

3/97

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE

FIN D'ETUDES

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE - المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique  
SUJET

ESSAIS D'ELIMINATION DE LA  
TURBIDITE ET DE LA MATIERE  
ORGANIQUE D'UNE EAU DE BARRAGE  
PAR LES PROCEDES  
PHYSICO-CHIMIQUES ET A  
MEMBRANES

Proposé par :

Mr M. DROUCHE  
Mr H. LOUNICI

Etudié par :

Mlle. RAIFA JAMOUS

Dirigé par :

Mr M. DROUCHE  
Mr H. LOUNICI

PROMOTION

Juillet 1997

E.N.P 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El-Harrach, Alger.

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT  
GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

**PROJET DE  
FIN D'ETUDES**

**SUJET**

**ESSAIS D'ELIMINATION DE LA  
TURBIDITE ET DE LA MATIERE  
ORGANIQUE D'UNE EAU DE BARRAGE  
PAR LES PROCEDES  
PHYSICO-CHIMIQUES ET A  
MEMBRANES**

**Proposé par :**

Mr M. DROUCHE  
Mr H. LOUNICI

**Etudié par :**

Mlle. RAIFA JAMOUS

**Dirigé par :**

Mr M. DROUCHE  
Mr H. LOUNICI

**PROMOTION**

*Juillet 1997*

E.N.P 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El-Harrach, Alger.

**\*\*\* DEDICACES \*\*\***



*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mon père*

*Ma chère mère*

*Ma grand - mère*

*Mes soeurs : Lamia, Nabila .*

*Mes frères : Hakim, Mohamed, Nabil, Anas, Aous*

*A tous les membres de la famille :*

*A mon oncle Boualem et sa famille .*

*A mon oncle Redha*

*A mes amies de loin et de près .*

*Raïfa*

# REMERCIEMENTS



- **J**e tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude à tous ce qui m'ont aidé à réaliser cette étude .
- **M**es remerciements vont égal à Monsieur Lounici Hakim qui a accepté de diriger ce travail ainsi qu'à Monsieur Derouiche Madani dont je le remercie pour l'intérêt qu'il a apporté à cette recherche et la confiance qu'il a su me témoigné.
- **J**e remercie aussi Mademoiselle Arrar J. de m'avoir fait l'honneur de présider le jury ainsi également à, Mme Kitous, Mlle Zoughlache et Mr Chergui, pour avoir accepter d'être membres du jurys.
- **A**ux Enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger et en particulier à ceux de Génie de l'Environnement
- **A** Messieurs Grib Hocine et Halet Farid pour leur aide si précieuse.
- **M**es remerciements vont également à tous les Ingénieurs de la Station de traitement des Eaux de BOUDOUAOU et les responsables de l'EPEAL, et en particulier Messieurs Boudjenoun et Yousfi.
- **E**t à tous les Etudiants de Laboratoire des Biotechnologies, du département Génie de l'environnement de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger pour l'aide qui m'ont porté .
- **E**nfin des remerciements particuliers vont à Mme Bouchenafa et Melle Yala .B qui ont accepté malgré leur nombreuse responsabilité de prendre sur leur précieux temps la saisie ce travail, et le soin apporté.

RAIFA

# SOMMAIRE

## I - INTRODUCTION

## II - LES EAUX DE SURFACE

- II - 1. Définition
- II - 2. Caractéristiques générales
- II - 3. Potabilité des eaux de surface
- II - 4. Pourquoi traiter ?
- II - 5. Critères de choix
- II - 6. Principaux types de traitements spécifiques
- II - 7. Analyses physico-chimiques et biologiques

## III - ELIMINATION DE MATIERES ORGANIQUES CONTENUES DANS L'EAU

- III - 1. Introduction
- III - 2. Les matières organiques dans les eaux de surface
- III - 3. Elimination des matières organiques
  - 3.1. Adsorption statique
    - 3.1.1. Définition et généralités
    - 3.1.2. Phénomènes d'interaction
    - 3.1.3. Types d'adsorption
    - 3.1.4. Chaleur d'adsorption
    - 3.1.5. Facteur influençant l'adsorption
    - 3.1.6. Equilibre d'adsorption
      - 3.1.6.1 Définition
      - 3.1.6.2 Classification
      - 3.1.6.3 Equation des isothermes
    - 3.1.7. Adsorption en phase liquide
    - 3.1.8. Charbon-actif:
      - 3.1.8.1. Définition
      - 3.1.8.2. Structure du charbon actif
      - 3.1.8.3. Application du charbon actif
      - 3.1.8.4. Avantages et inconvénients à l'utilisation du charbon actif.

## **IV - PROCÉDES DE PRODUCTION D'EAU POTABLE**

### **IV - 1. Représentation de la chaîne classique de traitement.**

#### **1.1 Dégrossissage**

#### **1.2. Coagulation-floculation**

##### **1.2.1. Définition**

##### **1.2.2. Particules présents dans l'eau**

##### **1.2.3. Les suspensions colloïdales**

##### **1.2.4. Floculation mécanique**

##### **1.2.5. Floculation physico-chimique**

###### **1.2.5.1 Double couche**

###### **1.2.5.2 Potentiel Zêta**

##### **1.2.6. Coagulants et adjuvants**

##### **1.2.7. Mode de déstabilisation des particules**

###### **1.2.7.1 Coagulation électrostatique**

###### **1.2.7.2 Coagulation par adsorption d'ions**

###### **1.2.7.3 Floculation par adsorption des polyélectrolytes**

###### **1.2.7.4 Coagulation par entraînement**

##### **1.2.8. Caractéristiques des coagulants-floculants**

###### **1.2.8.1. Les coagulants**

###### **1.2.8.2. Les floculants**

###### **1.2.8.3. Adjuvants de floculation**

### **IV - 2. Description d'une chaîne utilisant les techniques membranaires**

### **IV - 3. Utilisation des techniques membranaires**

## **V -. LULTRAFILTRATION**

#### **8.1. Définition**

#### **8.2. Intérêt de l'UF**

#### **8.3. Application De l'UF**

#### **8.4. Les membranes de l'UF**

## **VI - PRESENTATION DE LA CHAINE DE KEDDARA, DE L'USINE DE TRAITEMENT DE BOUDOUAOU**

### **VI - 1. Introduction**

### **VI - 2. Présentation de la retenue de Keddara**

### **VI - 3. Présentation de l'usine de traitement de Boudouaou**

## **VII - MATERIEL ET METHODES**

### ***A / - Etude expérimentale de la coagulation-floculation***

#### **VII - 1. Introduction**

#### **VII - 2. Prélèvement**

#### **VII - 3. Matériels**

#### **VII - 4. Méthodes**

### ***B / - Etude expérimentale de l'ultrafiltration***

**VII - 5. Description et mode de fonctionnement du matériel utilisé pour l'ultrafiltration**

- 5.1. La membrane
- 5.2. Le module
- 5.3. Fonctionnement de l'appareil d'ultrafiltration

*C /- Etudes Expérimentaux sur l'Elimination des Matières Organiques par Adsorption sur Charbon Actif*

**VIII - RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATIONS**

**VIII- 1. Analyses physico-chimiques de l'eau brute**

- 1.1. Description de différents paramètres d'analyses physico-chimiques et l'interprétation

**VIII- 2. Traitement coagulation-floculation de l'eau brute**

- 2.1. Détermination des concentrations optimales des coagulants
- 2.2. Détermination des couples optimaux: coagulants - floculant
- 2.3. Interprétations des résultats

**VIII- 3. Traitement de l'eau brute par ultrafiltration**

- 3.1. Détermination de la perméabilité de l'eau de la membrane avant traitement
- 3.2. Evolution de la turbidité en fonction du temps
- 3.3. Evolution de la conductivité électrique
- 3.4. Evolution de la densité optique en fonction du temps
- 3.5. Evolution de flux de perméat en fonction du temps
- 3.6. Détermination de la perméabilité à l'eau de la membrane après traitement

**VIII - 4. Elimination des matières organiques par adsorption sur charbon-actif**

- 4.1. Adsorption statique
- 4.2. Adsorption dynamique.
- 4.3. Interprétation

**IX - CONCLUSION**

## I - Introduction :

Les besoins de l'homme en eau à notre époque n'ont cessé de croître, vu la diversité et la variété des domaines de son utilisation.

Le développement économique et industriel implique une exploitation accrue des ressources naturelles en eau. Cependant, les problèmes de pollution ont connu une plus large extension, d'où la nécessité de protéger cet élément indispensable à la survie et au bien-être de l'homme, qu'on retrouve dans la nature chargée d'impuretés polluants la rendant inconsommable directement.

Face à cette situation, on doit agir massivement pour réduire les causes et les effets néfastes sur l'homme et la nature de ces polluants et on doit conjuguer nos actions en vue de la dépollution et de la protection de l'environnement en général et de l'eau en particulier. Pour cette raison, on fait appel à plusieurs procédés et méthodes appelés procédés de traitement qui varient selon la qualité de la pollution de l'eau à traiter et la qualité de l'eau traitée en fonction de l'usage de cette eau après traitement soit pour la consommation ou à des fins industrielles.

Ces procédés n'ont cessé d'être développés au cours du temps afin d'obtenir la qualité et la quantité exigés en minimisant le plus que possible le coût de revient et le temps de traitement. Dans ce mémoire, on essaye d'étudier les traitements des eaux de surface qui sont, certes, moins polluées que les autres (eaux usées, industrielles), en suivant, des chaînes de dépollution dites classiques (coagulation floculation filtration), et des chaînes dites modernes (osmose inverse, techniques à membranes).

Ce présent travail s'intègre dans un projet plus vaste qui est celui des traitements des eaux de surface par des nouvelles techniques dites à membranes, ces dernières procédés existaient depuis au moins deux décennies, mais vu leur prix de revient, ils sont écartés au profit des méthodes classiques. Cependant la baisse continue des prix des membranes et leur efficacité, de plus en plus prouvée, ont fait des techniques à membranes une alternative séduisante sinon intéressante.

Ajouté à ce fait, que les nouvelles recommandations et les nouvelles normes en étude auprès de la commission européenne au sujet des concentrations résiduelles en pesticides, matières organiques dans les de consommation, vont rendre, caduc, les techniques dites classiques amenant les organismes chargés de la production et de la gestion des eaux à revoir profondément leur stratégie dans les techniques d'épuration des eaux. Ainsi, les techniques à membranes représentent une voie attrayante sinon nécessaire à suivre.

**C**e présent mémoire se partage en deux parties :

**L**a première partie essentiellement théorique présente des généralités sur les eaux potables ainsi que quelques théories des traitements des eaux de surface par les techniques dites classiques (Coagulation - Flocculation) et modernes (Osmose inverse - techniques à membranes) .Un complément sur la théorie de phénomènes d'adsorption ont également introduite .

**L**a deuxième partie expérimentales qui a apporté sur la caractérisation des eaux de barrage alimentant la station de KADDARA durant le premier semestre 1997, et du comportement des coagulants (sulfate d'aluminium, sulfate de fer(II) et un flocculant YSA - FLOC 632) par jar - test en coagulation - flocculation .

La seconde étape a consisté en ultrafiltration de l'eau brute de barrage de KADDARA qui a donné le meilleur pourcentage de la turbidité .

A la fin des nos expériences, d'essais d'élimination des matières organiques contenue dans l'eau par adsorption sur charbon - actif ont été effectué .

## CHAPITRE II

### LES EAUX DE SURFACE

#### II - 1. Définition :

Ce terme englobe toutes les eaux circulant ou stockées à la surface du continent. Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'immergence constitue une source de ruisseau, de rivière, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau - atmosphère toujours en mouvement et une atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages), caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjours appréciable.

#### II - 2. Caractéristiques générales :

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains, par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique).

Dans le tableau (II-1), est donné les éléments caractéristiques des eaux de surface, en général, toutefois, il est bon de noter les principaux points partagés par ces eaux :

1. Présence quasi générale de gaz dissous; en particulier l'oxygène.
2. Concentration importante en matière en suspension, tout au moins pour les eaux courantes, ces matières en suspension sont très diverses allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers: la turbidité résiduelle est alors colloïdale.
3. Présence de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux vivants à la surface du bassin versant ou dans la rivière et qui se décomposent après leur mort (végétaux, animaux).
4. Présence de plancton: les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues,...) et zooplancton dans certaines conditions, une vie aquatique intense peut se développer: développement de végétaux macrophytes.
5. Variations journalières (différence de température d'ensoleillement) ou saisonnières: variations climatiques( température, fonte des neiges), de

5. Variations journalières (différence de température d'ensoleillement) ou saisonnières: variations climatiques( température, fonte des neiges), de végétation (chute de feuilles). Elles peuvent être aléatoires: pluies soudaines, orages, pollution accidentelles. dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface de l'eau jusqu'au fond de la retenue ( O<sub>2</sub>, Fe, Mn, oxydabilité, plancton). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année.

Tableau ( II -1) les éléments caractéristiques des eaux de surface [ 1 ]

Caractéristiques	Eaux de surface.
Température	Variable suivant saison
turbidité, MES,(vraies ou colloïdales	variable parfois élevée
Couleur	liée surtout au MES (argiles, algues..) sauf dans les eaux très douces et arides ( acides humiques).
Minéralisation globale	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets
* Fe et Mn divalents ( à l'état dissous	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation
CO <sub>2</sub> dissous	généralement absent
H <sub>2</sub> S	généralement absent
NH <sub>4</sub>	présent seulement dans les eaux polluées
Nitrates	peu abondants en général
Silice	teneur en général modérée
Micropolluants minéraux et organiques	présents dans les eaux des pays développés mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton, animal et végétal.
Solvants chlorés	rarement présents
Caractère eutrophe	Fréquent accentué par les T° élevées
O <sub>2</sub> dissous.	le plus souvent on voisinage de la saturation absent dans le cas d'eaux très polluées.

## II - 3 - Potabilité des eaux de surface

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement. Outre que les éléments signalés tableau II-2, les eaux de surface sont généralement polluées bactériologiquement, de plus, elles peuvent présenter plusieurs pollutions:

- **d'origine urbaine:** les rejets provenant de la collecte des ERU (métabolisme de l'homme, confort domestique), après leur traitement en station d'épuration.
- **d'origine industrielle:** polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacale, produits toxiques).
- **d'origine agricole:** engrais et produits pesticides ou herbicides entraînés par les eaux de pluies et le ruissellement. Egalement rejets organiques dus à la présence d'élevages importants.

## II - 4. Pourquoi traiter ?

Dans tous les cas, l'eau mise à la disposition du consommateur dans le réseau de distribution doit être traitée, même si l'homme n'en consomme directement qu'une faible proportion.

Il est, en effet économiquement prohibitif d'envisager un double réseau de distribution, l'un des réseaux distribuant l'eau destinée à la consommation et l'autre réseau distribuant l'eau destinée aux autres usages.

L'eau arrivant au robinet de ce consommateur doit donc être «potable» c'est à dire, répondre à la réglementation de la qualité de l'eau potable. Il est nécessaire de traiter l'eau, chaque fois que l'un des paramètres analytiques est supérieur aux normes en vigueur dans le pays considéré. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) établit pour chaque paramètre des recommandations qui doivent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des considérations économiques de ce pays, pour aboutir aux normes réglementaires nationales.

## II - 5 - Critères de choix :

Le choix de l'eau à traiter avant distribution dépend de plusieurs facteurs pour chacune des ressources dont on dispose : eau souterraine, eau de surface courante ou stockées. On évalue:

### 1. la quantité :

la source doit être capable de fournir, en toute circonstance, la quantité d'eau nécessaire. Dans les pays à précipitations très variables, il peut être nécessaire de prévoir un barrage pour retenir pendant les périodes de pluies la quantité dont on aura besoin en période sèche.

## 1. la qualité :

la qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur dans certains pays, il faut déterminer le procédé de traitement le mieux adapté pour potabiliser cette eau. Ce procédé doit être évalué en tenant compte de la variabilité de la qualité de l'eau au cours des années précédentes (variations journalières, saisonnières, climatiques) et des variations potentielles que l'on peut supposer pour le futur (construction d'un barrage, par exemple).

## 1. l'économie :

Il faut ensuite comparer les coûts d'investissements et de fonctionnement relatifs à chacune des ressources disponibles, pour assurer, à la fois la qualité et la quantité de l'eau à distribuer: stockage et transport de l'eau brute, traitement de l'eau: stockage et traitement de l'eau traitée.

## II - 6 - Principaux types de traitements spécifiques

### II - 6. 1. Généralités

L'analyse est indispensable à l'élaboration d'un projet d'installation de traitement d'eaux ainsi que pour le contrôle de son fonctionnement et l'appréciation de la qualité de l'eau traitée (sortie station, réseau, milieu naturel). Les progrès incessants des techniques analytiques permettant d'améliorer la connaissance des constituants des eaux et de leurs effets.

Toutes les eaux destinées à la consommation humaine doivent faire l'objet d'un traitement préalable ( **figure II - 1.**)

- traitement de désinfection destiné à traiter les eaux contre la présence d'éventuels germes pathogènes ( traitement au chlore gazeux ou à l'hypochlorite de sodium. (**Tableau II-2**)
- traitement physico-chimique destiné à corriger les qualités physico-chimiques de l'eau. Ce traitement est nécessaire lorsque l'eau distribuée provient d'un barrage (**Tableau II-3**).

**Tableau II- 3. types d'analyses bactériologiques. [2]**

Réduite ( B1)	Sommaire ( B2)	Complète.
Coliformes thermotolérants streptocoques fécaux	Coliformes thermotolérants streptocoques fécaux Dénombrement de bactéries aérosols revivifiables à 22°C et 37°C.	Coliformes thermotolérants fécaux Coliformes Dénombrement des bactéries aérobies revivifiables à 22° et 37°C. spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices.

	Analyses physico-chimiques réduites (C1)	Analyse physico-chimiques sommaires (C2)	Analyse physico-chimiques complètes (C3)	Analyse physico-chimiques particulières		
				C4 a	C4b	C4c.
Paramètre organoleptique.	Aspect (qualitatif) odeur, saveur, couleur, turbidité	Aspect (qualitatif) odeur, saveur, couleur turbidité	Aspect (quantitatif) odeur, saveur, couleur turbidité.			
Paramètres physico-chimiques structure naturelle des eaux	pH conductivité	Température ,pH conductivité, Nitrates 3 paramètres parmi les paramètres suivants: nitrites ammonium, chlorures, sulfates, oxydabilité au $Kmno_4$ , titre alcalimétrique trique complet ou dureté totale.	Température pH, conductivité, chlorures, sulfates, silice calcium, magnésium, sodium, potassium, aluminium, oxygène dissous, anhydride carbonique libre carbonates, hydrogénocarbonates.			
Paramètres concernant les substances instables	chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection.	chlore résiduel ou tout autre paramètre représentatif du traitement de désinfection.	Nitrates, nitrites, ammonium, oxydabilité en milieu acide, hydrogène sulfuré fer, cuivre, zinc, manganèse, phosphore, fluor, chlore	azote, Kjeldhal hydrocarbures dissous agents de surface indice phénol.	Fer, Cuivre, Zinc.	
Paramètres concernant les substances toxiques.					cadmium plomb, hydrocarbures polycycliques aromatiques.	arsenic cyanure chromes mercure sélénium
autres paramètres						pesticides composés organohalogénés volatils.

Tableau II - 2 - Types d'analyses physico-chimiques. [2]



### III-7 Analyse physico-chimique et Biologique

Pour ce rendre compte de l'efficacité du traitement de l'eau de surface, il est nécessaire d'effectuer des analyses avant et après le traitement, puis de comparer ces résultats parallèlement on se reportera aux valeurs des normes de probabilité établies par les organismes d'hygiène et de sécurité afin, de conclure sur le traitement (II-2) les analyses qu'on doit faire concernant les paramètres suivants :

#### 1 - La température :

Celle-ci doit être approximativement de 25°C pour les eaux de surface, elle dépend des variations climatiques horaire quotidienne.

#### 2 - La turbidité :

Elle représente les matières colloïdales d'origine organique ou minérale et elle doit être faible pour permettre ainsi une meilleure désinfection de l'eau, et une élimination de tous polluants absorbés sur les matières en suspension, par ailleurs elle évite tout dépôt dans le réseau de distribution d'eau potable dans le cas contraire elle cause un rejet de la part de l'utilisateur.

#### 3 - La couleur :

Elle est due à la présence de matière organique dissoute ou colloïdales (substance humique) et d'impuretés minérales (Fer), son élimination rend l'eau agréable à boire et s'accompagne de l'élimination de certaines matières organiques indésirables.

#### 4- Le pH :

Il doit être compris entre 6,5 et 8,5 car au delà de ces limites l'eau peut causer certains problèmes au niveau du réseau (corrosion dans le cas pH acide) et par delà le consommateur.

#### 5 - Les chlorures :

Ils peuvent contribuer à la formation de produits dangereux tels que les trihalométhanes et de ce fait, leur teneur doit être la plus faible.

#### 6 - Les nitrates :

Ils doivent être éliminés, car ils affectent la santé du consommateur, par exemple, ils sont à l'origine de méthémoglobinémie des nourrissons.

### 7 - Les métaux :

Ils sont à l'origine d'une coloration et de dépôts dans les réseaux et des corrosions peuvent en résulter. De plus ils affectent la qualité leptique de l'eau et de ce fait leur teneur doit être très faible.

### 8 - L'ammonium :

Il n'y a pas d'effet appréciable sur la santé du consommateur, mais sa présence dans l'eau est un indicateur de pollution, il doit cependant être éliminé car il peut permettre a certaines bactéries de proliférer dans les réseaux.

### 9 - La dureté :

Ce paramètre indique principalement la teneur des ions calcium et magnésium pour la forte valeur, la dureté peut causer des problèmes au consommateur. Un entartrage des canalisations peut aussi avoir lieu, et il serait du au phénomène de précipitation.

Par ailleurs, la dureté ne doit pas être top faible car une corrosion peut avoir lieu dans le réseau. De plus les éléments décrivant ce paramètre sont indispensables à la nutrition des êtres humains.

### 10 - La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :

La quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de leurs dégradation de la de la matière organique présente dans l'eau pendant 5 jours, ce paramètre représente la pollution organique carbonée biodégradable, et, de ce fait, il doit avoir la plus faible valeur possible.

### 11 - La demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables contenues dans l'eau ce paramètre représente tous les composés organiques et les sels minéraux oxydables sa valeur doit être faible car les composés organiques représentent un risque de pollution ils doivent être éliminés.

### 12 - Les germes :

Ils concernent surtout les espèces tels que les Coliformes totaux et fécaux et les streptocoques fécaux qui sont d'origine fécal, leur élimination doit être certaine, car ils peuvent causer des maladies graves.

## CHAPITRE III

### ELIMINATION DE MATIERES ORGANIQUES CONTENUS DANS L'EAU

#### III- 1- INTRODUCTION :

A l'heure actuelle où l'on prend conscience de la valeur des matières premières, il ne faudra pas oublier que l'eau en est une à part entière car elle est indispensable à notre vie. Les temps modernes ont contribué à l'accroissement de ce fléau qui est la pollution.

L'Homme doit examiner l'eau, avant qu'il procède à l'utiliser pour un but visé. A cet effet les méthodes d'analyse des eaux emploient des procédés de séparation et de détermination chimique et physico-chimique. Parmi ces procédés physico-chimique, nous avons retenu l'adsorption sur un lit de charbon actif pour l'élimination des matières organiques.

Les matières organiques au tant que pollution dissoute donne à l'eau même s'il n'est présent que dans des quantités allant de 0,01 mg/l à 0,1 mg/l, une odeur et un goût très caractérisé, ainsi le charbon intervient dans l'amélioration de la qualité de cette eau.

#### III - 2 - Les Matières Organiques dans les eaux de Surfaces :

Ils sont très nombreux et peuvent être classés en phénols, hydrocarbures, détergents.

##### III - 2-1 : Phénols et Dérivés :

Les phénols et leurs dérivés sont l'indice d'une pollution industrielle. Leurs nuisances la plus marquante est le goût de chlorophénol qui apparaît dans l'eau en présence de chlore pour des teneurs extrêmement faibles de ces produits, fonction des autres corps organiques présents dans l'eau.

##### III - 2 - 2 : Hydrocarbures :

Les hydrocarbures susceptibles de polluer les eaux de surface ou les eaux souterraines proviennent principalement des rejets de produits pétroliers, déferrent de différentes industries ou d'usines à gaz, ou formées, etc...

##### \* Nuisances et Toxicité :

- Création d'un film qui nuit à la réoxygénation des eaux de surface et freine leur auto-épuration.

- Perturbation des stations de traitement d'eau potable, la floculation et la décantation s'en trouvent affectées et le matériau filtrant risque d'en rester longtemps imprégné.
- Apparition de goûts et d'odeurs pour des seuils extrêmement variables suivant les produits, (de 05 mg pour l'essence à 1mg/l pour les huiles et lubrifiants).
- Toxicité : Un risque plus inquiétant pour provenir hydrocarbures cyclique soupçonnés d'être cancérigènes.

### III - 2 - 3 - Détergents :

Les détergents sont des composés tensioactifs synthétiques dont la présence les eaux et due aux rejets d'effluents cubains et industriels.

\* **Nuisances** : Les nuisances créées par la présence des détergents dans l'eau sont :

- - La formation de mousses qui freinent les processus d'épuration naturelle ou artificielle.
- - Le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau.
- - L'apparition de goût de savon, pour des teneurs nettement supérieures au terre de moussage.

### III - 3 - ELIMINATION DES MATIERES ORGANIQUES :

L'élimination optimale des matières organiques définies par la mesure de l'oxydabilité au permanganate de potassium est toujours le problème le plus délicat à résoudre et c'est celui qui définit le choix final de traitements le plus approprié.

Cette élimination est limitée entre 10 et 30% de la teneur existant dans l'eau brute lorsque l'on fait appel à l'oxydation chimique (même avec l'ozone), ou à la:

- coagulation partielle sur filtres.
- décantation permet d'atteindre des rendements d'élimination de 40 à 70% avec injection éventuelle de charbon actif en poudre dans le décanteur.

L'élimination de la majeure partie de la fraction restante peut être obtenu, soit par filtration sur filtre à préoccupe de charbon actif en poudre appliquée sur des plaques ou des bougies, soit par filtration sur charbon actif en grains. On élimine ainsi 75 à 95 % de cette fraction restante.

#### III - 3 - 1 : Adsorption Statique : [3]

##### III - 3.1.1 : Définition et Généralités :

Les molécules ou les réseaux de molécules, présentent un certain nombre de champs de force d'attraction ou de répulsion, qui sont à l'origine de tous le phénomènes en chimie de surface. Cette remarque permet de penser que le

passage d'un mélange pollué, à travers un milieu solide provoque l'élimination d'un corps polluant présent dans ce mélange. Ce passage induit un réseau de force qui retient, de façon spécifique, le corps à éliminer sans en transformer la nature.

L'adsorption peut être définie comme étant le phénomène de fixation, sans modification de son identité physique, force d'interaction réciproque.

### III.3.1.2 : Phénomènes d'Interaction :

Les forces d'interactions qui interviennent lors de l'adsorption d'un liquide ou gaz sur un solide sont à l'origine de :

#### **1- Forces Electrostatiques :**

**a)- Forces attractives élémentaires entre particules :** Ces forces dérivent d'un potentiel décrit par la formule suivante :

$$\vec{F} = - \text{grad } \phi$$

$\phi < 0$       Si les forces sont attractives  
 $\phi = 0$       à l'infini

**b) Les forces de VAN-DER WAALS entre molécules :** On appelle force de Van-Der-Waals, la résultante des forces induites par les effets de Debye.

**c) Forces de répulsion d'origine électrostatique :** Ces forces de répulsion d'origine électrostatique sont moins bien connues que les forces attractives.

**d) Forces d'interactions globale :** c'est la somme des forces attractives et répulsives mise en jeu par un système.

#### **2) Forces d'origine orbitale :**

Ce sont des forces qui résultent d'un transfert d'électrons entre particules. Dans le cas d'interactions avec un solide on distingue deux types:

**a) - les isolants électriques :** seule la surface de contact entre particule et le solide est concernée.

**b) - les corps conducteurs :** les transports électronique, sont pas de mitotim géométrique.

### III-3-1-3- Types d'adsorption : [3]

Le type d'adsorption est caractérisé par une étude de la surface des solides, et les espaces adsorbés y existe deux types d'adsorption:

L'adsorption physique ou physico-sorption et l'adsorption chimique ou chimisorption.

- On appelle adsorption physique, le phénomène résultant des forces d'interactions d'origine électrostatique.
- On appelle adsorption chimique, le phénomène résultant des forces d'origine orbitale.

Les phénomènes de rétention et de concentration sont le résultat d'adsorption physique, tandis que les phénomènes cytolytiques mettent plutôt, en jeu une étape d'adsorption chimique.

Le tableau suivant résume les différences qui existe entre les deux types d'adsorption : [3]

**Tableau :**

Propriétés	Adsorption physique	adsorption chimique
Température du processus	relativement basse	plus élevée
Chaleur d'adsorption	5 K cal mole <sup>-1</sup> environ	10 K cal mol <sup>-1</sup> environ
liaison entre gaz et solide	physiques	chimiques
spécificité	processus non spécifique	processus spécifique
désorption	facile	difficile

#### III-3-1-4 Chaleur d'adsorption :

La quantité de chaleur qui se développe durant l'adsorption d'une quantité définie de soluté sur un adsorption, est appelée chaleur d'adsorption,  $\Delta H$ : calculé à l'aide de l'équation donnée par Vant HOFF - ARRHENIUS.

$$\Delta H = \frac{RT_1T_2}{T_1 - T_2} (\ln X_{M,1} - X_{M,2})$$

avec

$T_1, T_2$  : Températures absolues de deux systèmes identiques à la températures prés .

$X_M$  : valeur limitative d'adsorption en une couche pour le modèle d'adsorption d'après Langmuir.

#### III-3-1-5 Facteurs influençant l'adsorption :

Les phénomènes d'adsorption des liquides par des solides sont parfois difficiles à interpréter à cause de nombreux facteurs qui l'influent , ou peut , toute fois mettre en évidence, ces facteurs qui dépendent de :

### **1- Concentration de l'adsorbant en solution :**

A la limite il s'établit un équilibre entre la concentration de la solution et la masse de polluant adsorbée par unité de surface ( ou de masse) de l'adsorbant. Pour les faibles généralement la loi de Freudlich à l'équilibre :

$$\frac{X}{m} = KC^n$$

ou :  $X/m$  : masse de polluant fixée par unité de masse d'adsorbant .

C : concentration résiduelle du liquide en polluant , à l'équilibre

K et N : constantes à une température donnée.

### **2- Température :**

L'adsorption est un processus exothermique, si une décroissance en énergie libre doit se manifester, par conséquent, en tant que réaction exothermique, le degré d'adsorption augmente quand la température baisse. La croissance de température , et des valeurs des paramètres énergie E et  $\Delta H$  ,est un moyen utile pour déterminer la nature des mécanismes d'adsorption.

### **3- Vitesse d'adsorption :**

L'adsorption en phase liquide est beaucoup moins rapide que celle des gaz . La viscosité de la solution est un facteur agissant sur la vitesse d'adsorption.

### **4- Nature du soluté :**

La solubilité du soluté est un facteur de réglage pour l'équilibre d'adsorption.

