première partie consiste en un état de connaissances sur les paramètres de qualité des eaux, des données sur les ressources en eaux algériennes aussi qu'une description de la chloration et ses effets, sur les constituants de l'eau.

La seconde partie est une étude expérimentale réalisée en laboratoire et comportant d'une part les résultats des essais relatifs à la qualité physico-chimique des eaux testées et d'autre part les résultats des essais de chloration (potentiels de consommation, break-point, cinétiques).

Deuxième partie : Etude expérimentale.

CHAPITRE I :
Procédures expérimentales.

I.1. Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons décrire les principales méthodes de dosage ainsi que les essais de chloration. Ces essais concernent la détermination des consommations en chlore pour les différentes molécules organiques testées et pour des conditions expérimentales variables (pH, taux de chloration, temps de contact, les éléments minéraux notamment l'ammoniac sur cette consommation). Tous les essais sont réalisés sur des eaux de barrage de l'Est Algérien. Toute l'étude expérimentale s'est effectuée au laboratoire de recherche en hydraulique souterraine et de surface (LARHYSS) de l'université de Biskra.

I.2. Echantillonnage :

I.2.1. Prélèvements d'échantillons :

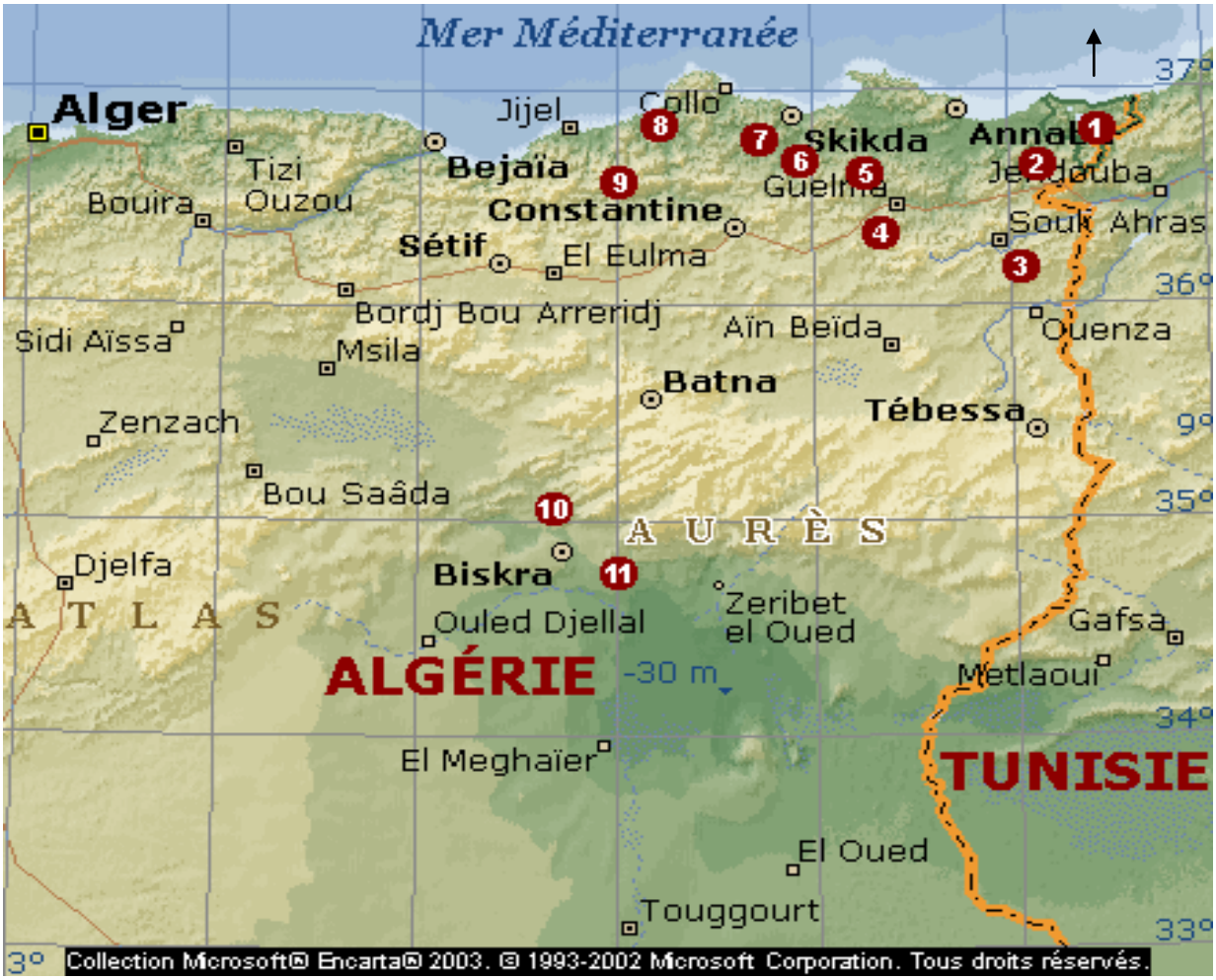
Les essais ont été effectués sur des prélèvements d'eaux brutes au cours de la période allant de Novembre 2005 à Février 2006.

Les prélèvements sont effectués sur 11 barrages de l'Est Algérien. Le tableau 20 récapitule les points de prélèvements des eaux du barrage.

La valeur de toute analyse dépend de la méthode d'échantillonnage utilisée. Pour cela, un maximum de soins et de précaution est exigé afin d'obtenir des résultats significatifs et exacts. La figure 05 présente la situation géographique des barrages considérés.

Tableau 20 : Lieux et dates de prélèvement.

Eau de surface (Barrage)	Lieu	Date et heure de prélèvement
Barrage de Zardézas	Harrouche (wilaya de SKIKDA)	20/11/05 à 10 :20
Barrage de Beni Zid	Collo (Wilaya de SKIKDA)	08/12/05 à 11 :20
Barrage de Zit Amba	Azzaba (Wilaya de SKIKDA)	09/12/05 à 10 :15
Barrage de Hammam Debagh	Hammam Debagh (Wilaya de GUELMA)	04/0106 à 10 :20
Barrage de Ain Dalia	Ain Dalia (Wilaya de SOUK AHRAS)	07/01/06 à 10 :25
Barrage de Guenitra	Om Tob (Wilaya de SKIKDA)	08/01/06 à 10 :02
Barrage de Cheffia	Cheffia (Wilaya de TARF)	21/01/06 à 10 :42
Barrage de Mexa	Ain Assel (Wilaya de TARF)	21/01/06 à 12 :35
Barrage de Fontaine .des Gazelles	Wilaya de BISKRA	24/06/06 à 9 :45
Barrage de Foum El Gherza	Wilaya de BISKRA	26/01/06 à 10 :40
Barrage de Beni Haroun	Beni Haroun (Wilaya de MILA)	01/02/06 à 11:05



1 : Barrage de Mexa

2 : Barrage de Cheffia

3 : Barrage de Ain Dalia

4 : Barrage de Hammam Debagh

5 : Barrage de Zit Amba

6 : Barrage de Zardézas

7 : Barrage de Guénitra

8 : Barrage de Beni Zid

9 : Barrage de Beni Haroun

10 : Barrage de Fontaine des Gazelles

11 : Barrage de Foum el Gherza

Figure (05) : Localisation géographique des barrages étudiés.

I.2.2. Mode de prélèvement :

Les échantillons d'eau sont recueillis dans des jerricans bien lavés. Les prélèvements se font à une profondeur de 15 à 30 cm de la surface de l'eau, en évitant la pénétration de l'air.

Le transport des échantillons depuis le point de prélèvement jusqu'au laboratoire se fait dans une glacière à 4 °C. Lorsque les échantillons sont conservés, ils sont mis au réfrigérateur.

Avant de procéder aux opérations analytiques, il est essentiel que toutes les dispositions soient prises, telles que l'homogénéisation au moment du dosage.

I.3. Méthodes d'analyse physico-chimique :

Les méthodes analytiques utilisées sont décrites par Rodier (1996) et Tardat-Henry (1984) ou les catalogues de l'appareillage utilisé.

I.3.1. Température :

La température est mesurée à l'aide d'un thermomètre.

I.3.2. Turbidité :

La turbidité est mesurée au laboratoire à l'aide d'un turbidimètre « Hach » à cellule photo-éléctrique, par la méthode néphélémètrique. Les résultats sont exprimés en unité de turbidité néphélémètrique (NTU).

I.3.3. pH :

Nous disposons d'un pH-mètre digital. L'étalonnage est effectué avant chaque essai, avec des solutions tampons de pH 4 et pH 9.

I.3.4. Conductivité :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. La mesure est basée sur le principe du pont de wheastone en utilisant un conductimètre électrique.

L'appareil est du type WTW D 812 WEILHEIM. La conductivité s'exprime en siemens/mètre (le sous multiple le plus employé est le microsiemens/cm).

I.3.5. Alcalinité :

Elle est basée sur le principe de la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

I.3.5.1. Titre alcalimétrique simple (TA) :

On titre un volume connu (v) d'échantillon, en présence de phénophtaléine, par addition progressive d'une solution de H_2SO_4 (N/50) jusqu'à obtention d'une teinte faiblement rosée.

Si le liquide reste incolore, c'est que le TA est égal à zéro, c'est le cas général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8,3.

I.3.5.2. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

L'échantillon d'eau à analyser est additionné de quelques gouttes de méthyle orange à 50% puis titré à l'aide d'acide sulfurique jusqu'au virage du jaune au jaune orange. Le titre alcalimétrique complet est exprimé en milliéquivalents par litre, ou degré Français (°F).

1 °F ⟶ 0,2 meq/l
1 °F ⟶ 10 mg/l de $CaCO_3$

I.3.6. Mesure de la dureté (TH) par complexométrie (E.D.T.A) :

La somme des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} est dosé par complexométrie en présence de l'EDTA et le noir eriochrome T comme indicateur, et cela en milieu alcalin tamponné à pH 10 car c'est à cette valeur que le complexe EDTA Mg est plus stable. Le dosage de calcium Ca^{2+} est effectué par complexométrie à l'EDTA en présence de murexide.

I.3.7. Mesure de Sodium :

Cet élément alcalin est dosé par photométrie à émission de flamme sur un appareil (JENWAY PEP 7). Le sodium émet à une longueur d'onde λ = 589 nm. La courbe d'étalonnage d'intensité d'émission en fonction des concentrations de Na^+ a été établie à partir de dilution de solutions de NaCl. Le tableau 21 et la figure (06) présentent un exemple d'étalonnage du sodium.

Tableau 21: Etalonnage de la mesure du sodium par photométrie de flamme

Na^+ (mg/l)	0	20	50	100	200	250
Intensité	0	0,4	0,9	1,3	1,9	2,3

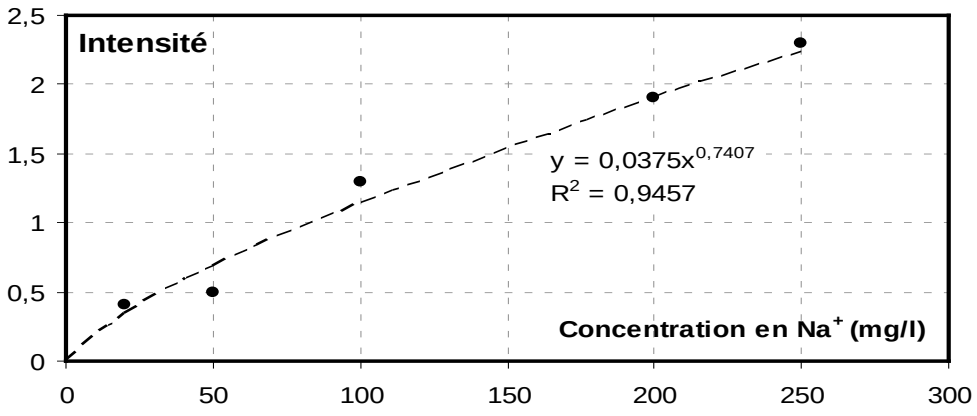


Figure 06: Courbe d'étalonnage de la mesure du sodium.

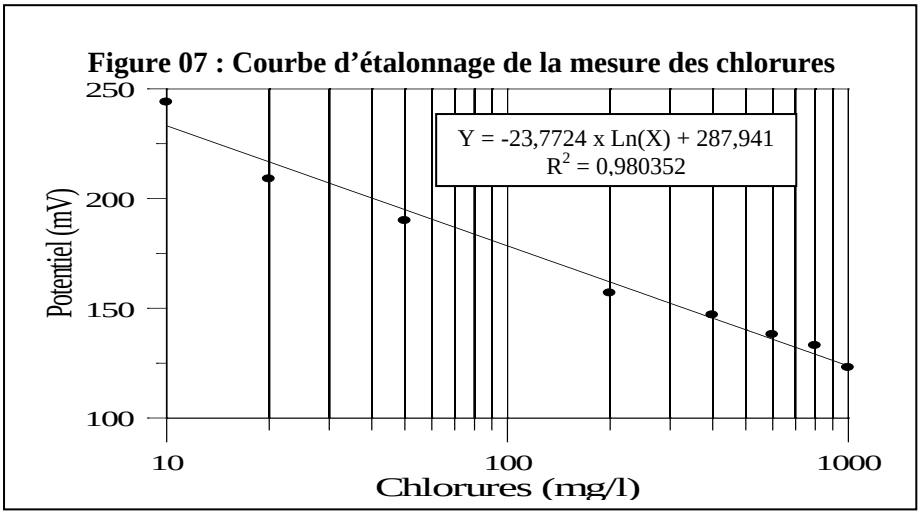
I.3.8. Mesure des chlorures :

Les chlorures sont dosés par la méthode potentiométrique grâce à une électrode spécifique aux ions chlorures (ELIT 8261 Cl 56075). L'établissement de courbes reliant les concentrations de l'ion chlorure au paramètre mesuré à été nécessaire. Le tableau 22 et la figure (07) présentent un exemple d'étalonnage des chlorures.

Tableau 22 : Etalonnage de la mesure des chlorures par potentiomètre.

Cl^- (mg/l)	10	20	50	200	400	600	800	1000
E (mv)	244	209	190	157	147	138	133	123

Figure 07 : Courbe d'étalonnage de la mesure des chlorures



I.3.9. Mesure du cadmium :

Le cadmium en solution a été dosé en utilisant une méthode potentiométrique grâce à une électrode spécifique aux ions cadmium (ELIT 8241 Cd^{2+} 55670). L'étalonnage de l'électrode spécifique est effectué à l'aide d'une série de solutions étalons dont les concentrations en cadmium sont connues (4.10^{-3} à 50 mg/l). La force ionique de l'échantillon à doser est maintenue constante en ajoutant une solution tampon ISAB à 5 M de $NaNO_3$.

Pour chaque concentration en ions cadmium, nous pouvons effectuer la lecture du potentiel (en mV) correspondant sur le potentiomètre. L'ajustement des points expérimentaux, par la méthode des moindres carrés, aboutit à la relation suivante avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,9904$.

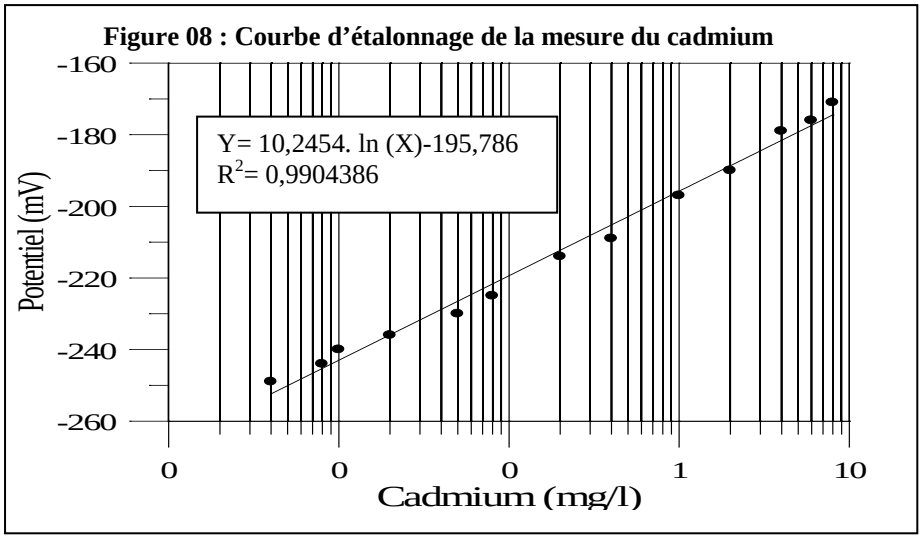
$$Y = 10,245 \ln(X) - 195,79$$

Y : Potentiel en mV, X : Concentration en cadmium en mg/l

L'établissement de courbes reliant les concentrations de l'ion cadmium au paramètre mesuré a été nécessaire. Le tableau 23 et la figure (08) présente un exemple d'étalonnage du cadmium.