- La géométrie moléculaire du soluté est un deuxième facteur de réglage du transport intraparticulaire et de l'adsorption cinétique.
- La réaction se déroule d'autant plus vite quand les molécules de l'adsorbent sont plus petites.
- Le soluté polaire manifeste une tendance à préférer la phase qui est plus polaire.
- La polarité des composés organiques est fonction de la séparation de charge dans le molécule. D'une façon générale l'adsorption décroît quand la polarité croît.
- La solubilité des composés organiques dans l'eau décroît quand la longueur de la chaîne moléculaire augmente .

Ce fait représente la base du principe essentielle de la règle de Trambe : l'adsorption est minimale pour les espaces chargés (ins) est maximale pour les molécules.

## **5- Nature de l'adsorption :**

L'adsorption possède trois propriétés importantes:

- La surface de contact.
- La distribution des dimensions des pores.
- La dimension des particules.
- Les adsorbants ont une action spécifique.

Le gel de silice est un adsorbent énergétique de l'eau, le charbon actif au contraire est adsorbent médiocre pour l'eau.

## **6- Nature du solvant :**

L'adsorption pour les solides sera plus importante en milieu aqueux, qu'en milieu organique: le taux d'adsorption est déterminé principalement par la tension interfaciale solide, liquide avec une approximation suffisante, par la tension superficielle du solvant dans l'air.

### III.3.1-6 Equilibre d'adsorption :

#### 3.1-6-1-Définition:

Les isothermes d'adsorption correspondent à l'équilibre thermodynamique entre l'adsorbat en phase gazeuse et l'adsorbent fixé sur le solide, l'équilibre est atteint quand la concentration de la solution reste constante quand le temps augmente indéfiniment.

#### 3.1-6-2- classification des isothermes :

L'examen d'un grand nombre de résultats publiés par divers chercheurs a permis à Braummeur, Emming et Teller de reconnaître, quaux températures inférieures à la températures critique de gaz les isothermes se divisent en cinq groupes : [3]

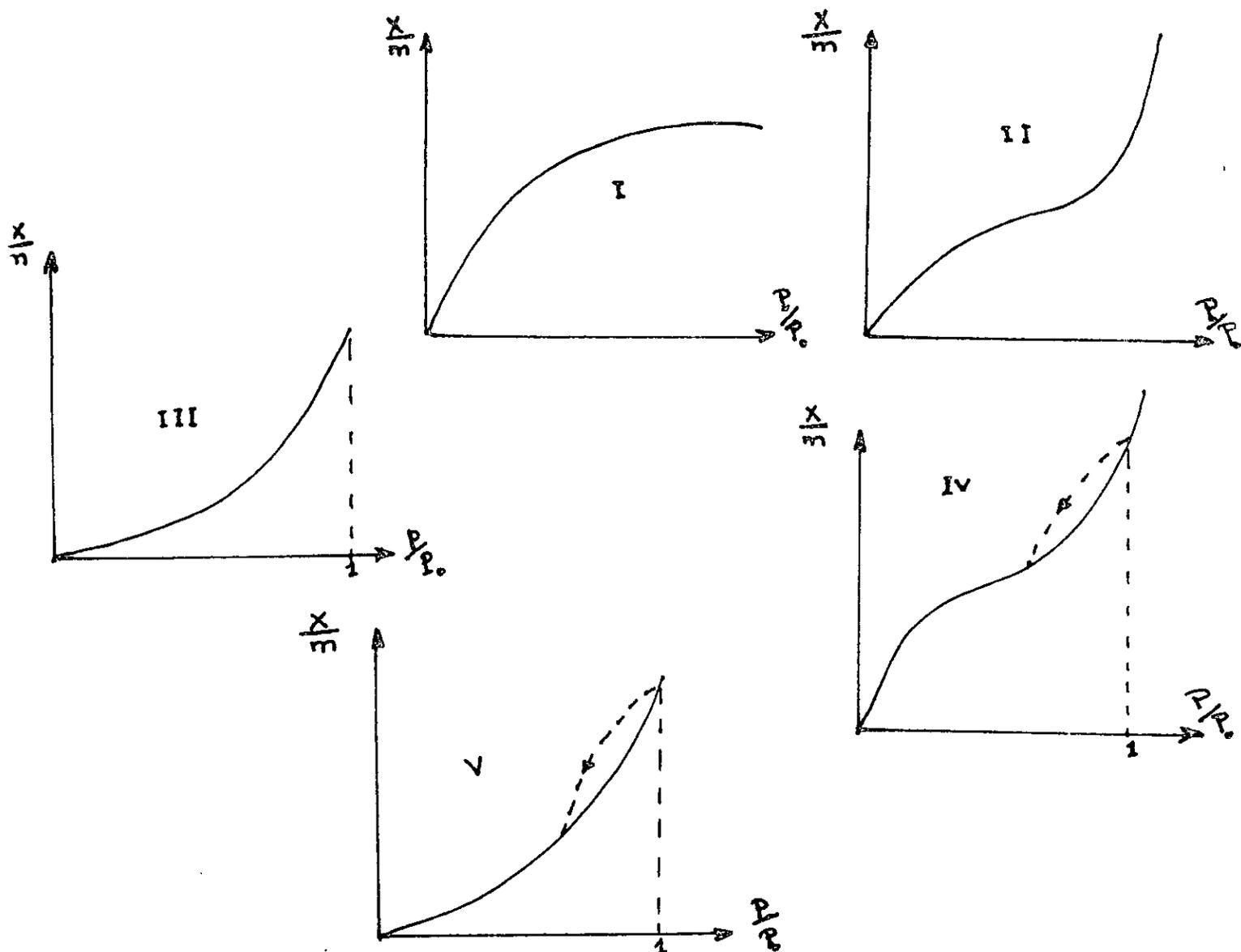


Fig III - 1 - Les isothermes d'adsorption

L'isotherme du type I représente la formation d'une couche monomoléculaire adsorbée chimiquement ou physiquement sur un solide non poreux.

L'isotherme du type II, III, IV, V impliquent la formation des couches polymoléculaires.

L'adsorption de la première couche peut-être physique ou chimique mais les suivantes sont adsorbés physiquement.

### **3.1-6-3 - Equation des isothermes :**

La théorie de Langmuir semble être le plus souvent appliquée reliée à l'isotherme du type I, basée sur les hypothèses suivantes :

- L'adsorption s'effectue sur les sites bien définis, uniformément distribués sur la surface du solide, chaque site ne pouvant recevoir qu'une particule de gaz.
- Tous les sites sont identiques, et il n'y a pas d'interaction entre les particules adsorbés.

\* Sur ces hypothèses de **Langmuir** propose l'équation empirique suivante :

$$\frac{x}{m} = \frac{ap}{1 + bp}$$

a et b sont des constantes expérimentales dépendant de la nature du fluide et du solide et de la température.

- **Equation de Freundlich :**

L'équation dite Freundlich ou de Van Bemmeter qui concerne l'adsorption, isotherme est basée sur des rapports empiriques l'état d'équilibre est exprimé de la façon suivante :

$$\frac{x}{m} = K \cdot c^{\frac{1}{n}}$$

où c est la concentration du soluté qui reste en solution à l'état d'équilibre.

$\frac{x}{m}$  est la quantité du soluté adsorbé par unité de poids de l'adsorbant solide.

K et n : constantes qui doivent être évaluées pour chaque soluté et chaque température.

### \* Equation de Brauer, Emmett et Teller :

La théorie de Langmuir fût développée en 1938 par B.E.T dans le cas d'adsorption polymoléculaires une des hypothèses est la possibilité de coexistence de couches superposées. La polycouche sera d'autant plus épaisse que l'affinité adsorbant est plus importante.

$$\frac{V}{V_m} = \frac{c \left[ \frac{p}{p_0} \right]}{\left( 1 - \frac{p}{p_0} \right) \left( 1 - \frac{p}{p_0} + c \frac{p}{p_0} \right)} \quad [3]$$

où :

c: constante

$p_0$ : tension de vapeur de l'adsorbant liquide.

$V_m$ : volume nécessaire pour former une couche monomoléculaire.

v : volume de gaz adsorbée à la pression P sur le solide donne

**hypothèses B.E.T. :** sont basée sur les hypothèses suivantes :

- a) chaque couche adsorbée à l'équation de Langmuir
- b) la chaleur différentielle d'adsorption à partir de la deuxième couche est égale à la chaleur de condensation de la vapeur.
- c) la chaleur différentielle d'adsorption de la première couche est différente de celle des couches suivantes.

Les équations énoncées ci-dessus trouvent leurs applications dans divers domaines. Les théories de **Freundlich et Langmuir** sont utilisées pour la mesure des couches monomoléculaire par contre la théorie de **B.E.T.** sont applicables en couches polymoléculaires. De même les équations dites **Langmuir, Freundlich et B.E.T.** sont aussi applicable dans le domaine d'adsorption liquide.

### III-3.1-7- Adsorption en phase liquide :

#### Introduction :

L'adsorption d'une solution par un solide est beaucoup moins complète que celle de l'adsorption des gaz ou des vapeurs. Chaque constituant de la phase liquide aura une tendance particulière à l'adsorption sur la surface du solide. Il y a donc « concurrence » entre divers constituants pour le substrat l'adsorption dépend de trois facteurs.

- a- la nature chimique de l'adsorbat.
- b- la nature chimique de l'adsorbant.
- c- la température.

Dans le cas d'une solution binaire, l'isotherme d'adsorption peut être obtenu en mettant une masse convenable de solide en contact avec une solution de titre connu à température constante soit X la quantité de soluté adsorbé par un masse (m) de solide, les résultats peuvent être représenté en portant X/m en fonction de la concentration à l'équilibre de la solution. Le rapport X/m n'est pas la vraie quantité



## 1- les charbons actifs en poudre :

Se présentent sous forme de grains de dimensions comprises entre 10-50 $\mu$ . Il est en général mélangé avec l'eau à traiter et ensuite séparé par filtration, on l'utilise également dans la floculation décantation.

## 2- Les charbons actifs en grain :

lorsque le charbon actif est granulé on l'utilise comme filtrant.

### \* Front d'adsorption :

La fixation par l'adsorbant des composés à absorber ne s'effectue pas instantanément, on observe trois zones fig. III.2.

**Zone saturée (1) :** En début de colonne, l'adsorbant a atteint son taux de chargement maximum à l'équilibre avec la concentration finale comme dans l'adsorption en statique.

**Zone de transfert (2) :** la concentration diminue jusqu'à 0 c'est la zone de transfert ou du front d'adsorption.

**Zone (3) :** l'adsorption n'a pas encore eu lieu après saturation d'une première couche d'adsorbant le front d'adsorption d'équilibre s'établit et va se déplacer parallèlement à lui même à la vitesse correspondant à celle de saturation.

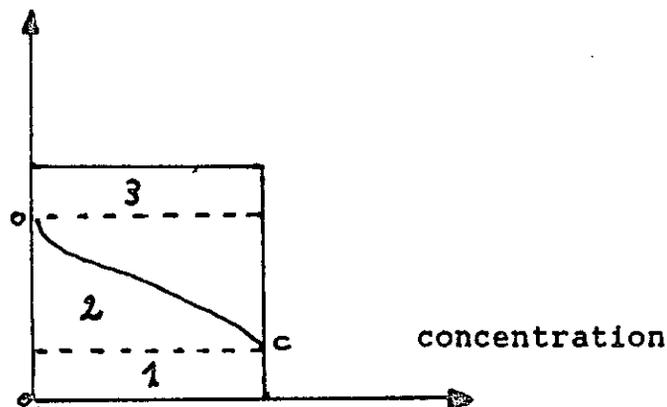


Fig. III - 2 - Front d'adsorption

### 3-1-8-4 Avantages et inconvénients à l'utilisation du charbon actif :

#### Avantages :

##### \* Charbon en poudre :

- possibilité d'ajuster le taux de traitement à tout instant en fonction de la pollution à éliminer.
- possibilité d'ajuster la quantité du charbon à la nature des produits à traiter.

##### \* Charbon en grain :

Le charbon, si la zone de transfert dite le front d'adsorption n'est pas trop importante, est utilisé en équilibre avec la concentration en polluant à l'entrée et pour la zone de transfert à un taux intermédiaire entre celui de la concentration entrée et celui de la concentration sortie. Le charbon actif est régénérable.

#### Inconvénients :

##### \* Charbon en poudre :

Le taux de chargement de charbon, contrairement au cas du charbon en grain et celui qui est en équilibre avec la concentration en polluant après traitement. Il dépend très fortement de la pente de la droite isotherme.

##### \* Charbon en grain :

Lorsqu'on a un mélange de polluant varié une sélection s'opère, selon de deux types :

a- Certains polluants sont fixés en plus grande quantité que d'autre et ont tendance à déplacer d'autre polluants.

b- Certains produits sont très bien absorbés, mais à une vitesse extrêmement rapide, le front d'adsorption théorique peut atteindre plusieurs mètres.

c- variation de la concentration des polluants dans le temps les modifications se traduisent par une onde de pollution qui sera plus ou moins écartée selon l'épaisseur

## Chapitre IV

### Procédé de production d'eau potable.

#### IV -1 - Représentation de la chaîne classique de traitement :

Principalement , la chaîne de production d'eau potable comprend :

#### IV - 1.1. Dégrossissage :

Suivant la nature des eaux prélevées, le premier traitement possible est un dégrossissage, ayant pour but d'éliminer les matières de grandes dimensions susceptibles de gêner la mise en oeuvre des autres traitements il peut comporter:

- un dégrillage
- un tamisage aussi appelé macrotamisage, il est nécessaire si l'eau charrie des herbes, de feuilles, des débris plastiques.....
- un dessablage , qui peut être placé suivant les conditions de prise , soit avant , soit après l'éventuel tamisage.
- un microtamisage , si la quantité de plancton est limitée et si aucune décantation n'est prévue soit bien adapté aux stations modernes.
- un déshuilage de surface.
- un débouage , nécessaire quand la quantité de MES de l'eau brute à éliminer ( limons , argile.....)dépasse la capacité de concentration et d'extraction des décanteurs situés en aval .

#### IV-1-2 Coagulation -floculation :

##### IV.1.2-1 - Définition :

La coagulation réside dans la formation de particules discrètes aisément séparables de l'eau ou moyen de la sédimentation et de la filtration .Elle vise les particules colloïdales et les suspensions fines , mais également des substances dissoutes ou de grosses molécules hydrophiles en dispersion stable, c'est particules dont les dimensions sont comprises entre 1 nm à 1 µm ne décantant pas spontanément . ce phénomène peut être expliqué par la loi de Stokes liant la vitesse de décantation à la dimension de la particule et à la nature du milieu liquide dans lequel la particule se ment:

$$v = g \frac{1}{18 \mu} (P_s - P_l) d^2$$

**v** : vitesse de sédimentation par rapport au liquide .

**g**: accélération de la pesanteur.

**μ** : viscosité dynamique du liquide.

**p<sub>s</sub>** :densité spécifique de la particule colloïdale liquide

**p<sub>l</sub>**: densité du liquide.

**d**: diamètre de la particule solide .

Dans cette loi théorique, les particules sont assimilées des sphères de diamètre « d ». or en pratique, on rencontre rarement ce cas idéal, d'au l'affectation du diamètre « d » de la sphère équivalente de même poids par un coefficient de forme. selon cette loi , la décantation est de plus faible en fur et à mesure que le diamètre de la particule diminue et s'annule pour les dispersion colloïdales et moléculaires.

**Le tableau IV - 1 :** Illustre la diminution de la vitesse de décantation avec celle du diamètre de la particule [4]

Diamètre « d »	Temps nécessaire pour parcourir un mm		
	<i>densité <math>\rho = 2,8 \text{ kg le}</math></i>	<i><math>\rho = 2,0 \text{ kgle}</math></i>	<i><math>\rho = 1,1 \text{ kg/l}</math></i>
100	0,1 sec	0,18sec	2sec
10	10,0sec	18,00sec	3 mn
1	16 mn	23 mn	4 <sup>N</sup> 50 mn
0,1	28 <sup>H</sup> 42 mn	49 <sup>H</sup>	20 jours.

**Tableau IV - 1 [4]**

Le but de la clarification des eaux est l'élimination de ces particules fines indésirables qui confèrent à l'eau des apparences troubles ainsi que des odeurs désagréables pour ce faire , on a eu recours aux procédés physico - chimiques pour modifier l'état initial des corps présents dans l'eau et créer des conditions favorables à leur décantation , d'ou la technique de la coagulation-floculation.

La coagulation- floculation son action est double , en effet elle permet à la fois l'élimination des matières en suspension. colloïdales et aussi d'une partie de la matière organique par adsorption sur le floc . Ce traitement se décompose en 3 étapes successives (5 )

**A- la coagulation :** proprement dite qui consiste a déstabiliser les particules par action de réactifs chimique sans une agitation vive.

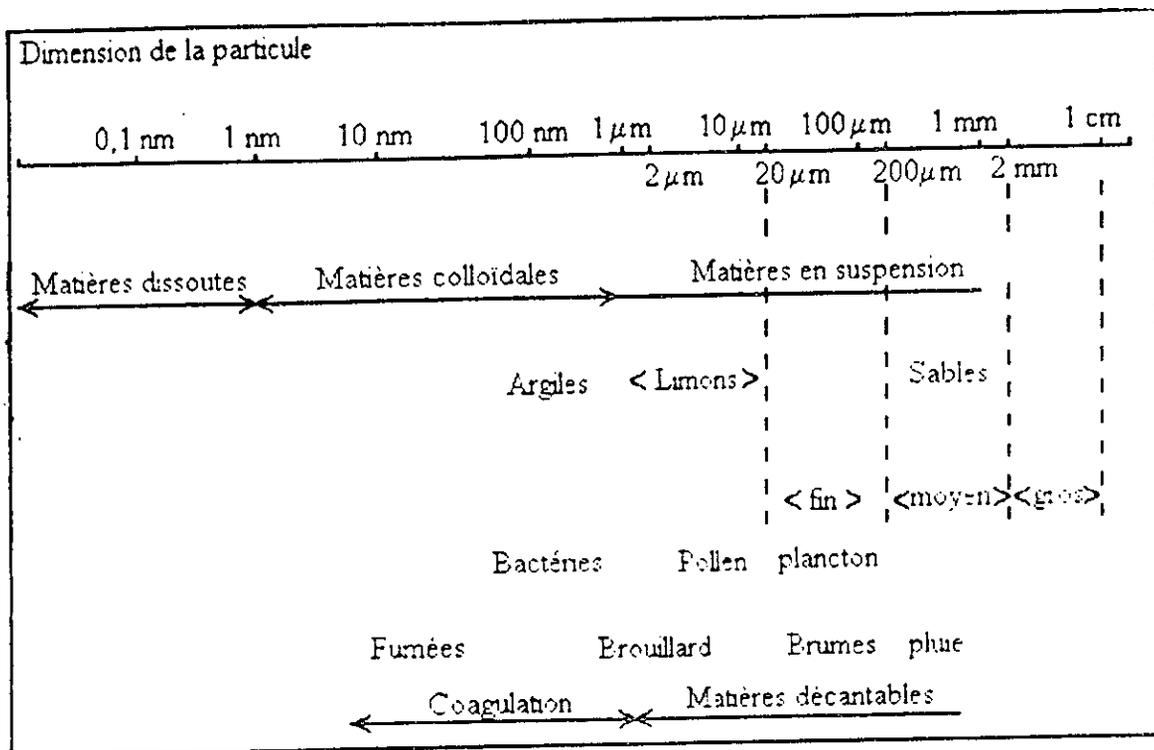
**B- la floculation :** Sous l'agitation lente qui entraîne une agglomération des colloïdes « électriquement neutralisés » en floccs.

**C- Une décantation :** Afin de séparer les floccs et le surnageant clair.

IV.1.2-2- Particules présentes dans l'eau : [ 2 ]

L'eau rencontrée dans la nature, et ce, à fortiori, celle qui fait l'objet d'un traitement n'est jamais pure.

Les impuretés qu'elle renferme, sous les trois états : solide, liquide ou gazeux, peuvent être caractérisées par la taille qu'elles prennent en solution dans l'eau (fig. IV - 1) cette taille peut être celle d'une particule isolée ou celle d'un amas structuré. Le degré d'hydrophobicité des impuretés joue un rôle important dans ces structures.



**Fig. IV - 1 : Dimensions de diverses particules**

L'eau contient de nombreux composés qui peuvent se regrouper en trois catégories :

**A - Matières en suspension** : ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acide humiques ou pulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus, ces substances sont responsables, en particulier de la turbidité et de la couleur.

**B- Matières colloïdales** : (moins de 1 micron) ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur.

**C- Matière dissoutes** : (moins de quelques nanomètres) ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ...)

#### IV.1.2-3- Les suspensions colloïdales :

Pour les matières non vivante d'une dimension sensiblement plus élevée que celle des molécules, mais inférieure à quelques microns, les forces de surface deviennent prépondérantes vis-à-vis des forces de masse. Dans certaines conditions on constate un état de dispersion stable qui trouve son origine dans les effets conjugués du mouvement Brownien et des forces électrostatique de surface. Comme l'eau contient des éléments polarisés (groupes polymérisés des molécules à liaison hydrogène libre, ions  $H^+$  et ions  $OH^-$ ). Les colloïdes présents dans l'eau brute sont très généralement chargés négativement, ses charges électriques attirant électrostatiquement, les ions de charge opposée qui se répartissent en deux couches :

- la première est celle où se trouvent les molécules d'eau fortement liée à la particule colloïdale et qui se déplacent par conséquent avec elle (couche d'adsorption).
- la seconde constitue une région diffuse où les ions sont, d'une part, attirés électrostatiquement par la particule et, d'autre part, tendant à s'écarter librement dans tous les sens sous l'effet de l'agitation thermique.

Si la particule colloïdale elle-même était immobile, les deux effets se compenseraient et la charge électrique globale des deux zones serait finalement nulle. Cependant, les particules colloïdales, dont les dimensions sont très faibles elles sont elles-mêmes soumises au mouvement **Brownien** et une partie des ions de la zone diffuse est perdue et l'ensemble de la particule et des deux zones prend une charge électrostatique globale non nulle. (Fig. IV-2). De toute façon il existe un gradient de concentration ionique dans les deux zones qui se traduit par un gradient potentiel le potentiel régnant à la limite de la couche d'adsorption et de la couche est appelé communément le potentiel Zêta, il n'est qu'une fraction du potentiel régnant de surface de la particule (potentiel de **NERNST**).

Pour les colloïdes hydrophobes (colloïdes métalliques par exemple) l'épaisseur de la couche d'eau liée est faible et c'est l'action de facteurs abaissant le potentiel Zêta qui sera prépondérante dans la coagulation.

Pour les colloïdes hydrophiles (colloïdes organiques en particulier) l'épaisseur de la couche d'eau sera importante et c'est l'action de facteurs extérieurs agissant

Pour les colloïdes hydrophobes (colloïdes métalliques par exemple) épaisseur de la couche d'eau liée et faible et c'est l'action de facteurs abaissant le potentiel Zêta qui sera prépondérante dans la coagulation.

Pour les colloïdes hydrophiles (colloïdes organiques en particulier) l'épaisseur de la couche d'eau sera importante et c'est l'action de facteurs extérieurs agissant sur la coagulation les considérations relatives au potentiel Zêta deviennent alors tout à fait secondaire.

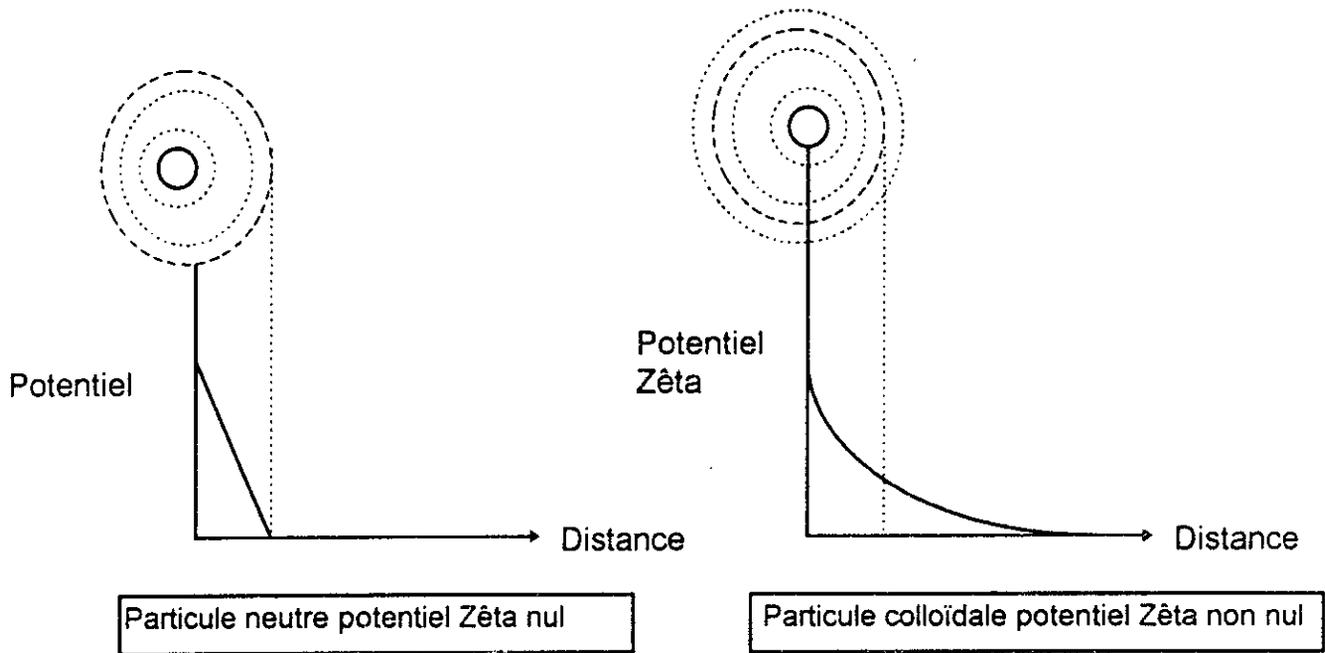


Fig. IV - 2 : Les colloïdes et le potentiel Zêta

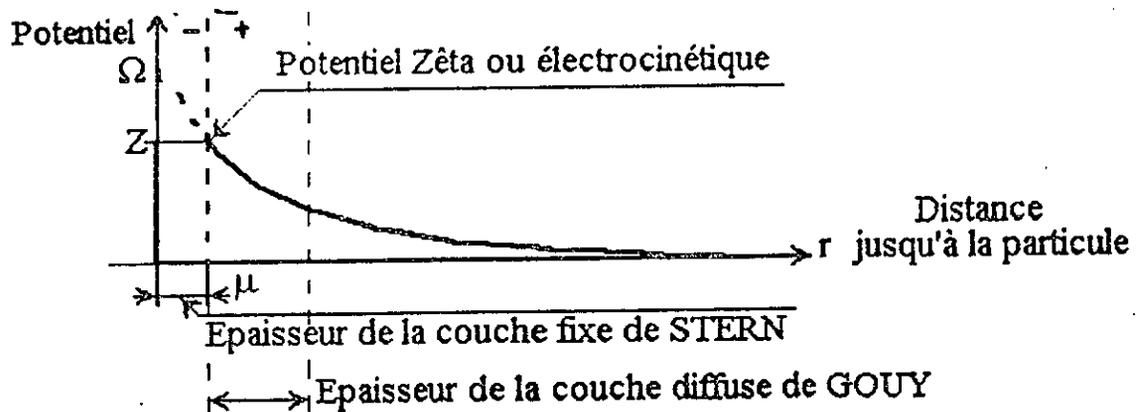


Fig. IV-3 : Théorie de la double couche.

**b) Théorie de Gouy-ChapMAN** : la couche d'ions positifs est intégralement répartie autour du colloïde, la neutralité de l'ensemble (couche adsorption)

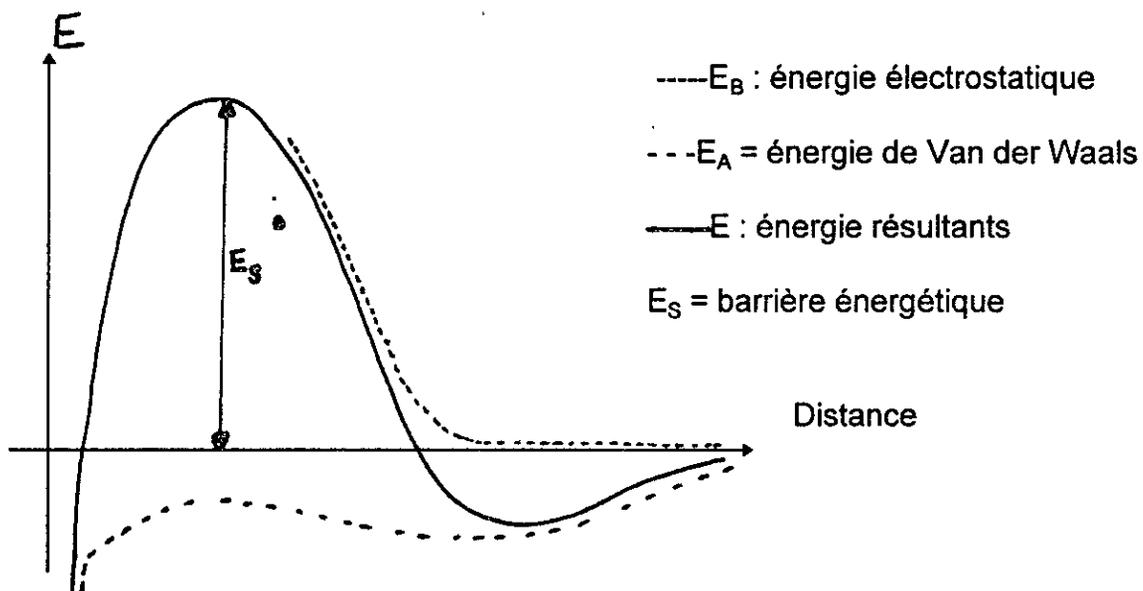
**c) Théorie de STERN** : qui rassemble les deux précédentes et considère la formation d'une double couche. La première couche est adhérente au colloïde de potentiel décroît rapidement. La seconde couche est plus diffuse, avec une diminution plus lente du potentiel.

Les colloïdes sont donc des particules impossibles à décanter naturellement et pour lesquelles les phénomènes de surface sont primordiaux. Ces phénomènes régissent la stabilité des suspensions colloïdales. En effet, les colloïdes sont soumis à deux grands types de forces [2] :

- 1 - force d'attraction de Van der Waals, liée à la structure et à la forme des colloïdes ainsi qu'à la nature du milieu ( $E_A$ )
- 2 - force de répulsion électrostatique créée aux charge superficielles des colloïdes ( $E_B$ )

La stabilité d'une suspension colloïdale dépend du bilan des forces d'attraction et répulsion, dont le niveau énergétique est donné par :

$$E = E_A + E_B \quad \text{Cette relation est schématisée sur la figure IV - 4}$$



**Fig. IV - 4 : Stabilité d'une suspension colloïdale**

VI.1.2-4- Floculation mécanique :

1- Floculation précinétique :

lorsque les particules ont été préalablement déstabilisées au point de vue électrique, elles peuvent floculer grâce à l'énergie des chocs Browniens qui ont lieu dans toutes les directions.

**SMOLUCHOWSKI. [ 5 ]** a étudié la cinétique de la coagulation dans ce cas. Il a supposé l'existence autour de chaque particule d'une sphère d'action telle que toute particule qui y entrerait serait attiré irréversiblement vers la première particule.

Il a montré que la vitesse de coagulation peut s'écrire :

$$dn = -8\pi D r_a n^2$$

ou

$n$  : est le nombre de particules par unité de volume de la suspension, exprimé en part /  $m_3$

$t$  : est le temps expliqué en secondes

$D$  : est le coefficient de diffusion exprimé en  $m^2/s$

$r_a$  : est la distance entre les centres des deux particules exprimées en mètre.

Cette équation cinétique n'est valable qu'au début de la coagulation, tant que le nombre des flocons reste petits. Par la suite, il faudra distinguer entre les chocs entre particules isolées et ceux entre particules et flocons.

**Floculation orthocinétique** : En pratique, il faut ajouter en mouvement Brownien le mouvement d'ensemble du liquide dû à l'agitation lente pour éviter la cassure des flocons formés.

Dans ce cas le rapport des probabilités  $p$  pour qu'une particule vienne heurter une autre du fait de l'agitation du liquide et du mouvement Brownien est :

$$p = \frac{\mu \cdot r_a^3}{2\phi h_a} \cdot \frac{du}{dz}$$

avec  $du/dz$  : gradient de vitesse dans le liquide.

Il a été montré que l'agitation du liquide favorise effectivement la floculation des particules de grandes tailles.

**Comparaison des deux procédés** : Selon **MEIJERS [ 6 ]**, les deux mécanismes ne peuvent être séparés. Au début de la coagulation, le transport des particules très petites se fait surtout par mouvement Brownien à mesure que les agrégats croissent en dimension et diminuent en nombre, le mouvement Brownien a moins d'action sur eux, et le transport s'effectuera grâce au gradient de vitesse

## VI -1 - 2-5- Flocculation physico-chimique :

**a) Double couche :** les particules sont souvent chargées négativement dans la nature, dont l'origine peut être :

- adsorption d'ions, préférentiellement des anions
- ionisation de groupes chimiques à la paroi de la particule
- ions formés par réaction entre la particule et le liquide.

Autour d'une particule chargée, les charges électriques se répartissent en deux couches :

- une couche fixe d'ions de signe contraire à celui de la particule, appelée couche de Stern
- une couche diffuse de contre ions se raréfiant avec la distance, déformable et mobile, c'est la couche de GONY.

**b) Potentiel Zêta :** le colloïde se déplace avec une partie de sa double couche. Cette couche, liée au colloïde correspond à la couche d'adsorption de la théorie de Stern. Le colloïde se caractérise par deux potentiels

**E :** potentiel à la surface de colloïde ou potentiel thermodynamique (NERNST).

**Z :** potentiel à la surface du plan de cisaillement ou potentiel électrocinétique

Le potentiel Zêta régit le déplacement des colloïde et leur interaction mutuelle. L'électrophorese permet de le définir : quand une particule est soumise à un champ électrique elle atteint presque instantanément une vitesse telle qu'un équilibre s'établit entre la force électrique d'attraction et la force de frottement dû à la viscosité du milieu. Le calcul conduit à la relation suivante entre la mobilité électrophorétique et le potentiel zêta :

$$m_e = \frac{\epsilon Z}{K\eta}$$

$m_e$  = mobilité électrophorétique

$\eta$  = viscosité dynamique

$\epsilon$  = constante diélectrique du milieu

$k$  = 4 ou S suivant les hypothèses

$m_e$  = mobilité électrophorétique

Des particules ayant le même potentiel électrocinétique zêta possèdent la même mobilité électrophorétique indépendamment de leur diamètre. L'appareil permettant la mesure du potentiel électrocinétique et le zétamètre.

Une propriété importante des colloïdes et leur sensibilité de certains corps porteurs des charges électriques de signe opposé. L'apparition de la coalescence qui, en permettant l'action des forces gravitaires conduit à une séparation par sédimentation. Cette rentabilisation des forces électrostatiques est appelée flocculation.

La floculation peut être également obtenue par l'introduction de colloïdes de charges opposées ou par des corps modifiant les teneurs en ions  $m^+ OH^-$  de l'eau, la floculation peut être indirectement obtenue par une destruction chimique ou physique de la structure intime des colloïdes protecteurs. C'est pourquoi on constate une coalescence et une précipitation dans certains cas sous l'effet du froid (gel) d'une chaleur élevée (ébullition) ou de certains oxydants (ozone)

#### VI.1 2-6 Coagulants et adjuvants : [ 7 ]

Elle a pour but la déstabilisation des colloïdes et l'agglomération des particules fines en suspension. Elle agit également par adsorption sur les substances dissoutes et les grosses molécules organiques hydrophiles en suspension stable, elle est utilisée pour la clarification, la décoloration, l'agglomération des précipités résultants d'un adoucissement calcosodique, l'amélioration des goûts et odeurs.

Les coagulants utilisés pour le traitement des eaux destinés à l'alimentation doivent :

- être peu coûteux
- être totalement inoffensifs par eux mêmes et par les produits qu'ils forment
- pouvoir être mis en oeuvre aisément
- pouvoir être disperser sans difficulté
- avoir un pouvoir floculant vis à vis des colloïdes hydrophiles
- avoir par eux mêmes leur produit, un pouvoir agglomérant vis à vis des particules en suspension, de préférence adsorbant vis à vis des matières organiques.

Conduire à la formation d'agglomérats lourds suffisamment cohérents pour résister sans être détruits à la turbulence résultant de l'écoulement des eaux dans les ouvrages de traitement.

Peu de corps répondent simultanément à toutes ces conditions ce sont :

#### **- A - Les sels d'acides forts et de bases faibles :**

- 1 - Sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 4 H_2O$
- 2 - Chlorure ferrique  $FeCl_3$
- 3 - Sulfate ferrique  $Fe_2(SO_4)_3$
- 4 - Sulfate de cuivre  $CuSO_4$
- 5 - Chlorosulfate de Fer  $Fe_2(SO_4)_3 FeCl_3 \cdot 18 H_2O$  (ou clair ton)
- 6 - Polyhydroxychlorure d'aluminium  $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$  (ou WAC)

## - B - Les sels de bases fortes et d'acides faibles :

### 1 - Aluminium $\text{NaAlO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Dans des cas particuliers il fait appel à :

- 2 - L'aluminate de soude  $\text{NaAlO}_2$
- 3 - La chaux  $\text{CaO}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$

Pour attaquer la structure des matières à précipitation et favoriser ainsi la création d'un système moins stable susceptible d'être définitivement précipité par les réactifs précédents, on utilise un certain nombre de corps tels que :

- l'ozone  $\text{O}_3$
- les composés chlorés  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{ClONa}$ ,  $\text{ClO}_2$

Enfin, pour améliorer certaines phases du processus complexe qui est la coagulation, on utilise également, en faible quantité des adjuvants qui feront l'objet d'un paragraphe spécial.

Dans tous les cas, le coagulant, qui doit être très rapidement dispersé dans l'eau à traiter, réagit avec les bicarbonates contenus dans l'eau (alcalinité) pour former un floculant d'hydroxydes métalliques de structure complexe résultant de leur tendance à la polymérisation.

L'alcalinité de l'eau doit par conséquent être suffisante pour provoquer la décomposition du coagulant. Dans le cas contraire, on ajoute simultanément la chaux ou plus rarement du carbonate de sodium.

### iv.1.2-7- Mode de déstabilisation des particules :

#### 1.2.7.1. Coagulation électrostatique :

L'épaisseur  $\delta$  du nuage ionique est donnée par :

$$\delta (\text{A}^\circ) = \frac{0,4}{\sqrt{\sum C_i Z_i^2}}$$

$C_i$ ,  $Z_i$  concentration molaire et valence de chaque espèce en présence. Comme la valence  $Z$  intervient au carré, on devine aisément que l'effet divalent et trivalent est supérieur à celui des monovalent. C'est la règle de **SCHULZE - HARDY**.

La présence d'électrolytes contribue à la compression du nuage ionique d'où la diminution des forces de répulsion électrostatique.

En effet, la règle de SCHULZE HARDY n'est que qualitative il y a d'autres facteurs qui influent également et non des moindres, on peut citer :

- pH, température, nature des ions présents

Ce mode de coagulation est caractérisé par son absence de spécificité : toutes les couches diffuses sont également contractées et la dose de coagulant n'obéit à aucune relation stoechiométrique.

### **1.2.7.2. Coagulation par adsorption d'ions :**

La coagulation adsorptive est plus efficace que la coagulation électrostatique, l'adsorption peut coaguler une suspension par un réactif de même charge (argile et polyacrilamide). La dose du coagulant obéit à une relation stoechiométrique, tout excès mène à la réstabilisation de la suspension. [ 8 ]

### **1.2.7.3. Flocculation par adsorption des polyélectrolytes :**

C'est un cas particulier de la coagulation par adsorption d'ions, le coagulant peut être un polyélectrolyte ou une macromolécule. Trois cas de figures pouvant se présenter :

1. déstabilisation par adsorption :



2. flocculation par pendage :



3. restabilisation par surdosage :



Etant donné leur prix élevé, les polyélectrolytes sont utilisés comme adjuvant de flocculation, pour compléter le travail du coagulant. La faible dose mise en oeuvre nécessite un mélange éclair, trop d'agitation, nuit généralement la formation : interparticulaire et favorise l'enrobage simple.

### **1.2.7.4. Coagulation par entraînement :**

Ce mode de coagulation concerne les suspensions très diluées, dans ce cas les conditions cinétiques pour la coagulation sont défavorables à cause du nombre réduit de chocs entre particule.

Les particules sont captées et entraînées dans un précipité de formation rapide. Parfois, il est plus intéressant de charger artificiellement la suspension à flocculer par un colloïde négatif à grande surface, qu'on appelle adjuvant de flocculation, dont les plus connus sont : la bentonite, et la silice activée.

## **IV.1. 2-8- Caractéristiques des coagulants flocculants :**

### **1.2.8.1. Les coagulants :**

Ce sont des produits qui neutralisent la charge de surface des matières en suspension. Les composés les plus fréquemment utilisés sont des minéraux, les sels de fer et d'alumine et ce pour des raisons économiques, cependant, le sulfate d'aluminium reste le coagulant le plus répandu dans le traitement des eaux potables.

### **1.2.8.2. Les flocculants :**

il s'agit d'un produit susceptible de former des ponts interparticulaires, conduisant à l'agglomération des flocons et la capture des fines particules parmi les flocculants utilisés en site : la silice activée, les polymères organiques, les polyélectrolytes anioniques et cationiques.

Dans le traitement des eaux destinés à l'alimentation il est important de se référer à la législation, car l'emploi des flocculants organique est réglementé, chaque pays publie une liste des produits autorisés.

### **1.2.8.3. Adjuvants de floculation :**

Généralement si la turbidité n'est pas très importante, mais supérieure à la valeur fixée par la législation on augmente la concentration de la suspension par addition d'adjuvant, afin d'augmenter le nombre de choc entre particule ce qui donnera des flocons plus gros et plus lourds.

Parmi les adjuvants de floculation utilisés, on trouve : les alginates, les amidons, les polyélectrolyte et certaine argile colloïdale : la bentonite.

## **IV - 2 Description d'une chaîne utilisant les techniques membranaires :**

Le souci et la nécessité d'améliorer les procédés classiques de traitement a permis à certaines techniques (filtration par membranes) de voir le jour dans les chaînes de production d'eau potable (**Fig IV - 5**). Le but recherché par l'utilisation des techniques membranaires dans les chaînes de traitement est la suppression des traitements chimiques nécessitant l'ajout de réactifs qui peuvent entraîner une dégradation de la qualité de l'eau. Une nette amélioration de la qualité et du traitement, un plus faible coût de production et une simplification de la chaîne de traitement qui comprend principalement :

- un traitement préliminaire comme dans le cas d'une chaîne classique,
- un traitement de nature physique où a lieu une filtration suivie d'une filtration par membranes.
- un traitement de polissage où a lieu la désinfection comme dans le cas d'une chaîne classique.

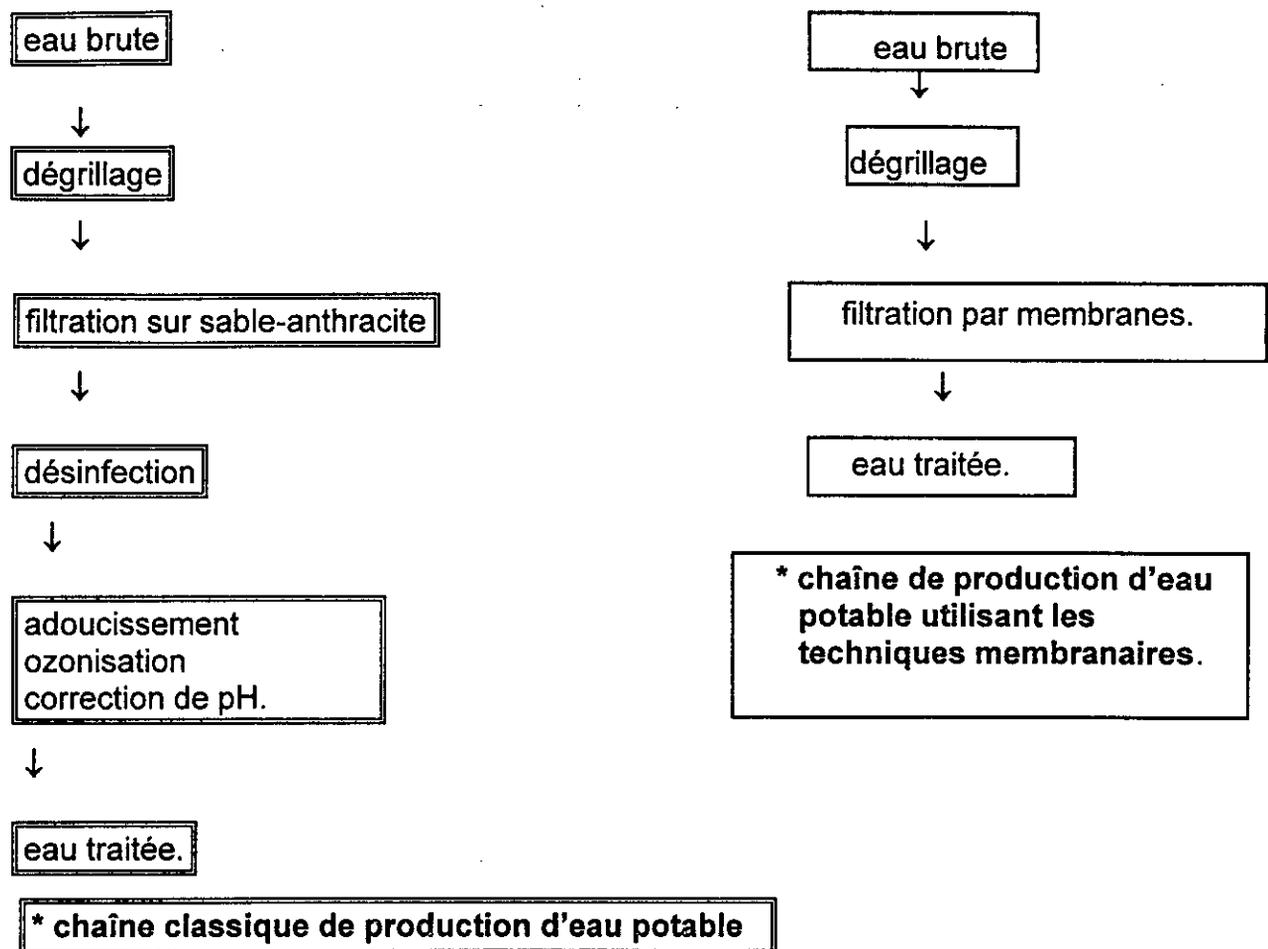


Figure IV - 5 : Procédés de production d'eau potable.

Comme cité plus haut, la chaîne de traitement classique nécessite une succession des procédés physico-chimiques mettant en jeu des réactifs. Par contre l'ultrafiltration permet sans aucune addition d'aboutir à des meilleurs résultats.

Les membranes éliminent d'avantage les petites molécules dissoutes, les micropolluants, les précurseurs de trihalomethane, les acides humiques. Elles éliminent aussi le carbone organique dissout biodégradable qui est un nutriment (substance alimentaire assimilée directement et sans aucune transformation) aux bactéries micro-organismes ( bactérie, virus), de ce fait, le développement de biofilm est amoindri, ce qui a pour effet de réduire le taux de chloration final lors du traitement de polissage par ailleurs cette réduction des chlores diminue davantage la formation de substances toxiques ( trihalomethane) issue d'une réaction chimique entre le chlore utilisé et les substances humiques telles que les acides humiques et fulviques.

#### **IV - 3 Utilisation des techniques membranaires pour le traitement des eaux :**

Les techniques membranaires pour le traitement des eaux trouvent de nombreuses applications que ce soit à l'échelle pilote ou à l'échelle industrielle, parmi elles, nous citons:

1. Lors du traitement des eaux résiduaires urbaines: l'étape d'épuration biologique des procédés classiques est remplacée par le procédé d'ultrafiltration assurant ainsi la rétention des bactéries et des virus et donnant une eau presque stérile.
2. Dans les industries électroniques: l'espace entre deux composants de l'ordre de micromètre, l'eau utilisée pour le lavage lors des opérations de gravures, des composants doit de ce fait être exempte de toute pellicule de taille supérieure à 0,2 µm. Cette eau est obtenue par l'ultrafiltration.
3. Dans les industries pharmaceutiques: la préparation d'eau stérile et apyrogène qualité indispensable à la préparation des solutions injectables est par ultrafiltration.
4. Dans certaines stations d'épuration d'eau de rivière: telle que celle d'Anvers sur Oise ( France), l'eau potable est obtenue par nanofiltration.
5. Dans certaines centrales de dessalement d'eau de mer: telle que celle de Riad ( Arabie Saoudite ), la potabilisation de l'eau est assurée par osmose inverse.

La production d'eau à haute qualité: dans certaines industries électroniques, pharmaceutiques, nucléaires, ... etc. est effectuée par osmose inverse.

## CHAPITRE V

### L'ULTRAFILTRATION

#### V.1 - Définition :

L'ultrafiltration est un procédé de séparation macromolécules en solution à travers une barrière semi-perméable et sélective sous l'action d'un gradient de pression hydrostatique n'excédant pas en général 5 bars.

Les espèces à séparer restent partiellement ou totalement retenues en amont de la membrane alors que le reste est en aval.

#### V.2- Intérêt de l'U.F. :

Les principaux avantages de cette technique sont les suivants : possibilité d'avoir une large gamme de sélectivité par conséquent un seul de coupure désiré.

- ◇ une durée de vie plus longue allant jusqu'à trois ans
- ◇ une bonne tenue à la pression
- ◇ une bonne tenue aux agents chimiques à la température et aux solvants
- ◇ la séparation s'effectue à température ambiante convenable aux espèces biodégradables par exemple le traitement du lactosérum et des problèmes.

#### V.3- Les applications de l'U.F. :

Avec la commercialisation des membranes de trois hauts débits et plus résistantes aux attaques chimiques. L'ultrafiltration intervient maintenant dans les industries de l'automobile (peinture d'électrophorèse) du textile (huile d'ensimages des fibres) de la pharmaceutique (fractionnement des protéines sanguines, vaccins, enzymes, antibiotiques...) dans l'industrie agro-alimentaire (concentration et purification des protéines filtration de jus de fruits, fermentation). Cette technique de séparation permet également la récupération des matières valorisables entraînées dans les rejets industriels (liqueurs de papeteries, bains de tanneries, ou même urbains ainsi que la valorisation d'un nombre de sous produits, il faut signaler cependant, l'apparition d'une autre application importante de l'U.F. à savoir les bioréacteurs à membrane.

#### V.4- Les membranes de l'U.F. :

Les membranes d'ultrafiltration de structure plus (asymétrique ou composite) ne permettent plus de rejeter que les solutés les plus grossiers (macromolécules) et a fortiori tous éléments particuliers tels que les virus et bactéries.

Elles sont communément caractérisées par leur point de coupure taille de la protéine de plus faible masse molaire rejetée par la membrane.

Cette notion n'est qu'indicative vu les variations de configuration stérique d'une même protéine en fonction de la salinité du pH... à fortiori de deux macromolécules de poids moléculaire identique.

Les débits unitaires annoncés pour des membranes d'UF se situe entre 0,1 et  $1\text{m}^3/\text{h.m}^2$  bar pour de l'eau propre mais diminuant considérablement en présence de colloïdes, pour deux raisons essentielles : la polarisation de concentration et le colmatage.

# Présentation de la retenue de KEDDARA, de l'usine de traitement de BOUDOUAOU

## VI -1 Introduction :

Au cours de ce travail, un choix de coagulants et de floculants de diverses natures a été fait, il s'agira de déterminer le couple optimal ( coagulant/floculant ) afin d'améliorer ou de rentabiliser le traitement d'eau qui se fait actuellement à la station de traitement d'eau potable de BOUDOUAOU.

Nous avons récolté les caractéristiques des eaux du barrage de KEDDARA et suivi les paramètres : turbidité résiduelle, température, pH, densité optique, ainsi que le dosage d'éléments minéraux.

## VI -2 Présentation de la retenue de KEDDARA :

Jusqu'en Avril 1987, les eaux souterraines sont restées la seule source de production d'eau potable avant que la capitale ne soit renforcée par la mobilisation d'une quantité supplémentaire d'eau en provenance des OUEDS ISSER et KEDDARA.

Le barrage de KEDDARA est situé sur le territoire de la Wilaya de BOUMERDES à 8 km au sud de la localité de BOUDOUAOU et à 40 km à l'est d'ALGER.

Ce barrage est alimenté par l'OUED ISSER dont les eaux sont emmagasinées au barrage de BENI-AMRANE qui a une capacité de stockage de 16 millions de m<sup>3</sup>. Le transfert de cette eau vers le barrage de KEDDARA est assuré par une station de pompage dont la capacité de refoulement est de 7 m<sup>3</sup>/s.

En plus des eaux de l'OUED ISSER, le barrage de KEDDARA de capacité égale à 145 millions de m<sup>3</sup> ( sa capacité de retenue normale est de 145,6 millions de m<sup>3</sup> et un volume mort de 4,6 millions de m<sup>3</sup>; la superficie du bassin versant de

---

KEDDARA est de 93 km<sup>2</sup> ), reçoit celles de l'OUED KEDDARA ainsi que le trop plein ( ou eaux excédentaires ) du barrage HAMIZ destiné à l'agriculture.

Le transfert de l'eau du barrage de KEDDARA vers la station de traitement de BOUDOUAOU se fait gravitairement ( FigureVI-1 ).

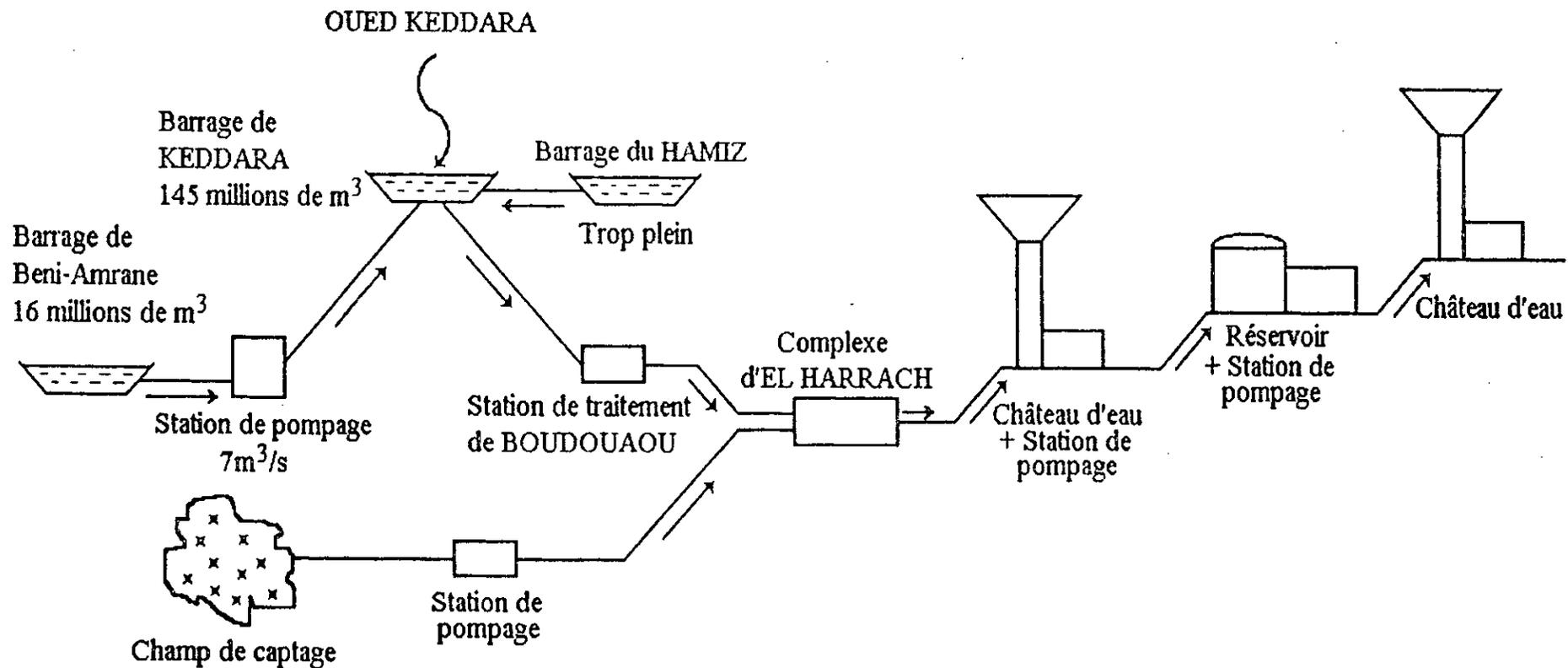


Figure VI-1 : Transfert de l'eau

### VI -3 Présentation de l'usine de traitement de BOUDOUAOU : [ ]

La station de traitement des eaux potables se situe à environ 8 km au sud de la ville de BOUDOUAOU.

Cette station a une capacité de traitement de 540 000 m<sup>3</sup>/j.

L'eau brute arrive gravitairement par une conduite de 2 m de diamètre, à l'ouvrage d'arrivée où on trouve :

- ① un bassin de régulation de débit.
- ② une préchloration.
- ③ addition de réactifs.
- ④ bassin de coagulation-floculation.

La chaîne de traitement se compose de deux filières identiques :

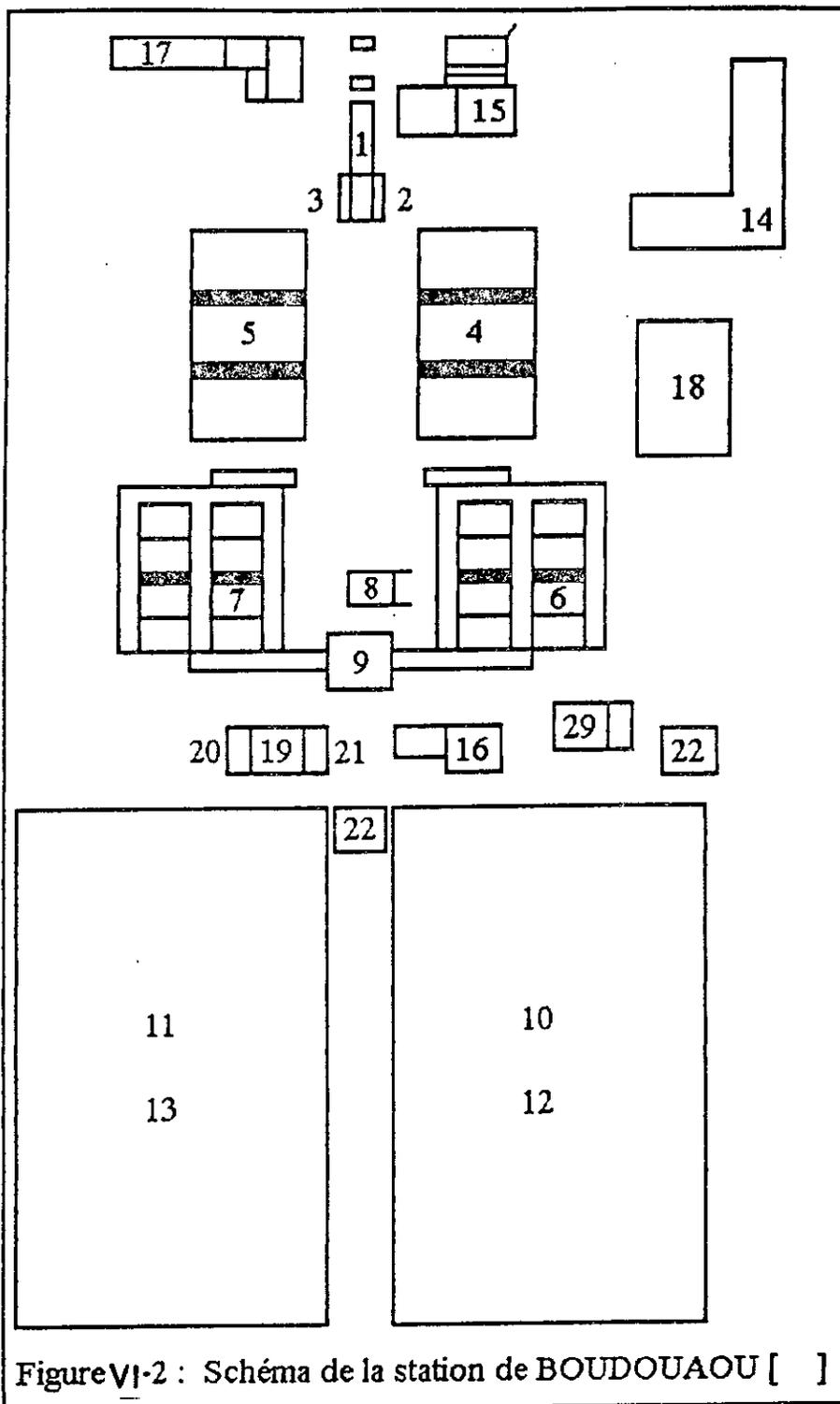
⌘ Composition d'une filière ( FigureVI-2 )

Chaque filière comprend :

- ✱ Trois clarificateurs ( décanteurs ) : ce sont des décanteurs pulsation à modules lamellaires travaillant à des vitesses comprises entre 5,65 et 7,65 m/h. Les modules sont constitués de tubes accolés à section hexagonale de longueur 0,75 m inclinés de 60°.
- ✱ Huit filtres « Aquazur V » avec une surface filtrante unitaire de 163 m<sup>2</sup> et une couche de sable de 1,50 m d'épaisseur portant une hauteur d'eau au dessus du sable de 1,20 m. Ces filtres travaillent alternativement, c'est à dire en deux groupes formés de 4 filtres.

Le traitement à l'usine de BOUDOUAOU consiste en :

- ① Une filtration
- ② Un lavage à contre-courant.
- ③ Chloration ( stérilisation ).
- ④ Correction du pH ( avec de la chaux éteinte )
- ⑤ Réservoirs de stockage des eaux traitées.



- 1- Chambre de mélange et dissipation d'énergie.
- 2- Répartition d'eau brute filière 1.
- 3- Répartition d'eau brute filière 2.
- 4- Décanteurs filière 1.
- 5- Décanteurs filière 2.
- 6- Filtres filière 1.
- 7- Filtres filière 2.
- 8- Bâtiment d'exploitation.