Tableau 23 : Etalonnage de la mesure du cadmium par potentiométrie.

Cd^- (mg/l)	0,004	0,008	0,01	0,02	0,05	0,08	0,2	0,4	1	2	4	6	8
E (mv)	-249	-244	-240	-236	-230	-225	-214	-209	-197	-190	-179	-176	-171



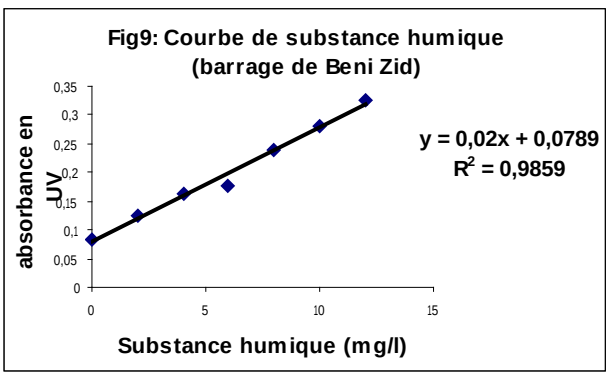
I.3.10. Dosage des autres éléments minéraux :

Le dosage de Mn^{2+}, Fe^{2+}, NO_3^-, NH_4^+, NO_2^-, Br^-,PO_4^{3-}, Cu^{2+} a été effectué grâce à un photomètre du type «HANNA C100 Multiparametre ion specific meter».

Le dosage des éléments SO_4^{2-} et K^+ a été effectué sur un photomètre du type « PALINTEST PHOTOMETR 5000 ».

I.3.11. Mesure des substances humiques :

Le dosage des substances humiques s'effectue par la méthode des ajouts dosés à une longueur d'onde de 254 nm sur un spectrophotomètre UV-Visible de type « WPA LIGHT WAVE ». Les teneurs initiales en substances humiques sont évaluées grâce à des courbes d'étalonnage de l'absorbance en fonction des concentrations en mg/l de substance humique pour chaque eau.



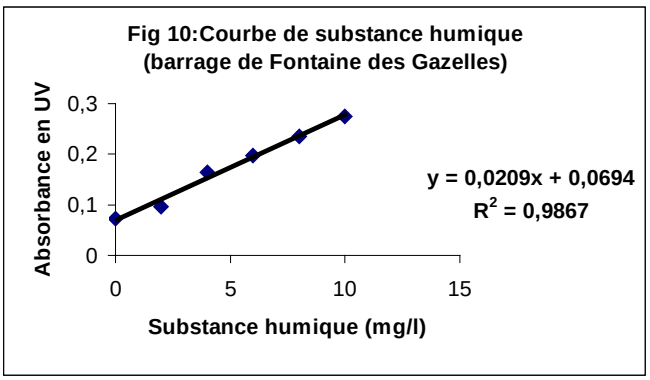


Fig 11:Courbe de substance humique (barrage de Mexa)

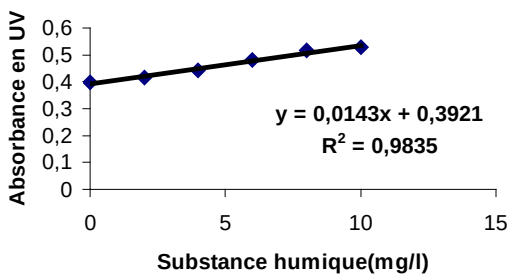


Fig 12:Courbe de substance humique (Barrage de Hammam Debagh)

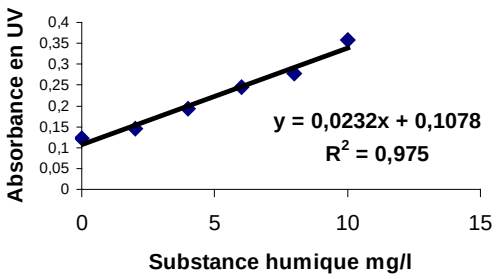


Fig 13:Courbe de Substance humique (Barrage de Beni Haroun)

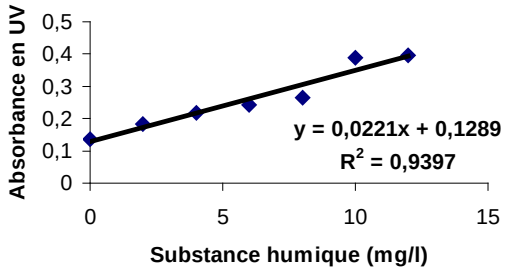


Fig 14:Courbe de substance humique (barrage de Cheffia)

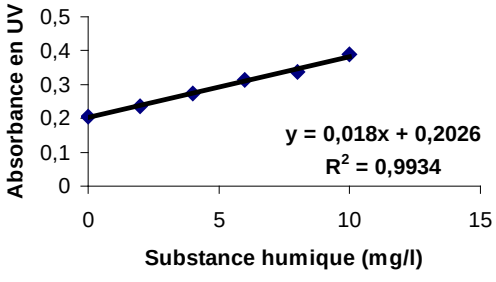


Fig 15:Courbe de substance humique (barrage de Foum el Gharza)

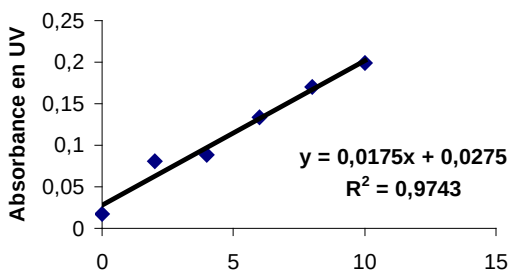
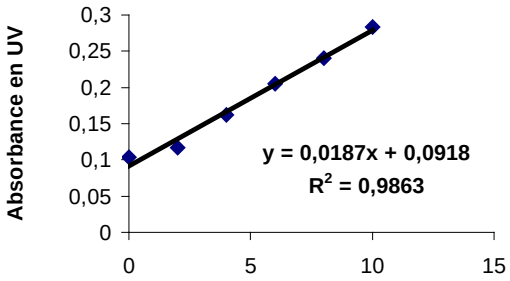
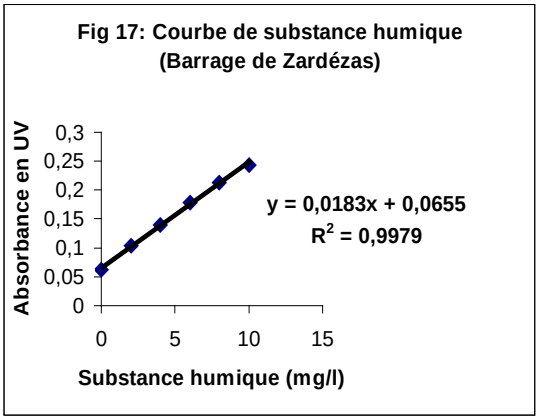
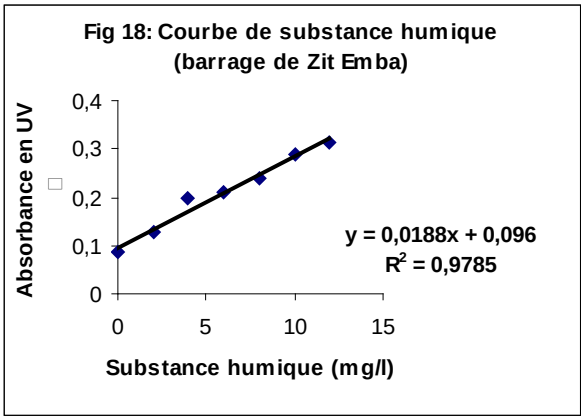
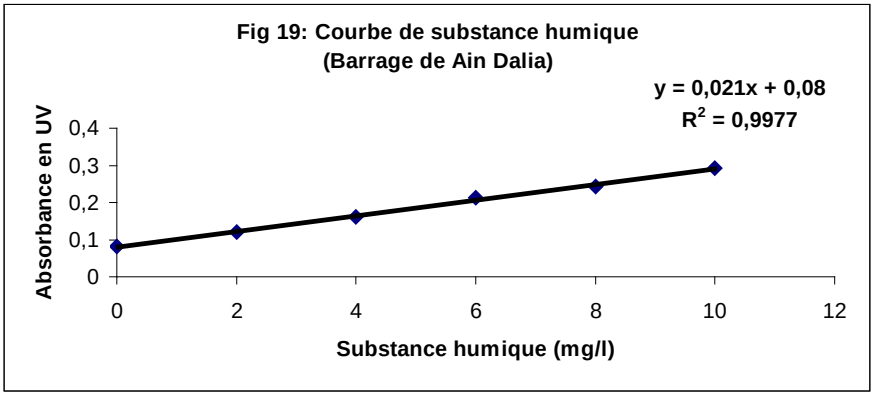


Fig 16: Courbe de substance humique (Barrage de Guénitra)









I.3.12. Oxydabilité au $KMnO_4$:

La matière organique totale a été évaluée par la méthode de l'oxydabilité au permanganate de potassium ($KMnO_4$) (RODIER, 1996), en milieu acide à chaud vue sa rapidité.

L'eau est portée à ébullition en présence d'une solution de permanganate de potassium à N/80 dont l'excès est dosé après 10 minutes d'ébullition.

La différence du volume à analyser et du volume de $KMnO_4$ utilisé pour le titrage de l'eau distillée (témoin) va donner la teneur de $KMnO_4$ en mg O_2/l.

I.3.13. Absorbance en UV (λ=254 nm) :

Les mesures de l'absorbance en UV à 254 nm ont été réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre de marque (WPA LIGHT WAVE) avec un trajet optique de 1 cm (cuve en quartz).

I.3.14. Dosage du chlore résiduel :

I.3.14.1. Préparation des solutions de chlore :

On utilise une solution concentrée d'eau de javel (hypochlorite de sodium NaOCl) d'environ 13° chlorométriques qu'on dilue dans l'eau distillée. Le chlore actif, présent sous forme d'un mélange d'acide hypochloreux et d'ion hypochlorite, est exprimé en chlore libre.

Son titre en g/l est régulièrement vérifié par la méthode d'iodure de potassium (RODIER, 1996). L'iode libéré est dosé par une solution de thiosulfate de sodium.

La solution d'eau de javel est conservée dans des flacons teintés afin d'éviter la décomposition du chlore.

Avant manipulation, il est préférable de contrôler le degré d'eau de javel à utiliser.

I.3.14.2. Méthode iodométrique :

Le chlore résiduel est déterminé par la méthode iodométrique, cette méthode implique un pH acide par ajout d'acide acétique et 5 ml de KI. Elle permet le dosage du chlore sous forme Cl_2. Les résultats correspondent donc à des équivalents oxydants (HClO, ClO^-), exprimés en mg/l. Le chlore résiduel est calculé par :

$$Cl_{2résid}\,(mg/l) = \frac{N_1 V_1}{V_2}.35{,}5.10^3$$

N_1 : Normalité de thiosulfate de sodium en équivalents gramme par litre.
V_1 : Volume de thiosulfate de sodium versé en ml.
V_2 : Volume de la prise d'essais (10 ml).

I.4. Description des essais de chloration :

I.4.1. Potentiels de consommation en chlore :

Nous avons déterminé les demandes en chlore des eaux de surface échantillonnées. La chloration est ainsi réalisée dans des fioles de 100 ml aux quelles on a ajouté la solution d'eau de javel dont la teneur en chlore actif a été déterminée au préalable.

On utilise alors une quantité de chlore de 20 mg/l, et un temps de contact élevé (24 heures) de façon à satisfaire au maximum la demande en chlore.

Après 24 heures de contact, les solutions sont dosées par une solution de thiosulfate de sodium ($Na_2S_2O_3$, $5H_2O$) à une normalité de 0,01 N.

A la fin du dosage, on calculera le chlore résiduel en mg/l ainsi que le chlore consommé.

Le chlore consommé (mg/l) = le chlore introduit (mg/l) – le chlore résiduel (mg/l).

I.4.2. Essais de break - point :

Cette méthode consiste à ajouter à un même volume d'eau des doses croissantes de chlore, dans une série des flacons contenant l'eau à examiner. Après un temps de contact de 1 à 2 heures, on contrôle le chlore libre.

Le break – point correspond à la dose minimum nécessaire à la disparition de chloramines et l'apparition de chlore libre.

I.4.3. Cinétiques de consommation en chlore :

L'oxydation par le chlore est réalisée à une température ambiante, par ajout de microvolumes d'eau de javel dilué au 1/10. La dose de chlore introduite est constante et est de 20 mg Cl_2/l.

Les réactions de chloration ont été suivies pour des temps de contact allant jusqu'à 24 heures, en insistant sur l'étape jusqu'à 4 heures de réaction.

L'évolution de l'aromaticité des composés organiques a été suivie par la mesure de l'absorbance en ultra violet.

I.5. Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les différentes méthodes d'analyses physico-chimiques, ainsi que les différentes procédures expirémentales que nous avons utilisées pour déterminer les break points et les potentiels de consommation en chlore en observant l'influence de différents facteurs tels que le taux de chloration et le temps de contact entre le chlore et l'eau.

CHAPITRE II :
Etude expérimentale de la qualité physico-chimique des eaux de barrages.

II.1. Introduction :

La connaissance des paramètres physico-chimiques fait partie de l'ensemble des informations dont doivent disposer tout ceux qui sont amenés à évaluer la qualité de l'eau afin de prendre des décisions d'actions dans de nombreux domaines. On peut citer à titre d'exemple les domaines de la santé pour la surveillance de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et de l'environnement pour la prévention vis-à-vis des polluants.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons les résultats ainsi que leurs discussions concernant la qualité physico-chimique de quelques eaux de surface de l'est algérien.

II.2. Température :

La température des eaux de surface dépend du climat et des conditions atmosphériques (RODIER, 1996). Dans notre cas, nous remarquons une légère fluctuation qui serait due à l'influence de la température de l'air. La figure (20) présente les différentes valeurs des températures des eaux des barrages étudiés, au moment des prélèvements.

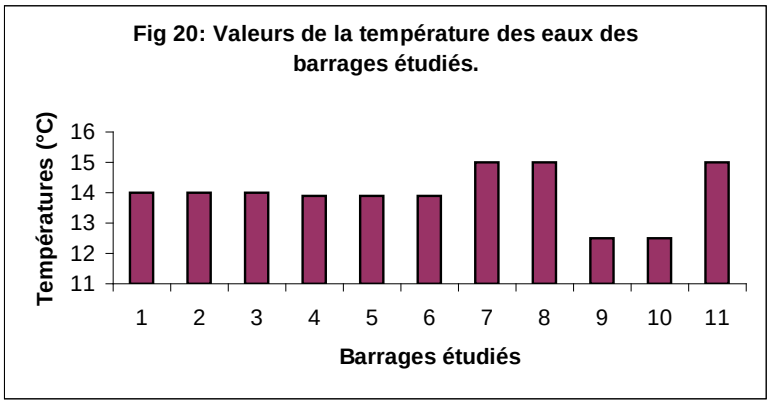


Fig 20: Valeurs de la température des eaux des barrages étudiés.

1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Amba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.3. pH :

Le pH est compris entre 6,18 et 8,23. Selon l'OMS (2004), le pH d'une eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5. Les eaux des barrages de l'Est de l'Algérie ont donc un pH voisin de la neutralité. Les valeurs du pH des eaux étudiées sont présentées sur la figure (21).

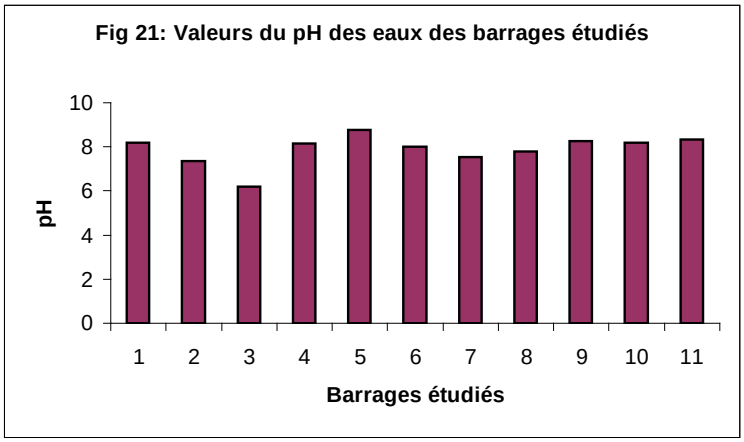


Fig 21: Valeurs du pH des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Amba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheefia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.4. Conductivité :

Les conductivités enregistrées se situent entre 210 et 1018 µs/cm pour les barrages du nord. La valeur 1018 est enregistrée au niveau du barrage de Beni Haroun, elle peut être due à la contamination par les rejets urbains et industriels ainsi que la géologie des sols. En ce qui concerne les barrages du sud (Foum el Gherza et Fontaine des Gazelles), elles ont une conductivité très forte qui dépasse 1000 µs/cm. Cette conductivité correspond à une minéralisation important de ces eaux. La nature géologique des terrains encaissants de la région en sont la principale cause. La figure (22) présente les valeurs de la conductivité des eaux étudiées.