- 
- 9- Bâtiment de contrôle.
  - 10- Cuve de contact filière 1.
  - 11- Cuve de contact filière 2.
  - 12- Réservoir d'eau traitée filière 1.
  - 13- Réservoir d'eau traitée filière 2.
  - 14- Bâtiment administratif.
  - 15- Bâtiment des produits chimiques.
  - 16- Bâtiment de chaux.
  - 17- Bâtiment de chlore.
  - 18- Atelier.
  - 19- Electricité.
  - 20- Bâtiment du Groupe électrogène.
  - 21- Stockage de Fuel.
  - 22- Réserve de Sable.
  - 23- Collecte des eaux de lavage.
  - 24- Station d'épuration des eaux usées.
  - 25- Entrée avec poste de garde et pont bascule.

## CHAPITRE VII

### MATERIEL ET METHODE

#### A / Etude expérimentale de la coagulation - floculation

##### VII - 1.- Introduction :

L'étude expérimentale la coagulation floculation à pour but de déterminer le choix d'un couple coagulant-floculant. et la concentration optimale de ce dernier nécessaire à un réduction maximale de la turbidité de l'eau brute provenant de la retenue de KEDDARA, un floculant ( YSA - FLOC 632) a été alternativement associé à deux coagulants ( $AL_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  : Sulfate d'aluminium et  $Fe(SO_4) \cdot 7H_2O$ ) à différentes concentrations.

##### VII - 2 - Prélèvement :

L'échantillon d'eau brute sur lequel ont été faits les essais de coagulation - floculation a été prélevé au niveau de la station de traitement des eaux de BOUDOUAOU et plus précisément au laboratoire d'analyse de cette dernière par la robinet d'arrivée d'eau brute .

##### VII - 3 - Matériel :

###### Appareils :

Le matériel utilisé pour les besoins des essais de coagulation-floculation se résume à :

- 1 - Agitateurs : Magnétique
- 2 - Turbidimètre : **HACH 2000**
- 3 - Spectromètre : **UV**
- 4 - pH -mètre
- 5 - Balance **METTLER**
- 6 - Conductimètre : Modèle CM - 8ET
- 7- Spectrophotomètre de flamme

###### Petit matériel :

- 1 - Bêchers, pipettes et micropipette .

### Coagulants :

$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  : Sulfate d'aluminium ;  $M = 666 \text{ g.mol}^{-1}$  ;

$Fe(SO_4) \cdot 7H_2O$  = Sulfate de fer (II) ;  $M = 278 \text{ g.mol}^{-1}$  ;

### \* Flocculant :

Dans notre étude expérimentale on a utilisé un flocculant c'est celui qui est utilisé actuellement dans le traitement de coagulation - floculation à la station de Boudouaou : YSA-floc-632

## VII - 4 - Méthode :

### 4 - 1 - Le Jar - test :

L'essai de Jar -test est consiste à simuler le processus de coagulation - flocculant :

L'appareillage comporte cinq Bechers de 500 ml chacun a un système d'agitation à vitesse variable et contrôlée permettant une agitation identique dans les cinq Bechers.

Les conditions de travail adoptées sont les suivants :

Une phase de forte agitation de trois minutes, sous une vitesse de rotation de 120 Tours/mn ou l'on injecte rapidement et simultanément les doses croissantes de coagulation dans les Bechers remplis chacun de 500 ml d'eau brute de barrage de KADDARA .

Une deuxième phase où la vitesse de rotation est maintenue à 40 tours /mn durant 10 minutes .

Une phase de décantation du liquide pendant 40 minutes .

Après cette dernière phase, des prélèvements du surnageant sont fait par siphonnage à des fins d'analyses .

Une fois la dose optimale des coagulants fixée, on refait le Jar-test en injectant ledit coagulants à la concentration optimale suivant une série croissante de dosage en flocculant . On détermine aussi le dose optimale du flocculant .

### 4 - 2 - Mesure de turbidité :

Analyse à effectuer à la suite du siphonnage de l'eau décantée, l'appareil utilisé et un turbidimètre HACH 200. Son principe d'action est de mesure photoélectrique, la diffraction d'un faisceau lumineux par les matière en suspension .

#### 4 - 3 - Mesure du pH:

Principe : Méthode potentiométrique : La différence de potentiel existant entre une électrode de mesure et une électrode de référence plongeant dans une même solution est une fonction linéaire de pH de celle-ci

#### 4 - 4 - Mesure de la densité optique :

L'appareil utilisé à la mesure de la densité optique est un spectromètre type

#### 4 - 5 - Mesure de la conductivité électrique :

La conductivité électrique; exprimée en micro-Siemens par centimètre ( $\mu\text{s/cm}$ ); est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métallique de  $1 \text{ cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre d'un centimètre. Elle est réalisée par simplement en plongeant l'électrode dans la solution, la lecture est réalisée sur un conductimètre.

### B / ETUDE EXPERIMENTALE DE L'ULTRAFILTRATION :

#### VII - 5 - Description et mode de fonctionnement de matériel utilisé l'ultrafiltration :

L'appareil utilisé est un pilote mixte et microfiltration et d'ultrafiltration de la firme **GAMMA Ultrafiltration**, le modèle utilisé est le Microlab 130S, et est le résultat d'un assemblage d'éléments répertoriés dans le tableau (Tab VII - 1) [12] son assemblage est réalisé comme indiqué sur la figure (Fig VII - 1), tous les indicateurs se trouvant réunis sur un panneau électrique de contrôle . Ce panneau comprend :

- Un interrupteur de mise en marche de l'appareil ;
- Un bouton de mise en marche et bouton d'arrêt pour chacune des pompes .
- Un bouton d'augmentation du débit de recirculation
- Un bouton de diminution du débit de recirculation
- Un bouton d'arrêt d'urgence qui stoppe toute activité d'appareil - Deux indicateur de pression ou peut se faire le réglage de pression minimale et maximale de travail au delà du segment de valeur ainsi défini l'appareil s'arrête automatiquement. Un indicateur concerne la pression à l'entrée du module et l'autre celle à la sortie du module .
- Indicateur de température ou peut de faire le réglage la température maximale et minimale de travail comme pour la pression, au delà de segment de valeurs ainsi défini l'appareil s'arrête

Tableau (VII - 1) : Désignation des repères du Microlab 130 S

Repère	Désignation
VP1	Vanne d'alimentation
VP2	Vanne de Vidange de la cure d'alimentation
VP3	Vanne d'ouverture de boucle
VM <sub>2</sub>	Vanne de purge de la pompe d'alimentation
VM <sub>2</sub>	Vanne de purge de la pompe de recirculation
VM <sub>3</sub>	Vanne de purge d'air de la boucle
VM4	Vanne de réglage de pression
VM5	Vanne de vidange de perméat
PA	Pompe d'alimentation
PC	Pompe de récirculation
P1 - P2	Indicateurs numériques et de pression
PT1 - PT2	Compteur de pression d'entrée et de sortie du module
TT	Sonde de température
EV1 - EV2	Electrovannes
EC	Echangeurs de chaleur
FIT	Débitmètre électromagnétique de la boucle
FI	Débitmètre de rétentat
M	Module porte - membrane
T	Indicateur numérique de température

Les caractéristiques générales de Microlab 130 S sont données dans le Tableau (VIII - 2 )

Tableau (VIII - 2 ) : Caractéristiques générales de Microlab 130 S

Température maximale du système	95°C
Viscosité maximale	900 CPS
Pression maximale du système	8 bars
Volume de la cuve d'alimentation	25 litres
Surface active de la membrane	0,2 m <sup>2</sup>
Puissance installée	4,1 Km

### **5 - 1 - La membrane :**

La membrane utilisée est une membrane d'ultrafiltration minérale CERAVER, ou a lieu une filtration tangentielle. Le diamètre moyen de ses pores est de 500 angströms (Å). Sa structure est de type asymétrique et comporte de deux couches.

- Le support : Il a les caractéristiques suivantes :

- Composition  $6 \text{ AL}_2\text{O}_3$  :

- Diamètre moyen des pores  $15 \mu\text{m}$
- Diamètre de canal.: 4 mm
- Nombre de canaux : 19
- Longueur : 850 mm
- Surface utile de membrane  $0,2 \text{ m}^2$
- Pression d'éclatement :  $> 100 \text{ bars}$

- La couche active : elle a les caractéristiques suivantes :

- Composition : Oxyde métallique à base de Zircon
- Diamètre moyen des pores : 500 Å
- Gamme de pH supporte 0,5 - 13,5

### **5 - 2 - Le module :**

C'est un carter cylindrique en acier inoxydable 316 L, son montage dans le circuit hydraulique est facilité par des colliers de serrage.

### **5 - 3 - Fonctionnement de l'appareil d'ultrafiltration :**

Le Microlab 130 S permet plusieurs mode des fonctionnements, ceux utilisés dans les différentes manipulation sont les suivants :

#### **5 - 3 - 1- Fonctionnement en régime discontinu et boucle ouverte :**

Ce mode de fonctionnement permet de déterminer la perméabilité à l'eau de la membrane. On procède comme suite :

- On remplit la cuve d'alimentation avec la solution à filtrer
- On met en marche l'appareil
- On ferme les vannes  $\text{VP}_2$  et  $\text{VP}_3$
- On ouvre la vanne  $\text{VP}_1$  et légèrement la vanne  $\text{VM}_3$
- On met en marche la pompe de circulation
- On ouvre la vanne  $\text{VM}_3$  jusqu'à ce que la solution commence à sortir par celle-ci pour éliminer l'air continu dans le circuit puis on le referme.

- On règle la vanne VM4 afin d'obtenir la pression transmembranaire désirée. Pour maintenir la concentration de la solution constante on réinjecte dans la cuve d'alimentation le rejet et le perméat .

### 5 - 3 - 2 - Fonctionnement en régime discontinu et boucle fermé :

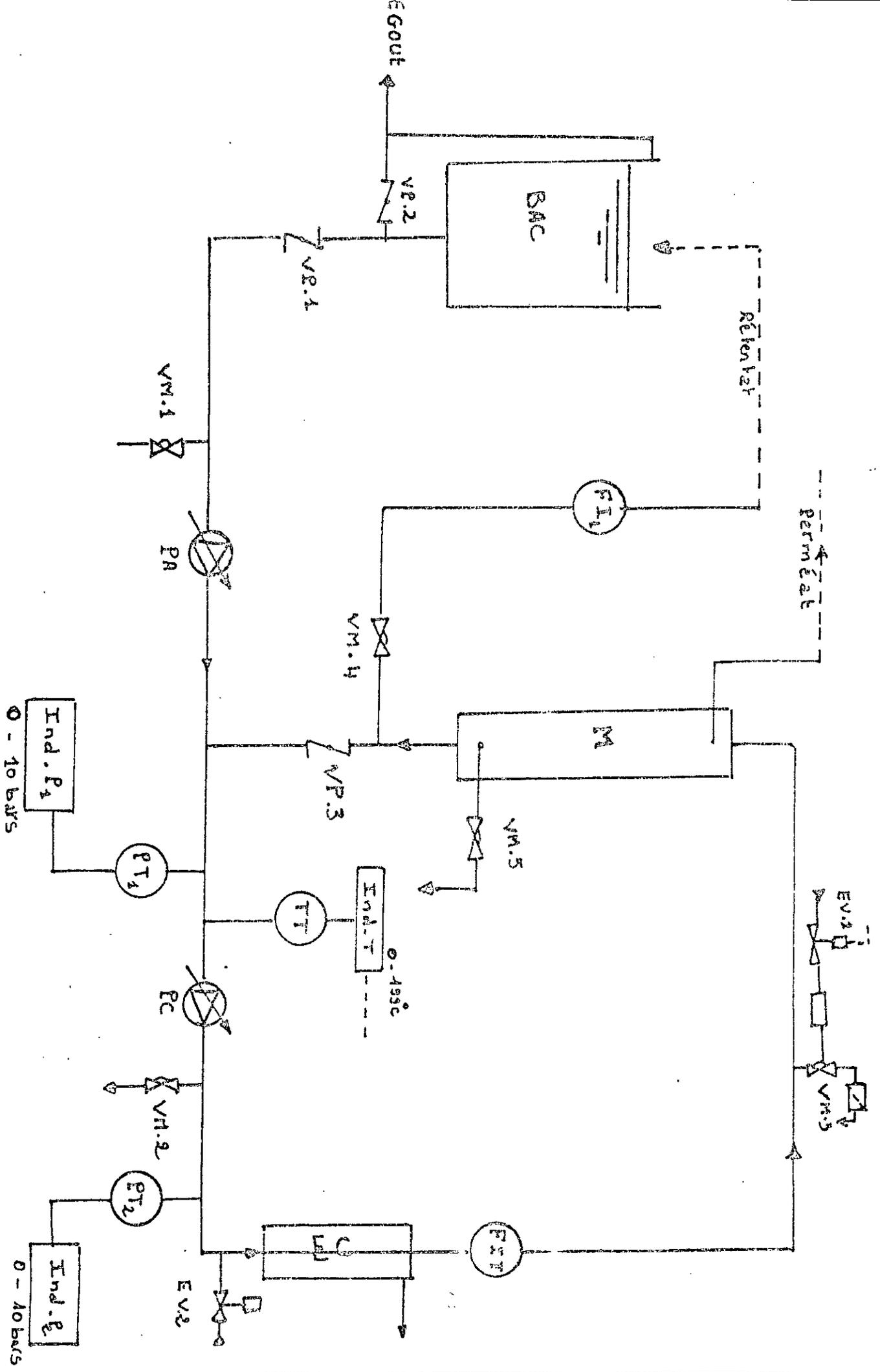
Ce mode de fonctionnement permet de tracer les courbes de la polarisation de concentration, ou d'effectuer des essais de concentration ou de calculer la perméabilité à l'eau de la membrane neuve, et on procède comme suite :

- On met l'appareil en marche
- On remplit la cuve d'alimentation
- On ferme les vannes VP<sub>2</sub> et VP<sub>3</sub> et on ouvre la vanne VP<sub>1</sub> et légèrement la vanne VM4 .
- On met en marche la pompe d'alimentation .
- On ouvre la vanne VM3 pour purger l'air et dès que la solution sort on la referme
- On met en marche la pompe de circulation .
- On ouvre la vanne VP3
- On règle la vanne VM4 afin d'obtenir la pression transmembranaire désirée

Pour les courbes de polarisation et le calcul de la perméabilité à l'eau de la membrane neuve le rejet et le perméat sont réinjectés dans la cuve d'alimentation.

Pour les essais de concentration, seul le rejet est réinjecté . Par ailleurs, permet d'autre mode de fonctionnement qui sont les suivants :

- Fonctionnement en régime semi continu en boucle fermé ou ouvert
- Fonctionnement en régime continu en boucle ferme ou ouverte



C - Etude expérimentaux sur l'élimination sur des matières organiques par adsorption sur charbon actif .

VII - 6 - PRINCIPES ET METHODE DE DOSAGE :

6 - 1 - Spectrophotométrie d'absorption moléculaire :

C'est la méthode analytique la plus utilisée en analyse d'eau. Elle nécessite la mise en œuvre préliminaire d'une réaction colorée spécifique de l'élément recherché . Elle s'appuie sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière laisse passer une fraction de la lumière incidente; la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé, coloré recherché (loi de Beer-Lambert) . Cette technique a permis le développement de chaînes analytiques de laboratoire à flux continu, l'utilisation industrielle de photocalorimètres pour le mesure "Séquentielle en continu " de nombreux permettre (Silice, Ammonium .....) . Dans le domaine de l'eau, ces techniques sont surtout utilisées pour quantifier des familles MO.

La mesure de l'absorption UV à 250 nm est un indice caractéristique des substances possédant un ou plusieurs doubles liaisons .

## CHAPITRE VIII

### RESULTATS EXPERIMENTAUX INTERPRETATION

#### VIII - 1 - Analyse physico-chimique :

##### 1 - Description de différents paramètres d'analyse et interprétation :

Pour se rendre compte de l'efficacité du traitement de l'eau de surface; il est nécessaire d'effectuer des analyses avant et après coagulation - floculation ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - YSA -FLOC632) puis de comparer ces résultats parallèlement, on se reportera aux valeurs des normes des possibilités établies par les organisations d'hygiène et de sécurité afin de conclure sur le traitement .

Le tableau suivant Tab (VIII - 1) récapitule les caractéristiques physico-chimique de l'eau provenant de la retenue de KADDARA pendant premier semestre 1997 .

Les Histogrammes (VIII - 1- 1) ; (VIII - 1- 2); (VIII - 1- 3) ; (VIII - 1- 4) ; (VIII - 1 - 5 ) ; (VIII - 1- 6) suivantes représentées respectivement l'évolution de la (température et du pH) ; (la turbidité et de l'indice de couleur) ; (de la teneur en oxygène dissous et de la demande en chlore) ; (des titres Hydrotimétrique et alcalimétrique ) ; ( de la concentrations des ions calcium et des ions de magnésiennes) ; et (des chlorures et des sulfates) ; durant le premier semestre 1997 .

#### INTERPRETATION DES RESULTATS DES ANALYSES

##### Azote ammoniacal :

L'azote ammoniacal est assez souvent rencontrés dans les eaux et traduits habituellement un processus de dégradation incomplète du matière organique .

L'azote ammoniacal des eaux superficielles peut avoir pour origine la matière végétale . Des cours d'eau, la matière organique animale ou humain (l'homme élimine 15 - 30 g durée par jour ) . Le régime industriel, les engrais, .. ect. Sa présence est à rapprocher des autres éléments azotés identifiés dans l'eau : Nitrites et Nitrates, et des résultats de l'analyse bactériologique . L'oxydation biologique de l'ammoniaque peut développer des zones anéarobies et entraîner ainsi des gouttes désagréables et provoqués la corrosion des conduites .

L'ammoniaques présent aussi l'inconvénient de nécessiter une augmentation de la consommation en chlore lors de la désinfection pratiquement, par milligramme d'azote l'origine ammoniacal il fait environ 10 mg de chlore pour oxyder les chloramines en azote gazeux . L'élimination de l'ammoniaque pour la production d'eau potable peut se faire par les échangeurs d'ions, l'oxydation par le chlore et nitrification biologique.

Les analyses indiquant la présence des ions  $\text{NH}_4^+$  en faible teneur (0.017 mg/l) durant premier semestre 1997 de l'eau brute de KADDARA. Et sont comprise dans l'intervalle (0 à 0.5 mg/l) de potabilité.

#### Calcium :

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement ré pondu dans la nature et particulier dans les roches calcaires pour former des carbonates composant majeur de la dureté de l'eau, Le calcium est généralement l'élément des eaux potables .

L'influence du calcium de l'eau sur la santé de l'individu a été souvent discutée cependant, les recherches et les études statistiques ont montrés qu'il n'y aurait pas de relation dose - effet avec la teneur sur cet élément dans l'eau .

Les eaux potables de bonnes qualités renferment du 100 à 140 mg / l de calcium soit 150 à 200 mg en CaO ou 250 à 300 mg en  $\text{CaCO}_3$

Les analyses indiquant la présence en cation  $\text{Ca}^{2+}$  de 75 à 85 mg/l durant premier semestre 1997 de l'eau brute de KADDARA. Et sont comprise dans l'intervalle (75 à 200 mg/l) de potabilité .

#### Chlore :

La décontamination microbienne par le chlore de l'eau d'alimentation soulève assez souvent chez le consommateur un problème organoliptique . C'est par la diminution de l'ammoniaque et des matières organiques que l'on peut agir pour limites les quantités des chlores utilisées, et ainsi retrouver des saveurs acceptables .

Les analyses indiquant la présence de faible teneur en chlore (0.7 à 1 mg/l) durant premier semestre 1997 de l'eau brute de KADDARA. Cette quantité peut être attribuer à des formations géologiques (chlorure de sodium).

#### Conductivité électrique :

La mesure de la conductivité permette d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau et de suivre l'évolution .

Les valeurs de la conductivité durant le premier semestre 1997 d'analyse de l'eau brute de KADDARA sont presque rapprochées de la norme de potabilité

#### 5 - Couleur :

L'eau potable examinée son : une épaisseur moyen de 20 cm est incolore sous une épaisseur de quelque mètre, l'eau pure à une coloration bleue. En fonction de la turbidité, de la présence de plancton, des matières, en solution (acides humiques, Fer, Manganèse, rejet industriels) , elle pourra virer au vert jaune ou brun .

milligramme par litre . La magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur qui dépend des terrains traversés .

#### 9 - Odeur :

L'eau potable doit être sans odeurs non seulement au moment de prélèvement, mais encore après une période de 10 Jours à la température de 26° .

Les odeurs proviennent, soit des produits chimique, soit des matières organiques, soit de protozoaire, soit d'organismes aquatiques .

#### 10 - Oxygène dissous :

L'oxygène, toujours présent dans l'eau, nom n'est pas un élément constitutif, sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité . La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l . L'eau saturée d'air, à 20°C et sous la pression normale contient 9,1 mg /l d'oxygène. Les variations de la teneur en oxygène sont aussi importante que la valeur du taux absolu . On devra rechercher la cause de toute variation : Celle-ci peuvent être fonction de la présence des végétaux, des matières organiques, des organismes et des germes aérobies, ainsi que la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface (présence de graisses, d'hydrocarbure, de détergent, ... etc ) .

Les valeurs de la couleur durant le premier semestre 1997 d'analyse de l'eau brute de KADDARA sont comprises dans la norme de potabilité .

#### 11 - pH :

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversées, il varie habituellement entre 6,8 et 8 ; c'est d'ailleurs à l'intérieure de ces deux valeurs qui se situe le pH de l'eau brute de KADDARA durant le premier semestre 1997 .

#### 12 - Sulfate :

La concentration aux ions sulfate des eaux naturelles est très variable dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfate minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être très largement dépassé (jusqu'à à 300 mg/l) dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est élevé.

Les valeurs des ions  $SO_4^{2-}$  durant le premier semestre 1997 d'analyse de l'eau brute de KADDARA ( 255 à 300 mg/l ) sont compris dans l'intervalle de (200 à 400 mg/l ) de potabilité .

#### 13 - La température :

La température de l'eau potable devrait être inférieure en été et supérieure en hivers à la température de l'air.

#### 14 - Turbidité :

La mesure de la turbidité très utile pour le contrôle d'un traitement, ne donne pas d'indication sur la nature, la concentration, la taille des particules en suspension qui doivent faire l'objet de mesure spécifique .

La turbidité résiduelle constitue une gêne pour l'efficacité des traitements de décontamination microbienne .

Les valeurs de la turbidité ne sont pas globalement dans la norme de potabilité (0,4 à 4 NTU) durant le premier semestre 1997 d'analyse d'eau brute de KADDARA d'ou nous avons réalisés des travaux dans le cadre de réduire cette turbidité .

**Tableau VII - 1: Caractéristiques des eaux de barrage de Keddara durant le premier semestre 1997**

Paramètres	Janv.1997	fév-97	mar-97	avr-97	mai-97	jun-97	Norme (OMS)
Température	13	13,4	13,9	15	18,25	19,5	
pH	7,96	7,94	7,89	7,75	7,73	7,67	6,5
Conductivité	1200	1156	1240	1240	1135	1134	1200
Turbidité	7,6	5,9	6,2	8,7			0,4
Couleur	33	30	<5	<5	23	35	15
UV	0,058	0,117	0,044	0,090			
Oxygène disso	9,4	9,5	7,2	6,8	6,700	5,800	
Demande en c	1,25	1,30	1,25	0,60	0,88	1,1	
TH	41	47,1	44,6	44	43	45,5	10
TAC	16,5	17,9	16,7	16,3	16	17	
Ca <sup>2+</sup>	75,8	84,9	82,0	75,0	73	79,5	75
Mg <sup>2+</sup>	48,9	54,8	58,1	61,0	56	62	50
Cl <sup>-</sup>	126,4	160,0	161,0	154,0	162	157	200
Fe <sup>2+</sup>	0,23	0,19	0,09	0,09		0,058	0,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,017	ND	ND	ND			0,5
Mn <sup>2+</sup>	ND	ND	ND	ND			0,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,6	4,7	5,8	6,5	8,46		44
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,013	0,008	ND	ND			0,1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ND	ND	0,001	ND			200
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	255,3	268,3	291	292	262	307	

Fig.VIII - 1 - 1 : Evolution de la température et du pH des eaux de Barrage de Keddara durant le Premier semestre 1997

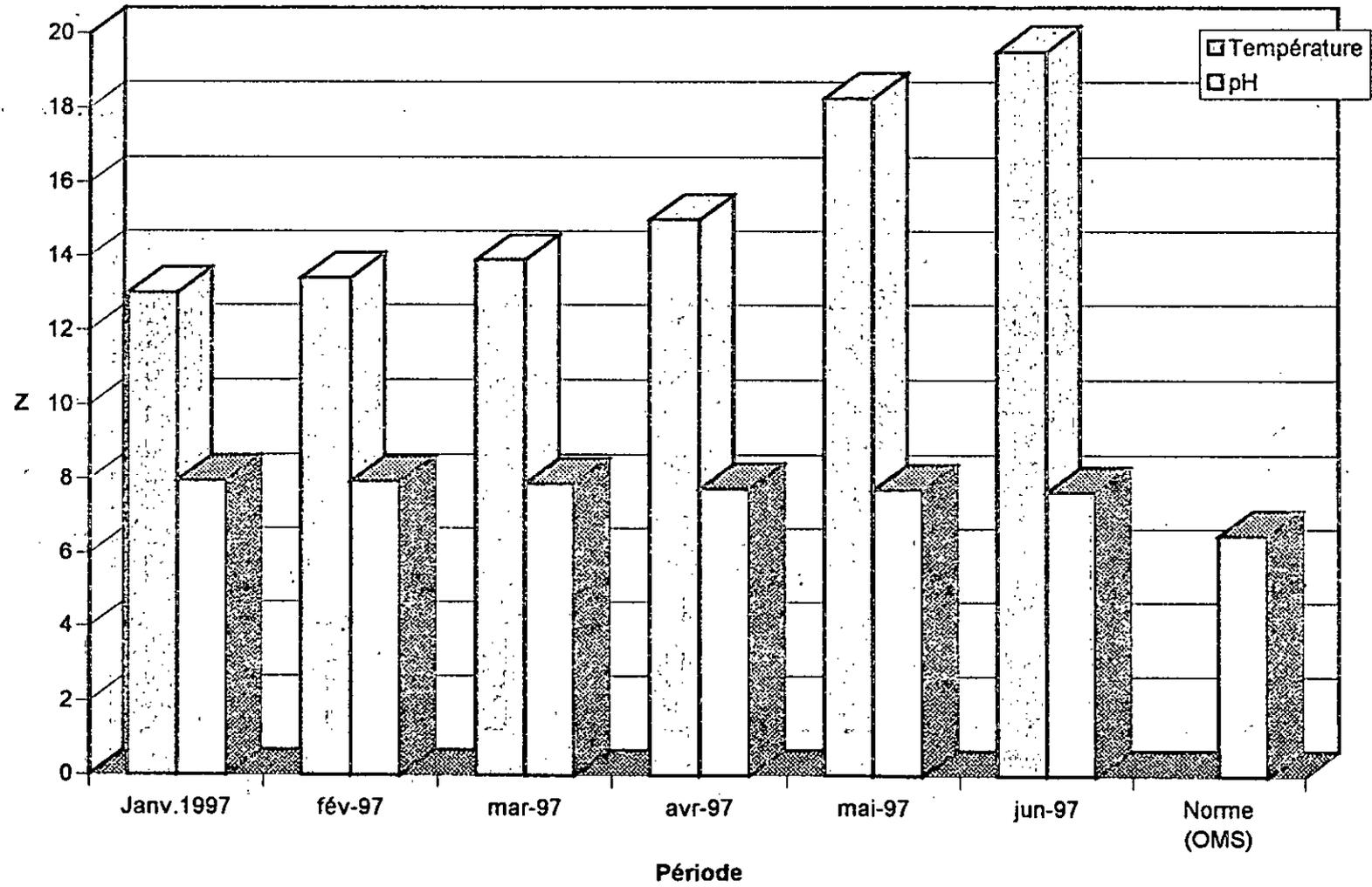


Fig. VIII - 1 - 4 : Evolution des titres hydrotimétriques et alcalimétriques des eaux de Barrage de Keddara durant le Premier semestre 1997

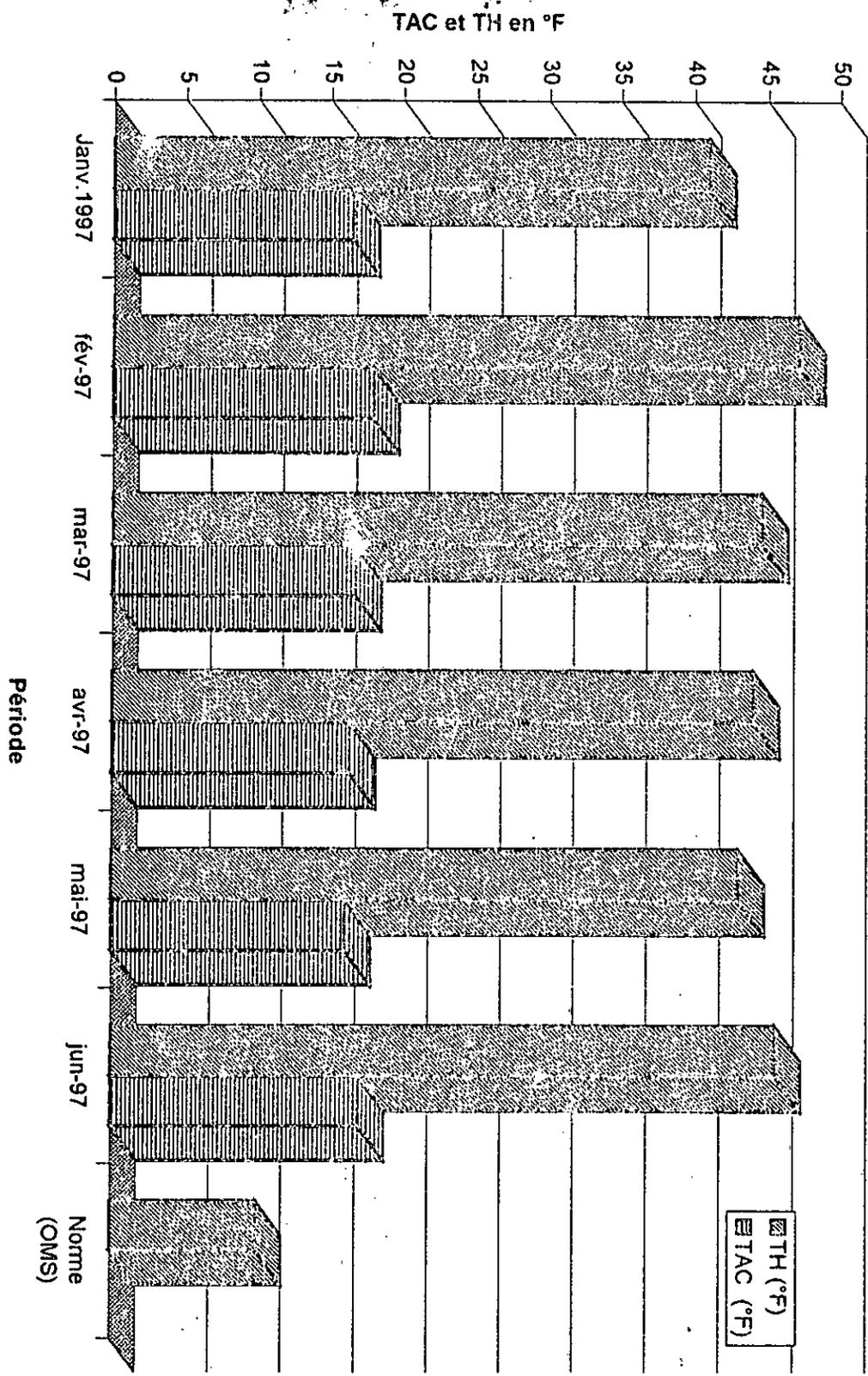


Fig. VIII - 1 - 5 : Evolution de la concentration des ions Calcium et des ions magnésium des eaux de Barrage de Kedara durant le premier semestre 1997

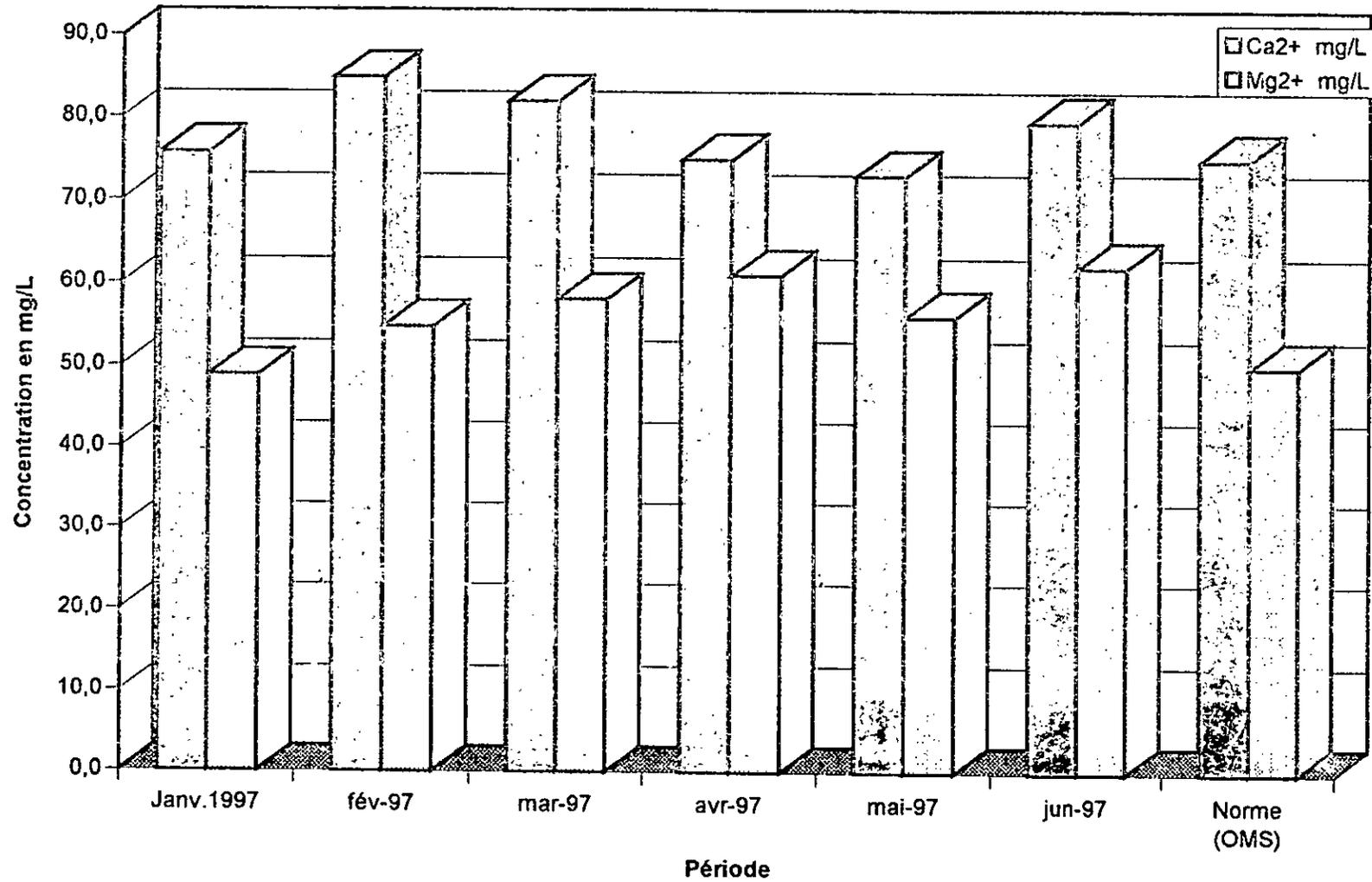
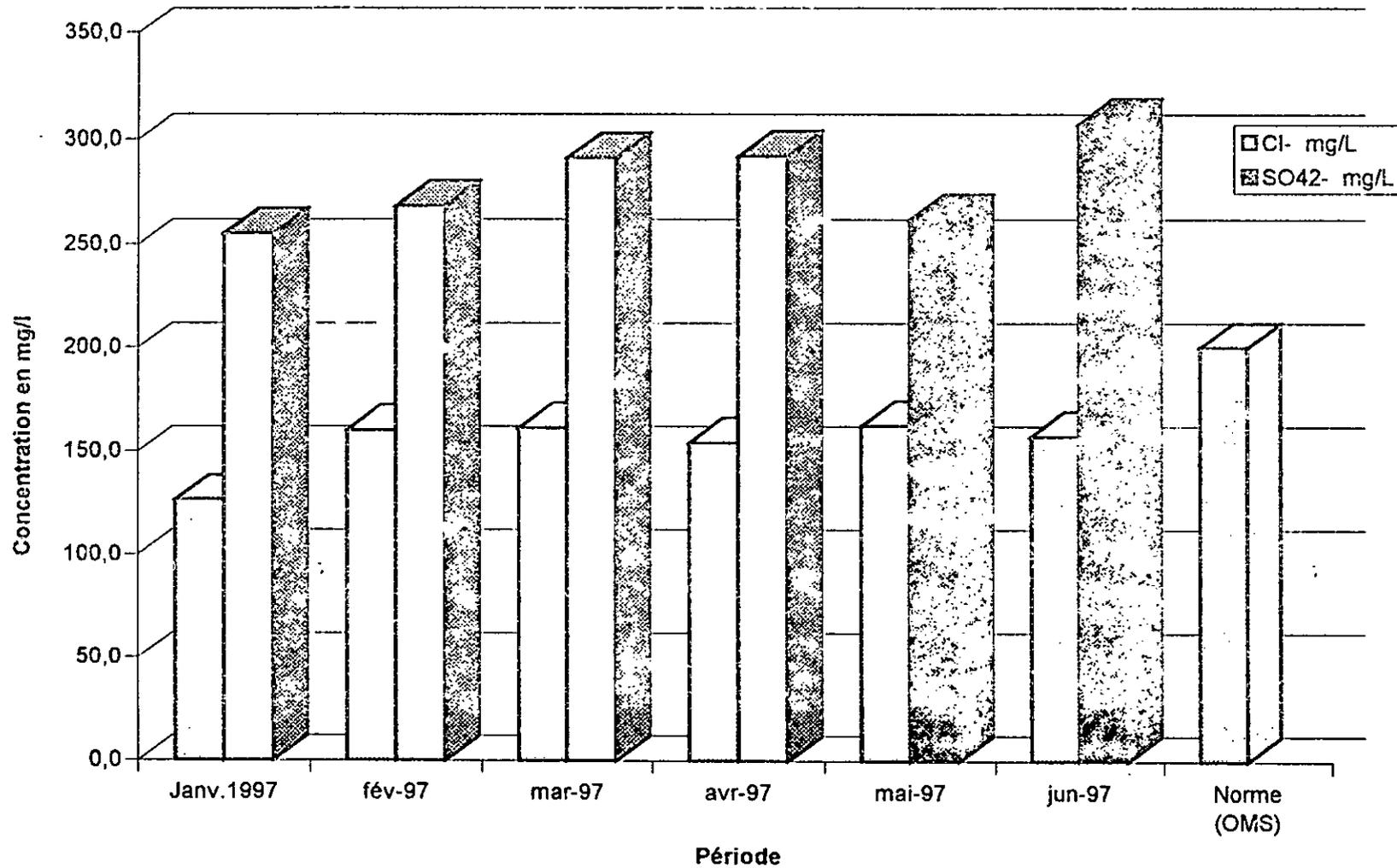


Fig. VIII - 1 - 6 : Evolution des chlorures et des sulfates des eaux du Barrage de Keddara durant le premier semestre 1997



## VIII - 2 - traitement coagulation - floculation de l'eau brute :

### 2 - 1 - Détermination des concentrations optimales de coagulants :

Dans toute les expériences suivantes, une première série d'essai est effectuée pour approché la concentration optimale de coagulant, elle est suivi d'une deuxième série d'essai pour déterminer une précision ladite de concentration.

Les résultats du Jar-test seront exprimées en fonction du pourcentage de réduction de la turbidité (efficacité) afin de s'affranchir de toute variation de cette dernière .

$$\text{Efficacité (\%)} = \frac{\text{Turbidité initiale} - \text{la turbidité résiduelle}}{\text{Turbidité initiale}} \times 100$$

### A - Essai de coagulation avec de sulfate d'aluminium : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$

Le tableau suivant (Tableau VIII - 2 - 1) regroupe les caractéristiques de l'eau brute de KADDARA qui a été prélevé le 28/01/1997 après traitement de coagulation avec le sulfate d'aluminium .

C : Concentration mg/l du coagulant

E : L'efficacité (%)

Turbidité initiale = 7,2 NTU

pH initial = 8,62

DO = Densité optique à une longueur d'onde = 254 nm,  $\text{DO}_{\text{initiale}} = 0,044$

Tableau VIII - 2 -1 - : Caractéristiques de l'eau brute de KADDARA après traitement de coagulation avec le sulfate d'aluminium ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ ) . Prélèvement le 28 / 01 / 1997

C (mg/l)	DO (254 nm)	Turbidité résiduelle (NTU)	E (%)	pH
1	0,043	5,00	34,21	8,53
2	0,042	4,30	34,42	8,49
3	0,042	2,25	70,34	8,40
4	0,042	1,80	76,31	8,33
8	0,052	2,40	68,42	7,53
12	0,057	3,20	57,89	7,34
16	0,059	4,50	40,79	7,28
20	0,070	6,00	21,05	7,07
24	0,086	8,00	/	6,97
28	0,090	7,90	/	6,84

La concentration optimale de coagulant donnant la meilleure efficacité est :  
 $Cop = 4 \text{ mg/l}$  de ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ ) correspondant aux valeurs suivantes :

Turbidité résiduelle = 1,8 NTU

Efficacité = 76,31 %

pH = 8,33

DO = 0,042

Les figure (VIII - 2 - 1 ), (VIII - 2 - 2) , (VIII - 2 - 3) et (VIII - 2 - 4) suivantes représente respectivement l'évolution de la turbidité résiduelle, de l'efficacité, de la densité optique de pH en fonction de la concentration de coagulant  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  .

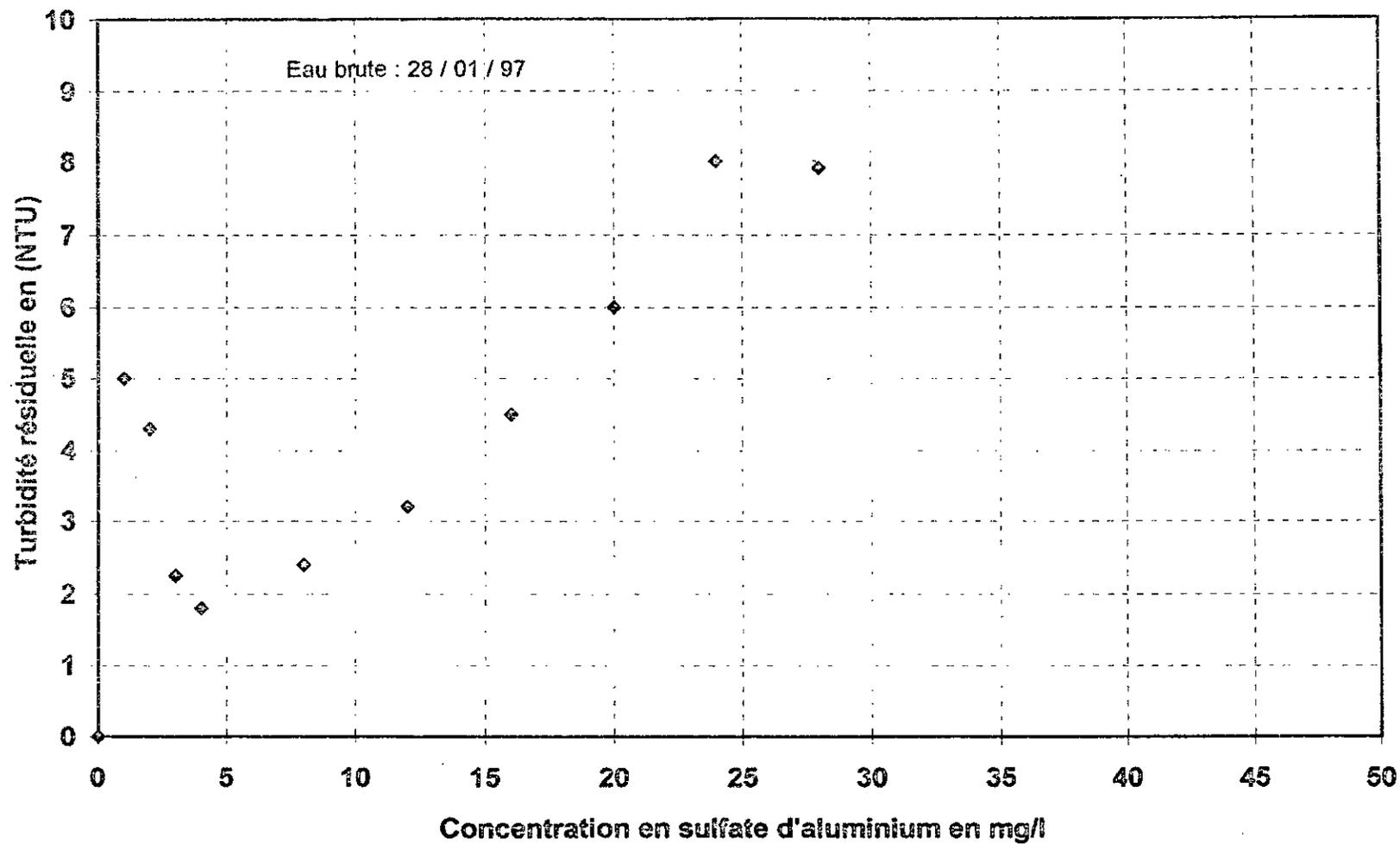


Fig VIII - 2 - 1 : Evolution de la turbidité résiduelle en fonction en fonction de la concentration en sulfate d'aluminium

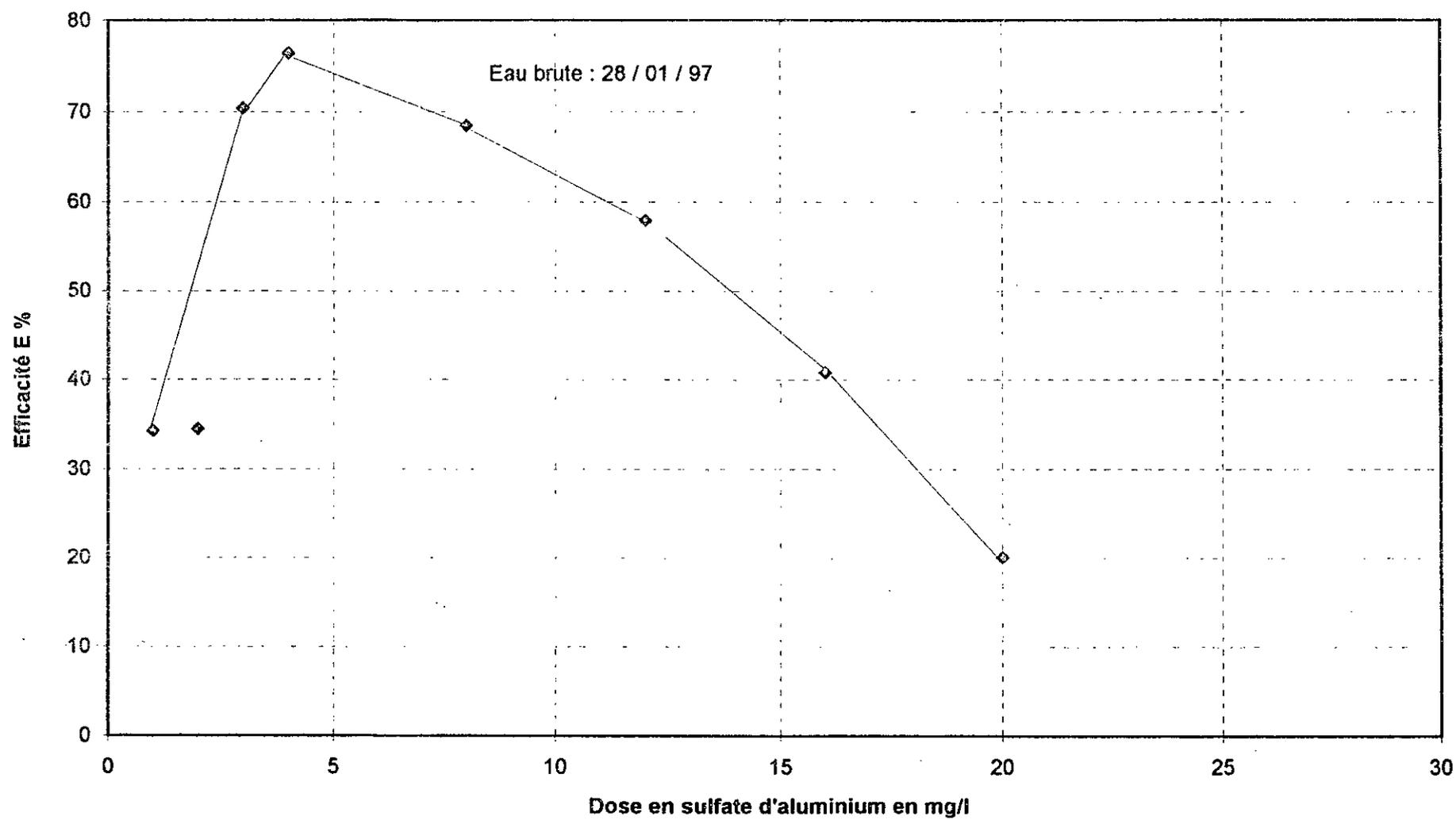


Fig VIII - 2 - 2 : Evolution de l'efficacité en fonction de la concentration en sulfate d'aluminium

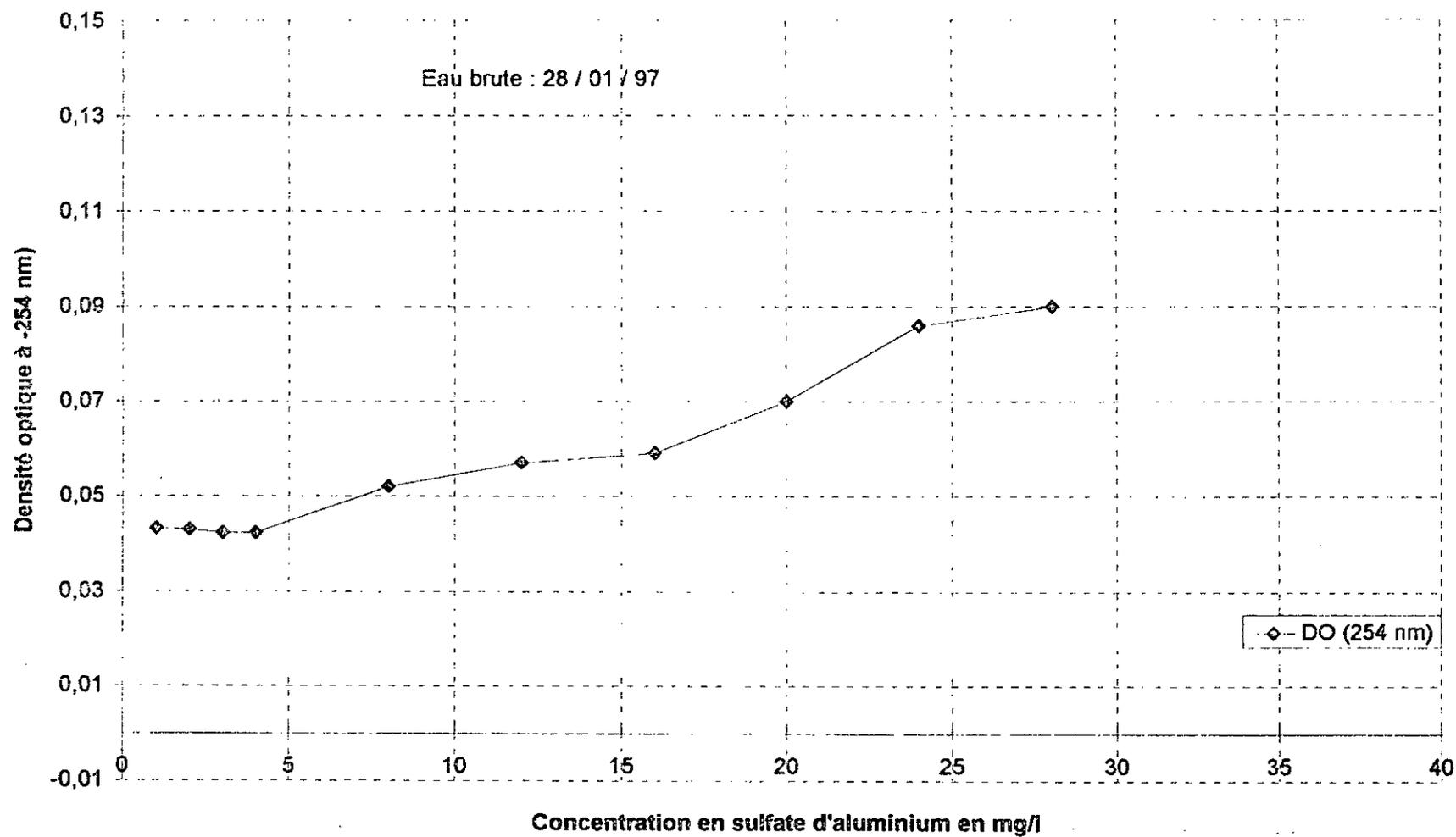


Fig. VIII - 2 -3 : Evolution de la Densité optique ( 254 nm) en fonction de la concentration en sulfate d'aluminium

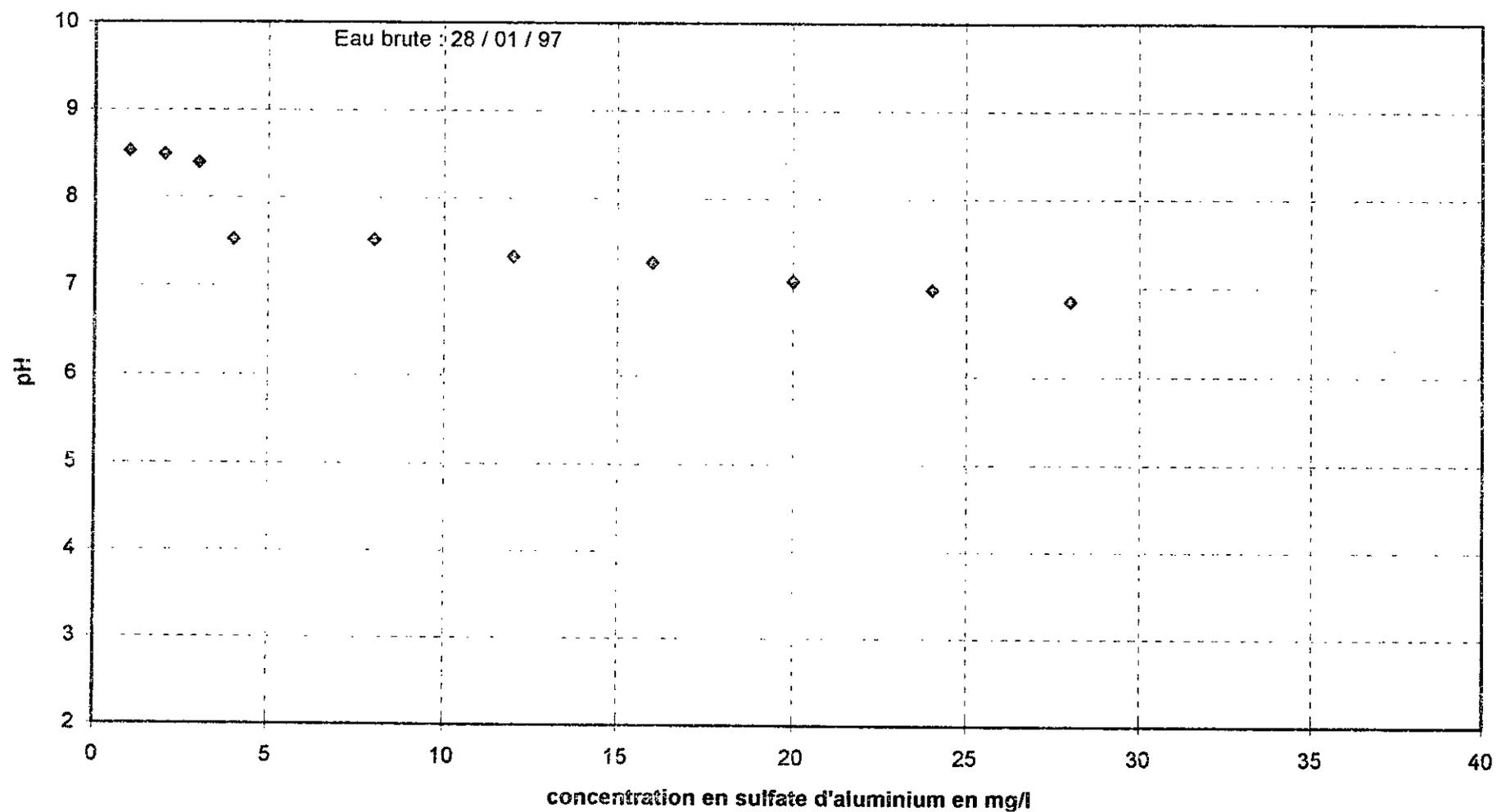


Fig VIII - 2 - 4 : Evolution du pH en fonction de la concentration en sulfate d'aluminium

B - Essai de coagulation avec le sulfate de fer (II) :  $(Fe (SO_4)_7 H_2O$  :

Le tableau suivant (VIII - 2 - 2 ) regroupe les caractéristiques de l'eau de KADDARA qui a été prélevée le 28 /01/1997 après le traitement de coagulation avec  $(Fe (SO_4)_7 H_2O$  .

Tableau (VII - 2 - 2 ) : Caractéristiques de l'eau brute de KADDARA après traitement de coagulation avec  $(Fe (SO_4)_7 H_2O$  . Prélevé le 28 /01 /1997.

C (mg/l)	DO (254 nm)	Turbidité résiduelle (NTU)	E (%)	pH
5	0,089	3,7	51,31	8,14
10	0,087	3,5	54,00	7,81
30	0,081	3,4	55,26	7,96
40	0,081	3,5	54,00	7,56
50	0,074	4,1	46,05	7,48
60	0,090	4,5	40,78	7,40
70	0,088	4,5	40,78	7,22
80	0,087	5,5	27,63	7,14
90	0,090	6,0	21,05	7,15
100	0,098	6,5	14,47	7,03

La concentration optimale de coagulant donnant la meilleure efficacité est :  
Cop = 30 mg/l de  $Fe (SO_4)_7 H_2O$  correspondant aux valeurs suivantes :

Turbidité résiduelle = 3,4 NTU

Efficacité = 55,26 %

pH = 7,76

DO = 0,081

Les figures (VIII - 2 - 5) , (VIII - 2 - 6), (VIII - 2 - 7) et (VIII - 2 - 8) représentent respectivement l'évolution de la turbidité résiduelle, de l'efficacité, de la densité optique et de pH en fonction de la concentration de coagulant  $Fe (SO_4)_7 H_2O$  .