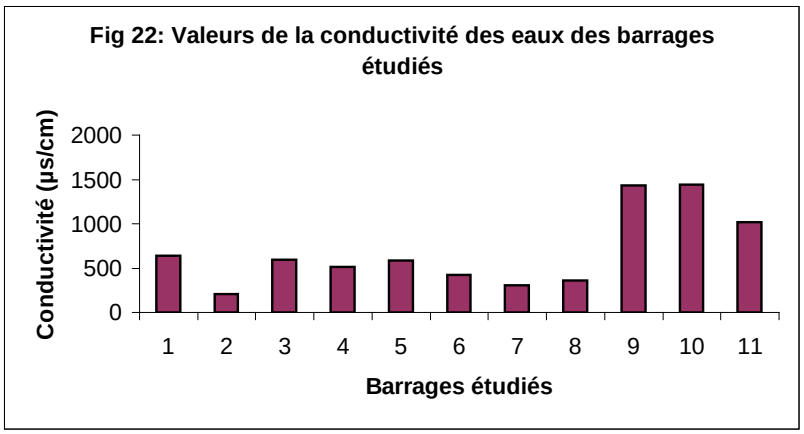


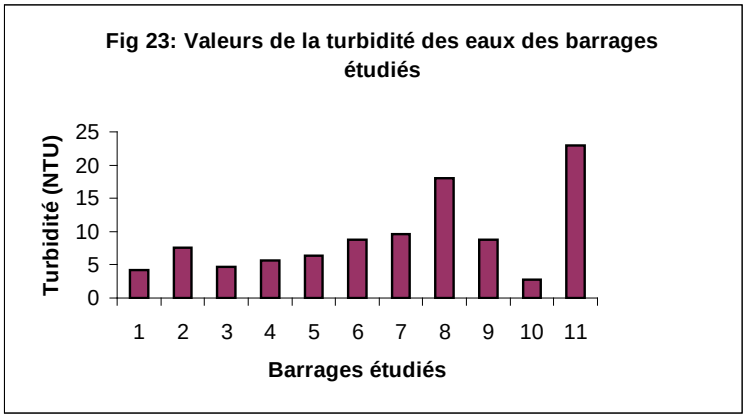
Fig 22: Valeurs de la conductivité des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.5. Turbidité :

Les barrages de Beni Haroun, Mexa, et Cheffia sont caractérisés par une forte turbidité par rapport aux autres barrages. Ces barrages sont en effet situés dans des régions très boisées. La valeur extrême enregistrée est de 23 NTU au niveau du barrage de Beni Haroun, elle pourrait être essentiellement de nature organique, ce qui peut induire une augmentation des doses nécessaires à la préchloration en station de traitement et peut entraîner une production

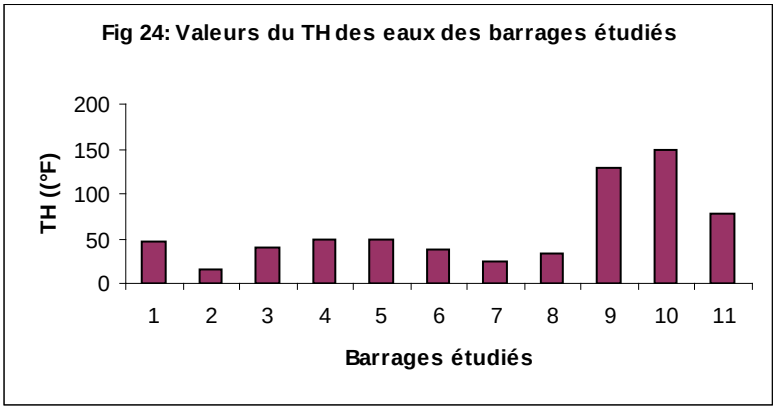
substantielle de composés organohalogénés. La figure (23) présente les valeurs des turbidités des eaux étudiées.



1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Amba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de El Foum Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.6. Dureté :

Les barrages de la zone d'étude sont caractérisées par des concentration moyennes en calcium et en magnésium exceptés les barrages de Beni Haroun, Fontaine des Gazelles et Foum el Gherza, qui présentent une dureté supérieure à la norme de 50 °F. La dissolution du Ca^{2+} et du Mg^{2+} résulte principalement lors de ruissellement et lessivage par les pluies des formations rocheuses calcaires et dolomitiques. Cette dissolution est accrue par la présence dans l'eau de gaz carbonique provenant de l'atmosphère. (TARDAT et BEAUDRY, 1984). Les valeurs de la dureté des eaux étudiées sont présentées dans la figure (24).



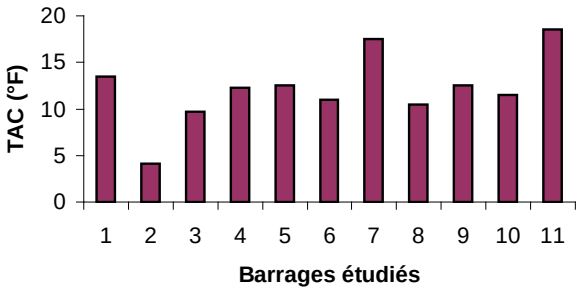
1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Amba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.7. Alcalinité :

Dans le cas des eaux naturelles et en particulier en Algérie, l'alcalinité est souvent bicarbonatée car le pH est généralement inférieur à 8,3. (SELLAH, 1993 ; REHI ,1987). Dans les eaux naturelles où le TA=0, le TAC exprime la teneur des bicarbonates dans l'eau.

Dans nos échantillons, les valeurs de TAC varient entre 4,1 et 18,5 °F , les plus fortes teneurs en TAC pourraient provenir de la mise en solution des roches calcaires et de lessivage lors d'une forte pluie. La figure (25) présent les valeurs de TAC dans les eaux des barrages étudiés.

Fig 25: Valeurs du TAC des eaux des barrages étudiés



1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.8. Chlorures et sulfates:

L'analyse des résultats montre des teneurs élevés en chlorures pour les barrages de Fontaine des Gazelles, Foum el Gherza et Beni Haroun, la valeur extrême est enregistrée au niveau de cette dernière. Les valeurs lues pour les sulfates varient de 39 à 185 mg/l. Les fortes teneurs en chlorures et sulfates pourraient s'expliquer par la géologie des terrains de la région ou par une contamination directe de l'eau des barrages par des rejets domestiques surtout riches en détergents ou par l'utilisation des pesticides dans l'agriculture. Ces deux éléments provoquent un goût désagréable dans nos eaux de consommation et la rendent corrosive vis-à-vis des conduites. Ils sont aussi nocifs pour les plantes. Notons, que ces deux éléments provoquent aussi l'augmentation du chlore résiduel lors de la chloration de l'eau chargée en matière organique (ACHOUR et GUERGAZI, 2002). Les figures (26) et (27) présentent les valeurs des chlorures et des sulfates dans les eaux des barrages étudiés.

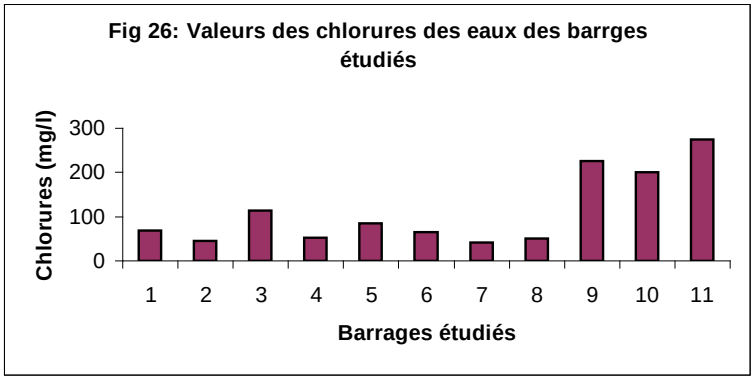


Fig 26: Valeurs des chlorures des eaux des barrges étudiés

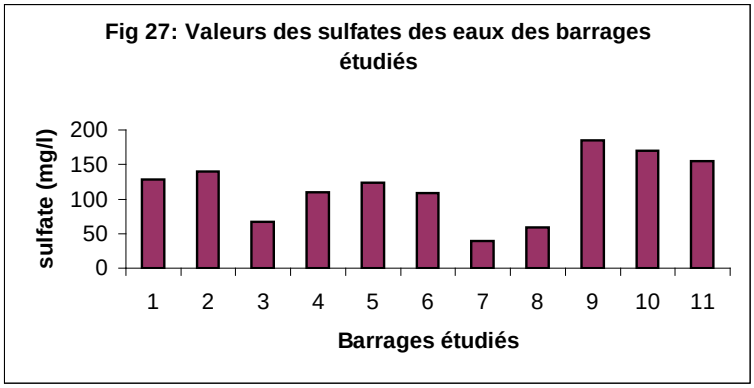


Fig 27: Valeurs des sulfates des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas

2 : Barrage de Beni Zid

3 : Barrage de Zit Emba

4 : Barrage de Ain Dalia

5: Barrage de Hammam Debagh

6: Barrage de Guénitra

7: Barrage de Cheffia

8: Barrage de Mexa

9: Barrage de Fontaine des Gazelles

10 : Barrage de Foum El Gherza

11 : Barrage de Beni Haroun

II.9. Phosphates :

Les phosphates font partie des anions assimilables par le corps de l'être humain. Quelle que soit leur origine (domestique, industrielle ou agricole), leur présence dans les eaux à forte concentration (teneurs supérieure à 0,2 mg/l) favorise le développement massif d'algues, lesquelles conduisent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau (RODIER, 1996 ; POTELON et ZYSMAN, 1998). La directive des communautés européennes (CEE) et l'OMS (2004), indique comme teneur du phosphore dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 0,4 mg/l et une concentration maximale admissible de 5 mg/l exprimée en P_2O_5. La réglementation française retient cette même valeur limite de 5 mg/l (POTELON et ZYSMAN, 1998).

Dans nos échantillons, les concentrations en phosphates varient entre 0,07 et 2,75 mg/l, la valeur maximale est enregistrée au niveau du barrage de Hammam Debagh et Ain Dalia. Les fortes teneurs en phosphate pourraient provenir des rejets industriels ou de l'utilisation des engrais phosphatés. Mais les phosphates des engrais se fixent mieux dans le sol et sont moins entraînés par les eaux de ruissellement. La figure (28) présente les valeurs des phosphates dans les eaux des barrages étudiés.

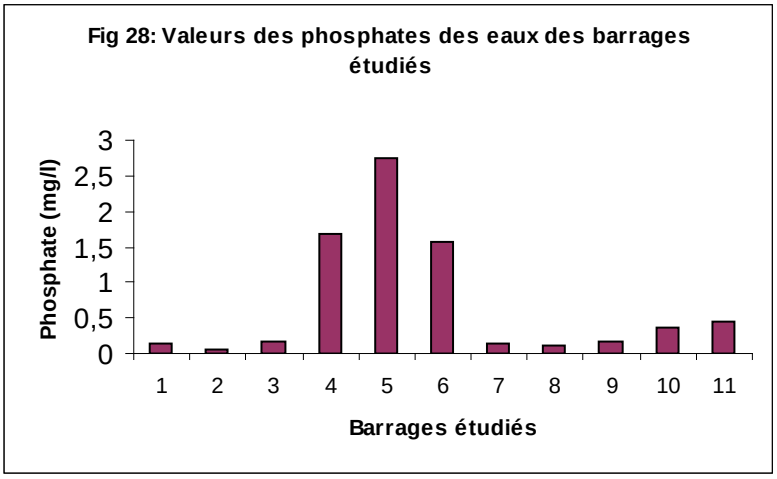


Fig 28: Valeurs des phosphates des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.10. Sodium et Potassium :

Nous observons une concentration moyenne en sodium et potassium, la valeur maximale de ces deux éléments est enregistrée au niveau du barrage de Beni Haroun. Selon l'OMS, la valeur maximale pour le sodium est 150 mg/l et 12 mg/l pour le potassium, généralement ce dernier est beaucoup moins abondant que le sodium et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieurs à 20 mg/l (TARDAT-HENRY, 1984). Les figures (29) et (30) présentent successivement les valeurs du sodium et du potassium dans les eaux des barrages étudiés.

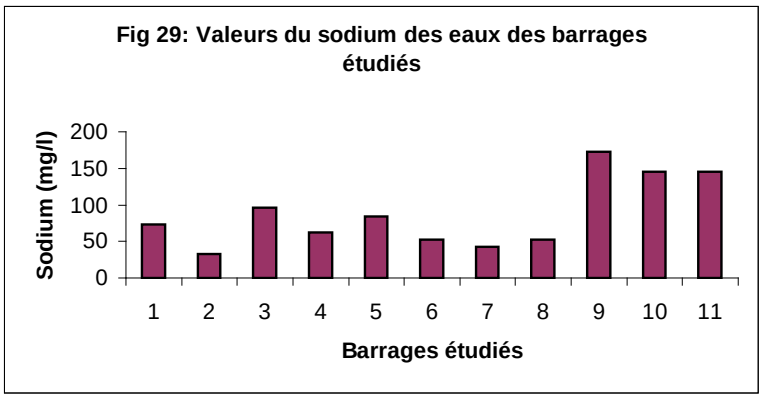


Fig 29: Valeurs du sodium des eaux des barrages étudiés

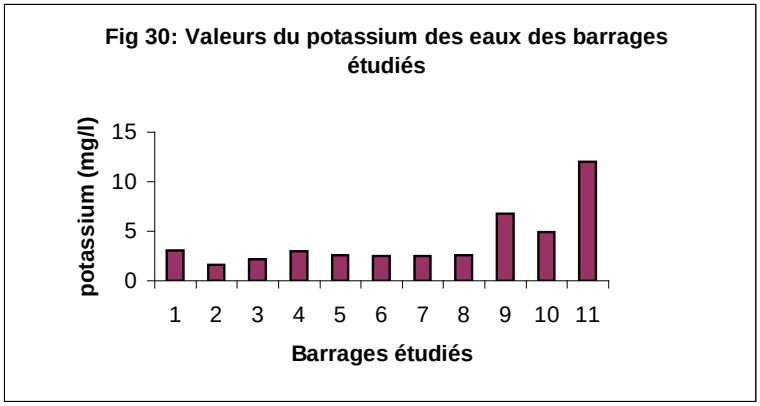


Fig 30: Valeurs du potassium des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas

2 : Barrage de Beni Zid

3 : Barrage de Zit Emba

4 : Barrage de Ain Dalia

5: Barrage de Hammam Debagh

6: Barrage de Guénitra

7: Barrage de Cheffia

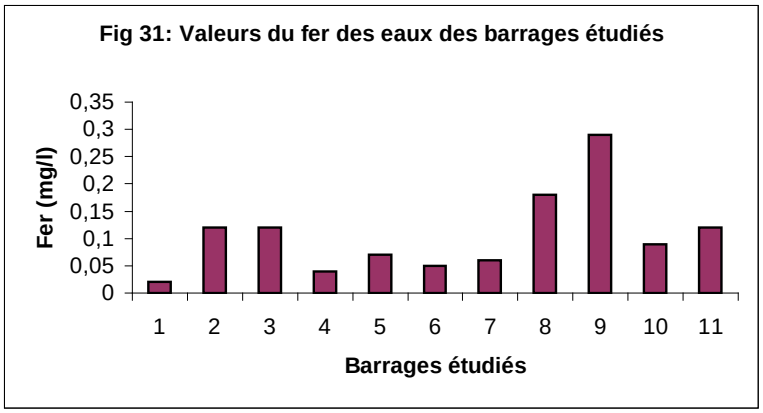
8: Barrage de Mexa

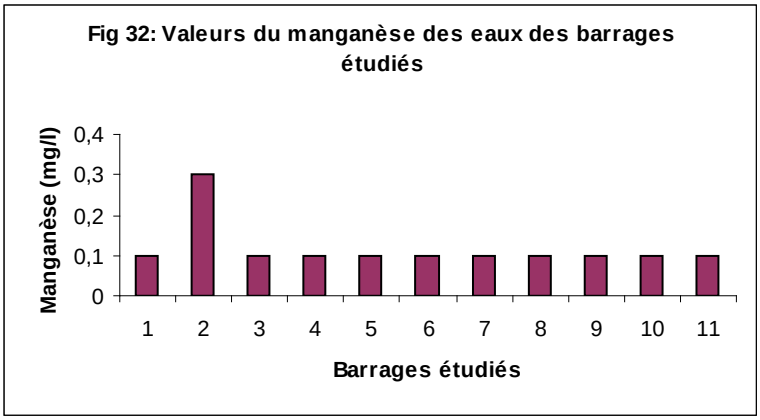
9: Barrage de Fontaine des Gazelles

10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.11. Fer et manganèse :

L'analyse des résultats montre des teneurs plus ou moins élevées en fer pour les eaux des barrages de Beni Zid, Zit Amba, Beni Haroun et la valeur maximale est enregistrée au niveau du barrage de Fontaine des Gazelles. Il a pour origine la lixiviation des terrains traversés, ou les pollutions industrielles. Le manganèse est généralement associé au fer quoiqu'en quantité plus faible, La teneur en manganèse est limitée à 0,05 mg/l dans les eaux potables. Nos échantillons ont une concentration faible, la valeur maximale est enregistrée au niveau du barrage de Beni Zid. Les figures (31) et (32) présentent successivement les valeurs du fer et du manganèse dans les eaux des barrages étudiés.