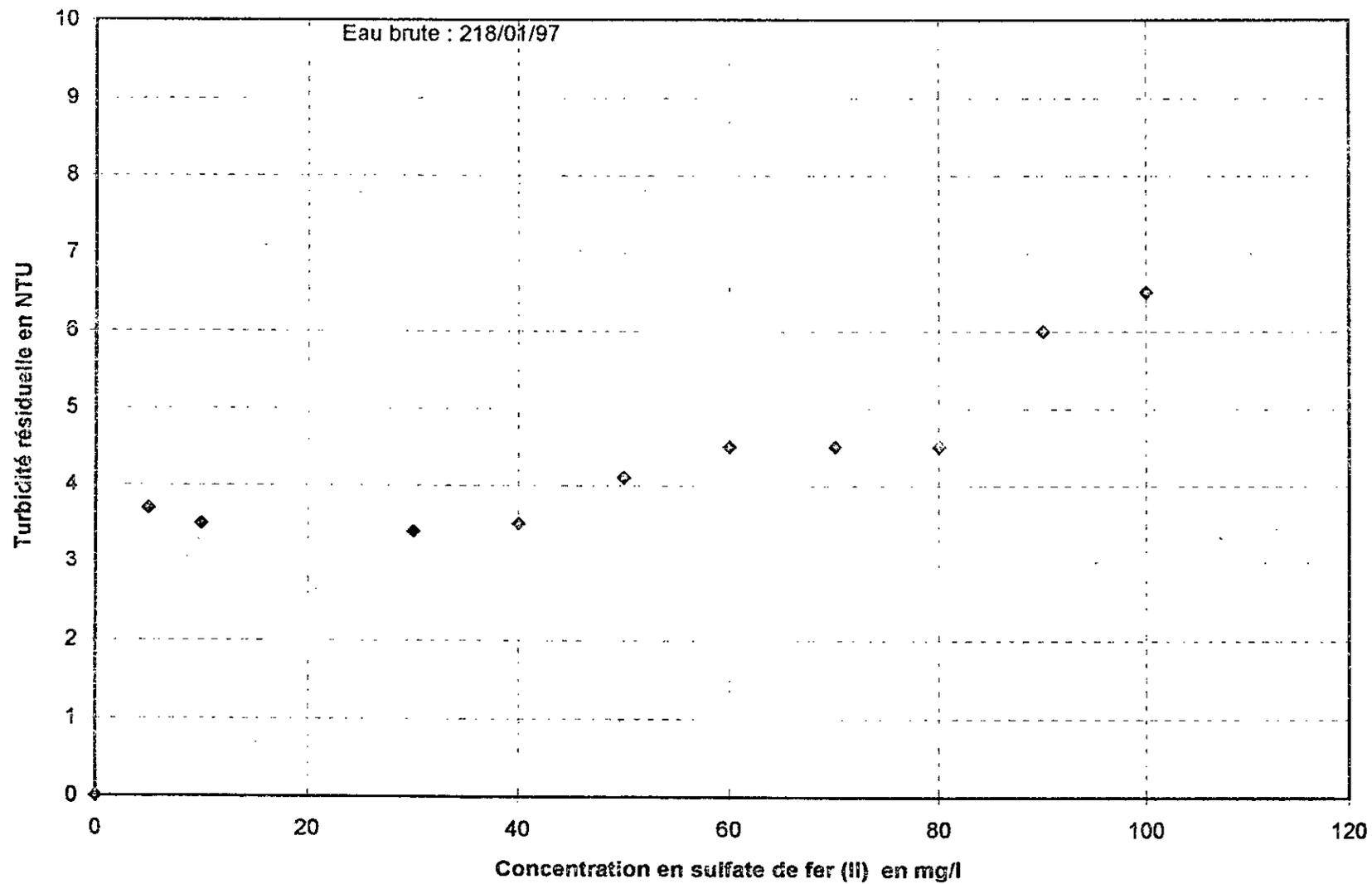
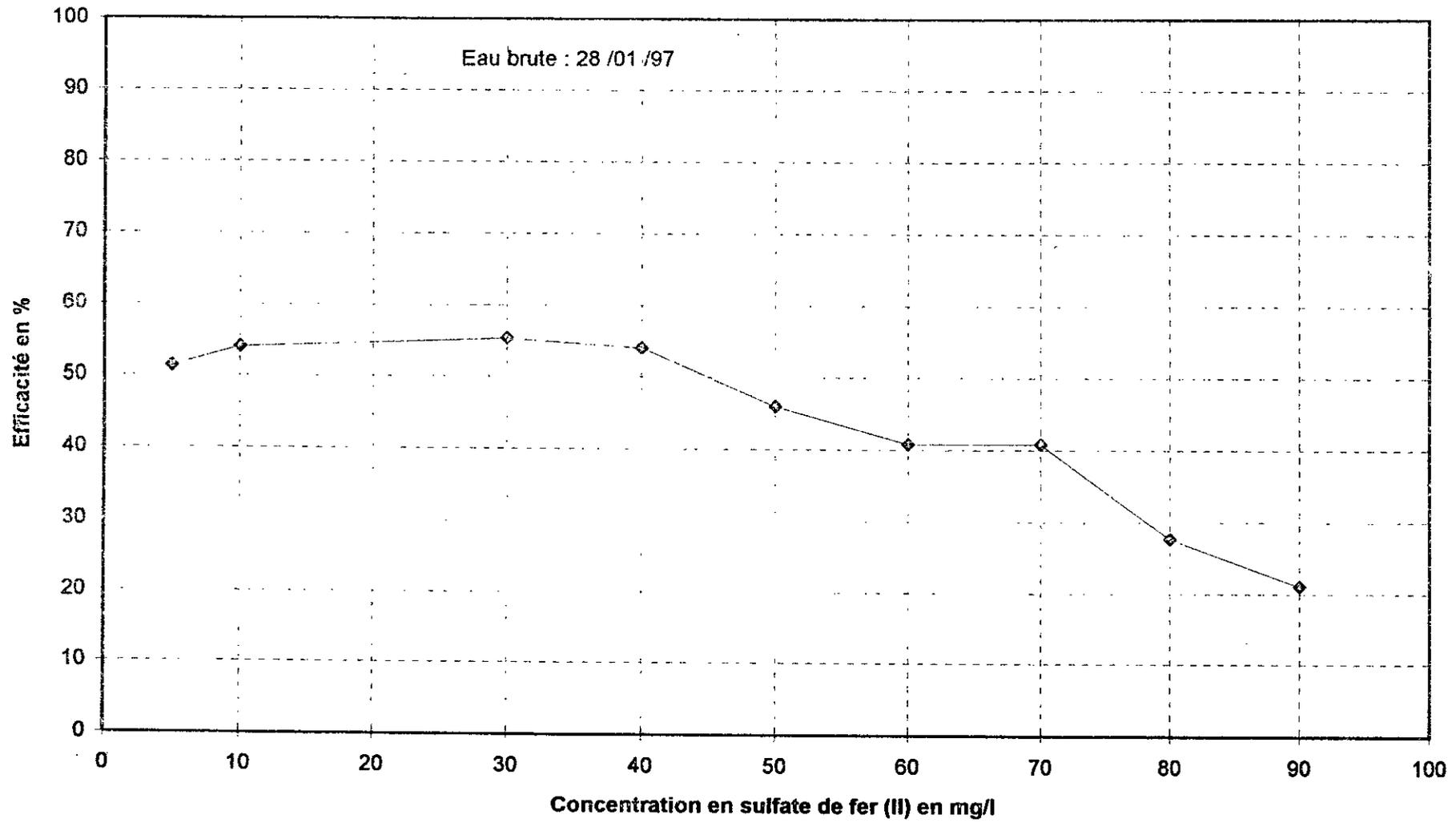
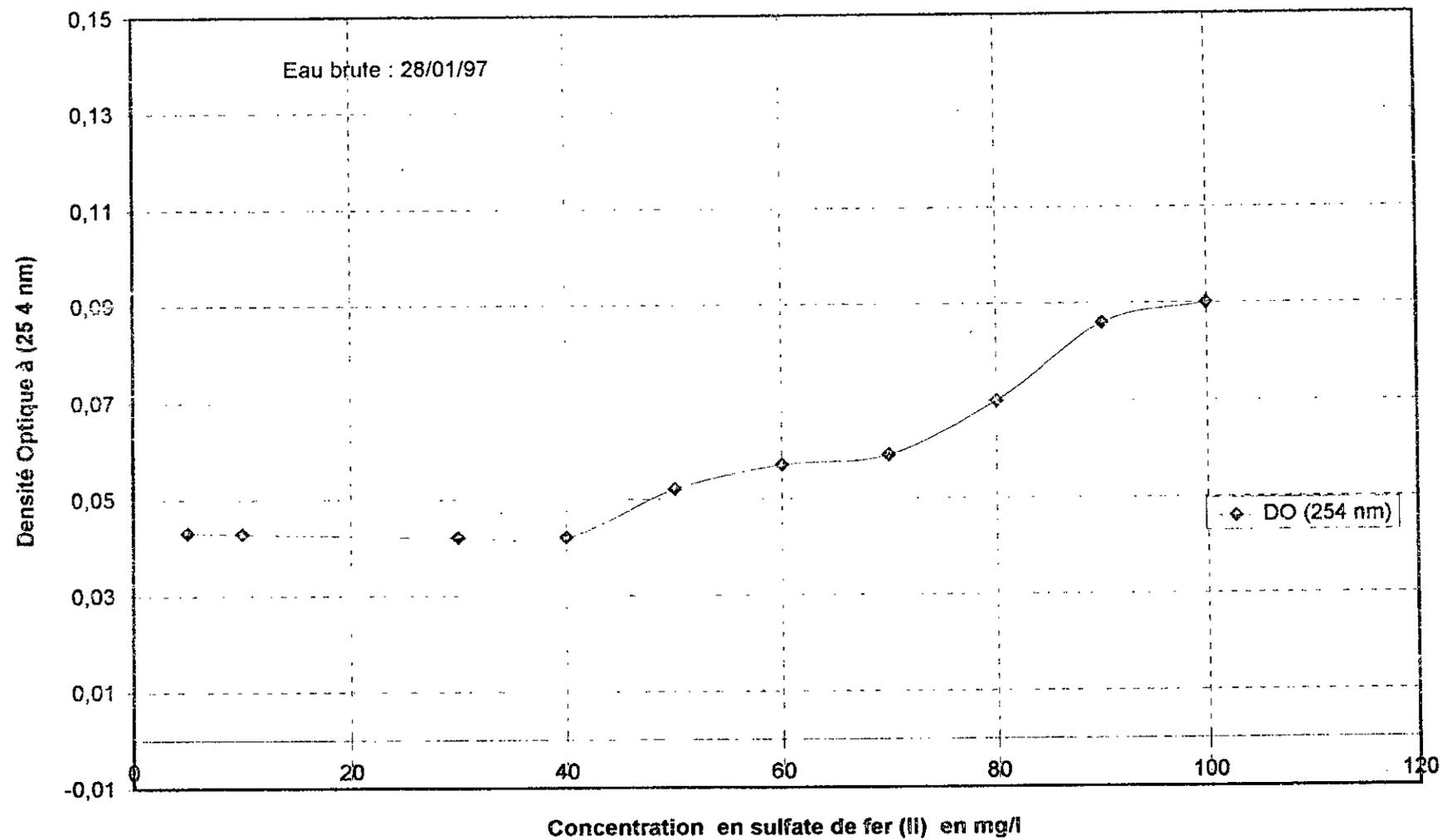


Fig VIII -2-5 : Evolution de la turbidité résiduelle en fonction du concentration en sulfate de fer (II)



**Fig, VIII -2-6 : Evolution de l'efficacité en fonction de la concentration en sulfate de fer (II)**



Fig, VIII -2-7 : Evolution de la densité optique en fonction de la concentration en sulfate de fer (II)

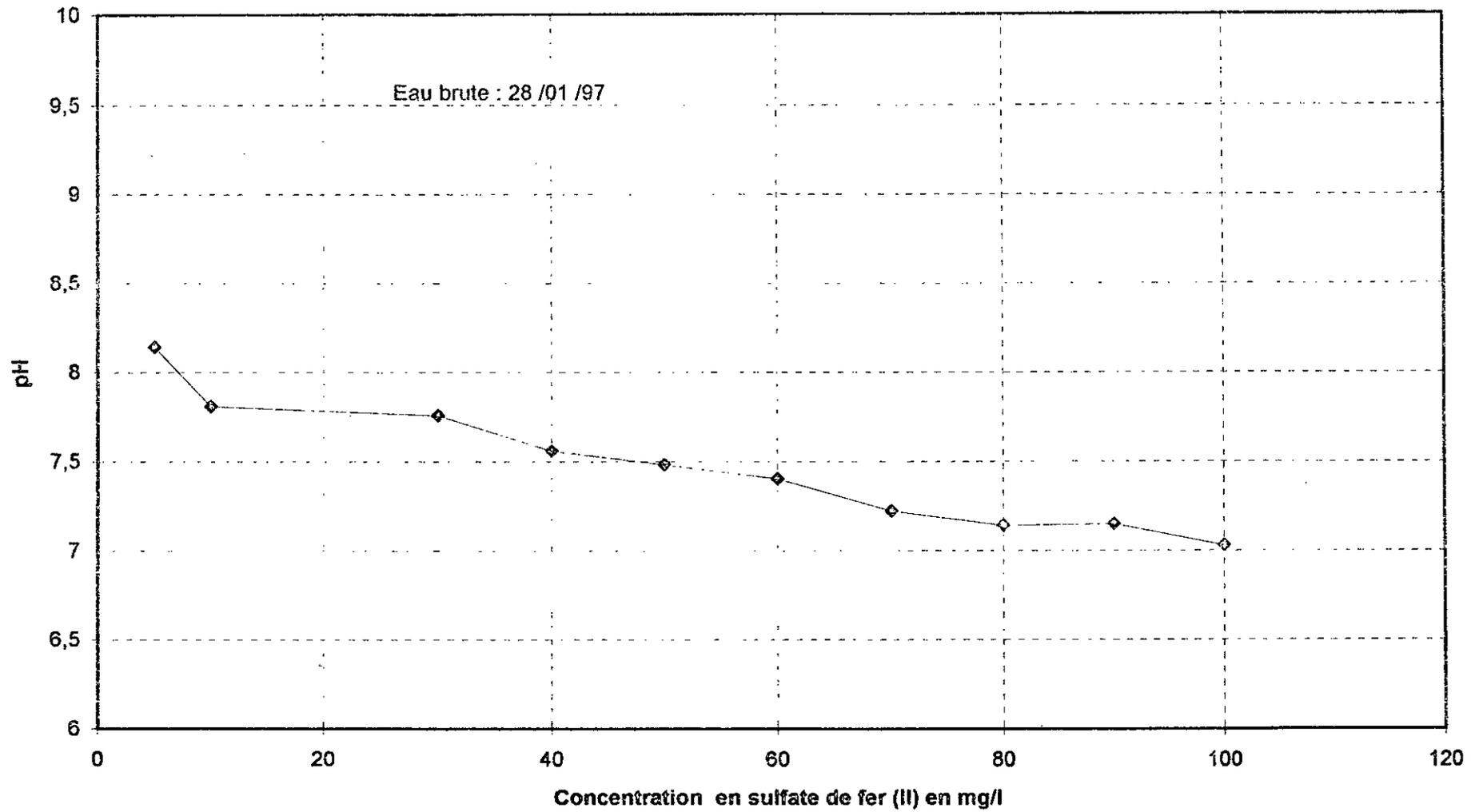


Fig VIII -2-8 : Evolution du pH en fonction de la concentration en sulfate de fer (II)

C - Essai de coagulation avec le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ) :

Le tableau suivant (Tableau VIII - 2 - 3) regroupe les caractéristiques de l'eau brute de KADDARA qui a été prélevé le 21/05/1997 après traitement de coagulation avec le sulfate d'aluminium .

C : Concentration mg/l du coagulant

E : L'efficacité (%)

Turbidité initiale = 12 NTU

pH initial = 8,43

DO = Densité optique à une longueur d'onde = 254 nm,  $\text{DO}_{\text{initiale}} = 0,064$

Tableau (VIII - 2 - 3) : Caractéristiques de l'eau brute de KADDARA après traitement de coagulation avec le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ) . Prélèvement le 21 / 05 / 1997

C (mg/l)	DO (254 nm)	Turbidité résiduelle (NTU)	E (%)	pH
2	0,078	1,20	90,00	8,15
4	0,060	0,70	94,16	7,92
6	0,046	0,50	95,83	7,66
8	0,052	0,48	96,00	7,54
10	0,057	0,35	96,16	7,34
20	0,057	0,50	97,08	7,15
40	0,056	0,60	95,83	6,63
60	0,064	0,60	95,00	6,25
80	0,066	1,00	91,66	5,70

La concentration optimale de coagulant donnant la meilleure efficacité est :  
 $\text{C}_{\text{op}} = 20 \text{ mg/l}$  de ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ) correspondant aux valeurs suivantes :

Turbidité résiduelle = 0,35 NTU

Efficacité = 97,08 %

pH = 7,15

DO = 0,054

Les figure (VIII - 2 - 9), (VIII - 2 - 10) , (VIII - 2 - 11), et (VIII - 2 - 12) suivantes représente respectivement l'évolution de la turbidité résiduelle, de l'efficacité, de la densité optique et de pH en fonction de la concentration de coagulant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  .

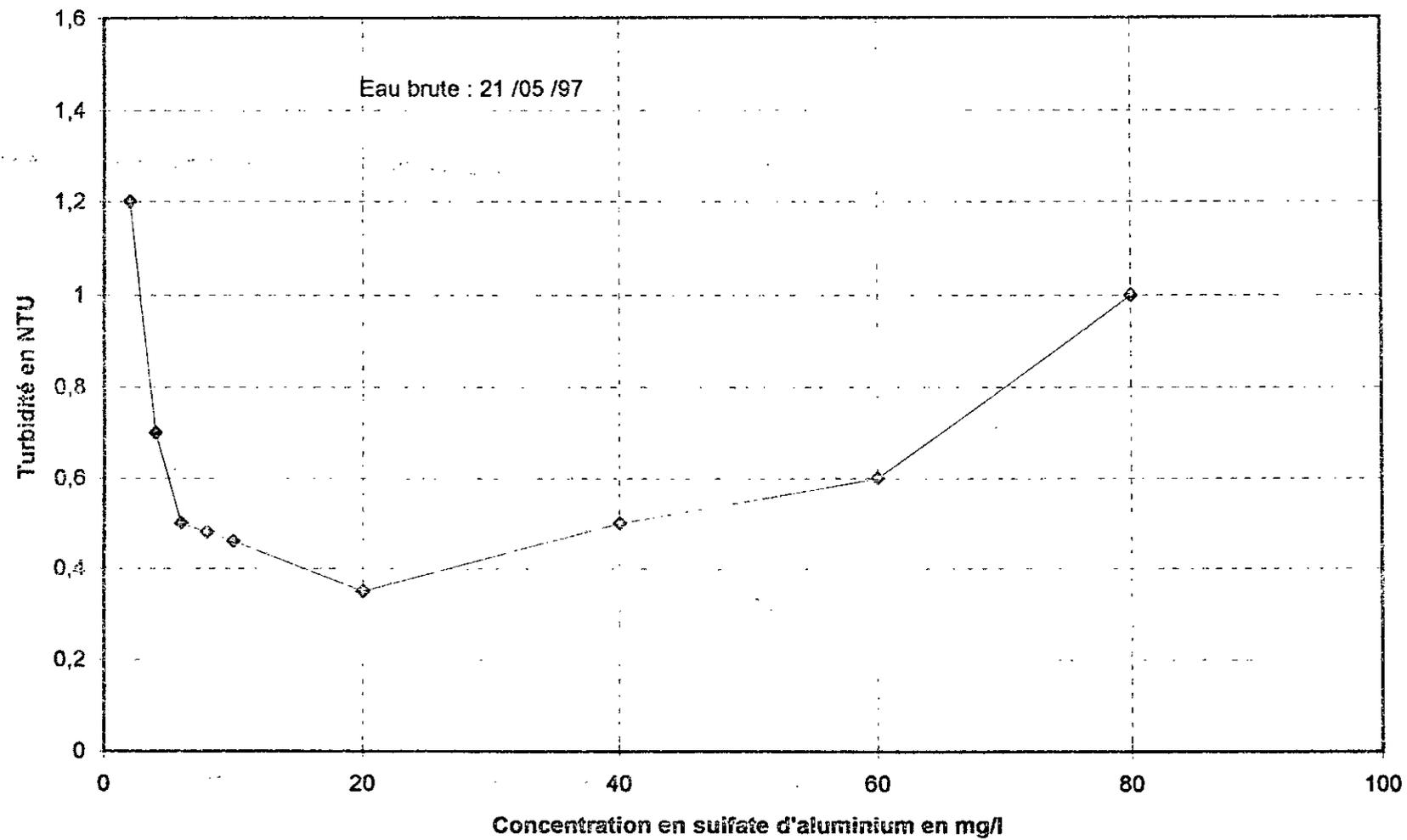


Fig VIII-2-9 Evolution de la turbidité résiduelle en fonction de la Concentration en sulfate d'aluminium

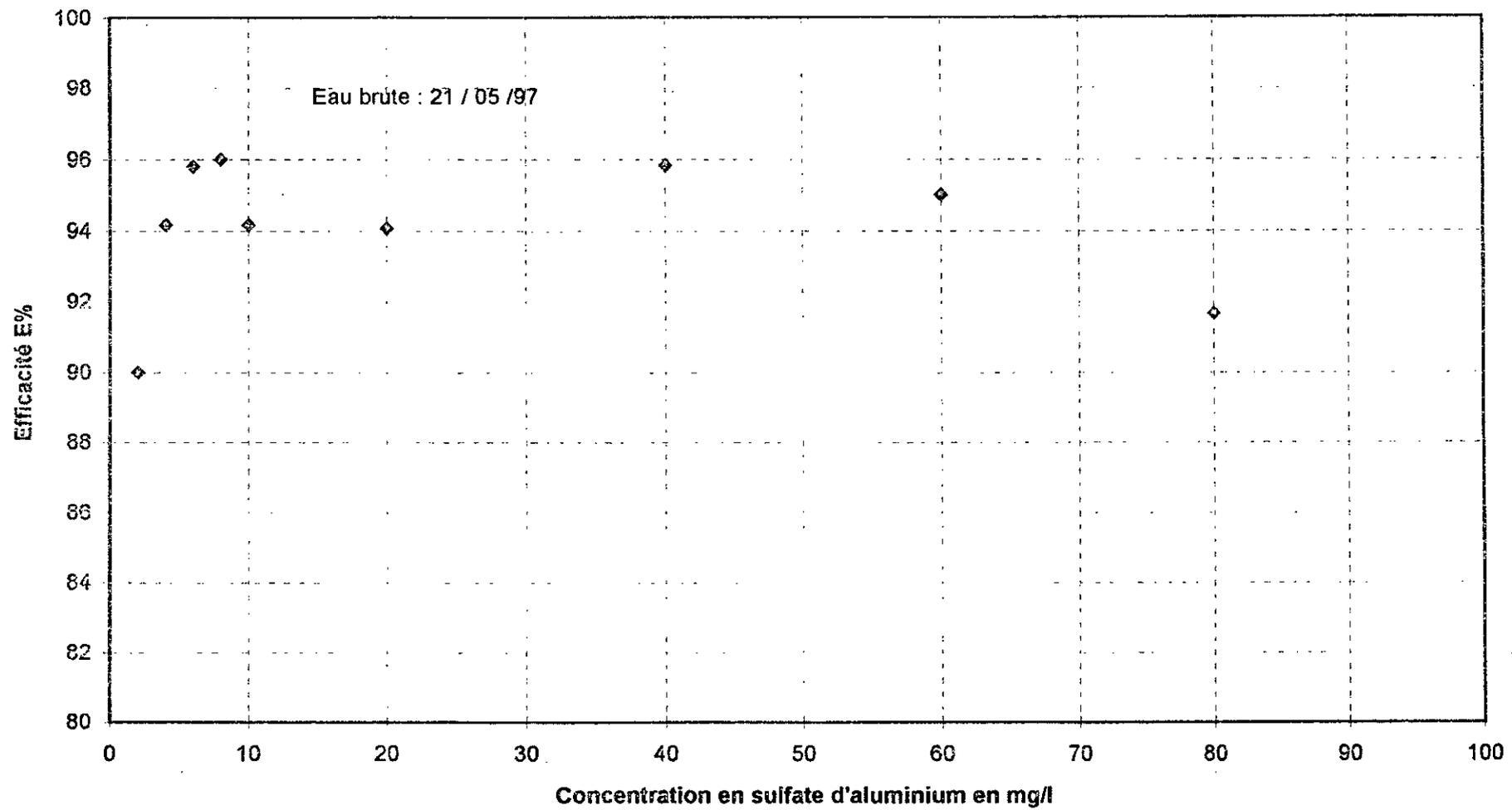


Fig VIII -2-10 : Evolution de l'efficacité en fonction de la Concentration en sulfate d'aluminium

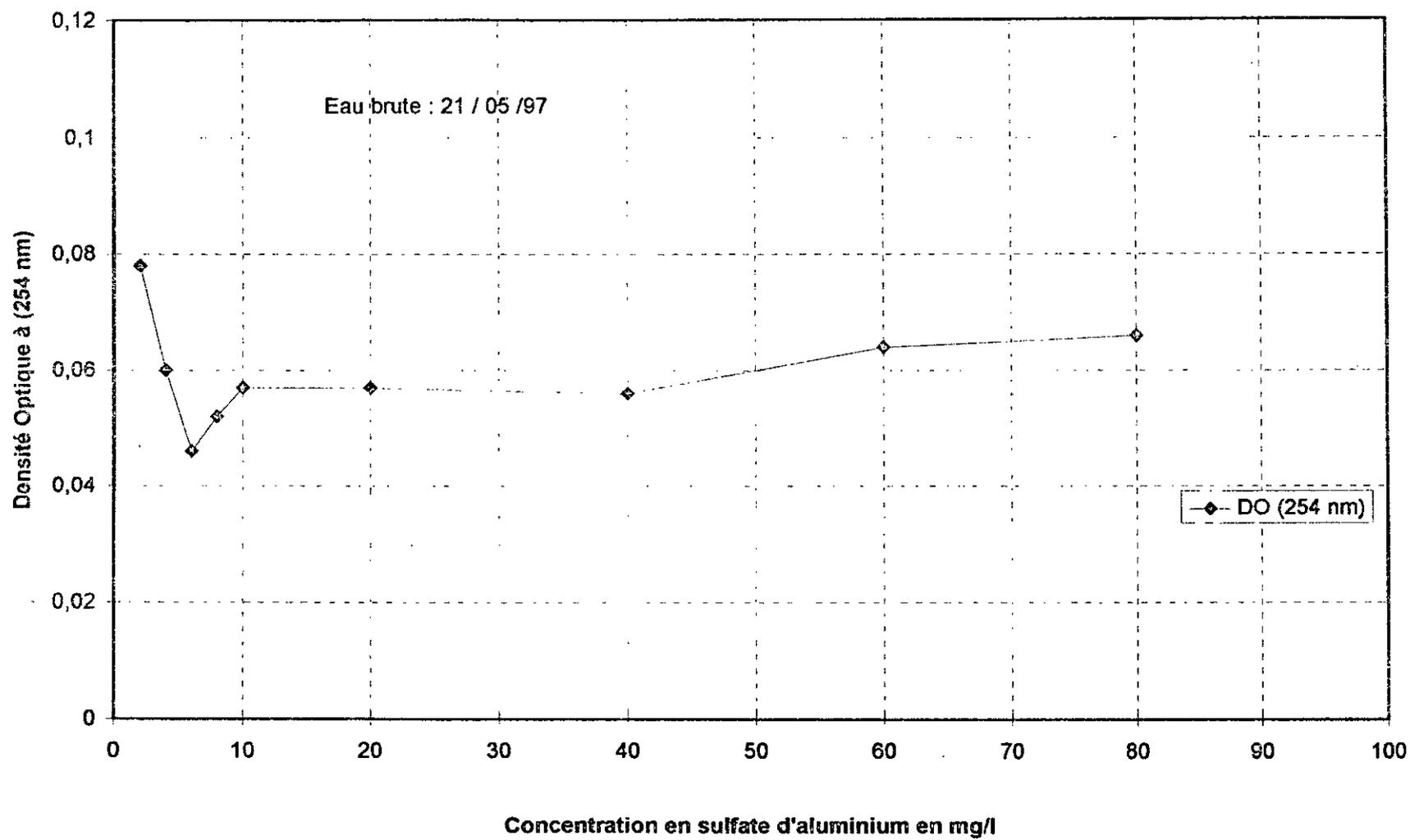


Fig VIII -2-11: Evolution de la Densité optique en fonction de la Concentration en sulfate d'aluminium

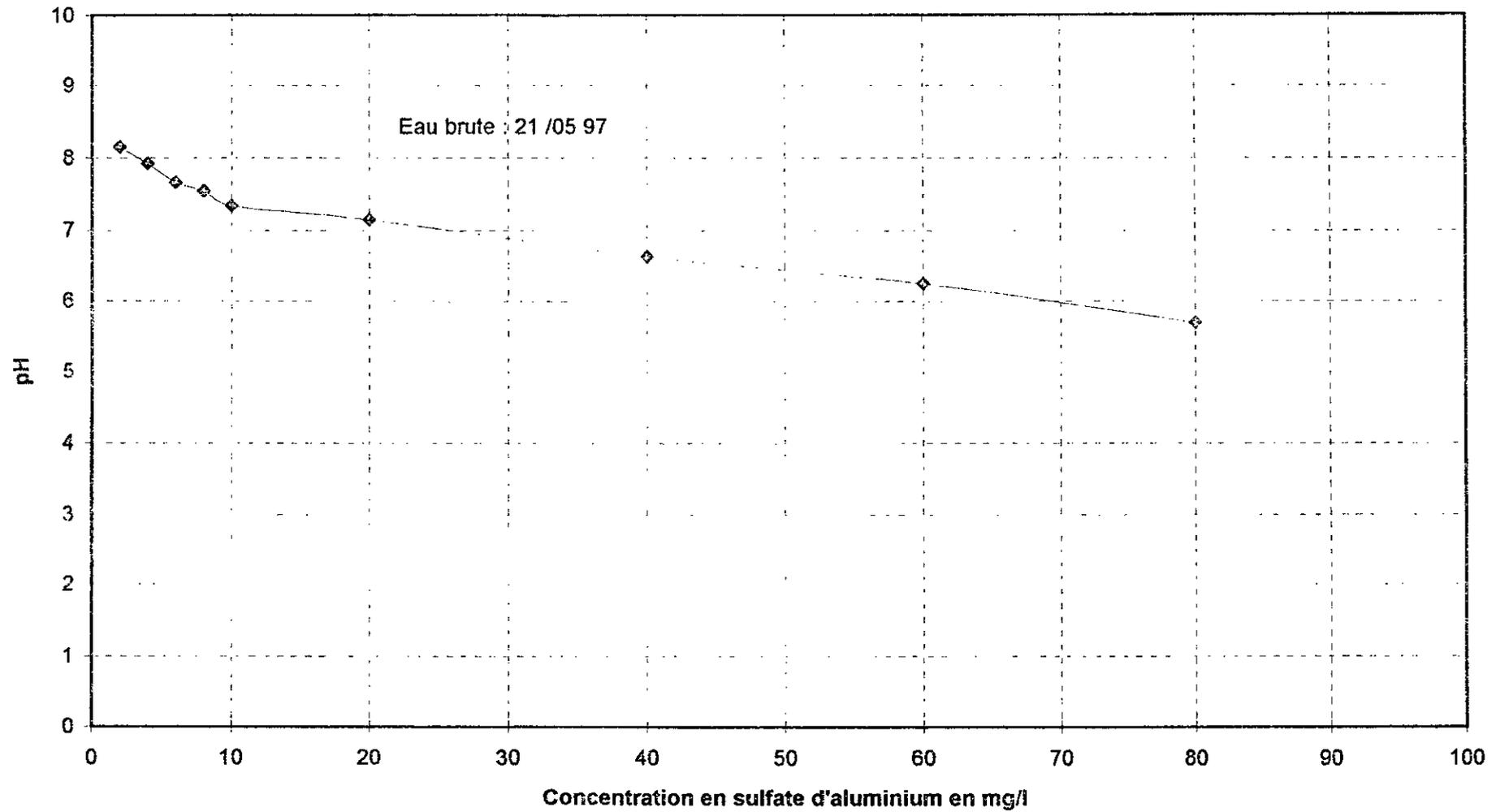


Fig VIII - 2-12 : Evolution du pH en fonction de la Concentration en sulfate d'aluminium

## 2 - 2 - Détermination des couples optimaux : Coagulant - flocculant :

A partir des concentrations déterminés précédemment, une série d'essai (Jar - test) avec le flocculant a été réalisé .

### A - Essai de coagulation - flocculation avec le sulfate d'aluminium :

Concentration optimale  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O = 4 \text{ mg/l}$  pour le prélèvement de 28 /01/97

C1 = Concentration de flocculant (mg/l)

Essai de coagulation - flocculation avec le couple coagulant - flocculant  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  - YSA - FLOC 632 .

Le tableau suivant (VIII - 2 - 4 ) regroupe les caractéristiques de l'eau brute de KADDARA prélevé le 28 / 01 / 1997 après coagulation - flocculation avec le couple  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  - YSA - FLOC 632.

*Tableau (VII - 2 - 4) : Caractéristiques de l'eau brute de KADDARA après traitement de coagulation - flocculation avec le couple  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  - YSA - FLOC 632 .  
Prélevé le 28 /01 /1997*

C1(mg/l)	DO (254 nm)	Turbidité résiduelle (NTU )	E (%)	pH
0,05	0,043	1,35	82,24	8,35
0,10	0,043	1,30	82,89	8,35
0,15	0,042	1,28	83,16	8,35
0,20	0,045	1,48	80,52	8,35
0,25	0,045	1,40	81,58	8,35
0,30	0,044	1,52	80,00	8,32
0,35	0,044	1,60	78,95	8,32
0,40	0,044	1,50	80,26	8,30

La concentration optimale de flocculant donnant la meilleure efficacité est :  
C1op = 0,15 mg/l de flocculant correspondant aux valeurs suivantes :

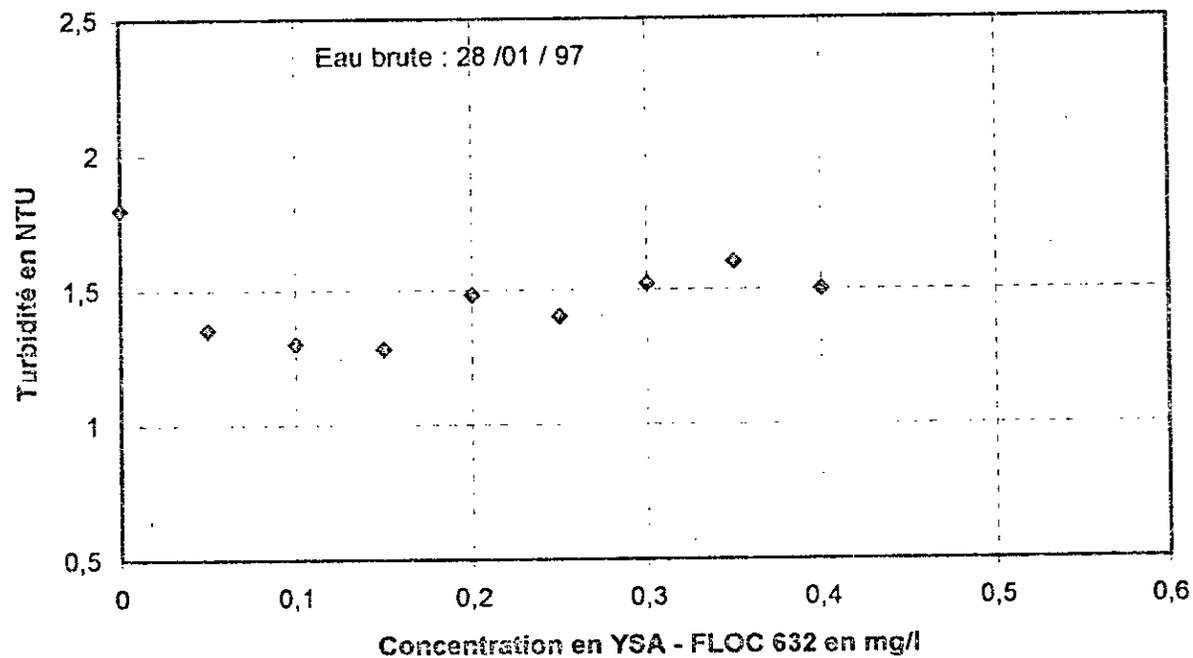
Turbidité résiduelle = 1,284 NTU

Efficacité = 83,16 %

pH = 8,35

DO = 0,042

Les figures (VIII - 2 - 13) , (VIII - 2 - 14) et (VIII - 2 - 15) représentent respectivement l'évolution de la turbidité résiduelle, de l'efficacité et de pH en fonction de la concentration du flocculant pour la concentration optimale de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  .



**Figure VIII - 2 - 13 : Evolution de la turbidité résiduelle en fonction de la concentration du couple de sulfate d'aluminium YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium**

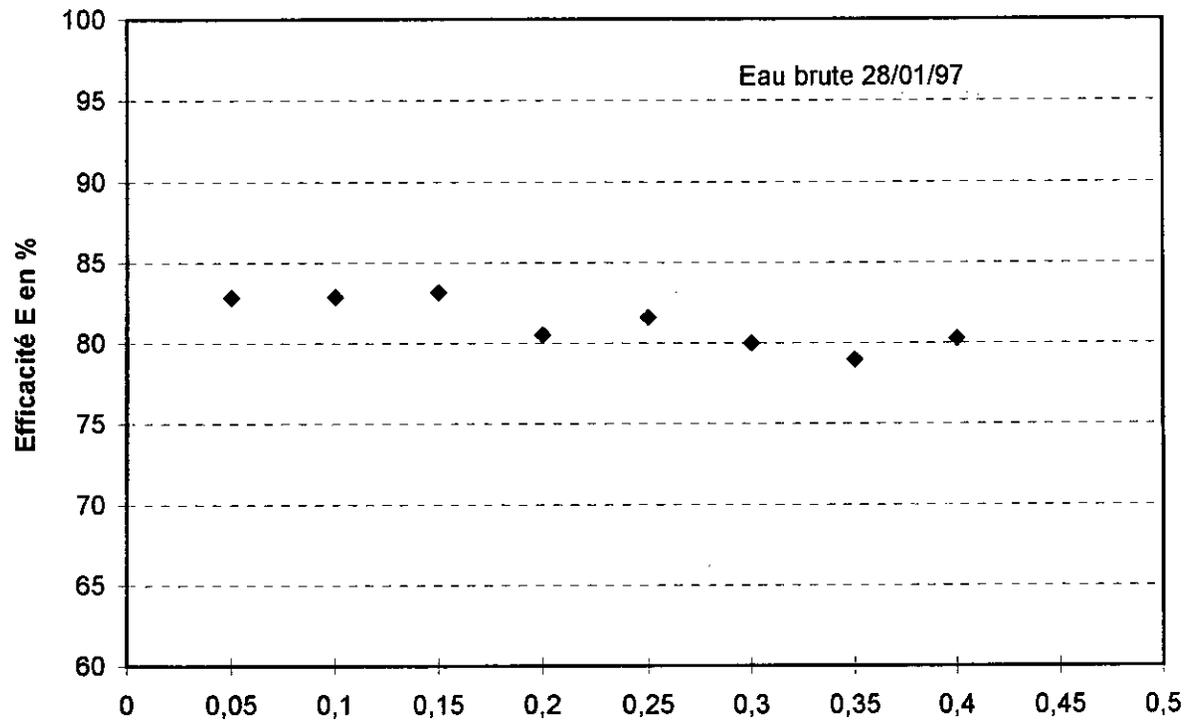
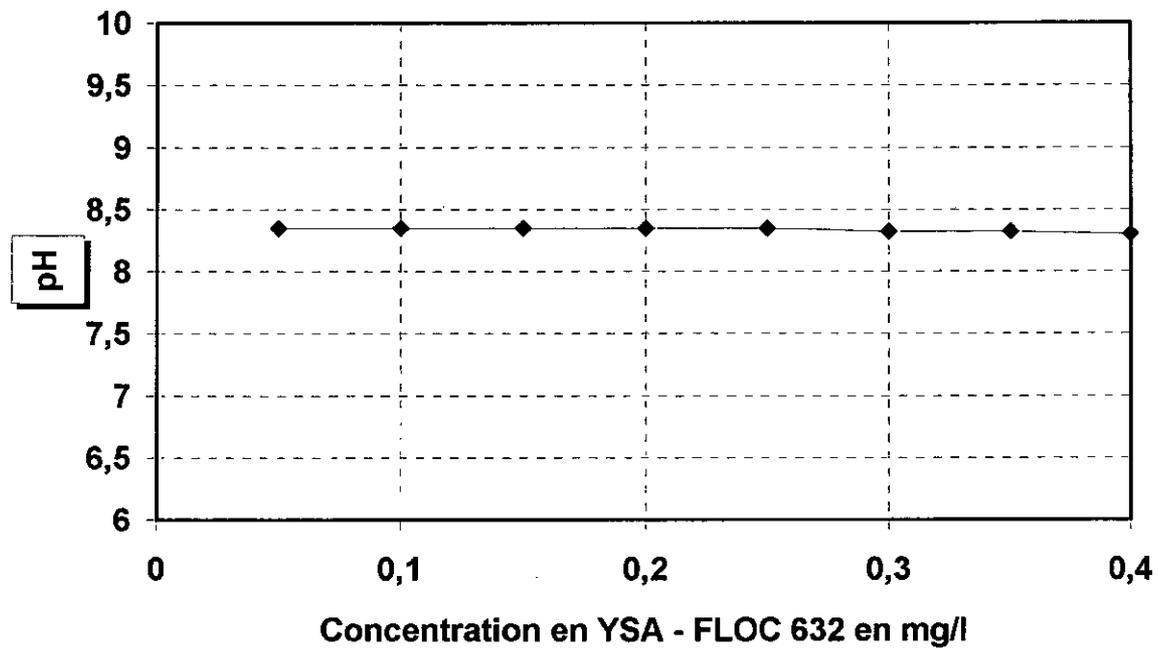


Figure VIII - 2 - 14. Evolution de l'efficacité en fonction de la concentration du couple de sulfate d'aluminium YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium



**Figure VIII - 2 - 15 : Evolution du pH en fonction de la concentration du couple de sulfate d'aluminium YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium**

## **B - Essai de coagulation avec le couple coagulant - flocculant (Fe (SO<sub>4</sub>)<sub>7</sub> H<sub>2</sub>O :**

Le tableau suivant (Tableau VIII - 2 - 5) regroupe les caractéristiques de l'eau brute de KADDARA qui a été prélevé le 28/01/1997 après traitement de coagulation - flocculation avec le couple (Fe (SO<sub>4</sub>)<sub>7</sub> H<sub>2</sub>O - YSA - FLOC 632).

*Tableau (VII - 2 - 5) : Caractéristiques de l'eau brute de KADDARA après traitement de coagulation - flocculation avec le couple Fe (SO<sub>4</sub>)<sub>7</sub> H<sub>2</sub>O - YSA - FLOC 632.  
Prélevé le 28 /01 /1997.*

C1(mg/l)	DO(254 nm)	Turbidité résiduelle (NTU)	E (%)	pH
0,05	0,040	1,50	80,26	8,4
0,10	0,042	1,50	80,26	8,4
0,15	0,044	1,60	78,94	8,3
0,20	0,045	1,80	76,31	8,3
0,25	0,045	1,90	75,00	8,3
0,30	0,052	2,52	66,84	8,2
0,35	0,052	2,60	65,78	8,1
0,40	0,051	7,00	64,47	8,1

La concentration optimale de flocculant donnant la meilleure efficacité est :  
C1op = 0,05 mg/l de flocculant correspondant aux valeurs suivantes :

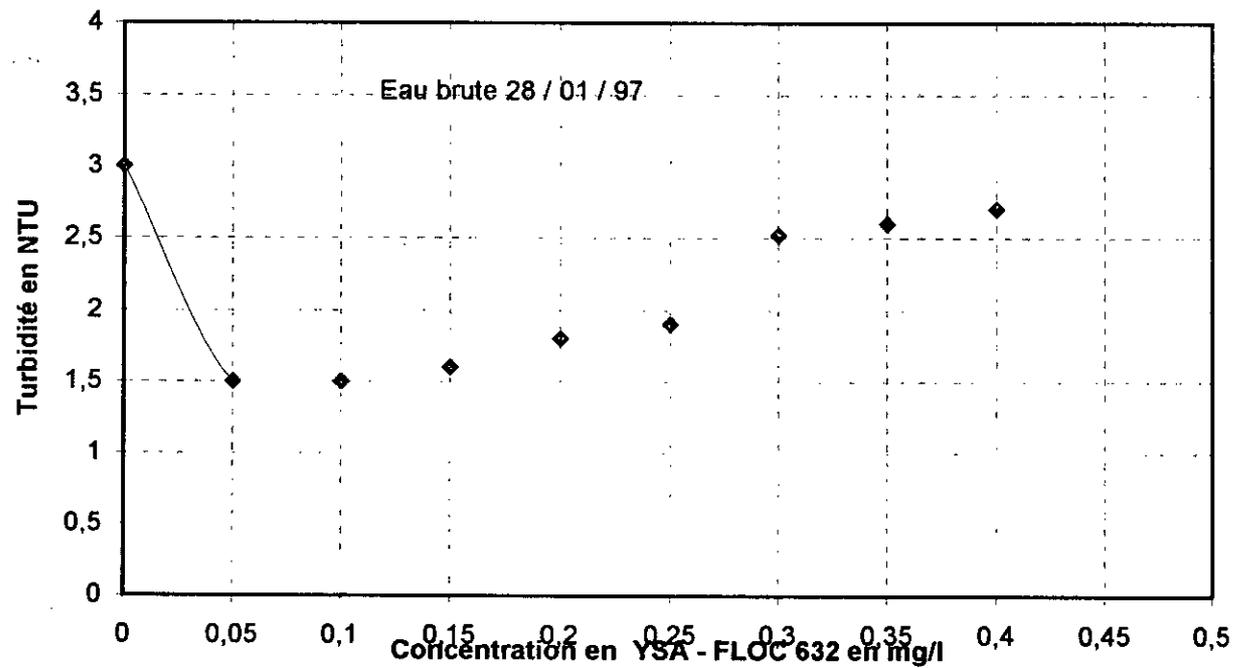
Turbidité résiduelle = 1,5 NTU

Efficacité = 80,26 %

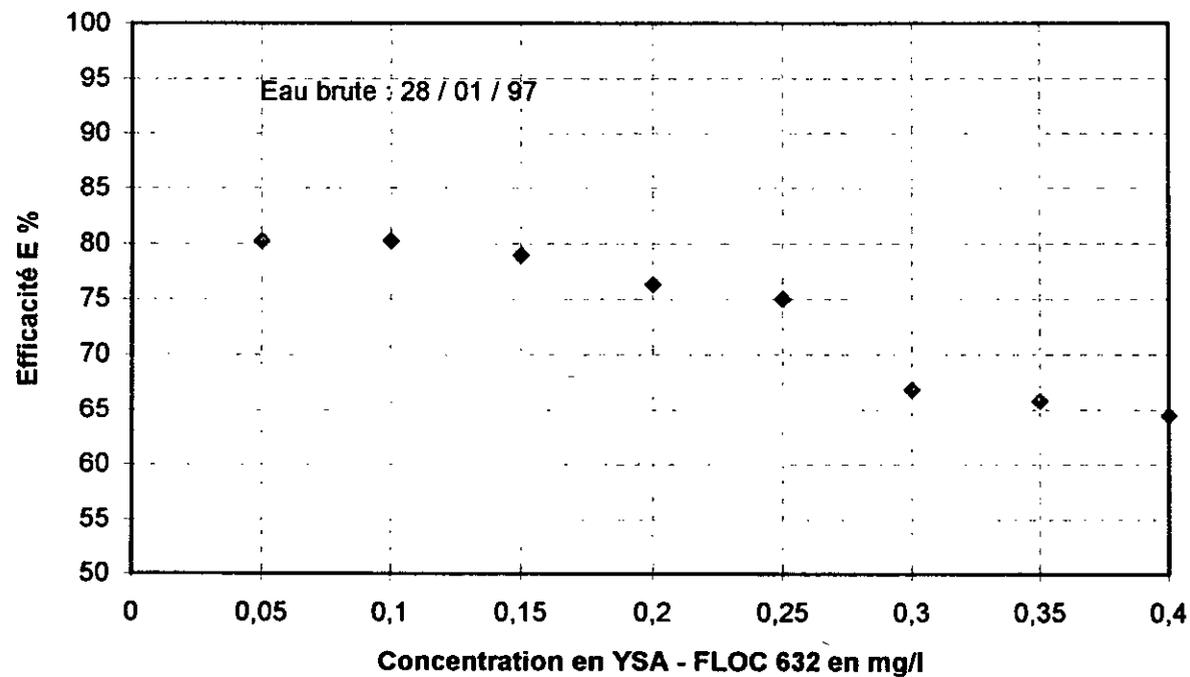
pH = 8,4

DO = 0,04

Les figures (VIII - 2 - 16) , (VIII - 2 - 17), (VIII - 2 - 18) et (VIII - 2 - 19) représentent respectivement l'évolution de la turbidité résiduelle, de l'efficacité, de la densité optique et de pH en fonction de la concentration du flocculant pour la concentration optimale de Fe (SO<sub>4</sub>)<sub>7</sub> H<sub>2</sub>O.



**Figure VIII - 2 -16 : Evolution de la Turbidité résiduelle en fonction de la concentration du couple de sulfate de fer (II) - YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate de fer (II) ,**



**Figure VIII - 2 - 17 : Evolution de l'efficacité en fonction de la concentration du couple de sulfate de fer (II) YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate de fer (II)**

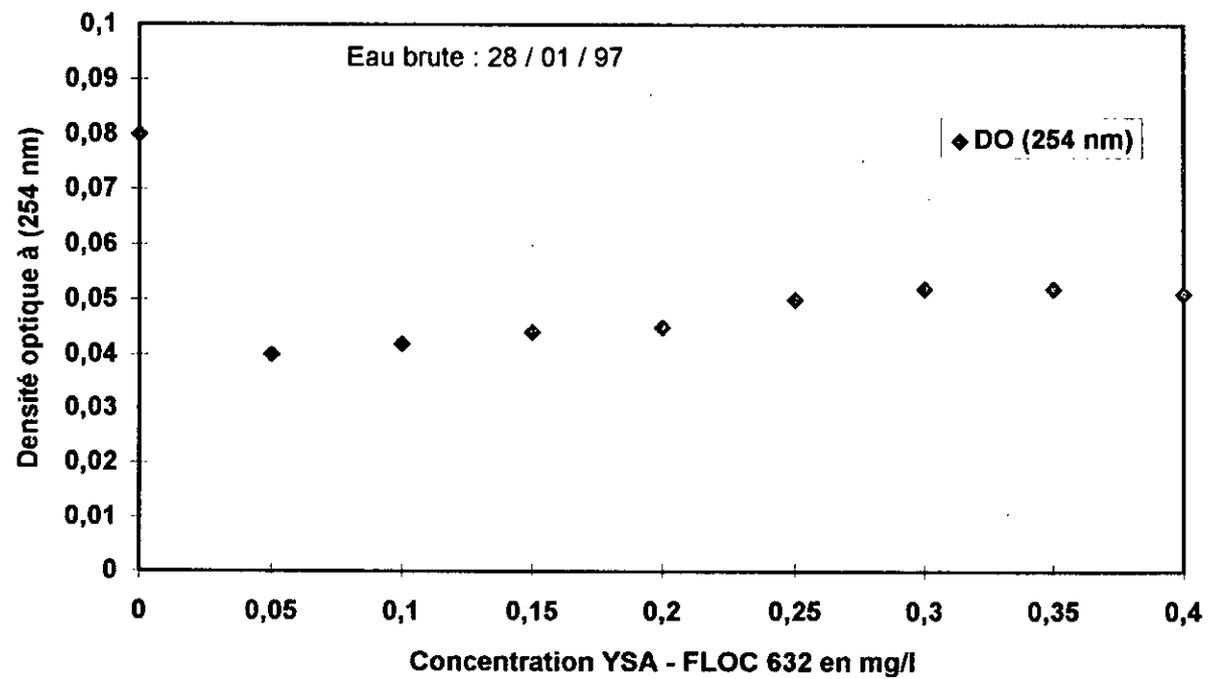
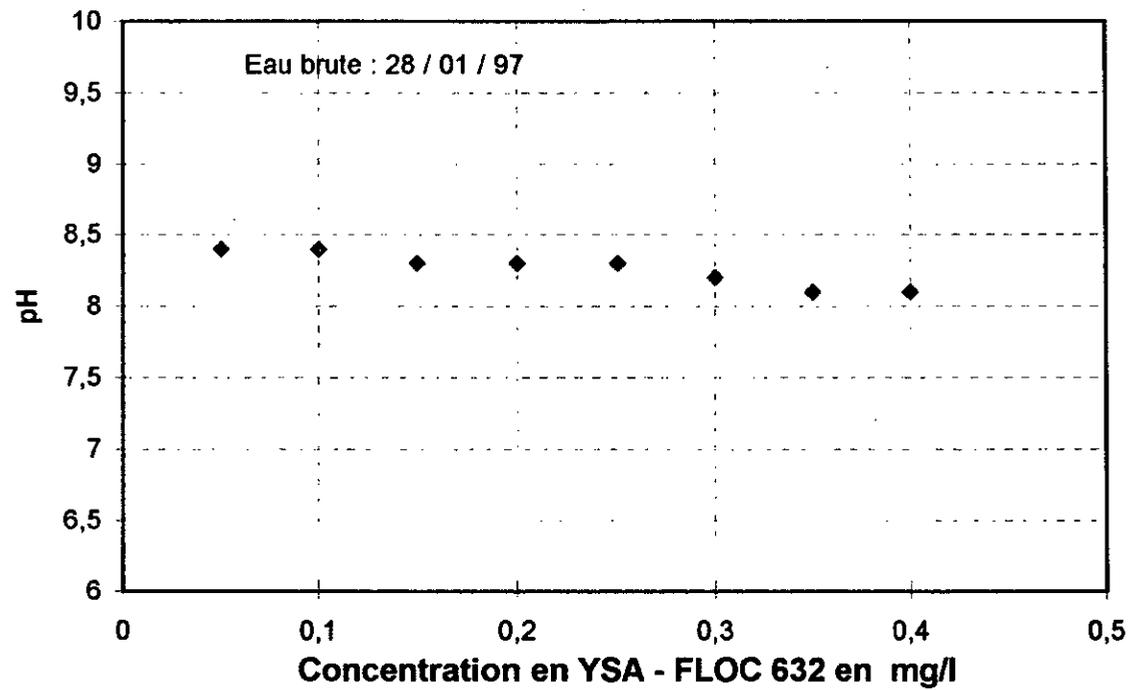


Figure VIII - 2 - 18 : Evolution de la densité optique en fonction de la concentration du couple de sulfate de fer (II) YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate de fer (II)



**Figure VIII - 2 - 19 : Evolution du pH en fonction de la concentration du couple de sulfate de fer (II) YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate de fer (II)**

### C - Essai de coagulation - floculation avec le sulfate d'aluminium :

Concentration optimale  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  = 20 mg/l pour le prélèvement de 21 /05/97

C1 = Concentration de floculant (mg/l)

Essai de coagulation - floculation avec le couple coagulant - floculant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - YSA - FLOC 632 .

Le tableau suivant (VIII - 2 - 6 ) regroupe les caractéristiques de l'eau brute de KADDARA prélevé le 21 / 05 / 1997 après coagulation - floculation avec le couple  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - floculant .

*Tableau (VII - 2 - 6) : Caractéristiques de l'eau brute de KADDARA après traitement de coagulation - floculation avec le couple  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - YSA - FLOC 632. Prélevé le 21 /05/1997.*

C1(mg/l)	DO (254 nm)	Turbidité résiduelle (NTU)	E (%)	pH
0,05	0,054	0,35	97,00	7,46
0,10	0,044	0,30	97,50	7,45
0,15	0,046	0,36	97,00	7,47
0,20	0,060	0,37	96,90	7,47
0,25	0,061	0,38	96,80	7,50
0,30	0,061	0,90	96,75	7,42

La concentration optimale de floculant donnant la meilleure efficacité est :  
C1op = 0,1 mg/l de floculant correspondant aux valeurs suivantes :

Turbidité résiduelle = 0,3 NTU

Efficacité = 97,5 %

pH = 7,45

Do = 0,044

Les figures (VIII - 2 - 20) , (VIII - 2 - 21) et (VIII - 2 - 22) représentent respectivement l'évolution de la turbidité résiduelle, de l'efficacité et la densité optique en fonction de la concentration du floculant pour la concentration optimale de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  .

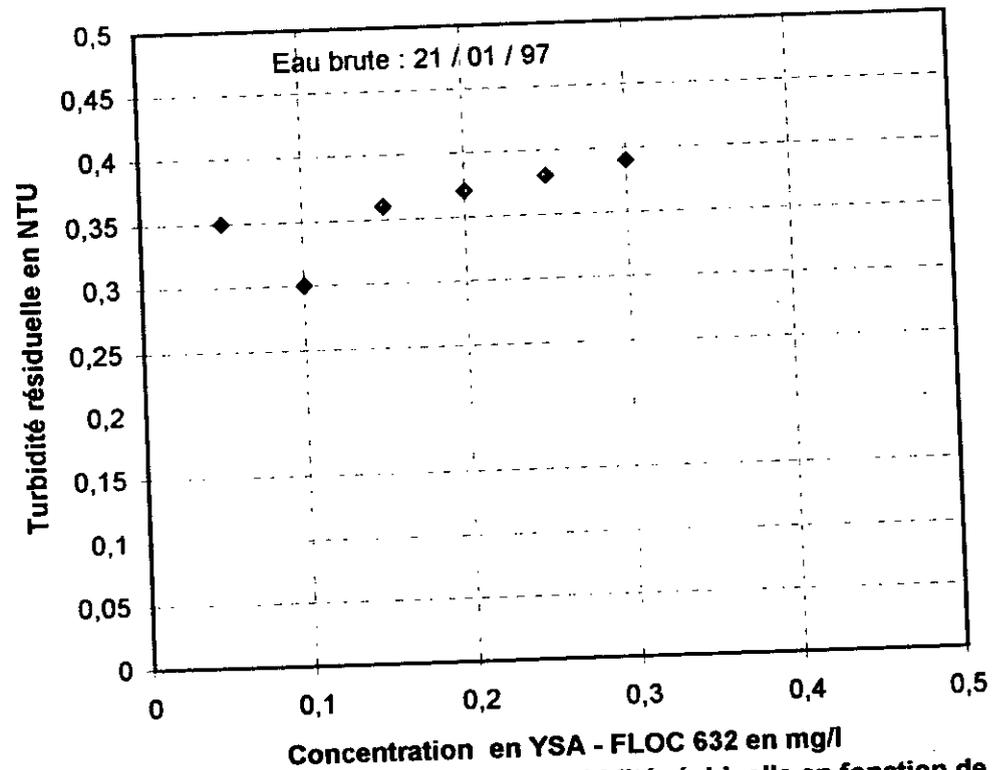
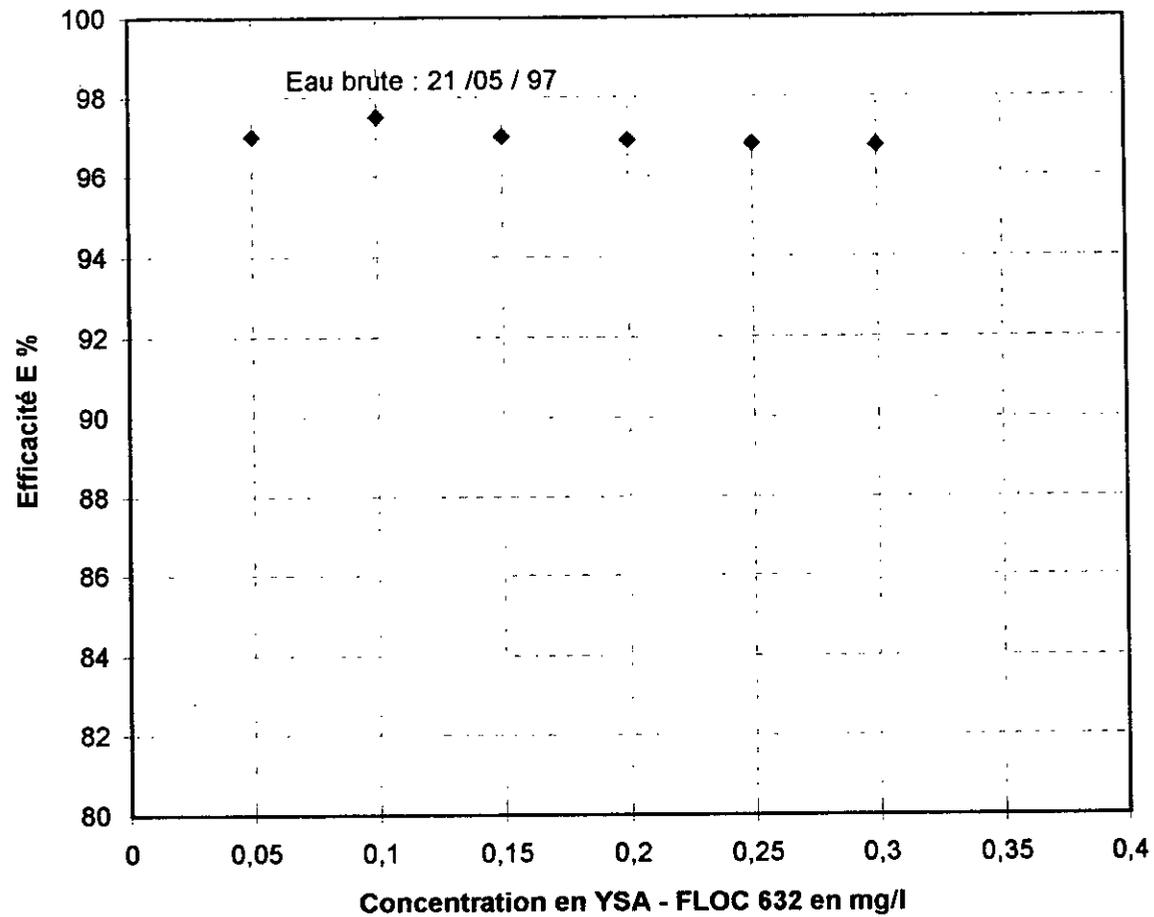
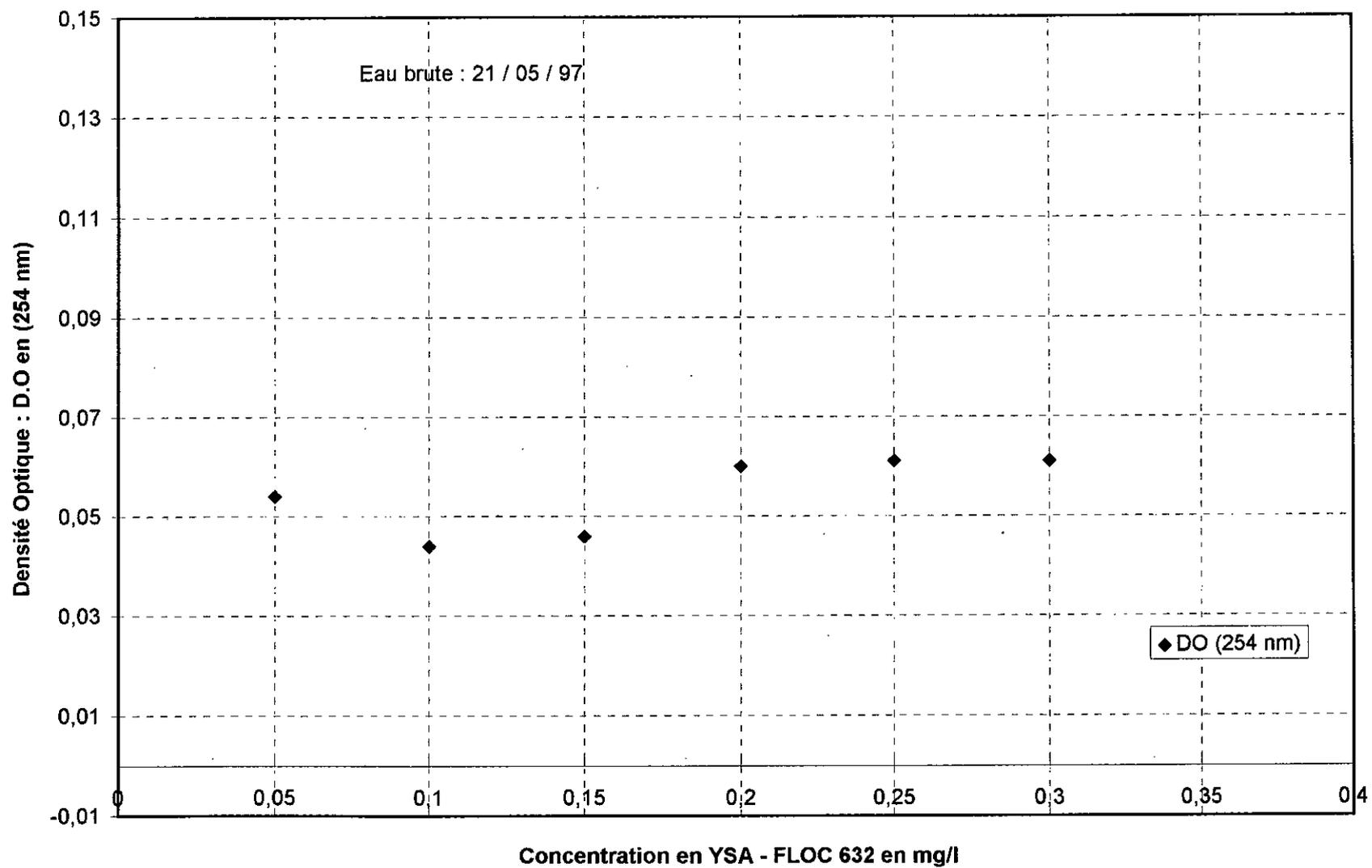


Fig VIII - 2 - 20 : Evolution de la turbidité résiduelle en fonction de la concentration du couple de sulfate d'aluminium YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium



**FigureVIII - 2 - 21 : Evolution de l'efficacité en fonction de la concentration du couple de sulfate d'aluminium YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium**



**Fig. VIII - 2 - 22 : Evolution de la Densité Optique en fonction de la concentration du couple de sulfate d'aluminium YSA-FLOC 632 pour la concentration optimale de sulfate d'aluminium**

## 2 - 3 - Interprétation des résultats expérimentales :

### 1 - La turbidité :

L'allure des courbes représentant l'évolution de la turbidité résiduelle en fonction du dosage de coagulant (VIII - 2 - 1), (VIII - 2 - 5), (VIII - 2 - 9) et celle en fonction du dosage de flocculant pour un dosage optimal de coagulant (VIII - 2 - 13), (VIII - 2 - 16), (VIII - 2 - 20) fait apparaître trois zones :

Une première zone décroissante, où la turbidité résiduelle diminue proportionnellement à la dose croissante de réactif (coagulant, ou coagulant - flocculant) correspondant à une déstabilisation des particules colloïdales

Une deuxième zone creuse représentant l'intervalle de dosage où la turbidité résiduelle est minimale, donnant la dose optimale de coagulant ou de coagulant - flocculant

Une troisième zone où la turbidité de l'eau commence à partir d'une dose limite (optimale) indiquant un surdosage de réactive menant à une inversion de charge et donc à déstabilisation colloïdale .