1 : Barrage de Zardézas

2 : Barrage de Beni Zid

3 : Barrage de Zit Emba

4 : Barrage de Ain Dalia

5: Barrage de Hammam Debagh

6: Barrage de Guénitra

7: Barrage de Cheffia

8: Barrage de Mexa

9: Barrage de Fontaine des Gazelles

10 : Barrage de Foum El Gherza

11 : Barrage de Beni Haroun

II.12. Nitrates et nitrites :

Le barrage de Beni Haroun est caractérisé par une forte teneur en nitrates et en nitrites par rapport aux autres barrages. L'augmentation subite de la teneur en nitrates dans des périodes bien définies de l'année correspond généralement aux périodes d'introduction des engrais dans les terrains agricoles. En cas de pluie, les ions nitrate non assimilés par les plantes sont entraînés par lessivage vers les barrages. L'apport de nitrate dans ces barrages entraîne une augmentation des plantes et algues en surface, sa présence excessive peut provoquer un problème de santé publique important tel que la méthémoglobinémie. Les fortes teneurs en nitrite proviennent de l'oxydation de l'ammoniaque. Les valeurs des nitrates et des nitrites sont successivement présentées dans les figures (33) et (34).

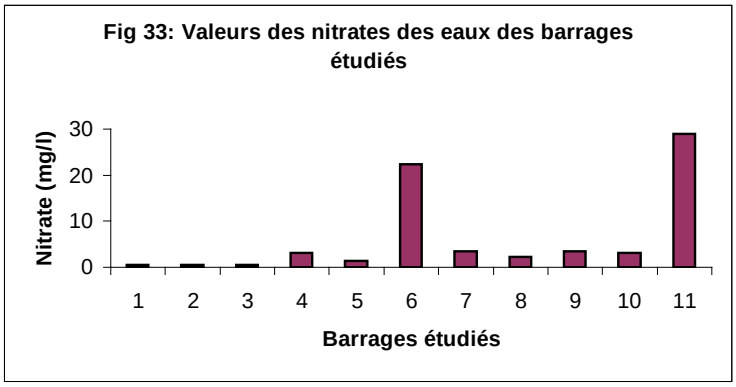


Fig 33: Valeurs des nitrates des eaux des barrages étudiés

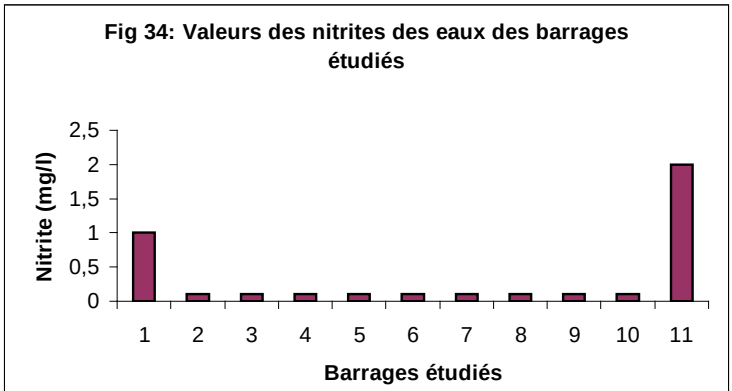


Fig 34: Valeurs des nitrites des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas

2 : Barrage de Beni Zid

3 : Barrage de Zit Emba

4 : Barrage de Ain Dalia

5: Barrage de Hammam Debagh

6: Barrage de Guénitra

7: Barrage de Cheffia

8: Barrage de Mexa

9: Barrage de Fontaine des Gazelles

10 : Barrage de Foum El Gherza

11 : Barrage de Beni Haroun

II.13. Ammoniaque :

La teneur en azote ammoniacal dans les eaux naturelles devrait être relativement faible puisque l'ammoniaque est oxydé graduellement en nitrite et en nitrates (LARBI, 2004). Les taux d'ammoniaque enregistrés au niveau des barrages étudiés sont comprises entre 0,012 et 1,31 mg/l, la forte valeur en ammoniaque pourrait provenir de la dégradation de la matière organique ou de l'épandage d'engrais ammoniacaux. Les valeurs de l'ammoniaque des eaux des barrages étudiés sont présentés dans la figure (35).

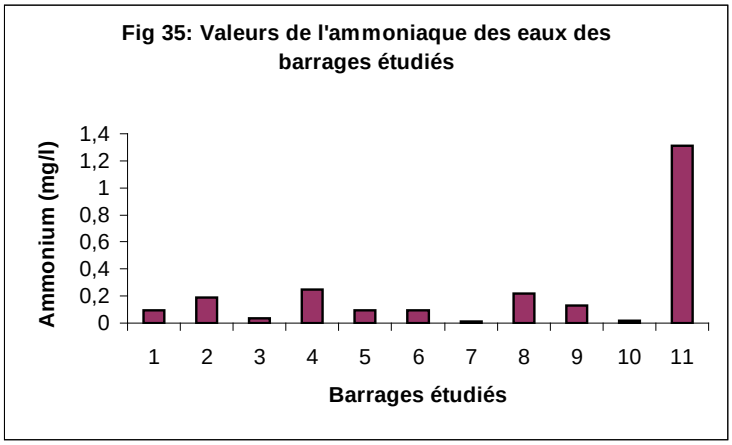


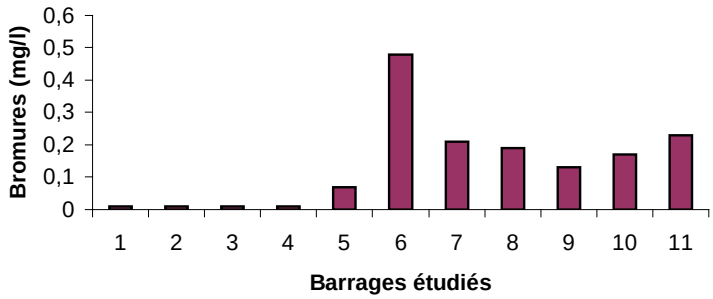
Fig 35: Valeurs de l'ammoniaque des eaux des barrages étudiés

1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.14. Bromures :

La présence des ions brome indique que nos eaux contiennent des bromures, les fortes teneurs sont enregistrées dans les barrages de Guenitra, Cheffia, Mexa, Beni Haroun et les deux barrages du sud. La présence des ions bromures dans les barrages du Nord peut être dû à une intrusion d'eaux marines. Les structures géologiques présentes dans le Sahara septentrional algérien expliqueraient la présence de bromures souvent associée à celle de teneurs élevées en chlorures (ACHOUR, 2001). La figure (36) présente les valeurs des bromures enregistrés au niveau des eaux des barrages étudiés.

Fig 36: Valeur des bromures des eaux des barrages étudiés

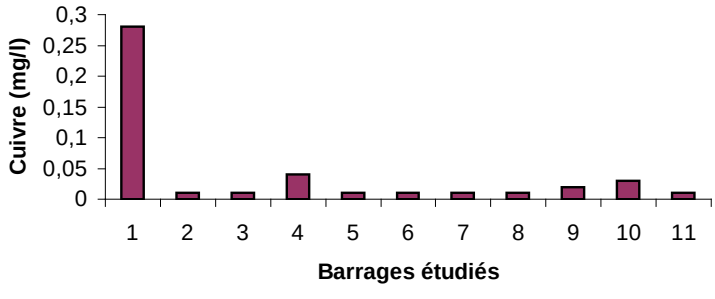


1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.15. Cuivre :

Certains cations comme le cuivre et le zinc présentent peu d'inconvénients, du moins lorsque les concentrations sont faibles. Nos échantillons ont une concentration faible en cuivre, elles sont comprises entre 0,01 et 0,28 mg/l. La contamination des eaux des barrages par le cuivre se fait généralement par la pollution directe des cours d'eaux par les rejets industriels. Les valeurs du cuivre enregistrées au niveau des barrages étudiés sont présentées dans la figure (37).

Fig 37: Valeurs du cuivre des eaux des barrages étudiés



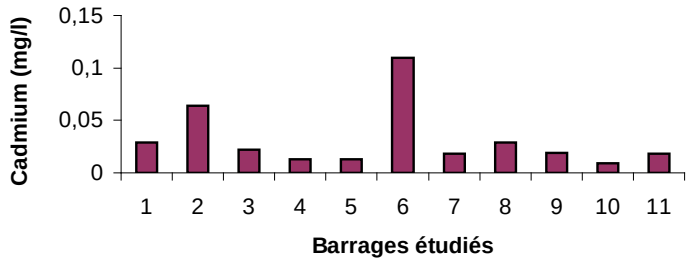
1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.16. Cadmium :

Le cadmium est l'un des métaux lourds parmi les plus toxiques. Il se concentre dans les sols et dans toute la biosphère (CHAMI et al, 1998). Son accumulation importante dans la chaîne alimentaire pose un problème de santé publique qui a amené les législateurs à réglementer les teneurs maximales en cadmium dans les sols et les eaux (BEN MOUSSA et al, 1994). La teneur maximale du cadmium dans les eaux de consommation humaine recommandée par l'OMS est 3 µg/l.

Dans nos échantillons, la valeur maximale du cadmium est enregistrée au niveau du barrage de Guénitra. Généralement les teneurs en cadmium ne dépassent pas quelques µg/l dans les eaux de surface. Les teneurs relevées sont importantes et dépassent les normes de potabilité. Elles pourraient être dues soit à la nature géologique des terrains, à l'utilisation abusive d'engrais phosphatés comprenant un certain pourcentage en cadmium ou à des rejets industriels. La figure (38) présente les valeurs du cadmium dans les eaux des barrages étudiés.

Fig 38: Valeurs du cadmium des eaux des barrages étudiés



1 : Barrage de Zardézas
2 : Barrage de Beni Zid
3 : Barrage de Zit Emba
4 : Barrage de Ain Dalia
5: Barrage de Hammam Debagh
6: Barrage de Guénitra
7: Barrage de Cheffia
8: Barrage de Mexa
9: Barrage de Fontaine des Gazelles
10 : Barrage de Foum El Gherza
11 : Barrage de Beni Haroun

II.17. Matières organiques :

La charge organique (oxydabilité au $KMnO_4$, substances humiques, absorbance en UV) apparaît comme non négligeable notamment pour les eaux du nord du pays du fait d'une pollution naturelle (végétation en décomposition) mais aussi de pollutions d'origine exogène (rejets urbains et industriels, pratiques agricoles). Toutefois, les substances humiques seraient encore prépondérantes dans la matière organique des différentes eaux testées, les valeurs extrêmes qui expriment la charge organique sont enregistrées au niveau des barrages du nord (barrage de Beni Haroun, Cheffia et Mexa), les valeurs de l'absorbance en UV sont plus élevées dans les régions où les substances humiques sont présentes. Les figures (39), (40) et (41) présentent successivement les valeurs de l'oxydabilité au $KMnO_4$, de la substance humique et d'absorbance en UV enregistrées au niveau des eaux des barrages étudiés. La figure (42) présente la bonne corrélation entre les substances humiques et l'absorbance en UV.

Fig 39: Valeurs de l'oxydabilité au permanganate de potassium des eaux des barrages étudiés

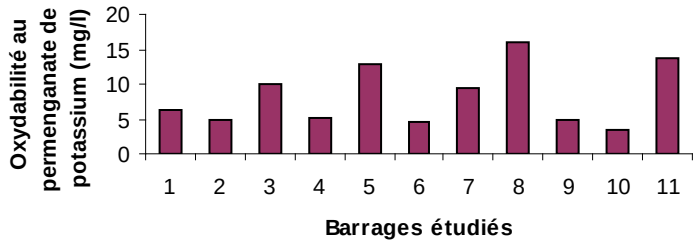


Fig 40: Valeurs des substances humiques des eaux des barrages étudiés

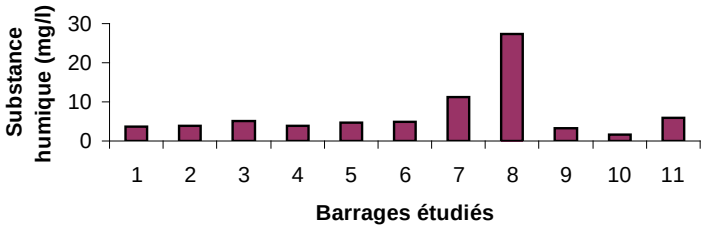
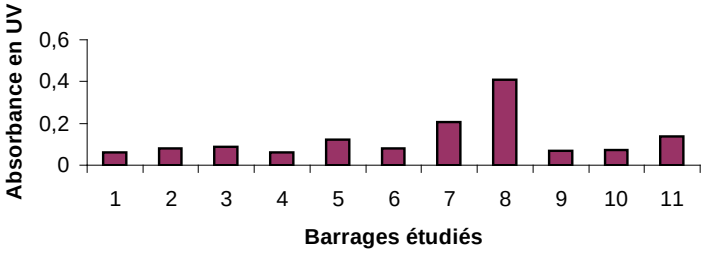


Fig 41: Valeurs d'absorbance en UV des eaux des barrages étudiés



1 : Barrage de Zardézas

2 : Barrage de Beni Zid

3 : Barrage de Zit Emba

4 : Barrage de Ain Dalia

5: Barrage de Hammam Debagh

6: Barrage de Guénitra

7: Barrage de Cheffia

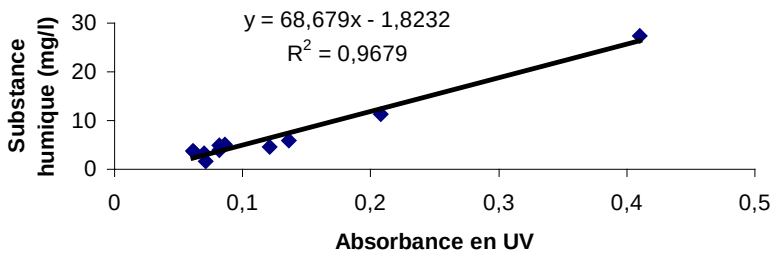
8: Barrage de Mexa

9: Barrage de Fontaine des Gazelles

10 : Barrage de Foum El Gherza

11 : Barrage de Beni Haroun

Fig 42: Corrélation entre l'absorbance en UV et substances humiques



II.18. Conclusion :

La qualité des eaux de surface peut être altérée par l'activité humaine qu'elle soit agricole ou industrielle. La détérioration de la qualité des eaux est souvent appréciée par la mesure des paramètres physico-chimiques.

Pour la détermination de la qualité des eaux, on s'est appuyé sur les normes préconisées par l'OMS. D'après l'interprétation des analyses physico-chimiques, on remarque que :

- Le pH des eaux est voisin de la neutralité avec un léger caractère alcalin
- La conductivité exprime une minéralisation moyenne à forte selon les eaux testées et notamment les eaux du sud du pays alors que les eaux sont mi-dures à dures.
- La conductivité et la dureté sont plus élevées dans les barrages de Beni Haroun, Fontaine des Gazelles et Foum El Gherza.
- En ce qui concerne les barrages de Zardézas, Beni Zid, Zit Amba, Hammam Debagh, Cheffia et Mexa, les éléments considérés comme indésirables ou toxiques sont le cuivre, le fer,le manganèse et le brome. Leurs teneurs sont actuellement dans les normes admises mais qui peuvent augmenter à long terme par la pollution qui provient de l'activité industrielle. Les teneurs élevées en cadmium pourraient provenir des effluents industriels.
- La charge organique est élevée dans toutes les eaux testées, notamment pour les barrages de Beni Haroun, Mexa et Cheffia. Toutefois, la proportion en substances humiques reste appréciable dans la plupart des eaux, indiquant l'origine naturelle de ces matières organiques

- Signalons qu'au niveau du barrage de Beni Haroun ainsi que dans certains barrages, les valeurs de la concentration de quelques éléments dépassent les normes préconisées par l'OMS.

- Le barrage de Beni Haroun est considéré comme étant le barrage le plus pollué parmi les onze étudiés, puisqu'il est caractérisé par de mauvaise qualité physico-chimique aussi bien organique que minérale.

CHAPITRE III :
Résultats expérimentaux des essais de chloration.

III.1. Introduction :

L'emploi de la chloration est fondamental aussi bien dans le traitement des eaux souterraines que des eaux de surface. Cependant, certains oxydants chimiques et notamment le chlore peuvent intervenir sur les substances minérales et organiques des eaux (DORE, 1989). Ceci peut mener à une forte consommation en chlore accompagnée de la formation de sous produits organohalogénés potentiellement toxiques (ACHOUR et MOUSSAOUI, 1993 ; LE CURIEUX et al, 1996). Dans ce chapitre, nous présentons l'application du procédé de chloration sur les eaux des barrages étudiées en tenant compte de différents paramètres tels que le taux et le temps de chloration.

III.2. Potentiels de consommation en chlore :

Le potentiel de consommation en chlore ($PCCl_2$) est la capacité maximale de réactivité des eaux vis-à-vis du chlore. Le tableau 24 présente les valeurs des potentiels des consommations en chlore de chaque eau de barrage ainsi que les abattements U.V, représentatifs de la dégradation de la matière organique.

Les potentiels de consommation en chlore des eaux de surface brutes sont déterminés pour une dose de chlore introduite de 20 mg/l et un temps de contact de 24 heures.

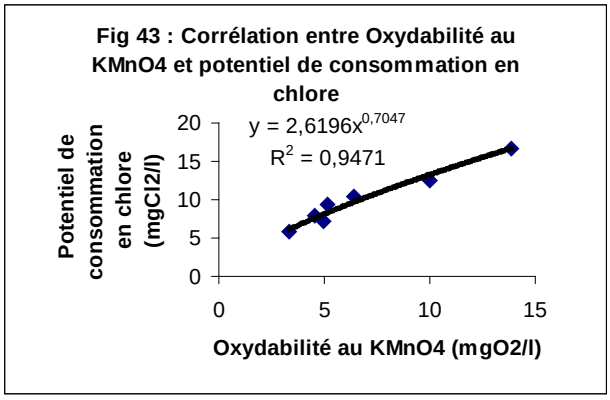
Tableau 24 : Potentiels des consommations en chlore des eaux de barrage testées et abattements de l'absorbance U.V.
Cl_2 = 20 mg/l. t= 24 heures.

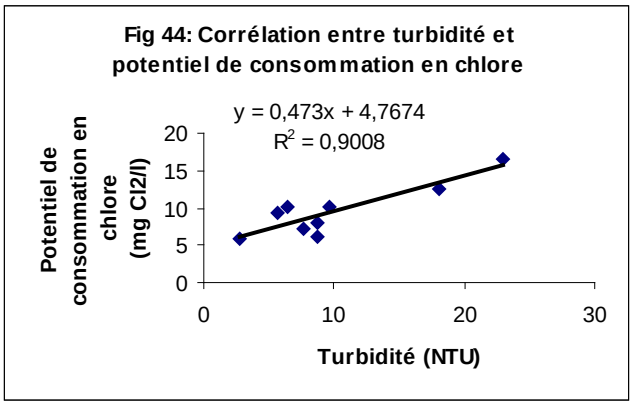
Barrage	$PCCl_2$ ($mgCl_2/l$)	% d'abattement en UV
ZARDEZAS	10,41	22,58
BENI ZID	7,22	35,36
ZIT AMBA	12,54	32,55
CHEFFIA	10,06	20,67
MEXA	12,54	22,44
AIN DALIA	9,35	21,31
GUENITRA	7,93	24,39
H. DEBAGH	10,06	60,33
BENI HAROUN	16,66	30,88
FOUM EL GHERZA	5,80	71,83
F. DES GAZELLES	6,19	50

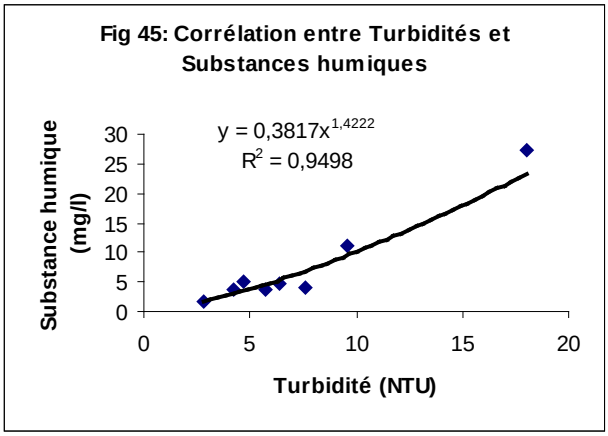
Au vu des résultats du tableau 24, nous pouvons constater qu'après 24 heures de temps de contact, les demandes en chlore sont considérables et varient de 5,80 à 16,66 mg Cl_2/l. Cette dernière est enregistrée au niveau du barrage de Beni Haroun. Ces résultats montrent que les potentiels sont importants, soit de 29% à 83,3% du chlore introduit. Les différences observées semblent facilement corrélables aux caractéristiques physico-chimiques des eaux et surtout aux teneurs et à la nature des constituants tant organiques que minéraux. Les demandes en chlore les plus élevées correspondent aux eaux du Nord-est algérien présentant des charges organiques plus importantes que celles du Sud.

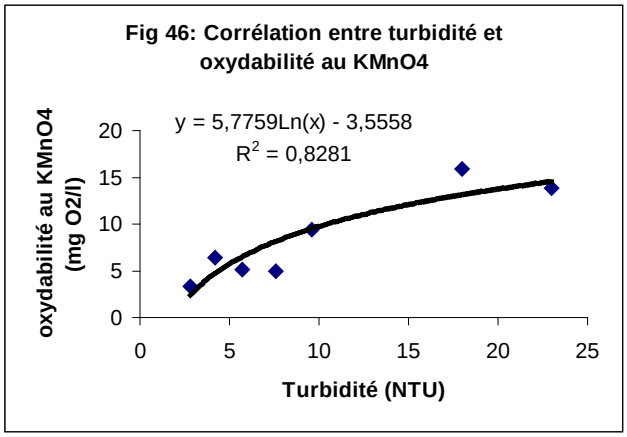
Ainsi, la figure 43 indique que la majorité des eaux présente une bonne corrélation entre les potentiels de consommation en chlore et la teneur globale en matière organique évaluée par l'oxydabilité au $KMnO_4$. Par ailleurs, la turbidité est souvent citée dans différents travaux (SANTE CANADA, 2003) comme ayant un lien étroit avec la consommation en chlore, voir même la formation d'organohalogénés comme les THM.

La figure 44 montre ainsi que pour les eaux testées, cette corrélation existe. Si l'on admet que la réactivité du chlore est plus spécialement due à la présence de matières organiques, cela nous incite à supposer que la turbidité des eaux les plus réactives serait de nature organique et plus particulièrement de type humique. La corrélation apparaissant sur les figures 45 et 46 semble conforter cette hypothèse dans le cas des eaux étudiées.









Le rôle clé des substances humiques, riches en noyaux aromatiques responsables de la réactivité vis-à-vis du chlore, est confirmé par l'observation que la consommation en chlore s'accompagne d'une diminution de l'absorbance en UV.

Il faut aussi signaler que la présence d'ions bromures dans les eaux les plus minéralisées induit en particulier une formation plus importante des THM bromés. L'intervention d'ions chlorures et sulfates, en provoquant une diminution des potentiels de consommation en chlore, peut rendre plus complexe le schéma réactionnel de consommation du chlore (ACHOUR et GUERGAZI, 2002). L'effet inhibiteur de la consommation en chlore est moins important en présence de sulfates que des chlorures. La présence de fer et de manganèse semble induire des variations dans les demandes en chlore et dans l'évolution de l'aromaticité des composés organiques. Elle semble également favoriser des schémas réactionnels compétitifs et complexes au

cours de la chloration des solutions aqueuses de substances humiques (ACHOUR et GUERGAZI, 2003).

Enfin, différents travaux portant sur la chloration d'eaux de surface algériennes (ACHOUR, 2001 ; ACHOUR et GUERGAZI, 2002) confirment que les différences observées entre les diverses eaux testées peuvent être corrélées à leurs caractéristiques physico-chimiques et surtout aux proportions relatives tant en composés organiques que minéraux.

III.3. Influence du taux de chloration des eaux de surface (Break point) :

III.3.1. Résultats :

Pour la chloration des eaux des barrages, nous avons ajouté à un même volume d'eau à examiner des doses croissantes de chlore. Après un temps de contact d'une heure, on contrôle le chlore résiduel. L'évolution du chlore résiduel en fonction du chlore introduit lors de la chloration des eaux des barrages étudiées a abouti aux résultats représentés sur les figures 47 à 57.

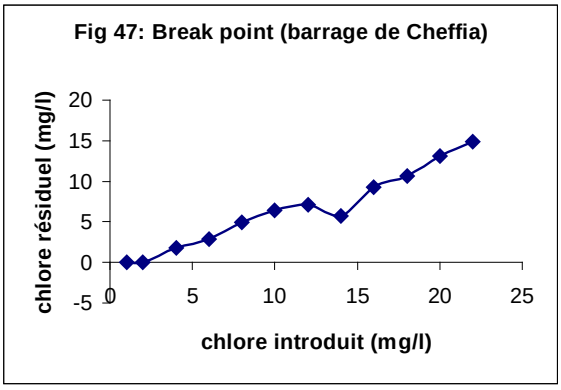


Fig 47: Break point (barrage de Cheffia)

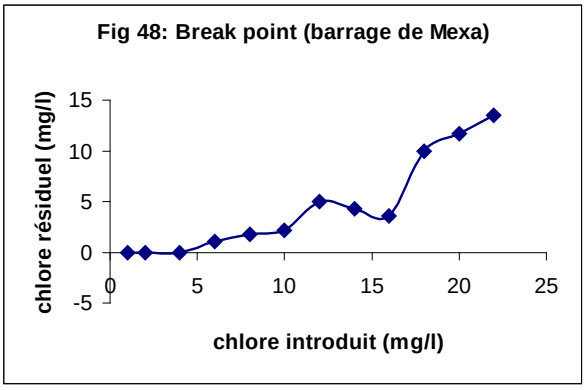


Fig 48: Break point (barrage de Mexa)

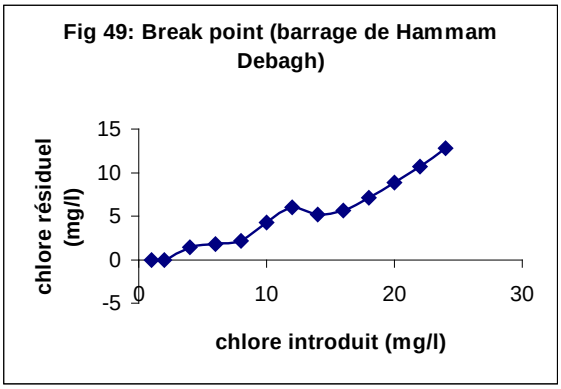


Fig 49: Break point (barrage de Hammam Debagh)

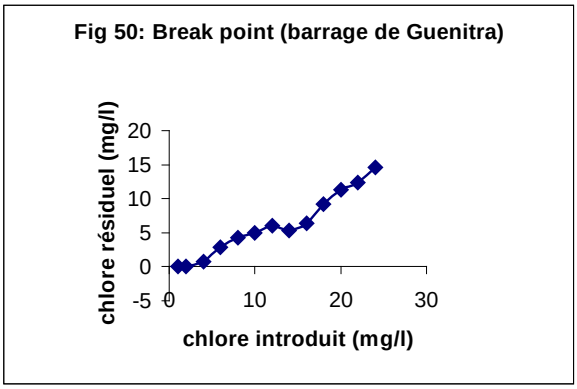


Fig 50: Break point (barrage de Guenitra)

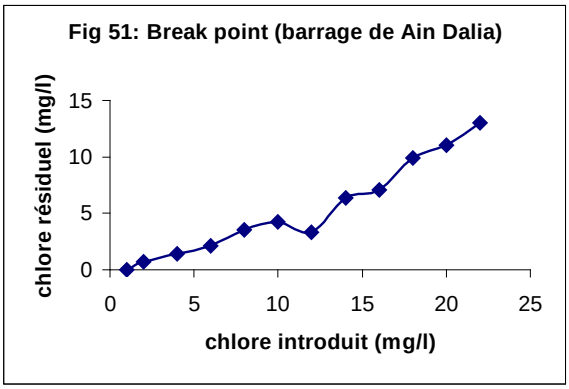


Fig 51: Break point (barrage de Ain Dalia)

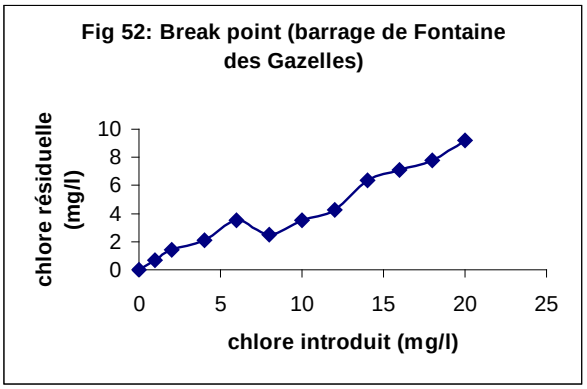


Fig 52: Break point (barrage de Fontaine des Gazelles)

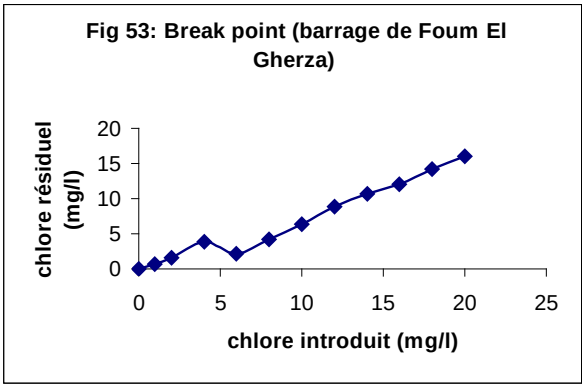


Fig 53: Break point (barrage de Foum El Gherza)

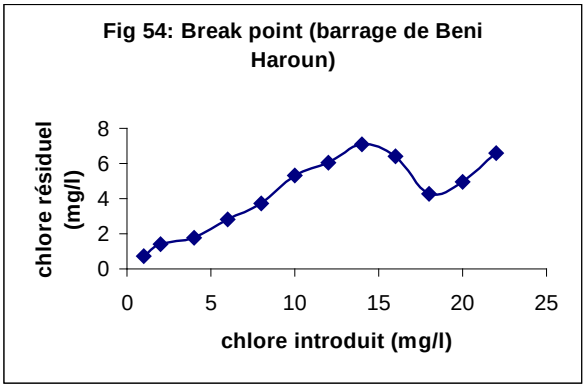


Fig 54: Break point (barrage de Beni Haroun)

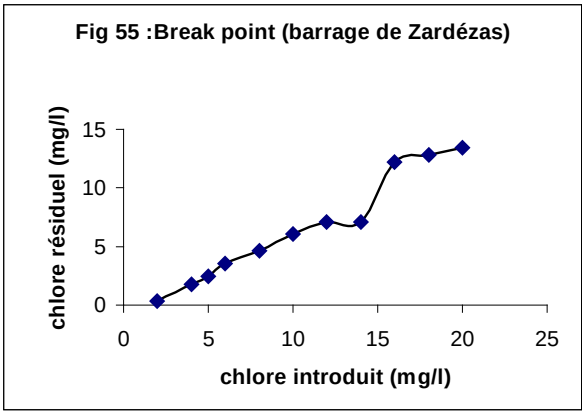


Fig 55 :Break point (barrage de Zardézas)

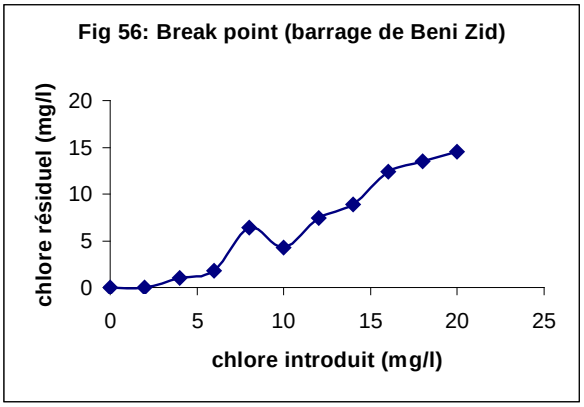


Fig 56: Break point (barrage de Beni Zid)

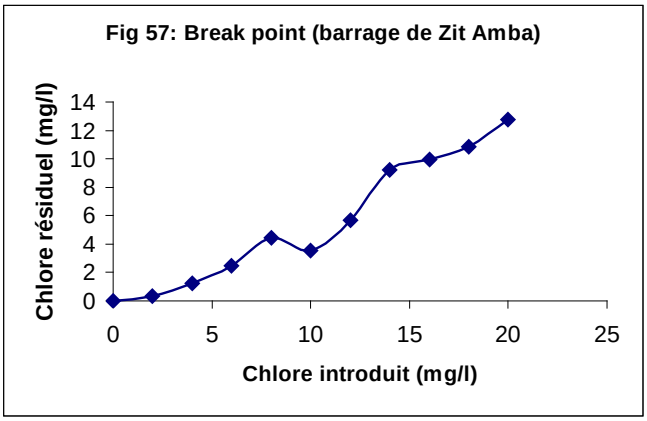


Fig 57: Break point (barrage de Zit Amba)

III.3.2. Discussion des résultats :

L'évolution du chlore résiduel en fonction du chlore introduit lors de la chloration des eaux de surface a abouti aux courbes représentées sur les figures 47 à 57. Ces courbes sont connues en traitement des eaux sous la dénomination de courbe de break point. Nous remarquons que, sur ces courbes, le chlore résiduel passe par un maximum puis décroît, passe par un minimum et croit ensuite régulièrement.

Pour la plupart des eaux testées et notamment les eaux les plus chargées en matières organiques, la courbe de break point présente 4 zones caractéristiques d'une réactivité importante vis-à-vis du chlore :

- Zone I : pour les doses les plus faibles en chlore introduit, tout le chlore est consommé instantanément par les éléments réducteurs organiques et minéraux dans l'eau.

- Dans la zone II, tout le chlore introduit se combine à l'ammoniac et à certaines matières organiques, la plus grande partie du chlore résiduel que l'on trouve est sous forme de chloramines (notamment les monochloramines).
- Dans la zone III, les doses de chlore assurent la destruction des composés formés par le chlore (en particulier les chloramines).
- La fraction restante de la courbe (Zone IV), indique l'apparition de chlore libre, ce qui signifie que la demande en chlore est satisfaite.

La formation des chloramines est très rapide, par contre les réactions de leur destruction sont très lentes. Pour des taux de chloration élevés et un temps de contact assez grand, la réaction totale conduit à la dégradation totale de l'azote ammoniacal.

Le point de rupture ou break point correspond à l'oxydation complète de l'azote ammoniacal et l'apparition dans le milieu de chlore libre. Selon les figures ci-dessus, nous constatons une forte réactivité de chlore avec les matières organiques et minérales, et un déplacement du break point vers les forts taux massiques, supérieurs à 7,6, break-point théorique. Ceci peut s'expliquer par la compétitivité des réactions chlore/ammoniac et chlore/composés organiques.

D'une façon générale, l'écart entre la droite des abscisses et le point de rupture (B.P) est important pour toutes les eaux analysées et testées. Cela pourrait correspondre à la présence de trichloramines non réductibles par le chlore ou bien celle de chloramines organiques difficilement dégradables au cours de l'oxydation. Les composés organochlorés peuvent aussi se former.

L'excès de ces composés formés témoignerait d'une mauvaise qualité de l'eau brute. Les teneurs élevées en composés organiques et les faibles teneurs en azote ammoniacal dans certaines eaux que nous avons considérées laissent à penser que l'azote organiques peut être lié à des composés organiques azotés tels que les substances humiques, les chlorophylles, acides aminés, ….
Les breaks points observés pourraient être dus à l'oxydation de cet azote organique au cours de la chloration.

Notons également que la présence de l'azote ammoniacal en milieu aqueux contenant de la matière organique et du chlore entraîne des réactions compétitives chlore/ammoniac et chlore/matières organiques. La formation des chloramines (réaction chlore/ammoniac) est parallèle à celle d'organohalogénés (réaction chlore/matières organiques) notamment les trihalométhanes (THM). (ACHOUR et MOUSSAOUI, 1993).

III.4. Cinétiques de consommation en chlore :

III.4.1. Résultats :

Les cinétiques de consommation en chlore pour les eaux testées ont été réalisées pour une dose de chlore introduite égale à 20 mg/l, et un temps de contact variant jusqu'à 24 heures. Le chlore consommé est déduit par la différence entre le chlore introduit (mg/l) et le chlore résiduel (mg/l).

Sur les figures 58 à 68, nous représentons les cinétiques de consommation en chlore pour des temps allant jusqu'à 4 heures de réaction.

Fig 58: Cinétique (barrage de Ain Dalia)

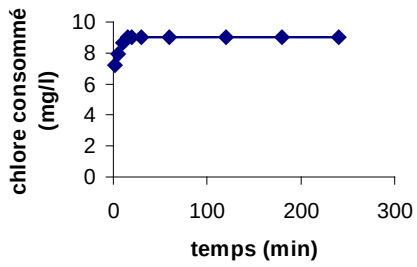


Fig 59: Cinétique (barrage de Hammam Debagh)

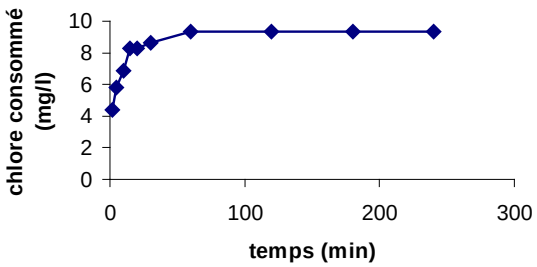


Fig 60: Cinétique (barrage de Guénitra)

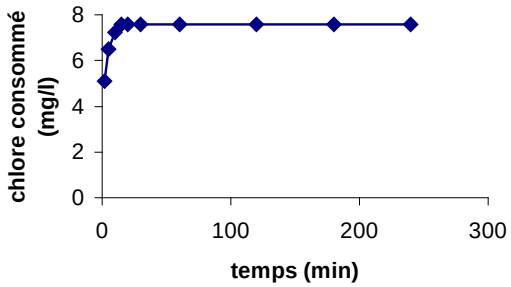


Fig 61: Cinétique (barrage de Mexa)

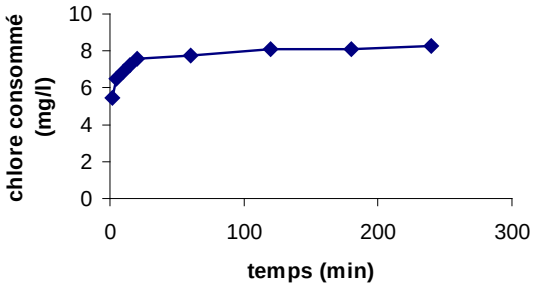


Fig 62: Cinétique (barrage de Foum El Gherza)

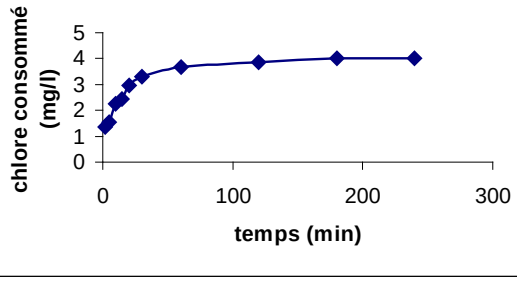


Fig 63: Cinétique (barrage de Beni Haroun)

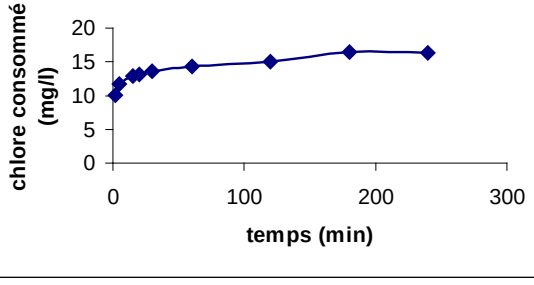


Fig 64: Cinétique (barrage de Fontaine des Gazelles)

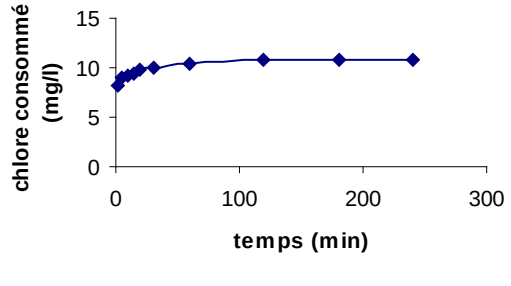
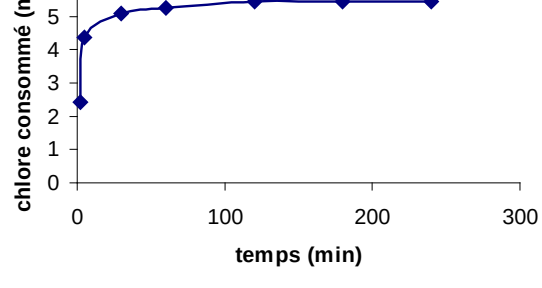
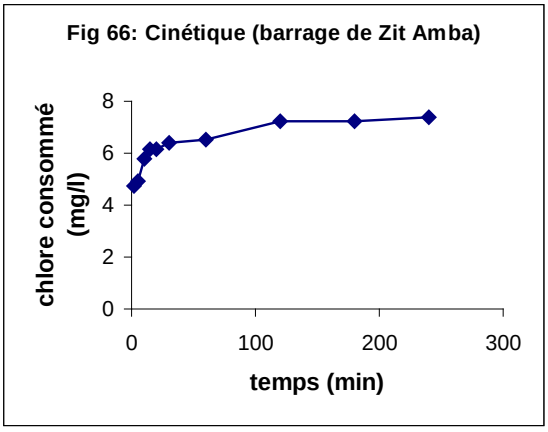
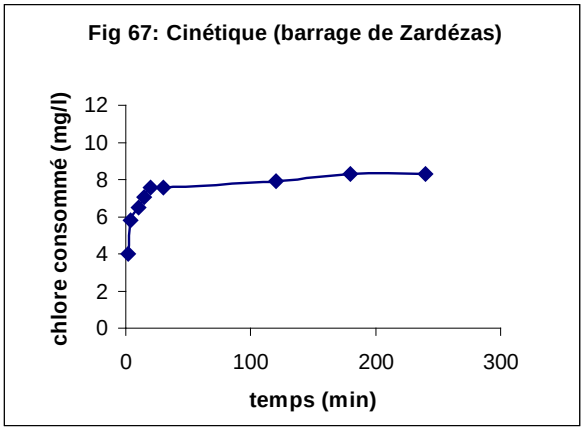
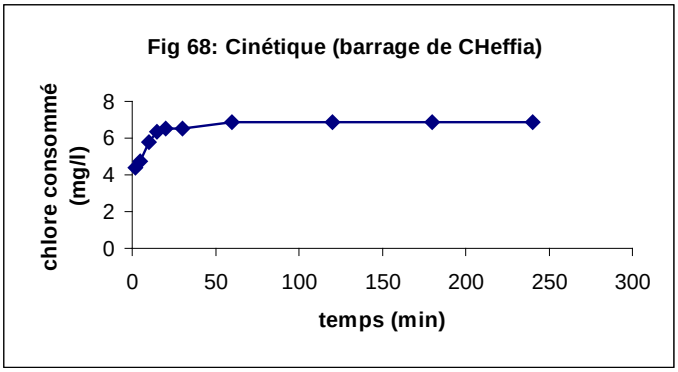


Fig 65: Cinétique (barrage de Beni Zid)

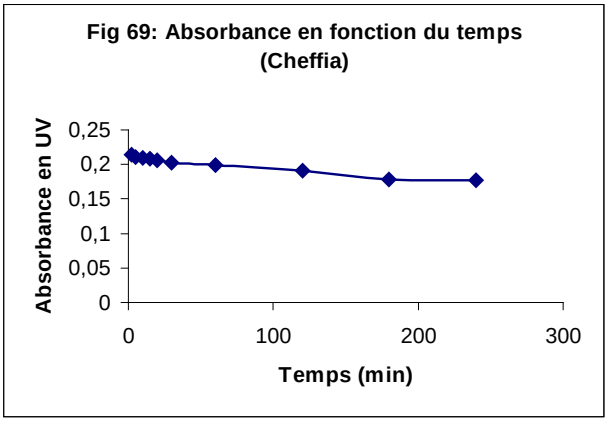








Globalement les consommations en chlore évoluent en fonction du temps selon deux étapes distinctes, une étape rapide et une étape lente. Nous présentons également l'évolution de l'absorbance en U.V en fonction du temps pour chacune des eaux (figure 69 à 79). Pour toutes les eaux, on observe une diminution de l'U.V au cours de la phase lente mais pour d'autres eaux, cette diminution apparaît dés le début de la réaction.



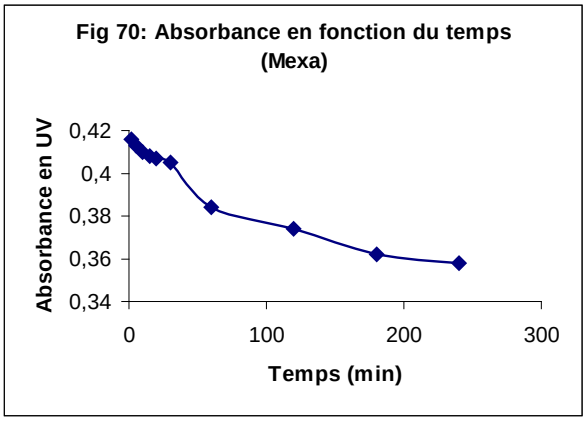


Fig 71: Absorbance en fonction du temps (Ain Dalia)

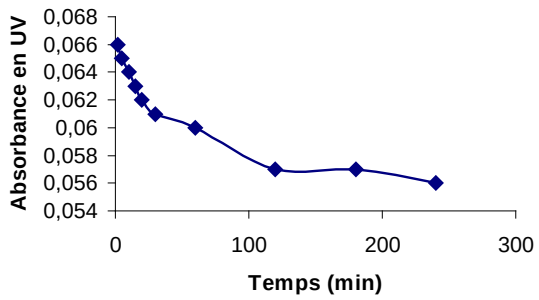


Fig 72: Absorbance en fonction du temps (Guénitra)

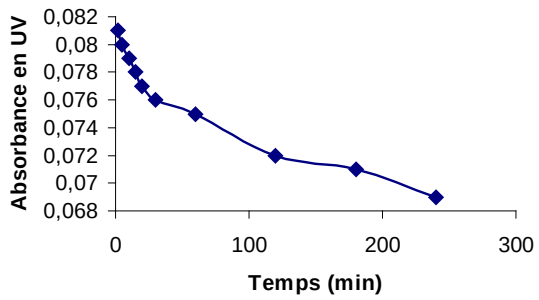


Fig 73: Absorbance en fonction du temps (Hammam Debagh)

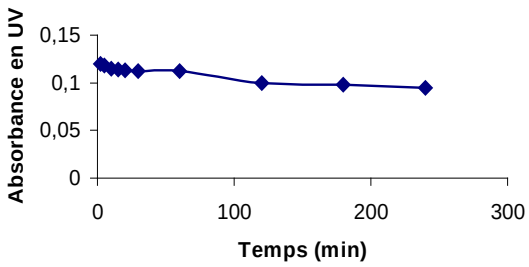


Fig 74: Absorbance en fonction du temps (Beni Haroun)

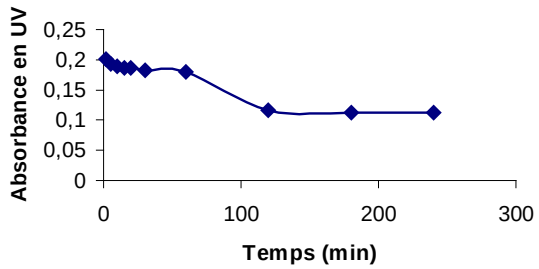


Fig 75: Abssorbance en fonction du temps (Foum EL Gherza)

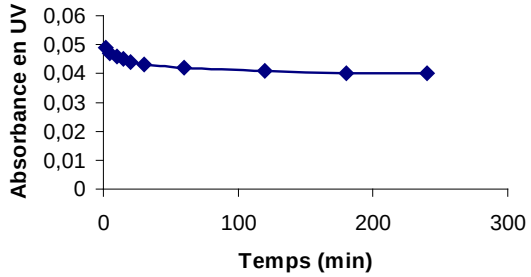


Fig 76: Absorbance en fonction du temps (Fontaine des Gazelles)

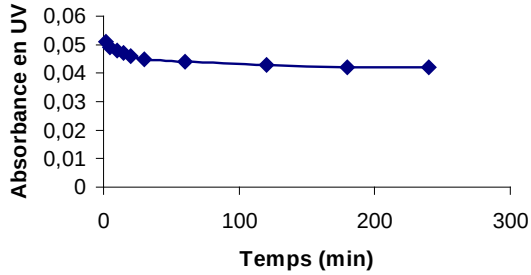


Fig 77: Absorbance au fonction du temps (Zardézas)

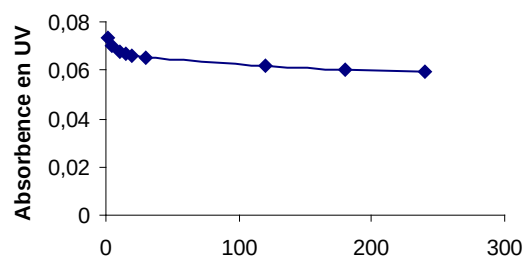
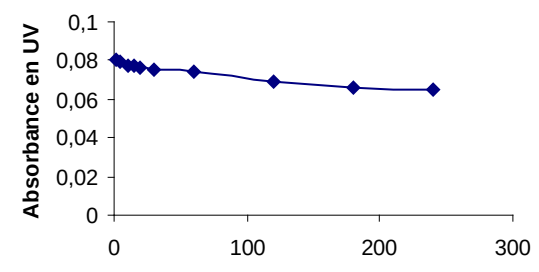
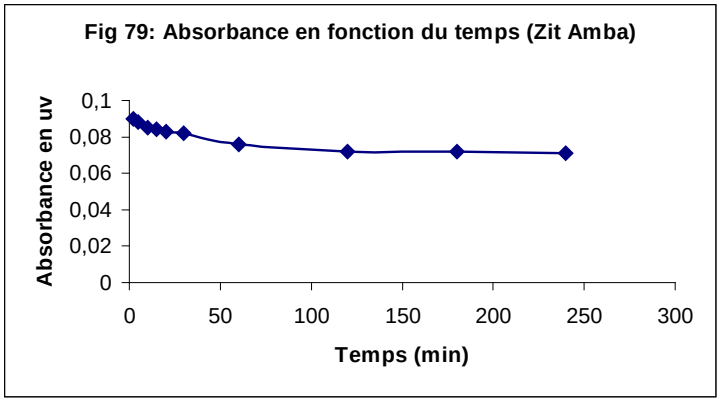


Fig 78: Absorbance en fonction du temps (Beni Zid)





III.4.2. Discussion des résultats :

Le tableau 25 permet de récapituler, pour chaque eau testée, les pourcentages de consommation en chlore à la fin de chaque étape importante de la réaction.

A travers ces résultats, il y'a lieu de constater que la consommation en chlore est quasi-instantanée, puisqu'un pourcentage non négligeable de chlore est consommé après seulement 2 minutes. Par ailleurs, la majorité du chlore est consommée au cours de la phase rapide de la réaction.

Pour les barrages de Zardézas, Foum el Gherza et Beni Haroun, la cinétique se présente en deux étapes, la première étape est rapide et se prolonge jusqu'à un temps de contact de 2 à 180 minutes, la consommation en chlore à la fin de cette phase rapide est successivement 8,28, 4,02 et 16,45 mg/l, avec des pourcentages de 41,4, 20,1 et 82,25 %. La deuxième étape est lente et se prolonge jusqu'à un temps de contact de 180 minutes à 24 heures, le potentiel de consommation en chlore au cours de cette étape pour les trois barrages est successivement 10,41, 5,80 et 16,66 mg/l (tableau 25). D'après ces résultats, le barrage de Beni Haroun à un grand pouvoir de consommation en chlore, ceci peut s'expliquer par la présence d'un grand nombre d'éléments réducteurs réactifs vis-à-vis du chlore. L'augmentation de la demande en chlore des composés organiques et minéraux dissous dans l'eau du barrage de Beni Haroun peut être expliquée par des rejets d'eaux usées urbaines dans ce barrage.

En ce qui concerne les barrages de Beni Zid, Zit Amba, Mexa et Fontaine des Gazelles, la cinétique est présente en deux étapes, la première est rapide et se prolonge jusqu'à un temps de contact de 2 à 120 minutes (tableau 25), la consommation en chlore à la fin de cette phase est successivement 5,44, 7,22, 8,11 et 10,77 mg/l. La deuxième étape est lente et se prolonge jusqu'à un temps de contact de 120 minutes à 24 heures. Les barrages qui ont un fort potentiel de consommation en chlore sont les barrages qui connaissent une forte pollution avec les matières organiques et minérales tel que le barrage de Mexa qui a une forte teneur en substances humiques (27,41 mg/l). Les consommations en chlore sont très élevées lorsque les substances humiques sont chlorées en présence des éléments minéraux tel que l'ammoniac, les bromures, mais aussi fer et manganèse. Cette consommation s'explique d'une part par la structure des substances humiques qui induit une réactivité importante vis-à-vis du chlore du fait de la présence de nombreux noyaux phénoliques ou certains sites également réactifs en présence des sels métalliques (GUERGAZI et ACHOUR, 2004). En parallèle, les absorbances en U.V augmentent en présence des métaux alors qu'elles présentent habituellement une dégradation pour les forts taux de chlore lorsque les substances humiques ne sont pas combinées à d'autres éléments (figure 69 à 79). Cette augmentation de l'U.V (variation négative de l'U.V) pourrait également être due à la formation de

complexes substances humiques-métal, à une oxydation partielle des cycles aromatiques ou à la formation de composés organochlorés. La diminution de l'absorbance U.V indique une dégradation des cycles aromatiques de la matière organique. Pour certaines eaux étudiées, nous constatons une variation positive, c'est-à-dire une diminution de l'absorbance U.V seulement à partir de la fin de la phase rapide. Ce qui laisse supposer que la formation des THM n'est importante qu'au cours de la phase lente. Par contre, pour les autres eaux, on peut constater que la diminution de l'absorbance U.V se fait dés les premières minutes de la réaction et les THM pourraient très vite se former.

Rappelons qu'en eau distillée et même en absence de tout autre composé réducteur, les substances humiques présentent déjà des consommations en chlore suffisamment importantes de l'ordre de 0,6 à 0,8 mg Cl_2/mg SH. (ACHOUR et GUERGAZI, 2002).

Les barrages de Hammam Debagh, Cheffia, Ain Dalia et Guénitra, ont une cinétique plus rapide par rapport aux autres barrages (la phase rapide allant de 2 à 15 min et de 2 à 60 min) avec des taux de consommations en chlore plus élevés (tableau 25). L'augmentation de la demande en chlore dans ces barrages est expliquée par le fait que des rejets d'eaux industrielles et agricoles ont lieu dans les barrages qui consommant très rapidement le chlore. En effet, ceci aura pour principales conséquences la présence de fortes teneurs en ammoniac et en matière organiques qui augmenteront la demande en chlore.

Tableau 25 : Tableau récapitulatif du pourcentage de chlore consommé et des variations de l'U.V en fonction du temps.

surface	ZARDEZAS	BENI ZID	ZIT EL AMBA	AIN DALIA	H. DBAGH	GUENITRA	CHEFFiA	MEXA	F. DES GAZELLES	FOUM EL GHERZA
on de l'U.V 2 min	-17,74	2,43	-4,65	-8,19	0,82	1,22	-2,88	-1,46	27,14	30,98
mation Cl_2 ort au Cl_2 à t = 2min	20,10	12,15	23,65	36,10	21,90	25,45	21,90	27,20	41,40	6,80
on de l'U.V 0 min	-6,45	7,31	3,48	-1,63	6,61	6,09	0,96	0,73	34,28	38,03
mation en port au Cl_2 t = 20 min	37,85	26,35	30,75	44,95	41,4	37,85	32,55	37,85	48,5	14,8
la fin de la oide (min)	180	120	120	15	60	15	60	120	120	180
on de l'U.V e la phase (mg/l)	3,22	15,85	16,27	-3,27	7,43	4,88	4,32	8,78	38,57	43,66
mation en port au Cl_2 la fin de la rapide	41,4	27,2	36,1	44,95	46,75	37,85	34,3	40,55	53,85	20,1
on de l'U.V 24^H	22,58	35,36	32,55	21,31	60,33	24,39	20,67	22,44	50	71,83
mation en port au Cl_2 it à 24^H	52,05	36,1	62,7	46,75	50,3	39,65	50,3	62,7	60,95	29

III.5. Conclusion :

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons constater que la consommation en chlore des eaux des barrages étudiés est considérable. Cette consommation est corrélable aux caractéristiques physico-chimiques des eaux et surtout aux teneurs et à la nature des constituants organiques et minéraux des eaux. Les eaux qui ont une forte consommation en chlore sont les eaux qui ont une charge organique plus élevée.

Nos résultats nous ont permis de conclure que la chloration des eaux de surface chargées en matières organiques aboutit à des potentiels de consommation en chlore considérables (5,80 à 16,66 mg Cl_2/l), ces potentiels pouvaient être corrélés à la quantité de matières organiques présentes et à leur nature. Le matériel humique est le principal précurseur des organohalogénés.

Les résultats présentés et leur discussion a mis en évidence l'influence de la matière organique et minérale, et que ces eaux étaient le siège de nombreuses réactions d'oxydation et de substitution qui pourraient produire des teneurs non négligeable des THM et des chloramines.

Les cinétiques et leur évolution semblent particulièrement liées à la structure de la matrice organique des eaux, notamment aromatique.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'objectif de notre travail était d'étudier la réactivité du chlore vis-à-vis d'eaux de barrages de l'Est algérien en tenant compte de la composition physico-chimique de ces eaux.
Pour ce faire, une étude bibliographique comportant plusieurs chapitres a été nécessaire. La synthèse établie a permis avant tout de définir les différents paramètres permettant de caractériser la qualité des eaux naturelles et notamment celle des eaux de surface. Des données se rapportant à la nature et à la qualité des ressources en eaux en Algérie ont été également présentées. Le rôle du chlore dans la potabilisation des eaux et en particulier ses nombreuses réactions sur les constituants de ces eaux ont par ailleurs fait l'objet d'un autre chapitre.

L'étude expérimentale a consisté en trois chapitres. Le chapitre relatif à la description de la procédure expérimentale a permis d'une part de décrire l'échantillonnage des eaux de 11 barrages de la région choisie. D'autre part, les méthodes d'analyse des éléments contenus dans ces eaux ont été compilés et présentées, montrant qu'une gamme variée de techniques analytiques ont pu être utilisées au niveau du laboratoire LARHYSS (volumétrie, colorimétrie, potentiométrie, photométrie à flamme, spectrophotométrie, …). La description des essais a été également effectuée aussi bien pour ceux concernant la détermination de la qualité physico-chimique que ceux concernant les essais de chloration des eaux.

Le second chapitre de la partie expérimentale a consisté à présenter la synthèse et la discussion des résultats des déterminations physico-chimiques des eaux prélevées et testées. Les paramètres analysés ont englobé aussi bien les éléments minéraux qu'organiques. Il ressort de cette phase de l'étude que les eaux sont caractérisées par une qualité physico-chimique moyenne, parfois médiocre, mais variable selon l'eau considérée. En particulier, les eaux des barrages du Sud-Est algérien (Foum El Gherza, Fontaine des Gazelles) sont apparues comme nettement plus dures, plus minéralisées avec de fortes teneurs en chlorures et sulfates. Toutefois, leur charge organique exprimée aussi bien en oxydabilité au $KMnO_4$, en teneurs en substances humiques ou en absorbance en UV est apparue comme faible, contrairement aux eaux du Nord- Est du pays. Ces eaux plus chargées en matières organiques ont montré, pour la plupart, une teneur en matériel humique appréciable, indiquant que la matière organique pourrait en majorité être d'origine naturelle (décomposition des végétaux). Pour les eaux de Cheffia et Mexa, les teneurs en substances humiques sont très élevées, dépassant 10 mg SH/l. Le barrage de Beni Haroun est apparu comme un cas particulier concernant la mauvaise qualité de ces eaux tant sur le plan organique que minéral. Ceci pourrait s'expliquer essentiellement par une pollution importante par des rejets d'eaux usées et l'absence de protection du site.

Le chapitre suivant a présenté les résultats des essais de chloration en laboratoire de toutes les eaux échantillonnées. La détermination des potentiels de consommation en chlore après 24 heures de temps de contact a permis de montrer que la demande en chlore de toutes les eaux était non négligeable, variant de 5,80 à 16,66 mg Cl_2/l.
Les fortes demandes en chlore ont semblé présenter une bonne corrélation avec la charge organique des eaux et notamment la teneur en matériel humique, substances polyphénoliques fortement réactives vis-à-vis du chlore. D'autres composés organiques constitutifs de la matrice organique des eaux ont pu contribuer à l'élévation des consommations en chlore, ces composés pouvant être d'origine naturelle ou anthropique.

La turbidité de l'eau s'est avérée également un paramètre de qualité important, pouvant influer sur la réactivité des eaux vis-à-vis du chlore. La matrice minérale des eaux considérées a pu, par ailleurs, jouer un rôle dans le schéma réactionnel de la chloration de ces eaux. Compte tenu de la présence d'éléments minéraux réducteurs tels que l'ammoniaque, les bromures mais aussi le fer ou le manganèse, des réactions compétitives chlore/éléments minéraux et chlore/ matière organique ont pu se produire. En faisant varier les taux de chlore introduit, les courbes de break-point obtenues ont permis de confirmer ces différents aspects.

En effet, dans la plupart des eaux, un faible dose de chlore inférieure à 2,13 mg Cl_2/l, conduit à la consommation totale du chlore par les éléments réducteurs autres que l'ammoniaque. La mise en évidence du break- point et l'apparition du chlore libre pour les forts taux de chlore indique, par ailleurs, la formation puis la destruction partielle des chloramines. Au cours de toutes ces réactions, il est très probable que des composés organohalogénés ont pu se former en parallèle à ces réactions, induisant une toxicité potentielle à long terme. Cela peut être supposé grâce à l'observation de l'évolution de la dégradation de l'absorbance U.V au cours de ces réactions.

Le suivi des cinétiques de consommation de chlore par les eaux et le suivi de l'évolution de l'aromaticité a permis de mettre en évidence que les réactions de consommation présentent pour toutes les eaux deux phases distinctes, une phase rapide et une phase lente. Cependant, la durée de la phase rapide, révélatrice de la plus ou moins grande réactivité des éléments de l'eau, a varié selon la composition minérale et organique des eaux.

Des eaux à cinétique très rapide (étape rapide jusqu'à 15 minutes environ), telle que les eaux d'Ain Dalia et Guenitra ont pu être observées alors que des eaux à cinétique plus lente ont vu la phase rapide se prolonger jusqu'à 3 heures (eaux de Zardézas, Foum El Gherza et Beni Haroun).
L'évolution de l'absorbance U.V en fonction du temps a permis d'aboutir à ces mêmes conclusions, la dégradation de la matière organique se faisant plus ou moins rapidement selon le type d'eau.

A travers tous ces résultats, la complexité des schémas de réaction du chlore avec les constituants des eaux de surface apparaît clairement. Les nombreuses réactions dans l'eau et l'abattement limité de la matière organique conduit à penser que l'introduction du chlore dans ces eaux peut mener à la formation de composés indésirables. Il est donc intéressant d'opter au cours du traitement pour des procédés optimisant l'élimination de composés précurseurs en amont de la chloration finale.

Tous nos résultats se rapprochent suffisamment de ceux relevés dans la littérature et qui concernent la chloration d'eaux de surface européennes ou américaines. Mais les eaux algériennes, souvent plus minéralisées et insuffisamment protégées contre les pollutions organiques et minérales, pourraient être le siège de nombreuses réactions simultanées ou compétitives selon des schémas complexes au cours des étapes de désinfection.

Références bibliographiques

ACHOUR S. (1992), La chloration des eaux de surface et ses effets sur la formation de composés organohalogénés toxiques, Thèse de Magister en Génie de l'Environnement, ENP, Alger.

ACHOUR S ; MOUSSAOUI K. (1993), La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation de composés organohalogénés. Environmental technology, 14, 885-890.

ACHOUR S ; MOUSSAOUI K. (1993), Effet de la chloration sur quelques types d'eaux algériennes, Tribune de l'eau, N° 564/ 4, 31-34.

ACHOUR S. (2001), Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles, Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Hydrauliques, Université de Tizi-Ouzou, 231 p.

ACHOUR S, GUERGAZI S. (2002), Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. Sci. Eau, 15, 3, 649-668.

ACHOUR S, GUERGAZI S. (2003), Effet de sels métalliques sur la chloration des substances humiques en eau distillée. larhyss journal, 02, 105-113

A.B.H. (2005), Agence des bassins hydrographiques, données hydrologiques des bassins de l'Est Algérien. (www.abh.dz)

A.B.H.S.(2005), Agence des bassins hydrographiques saharienne, données hydrologiques des bassins de Sud-est Algérien (www.abhs.dz)

AFOUFOU F, DEBBAR K. (1997), Optimisation de la floculation de l'eau du barrage Foum-El-Gherza. Mémoire d'ingénieur en Hydraulique, université de Biskra.

A.F.E.E. (Association française pour l'étude des eaux). (1985), Fiabilité de la distribution d'eau potable. L'entretien des réseaux d'eau. Etude de synthèse pp1-96.

ALOUINI Z, SEUX R., (1987), Cinétique et mécanisme de l'action oxydative de l'hypochlorite sur les acides aminés lors de la désinfection des eaux, Wat. Res., 21, 335-343.

A.N.B, (2005), Agence national des barrages, données hydrologiques des bassins de l'Est Algérien (www.anb.dz)

A.N.R.H. (2005), Agence nationale des ressources hydrauliques, données hydrochimique sur la qualité des eaux des barrages de l'Est Algérien.

ASTRUC M. (1986) Propriétés chélatantes des substances humiques des eaux continentales, Séminaire sur les substances humiques, G.R.U.T.T.E.E., Rennes.

BACHA M., ACHOUR S., GUERGAZI S., (2006), Chloration de la cytosine et de la guanine en présence de sels minéraux. Larhyss/journal, 05, pp. 179-185.

BANQUE MONDIALE, FAO, AFD. (2003), République algérienne démocratique et populaire – Secteur de l'eau : Eléments d'une stratégie sectorielle. Rapport d'identification

BENGUELLA B., BENAISSA H. (2002). *Cadmium removal from aqueous solution by chitin, Wat. Res., 36, 2463-2474.*

BLOCK J.*C. (1982), Mécanismes d'inactivation des micro-organismes par les oxidants, TSM L'eau, 11, 521-524.*

BEAUDRY J.P. (1984), Traitement des eaux. Ed Le Griffon d'Argile, Québec.

BENOUFELLA F. (1989), Chloration de quelques acides aminés présents dans les eaux à potabiliser. Thèse de Magister en Chimie, U.S.T.H.B. Alger.

BERNARD C BOISSONNADE G, REGNAT Y, COLIN F, JOURDAIN M, BOUCHINET J. (1987), Automatisation de la détection des bactéries coliformes en vue du suivi industriel de la qualité des eaux potables distribuées, T.S.M. L'eau, 82, 1, 5-18.

BEN MOUSSA H., TYAGI R.D., CAMPBELL P.G.C. (1994), Biolixiviation des métaux lourds et stabilisation des boues municipales, Rev. Sci. Eau, 7,3, 235, 252.

BOURBIGOT M.M. (1996), La désinfection des eaux : Contraintes-Contradictions-Solutions, L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, 195, 24-26.

BOUDJAJA A, MESSAHEL M ; PAUC H. (2003), Ressources hydriques en Algérie du Nord, Rev. Sci. Eau, 16, 3, 285-304.

BUTTERFIELD. C. T; WATTIE E; and MEGREGIANS S. (1943), Influence of pH and temperature on the survival of coliforms and enteric pathogens when exposed to free chlorine., U.S. Public Health Rep., 58 (51).

CEE. (2000), Rapport de la CEE sur les situations des STEP en Algérie. Ministère des ressources en eaux, Algérie.

CHAMI T., KHALAF H., BOUAMAMA A. (1998), Le cadmium dans les phosphates et son adsorption par les plantes, COMAGEP 3, Tome II (matériaux), 30-33, Tamanrasset, 10-13 Mai.

CHOCAT B. (1997), Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Ed. Eurydis 92, France.

CHADIK P. A., AMY G. L. (1987), Molecular Weight effects on THM control by coagulation and adsorption, Journ. Env. Eng., 13, 6, 1-14.

CHRISTMAN R. F., GHASSIMI M. J. (1966), Chemical nature of organic color in water., J. Am Water Works Ass., 58,6, 723-741.

CNES. (2000), Conseil National Economique et Social. L'eau en Algérie : Le grand défi de demain. Commission de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Rapport et avis du CNES.

COLEMAN W. E., MUNCH J.W., KAYLOR W.H., STREICHER R.P., RINGHAND H.P., MEIER J.R.(1984), Gaz chromatography/mass spectroscopy analysis of mutagenic extracts of aqueous chlorinated humic acid. A comparison of the by-products to drinking water contaminants, Environ. Sci. technol., 18, 674-681.

CONDIE L. W., (1986), Toxicological problems associated with chlorine dioxyde., J.A.W.W.A.,73, 132-141

CROUE J.P. (1987), Contribution à l'étude de l'oxydation par le chlore et l'ozone d'acides fulviques naturels extraits d'eaux de surface, Thèse de Docteur d'Université, Poitiers, France..

DESJARDINS R. (1997), Le traitement des eaux. Edition de l'Ecole Polytechnique de Montérial. France.

DEGREMONT. (1989), Memento technique de l'eau, 9ème Ed., Ed. Lavoisier, Paris, Tome 1, 575-581.

DE LAAT J. MERLET N, DORE M. (1982), Chloration de composés organiques : Demande en chlore et réactivité vis-à-vis de la formation de trihalométhanes, Wat. Res., 16, 1437-1450.

DE LAAT J. (1981), Contribution à l'étude du mécanisme de formation des trihalométhanes et incidence de l'azote ammoniacal et les traitements de préoxydation. Doctorat de 3ème cycle, Université de Poitiers, N° 818.

DOSSIER-BERNE F. MERLET N. (1996), Evolution des acides aminés et de la matière organique dissoute dans une filière de production d'eau potable : Corrélation avec le carbone organique dissous biodégradable et le potentiel de demande en chlore à long terme, Rev. Sci. Eau, 9, 1, 115-133.

DORE M. (1989), Chimie des oxydants-Traitement des eaux, Ed. Lavoisier, Paris.

DUPONT A. (1981), Hydraulique urbaine : Hydrologie-captage et traitement des eaux, Ed. Eyrolles, tome I.

EDELINE M. F. (1992), Epuration physico-chimique des eaux, 2ème édition, Ed. CEBEDOC, France.

ELLIS. K. V. (1991), Water disinfection: A review with some consideration of the requirements of the third world, Crit. Rev. Environ. Control, 20, 5-6, 341-407.

ENVIRONNEMENT CANADA, (1994), Surveillence de la qualité des eaux de surface, Guide à l'intention des citoyens des étudiants et des communautés du Canada atlantique.

GUERGAZI S., ACHOUR S. (2004), Incidence de la chloration sur la réactivité de substances humiques en présence de sels métalliques. larhyss/ journal, 3, 143-156.

GUERGAZI S., ACHOUR S. (2005), Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration. larhyss/ journal, 4, 119-127.

GIANISSIS D., LE CLOIREC C., DORANGE G., MARTIN G. (1985), Efficacité de la chloration sur l'élimination du manganèse en présence de substances humiques,J. Water SRT Aqua, 4, 199-203.

GOMELLA G, GUERREE H. (1983), Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. II. – Le traitement. 2ème Edition, Paris (France).

GRULOIS P ; MATEJKA G ; PARINET B, (1989), Les précurseurs de T.H.M dans les eaux de retenue de Notse., Env. Tech.Let., 10, 221-230.

GUESBAYA N. (1998), Elimination des composés organiques par le procédé de coagulation-floculation. Thèse de Magister, Université de Biskra.

ISHIKAWA T., SATO T., (1984), Reaction of chlorine and bromine with humic substance., The science of the total environ, 54, 185-194.

JADAS-HECART A. et al. (1991), Modélisation de la demande en chlore d'une eau traitée. Wat. Res, .26, 8, 1073-1084.

JARROL E. L., BINGHAM A. K., and MEYER E. A., (1981), Effect of chlorine on Giardia Lambilia cyst viability, Appl. Enviro. Microbiol., 41, 483.

KEMMER F. N. (1984), Manuel de l'eau, Edition technique et documentation, Lavoisier, Paris.

KLEIN L. A; LANG. M; NASH. N (1974), Sources of Metals in New York City Waste Water. J. W.P. C. F., 46, 12, 2653-2662.

KNOCKE W. R., VAN BENSCHOTEN J.E., KEARNEY M., RECKHOM D.A. (1990), Alternative oxidants for the removal of soluble iron and manganese, Ed. AWWA Research Fundation, 132-142, U.S.A.

KOSTYAL E., SASKI E., SALKINOJA-SALONEN M. (1994), Organic contaminant survey of drinking waters, mineral waters and natural waters in Eastern and central European countries, J. Water SRT-Aqua, vol 43,6, 296-302.

KRUITHHOF J. C., SCHIPPERS JC., VAN DIJK J.C. (1994), Drinking-water production from surface water in the 1990s. J. Water SRT Aqua, 43, 2, 47-57.

KROMBERG L., VARTIANENT T. (1988), Ames mutagenicety and concentration of the strong mutagen 3-chloro-4 (dichloro-methyl) 5-hydroxy-2 (5H) Furanone and of its geometric isomere E-2-Chloro-3-(dichloramethyl)-4-oxa-Butenoic acid in chlorine treated top water., Mutation. Res, 206, 177-182.

LARBI. A. (2004), Contribution à l'étude de la qualité des eaux de barrages de la région centre de l'algérie. Mémoire d'ingéniorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida. Alger.

LAZERGUI A., BOUGHEDAOUI M. (1987), Etude de la substitution de l'AsP6 par la silice activée et la bentonite dans le traitement des eaux du barrage Ghrib, Mémoire d'ingénieur en Génie de l'environnement, E.N.P, Alger

LE CURIEUX F., MARZIN D., BRICE A., ERB F.(1996), Utilisation de trois test de génotoxicité pour l'étude de l'activité génotoxique de composés organohalogénés, d'acides fulviques chlorés et d'échantillons d'eau en cours de traitement de potabilisation, Rev. Sci. Eau, 9, 1, 75-95.

LE CLOIREC C. (1984), Analyse et évolution de la micropollution organique azotée dans les stations d'eau potable. Effet de la chloration sur les acides aminés, Thèse de Docteur Ingénieur, ENSCR, Université de Rennes I.

LE CLOIREC C, LE CLOIREC P., MORVAN J., MARTIN G. (1983), Forme de l'azote organique dans les eaux de surface brutes et en cours de potabilisation. Rev. Sci. Eau., 2, 25-39.

LEFEBVRE E. (1990), Coagulation des substances humiques aquatiques par le fer ferrique en milieu aqueux : Effet de la pré oxydation. Thèse Doctorat d'Université, Poitiers.

LE MARCHAND D. (1981), Contribution à l'étude des possibilités de rétention de matières organiques en solution dans l'eau potable sur charbon actif. Thèse de Doctorat Ingénieur, Rennes.

MARCOEN. J. M. (1983), Cours d'hydrochimie, Faculté des sciences agronomiques de l'Etat de Gembloux, Belgique.

MALCOLM R.L., (1985), The geochemistry of stream fluvic and humic substances. Rapport interne de U.S. Geological Survey.

MARTIN G. (1979), Le problème de l'azote dans les eaux, Ed. Tech. Et Doc., Lavoisier, Paris, Chap. 18, 231-246.

MALLEVIALE J., SCHMITI E., BRUCHET A. (1982), Composés organiques azotés dans les eaux : Inventaire et évolution dans différentes filières industrielles de production d'eau potable, Journées Informations Eaux, Tome 1, Poitiers.

MEIER J. R. (1988), Genotoxic activity of organic chemicals in drinking water, Mutat. Res., 196, 211-245.

MEIER J.R., LINGG R.D., BULL R.J. (1983), Formation of mutagens following chlorination of humic acid: a model for mutagen formation during water treatment, Mutat. Res., 118, 25-41.

MERLET N. (1986), Contribution à l'étude du mécanisme de formation des trihalométhanes et des composés organohalogénés non volatils lors de la chloration de molécules modèles, Doctorat Es-Sciences Physiques, Université de Poitiers, France.

MERLET N., DE LAAT J., DORE M. (1982), Oxydation des bromures au cours de la chloration des eaux de surface – Incidence sur la production de composés organohalogénés, Rev. Sci. Eau, 1, 215-231.

MINEAR R.A.. (1981), Bromide, the missing factor in THM formation and removal prediction. Proceeding of the international conference "Water industry 81" Brighton (U.K.), 105-113.

MORRIS R.D., AUDET A.M., ANGELILLO I.F. (1992), Chlorination, chlorination by-products, and cancer: A meta-analysis, Am. J. public health, 82, 7, 955-963.

MURPHY K. L., ZALOUM R. (1975), Effect on chlorination practice on soluble organics, Wat. Res., 9, 389-396.

O.N.U. (2002), Aspects du développement durable liés aux ressources naturelles de l'Algérie – Agenda 21-

O.M.S. (2004), Guidelines for drinking-water quality, Vol. 1, Recommendations, 3rd Ed., World Health Organization, Geneva.

PATTERSON K.S., LYKINS JR.B.W., RICHARDSON S.D. (1995), Mutagenecity of drinking water following disinfection., J. Water Srt. Aqua., 44, 1, 1-9.

POTELON J. E., ZYSMAN K. (1998), Guide des analyses de l'eau potable, Ed. « La lettre du cadre territoriale ». S.E.R.T. Dossier d'expert, France.

PAUWELLS H., MARTELAT A., FOUCHER J.C., LACHASSAGNE P. (1996). Dénitrification des eaux souterraines du bassin versant du Coet-Dan : Suivi géochimique et hydrologique du processus. Rapport B.R.G.M. , R 39055, Orléans, France. 66 p.

REHI R., GAID A. (1987), Optimisation du traitement physico-chimique d'une eau de surface. Cas de l'oued Kessir alimentant la ville de Jijel, T.S.M L'eau, 4, 169-171.

RIZET (1984), Evolution de la qualité bactériologique d'une eau en cours de distribution, p 1-14.

RIZET M., DUMOUTIER N., BELLAKEN D.,(1986), Techniques d'élimination des particules virales, Aqua, 6,343-353.

RODIER J. (1996), L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8ème Edition, Paris.

ROOK J.J. (1974), Formation of haloforme during chlorination of natural waters, J. Water. Treat-Exam, 23, 234-243.

SANTE CANADA, (2003). Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada : Documentation à l'appui- La turbidité. Bureau de la qualité et de la santé, Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada, Ottawa (Ontario).

SAUNIER B., SELLECK R. E. (1979), The kinetic of break point chlorination in continous flow systems, J. Am. Water Works. Ass., 7,3, 164-172.

SAUNIER B. (1976), La cinétique de la chloration au point de rupture. Application à l'élimination de l'ammoniaque des eaux potables et des eaux usées. L'eau et l'industrie, 8, 1-77.

STEVENS A. A., SLOCUM C. J., SEEGER C.J., ROBECK G.G. (1976), Chlorination of organics in drinking water, J.Am. Water Works Assoc, 68, 615-627.

SELLAH S. (1993), Optimisation de la floculation au cours du traitement de l'eau de la station de Souk El Djemaa, Thèse d'Ingénieur en construction hydraulique. Université de Tizi-Ouzou.

SEMMENS M.J., STAPLES A.B., HOHENSTEIN G., NORGAARD G.E. (1986), Influence of coagulation on removal of organics by granular activated carbon, Journal Awwa, 78, 8, 80-84.

TABOUCHE N., ACHOUR S.(2004), Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. Larhyss/journal, 3, 99-113.

TARDAT-HENRY M, BEAUDRY J. (1984), Chimie des eaux, Ed. Le Griffon d'argile, INC, Québec.

THIBAUD H. (1987), Contribution à l'étude du mécanisme de formation de la chloropicrine au cours de traitements oxydants : Application aux eaux à potabiliser. Thèse de Doctorat d'Université de Poitiers, N° 90, Poitiers.

THOMAS R.F., WEISNER M.J., BRADD H.J., (1980), Water chlorination: Environmental impact and health effects, R. L Jolley, Ed. (Ann Arbor science publishers), vol. 3, 161-168.

THURMAN E.M. (1985), Developments in biogeochemistry: Organic geochemistry of natural waters, Ed. NIJHOFF, Dr. W. Junk Publishers, DORDRECHT.

WHITE G.C. (1986), The handbook of chlorination, Second edition. Van Nostrand Reinhold Company Publisher, New York, 775-788.