Cette dernière phase s'accroît avec l'augmentation de dosage de réactive

Les valeurs de la turbidité résiduelle résultant de l'utilisation des coagulants seuls sont sensiblement égales (1,8 NTU ), ( 3,4 NTU ) pour un même prélèvement de l'eau brute (28/01/1997) et ceux respectivement pour un dosage 4 mg/l de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  et 30 mg/l de  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  . Ce qui concerne le prélèvement de l'eau brute de KADDARA le 21 / 05 / 1997 une turbidité de 0,35 NTU pour un dosage de 20 mg/l de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  .

Ce qui démontre une meilleure efficacité de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  après l'utilisation de flocculant en combinaison, il apparaît que les couples coagulants - flocculants optimaux donnant la meilleure élimination de la turbidité et le couple sulfate d'aluminium  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - flocculant a des concentrations respectives de 4 et 0,15 mg/l (Turbidité résiduelle = 1,28 pour le prélèvement de 28/01/1997) et pour le prélèvement de 21/05/1997 le couple sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - flocculant ) a des concentrations respectives de 20 et 0,05 mg/l (Turbidité résiduelle = 1,5 NTU ) .

### 2 - Efficacité :

Le tracer de l'efficacité ( pourcentage de réduction de la turbidité) en fonction de la concentration de coagulant (VIII - 2 - 2), (VIII - 2 - 6) et (VIII - 2 - 10) a permis d'obtenir des couples ayant une allure en forme de cloche, passant par un maximum correspondant à la valeur optimale de coagulant non nécessaire à une bonne déstabilisation des particules présente dans l'eau (Efficacité = 76,31 % pour un dosage de 4 mg/l de sulfate d'aluminium, efficacité de 55,26 % pour un dosage de 30 mg/l de sulfate de fer (II) pour le prélèvement de 28/01/1997 et pour le

prélèvement de 21/05/1997 l'efficacité = 97,08 % pour un dosage de 20 mg/l de sulfate d'aluminium).

Le tracer de l'efficacité en fonction de la concentration de flocculant pour un dosage optimal de coagulant (VIII - 2 - 14), (VIII - 2 - 17) et ( VIII - 2 - 21) afin d'obtenir des courbes ayant une allure similaire de (VIII - 2 - 2), (VIII - 2 - 6) et (VIII - 2 - 10) .

Dans ce dernier cas l'efficacité maximal pour l'utilisation du couple coagulant flocculant  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - YSA - FLOC 632.

### 3 - pH :

Le pH représente une notion très importante dont la détermination de l'agressivité de l'eau, sa mesure régulière est essentielle à la bonne conduite d'une station de traitement des eaux .

Pour les eaux naturelles, si le pH est compris entre 6,5 et 8,5 les seules espèces alcalines présentent en quantité mesurable par titrage sont les bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$  .

Le pH de coagulation dépend de l'eau à traiter, ainsi pour chaque eau, il existe une place de pH pour laquelle la coagulation à lieu rapidement , plage qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et la composition de l'eau à traiter ,à titre d'exemple le ph est compris dans l'intervalle (6 à 8.5 ) pour les sulfates d'aluminium et est maintenu dans l'intervalle (6.5 à 8.5 ) de potabilité à l'usine de Boudouaou.

L'allure des courbes représentant l'évolution du pH en fonction des doses des coagulants ou de coagulant et flocculant sur l'eau brute de KEDDARA montrent :

Au concentration optimales, les valeurs du pH de l'eau sont :

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (4 mg/l )	→ pH = 8,33
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (4mg/l) + YSA -FLOC 632 (0,15 mg/l)	→ pH= 8,30
$\text{Fe} (\text{SO}_4)7 \text{H}_2\text{O}$ (30 mg/l)	→ pH = 7,76
$\text{Fe} (\text{SO}_4)7 \text{H}_2\text{O}$ (30 mg/l) + YSA -FLOC 632 (0,05 mg/l)	→ pH = 8,40
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (20 mg/l )	→ pH = 7,15
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (20mg/l) + YSA -FLOC 632 (0,10 mg/l)	→ pH= 7,45

Les valeurs du pH du coagulants ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ), ( $\text{Fe} (\text{SO}_4)7 \text{H}_2\text{O}$ ) et les couples coagulants - flocculants ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  + YSA -FLOC 632), ( $\text{Fe} (\text{SO}_4)7 \text{H}_2\text{O}$ + YSA -FLOC 632) sont comprises dans l'intervalle (6,5 à 8,5) de potabilité .

### 4 - La densité optique :

D'après l'allure des courbes Fig (VIII - 2 - 18 ) et Fig (VIII - 2 - 22) porte accroître que l'ajout des réactifs de coagulation - flocculations ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  + YSA -FLOC 632), ( $\text{Fe} (\text{SO}_4)7 \text{H}_2\text{O}$ + YSA -FLOC 632) ne donnent pas de bonne résultats pour la réduction des matières organiques contenu dans l'eau .

### VIII - 3 - Traitement de l'eau brute par l'ultrafiltration :

Eau du barrage de KADDARA ou caractéristiques suivantes :

turbidité initial =5.3 NTU  
PH = 8.6  
Do(254nm)=0.05  
conductivité =1.1ms cm

Les condition d'utilisation de la membrane ce laver lors de l'ultrafiltration :

Température = 24.5c  
 $\Delta P$  (pression d'utilisation) :  $\Delta P = 2\text{bar}$   
Vitesse = 0,74 m<sup>3</sup>/h

Le mode opératoire a consisté à relever à des intervalles de cinq puis de dix minutes, le temps d'empotage.

#### 3 - 1 - Détermination ou le perméabilité à l'eau de la membrane avant traitement :

Pour déterminer la perméabilité à l'eau de la membrane, il est nécessaire d'utiliser une eau de référence qui, dans notre cas, est de l'eau de robinet . On étudie l'évolution du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire en établissant en premier lien le régime discontinu en boucle ouverte . par la suite ,on fait varier la pression transmembranaire et pour chacune de ses valeurs, on note le temps  $t_e$  d'empotage ,ce nous permet de déterminer le flux de perméat suivant la relation :

$$J_v = L_p / \Delta P$$

A : surface active de la membrane : A=0,2 m<sup>2</sup>

Par ailleurs la pression transmembranaire  $\Delta P$  est donnée par l'équation :

$$\Delta P = (P_1 + P_2) / 2$$

P1 : pression à l'entrée du module (bar).  
P2 : pression à la sortie du module(bar).

La température à laquelle a été effectué l'essai est de 24.5c°, les résultats sont résumés dans le tableau (VIII - 3 - 1)

Tableau (VIII- 3 - 1) : Evolution du débit de perméat en fonction de la pression transmembranaire.

P1 (bar)	0,80	1,04	1,22	2,26	2,79	3,87
P2 (bar)	0,74	1,00	1,17	2,22	2,75	3,83
$\Delta P$ (bar)	0,77	1,02	1,195	2,24	2,77	3,85
te (s)	169,20	112,20	107,20	59,20	49,40	36,00
Jv (l/hm <sup>2</sup> )	106,38	160,42	167,90	304,05	364,00	499,99

La courbe obtenue par  $J_v = f(\Delta P)$ , représentée dans la figure (fig. VIII - 3 - 1), est une droite passant par l'origine des axes, et ainsi la variation du débit de perméat en fonction de la pression. Transmembranaire, lors de l'opération d'ultrafiltration de l'eau du robinet, est linéaire conformément à la relation de Darcy (V2) la perméabilité à l'eau de la membrane neuve, pour une température de 24,5c° est  $LP=140 \text{ l/h.m}^2 \cdot \text{bar}$ .

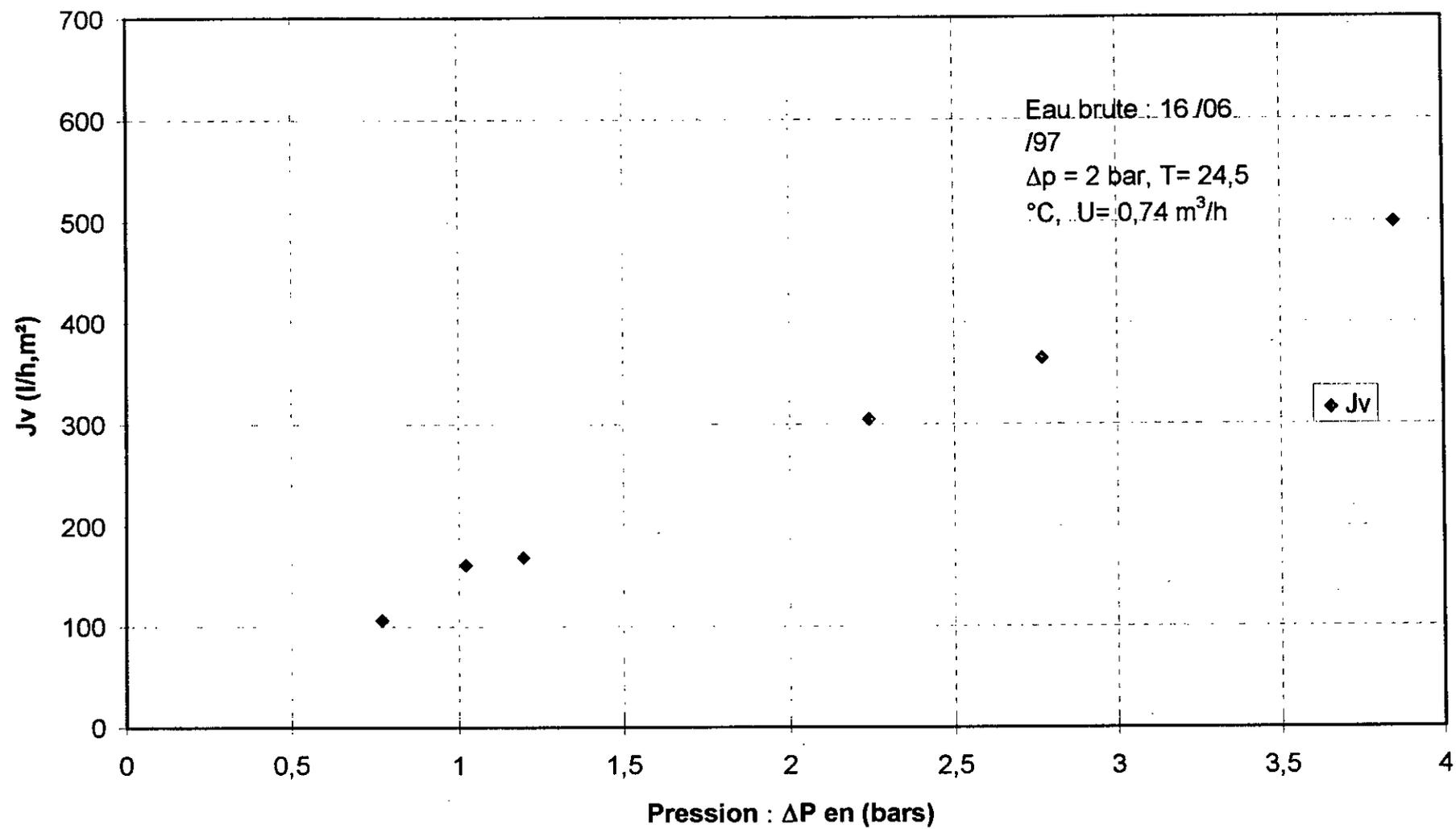


Figure VIII - 3 - 1 : Variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire

Le tableau (VIII - 3 - 2) donne les différentes valeurs du temps d'omptage PH; la densité optique a254nm ,la turbidité et la conductivité à intervalles réguliers et celles du filtration J, leur correspondant résiduelle .

t(mn)	te(s)	d(lh	X(ms/cm)	DO(254n m)	PH	tubidite(( NUT)	E(%)
0	86,4	280	1,1	0,05	8,6	5,3	0
5	103,9	173,24	1,00	0,046	8,31	0,80,8	84,9
10	104.9	171.59	0.99	0.046	8,30	0,4	92,45
15	105.7	170.29	0.98	0.046	8,3	0,35	93,4
20	106.2	169.49	0.98	0.045	8,3	0,32	94
25	106.5	169.01	0.97	0.045	8,29	0,3	94,3
30	107	168.22	0.97	0.044	8,28	0,3	94,3
35	108	166.67	0.96	0.043	8,27	0,27	94,9
40	108.8	165.44	0.96	0.042	8,26	0,26	95,1
45	109.6	164.23	0.95	0.042	8,25	0,26	95,1
50	109.9	163.78	0.95	0.041	8,25	0,25	95,3
55	110.2	163.34	0.94	0.040	8,25	0,25	95,3
60	111.6	161.29	0.94	0.039	8,24	0,24	95,5
65	112.8	159.57	0.93	0.039	8,24	0,24	95,5
70	113.3	158.87	0.92	0.038	8,23	0,23	96
75	114.3	157.48	0.92	0.037	8,21	0,23	96
80	115	156.52	0.916	0.036	8,20	0,2	96,2
85	116	155.17	0.914	0.035	8,20	0,2	96,2
90	117	153.85	0.912	0.034	8,20	0,2	96,2

Les figures (VIII - 3 - 2) ; (VIII - 3 - 3) ; (VIII - 3 - 4); (VIII - 3 - 5); (VIII - 3 - 6) et (VIII - 3 - 7) représentent respectivement l'évolution le flux de permeat (Jv), turbidité, PH, conductivité , densité optique et l'efficacité en fonction du temps d'ultrafiltration .

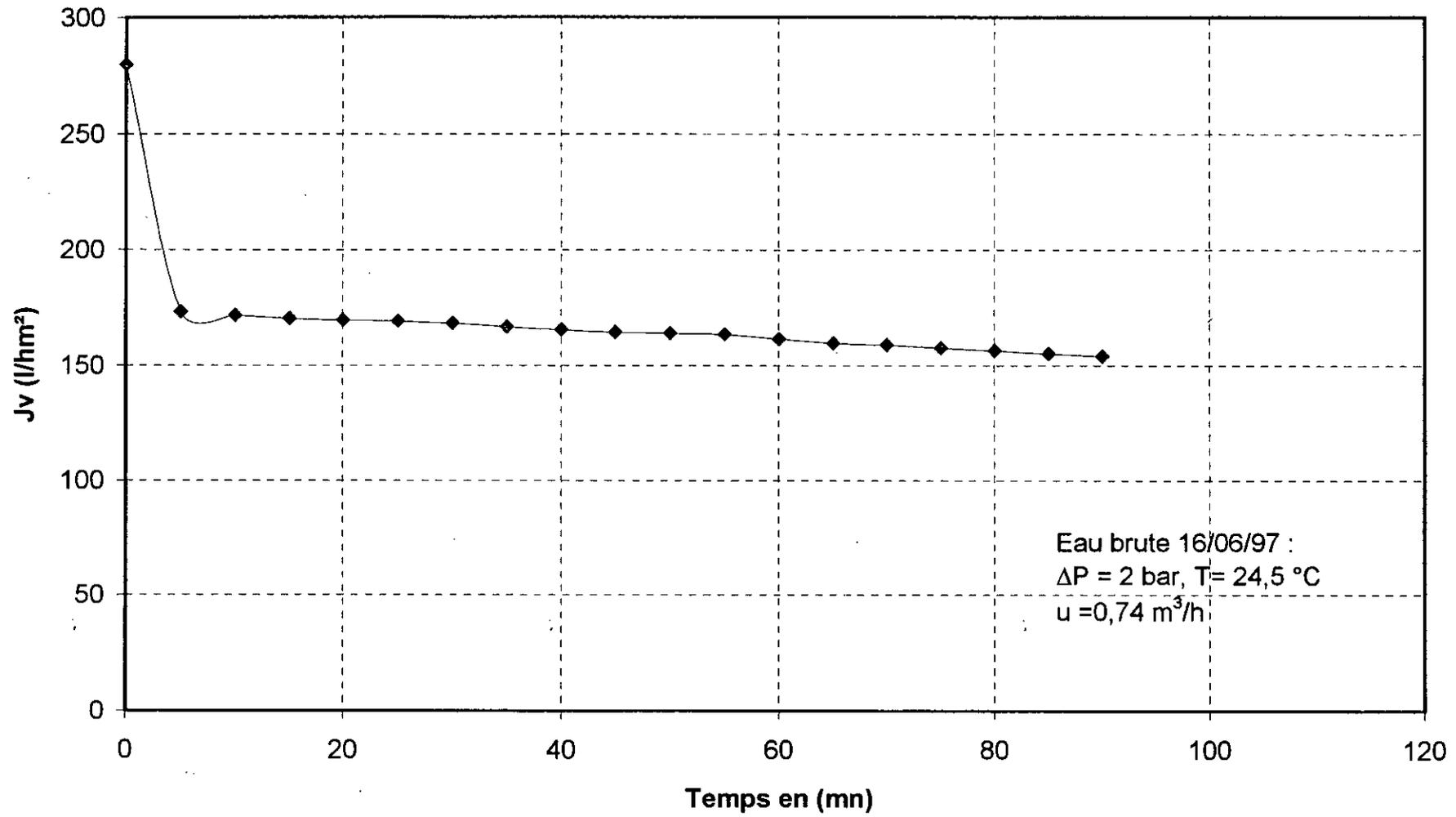


Fig. VIII - 3 - 2 : Evolution du flux de perméat dans le temps d'ultrafiltration

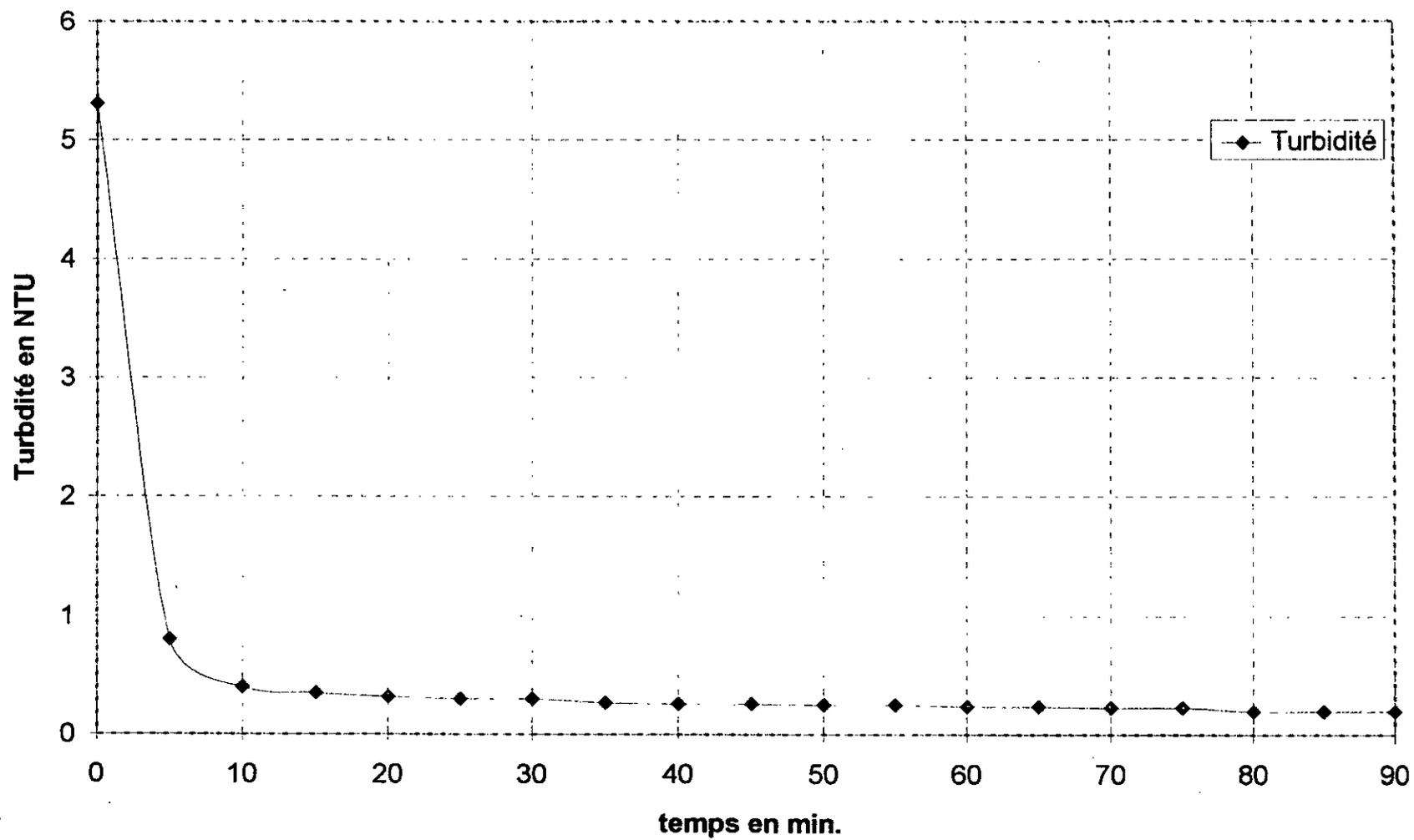


Figure VIII - 3 -3 : Evolution de la turbidité en fonction du temps d'ultrafiltration

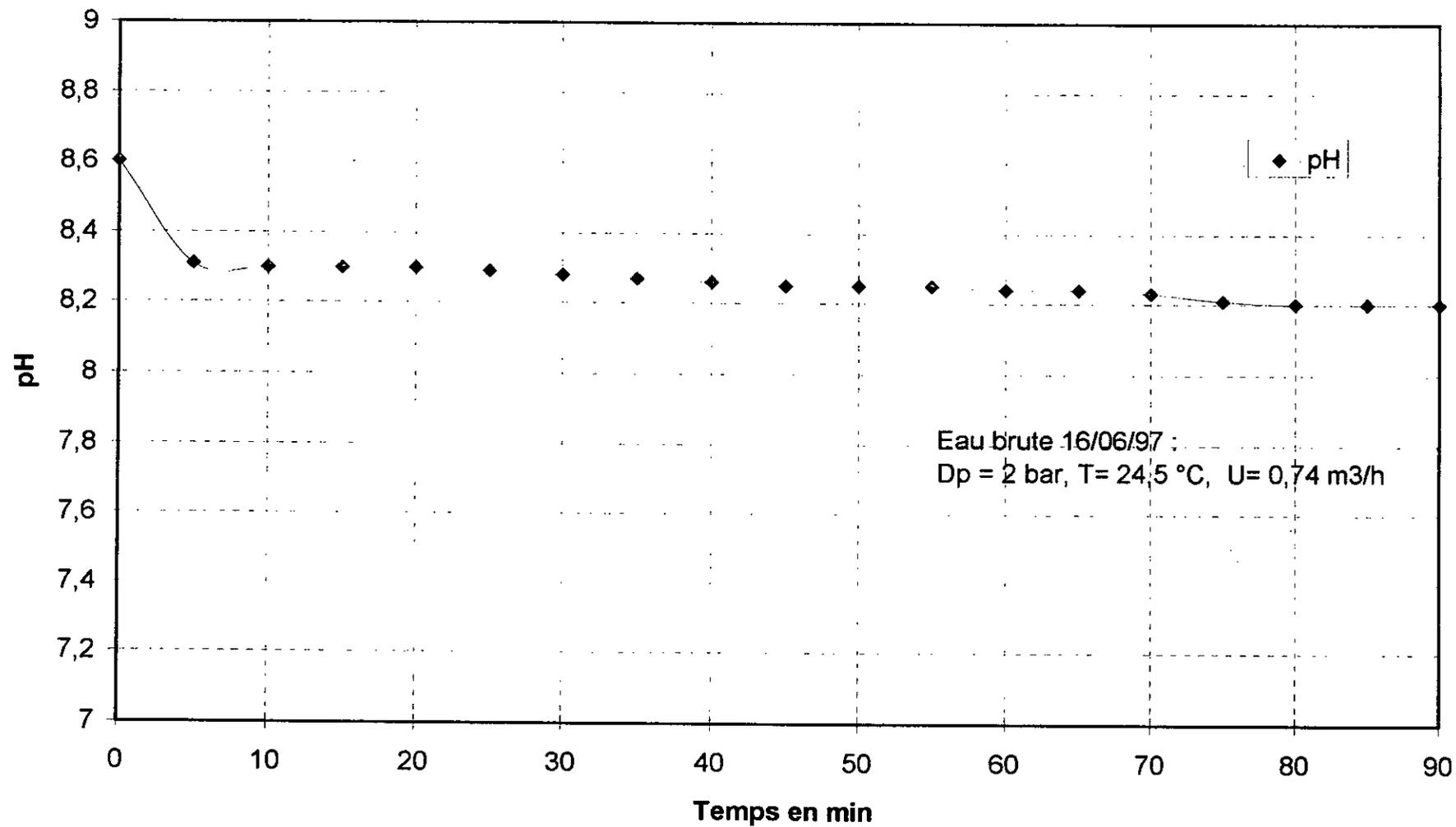


Figure VIII - 3.4 : Evolution du pH au cours de l'ultrafiltration

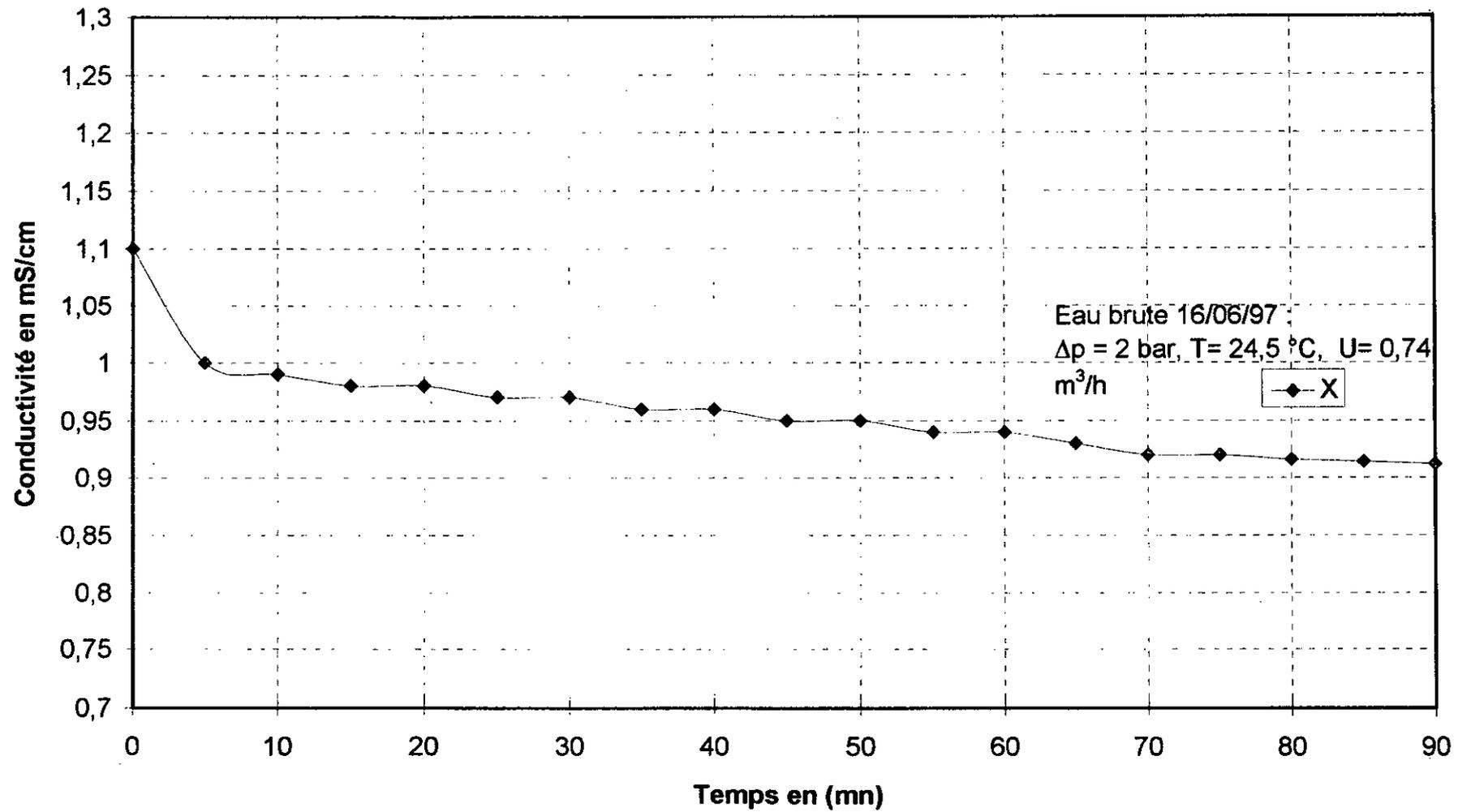


Figure N° VIII - 3 -5 : Evolution de la conductivité en fonction du temps d'ultrafiltration

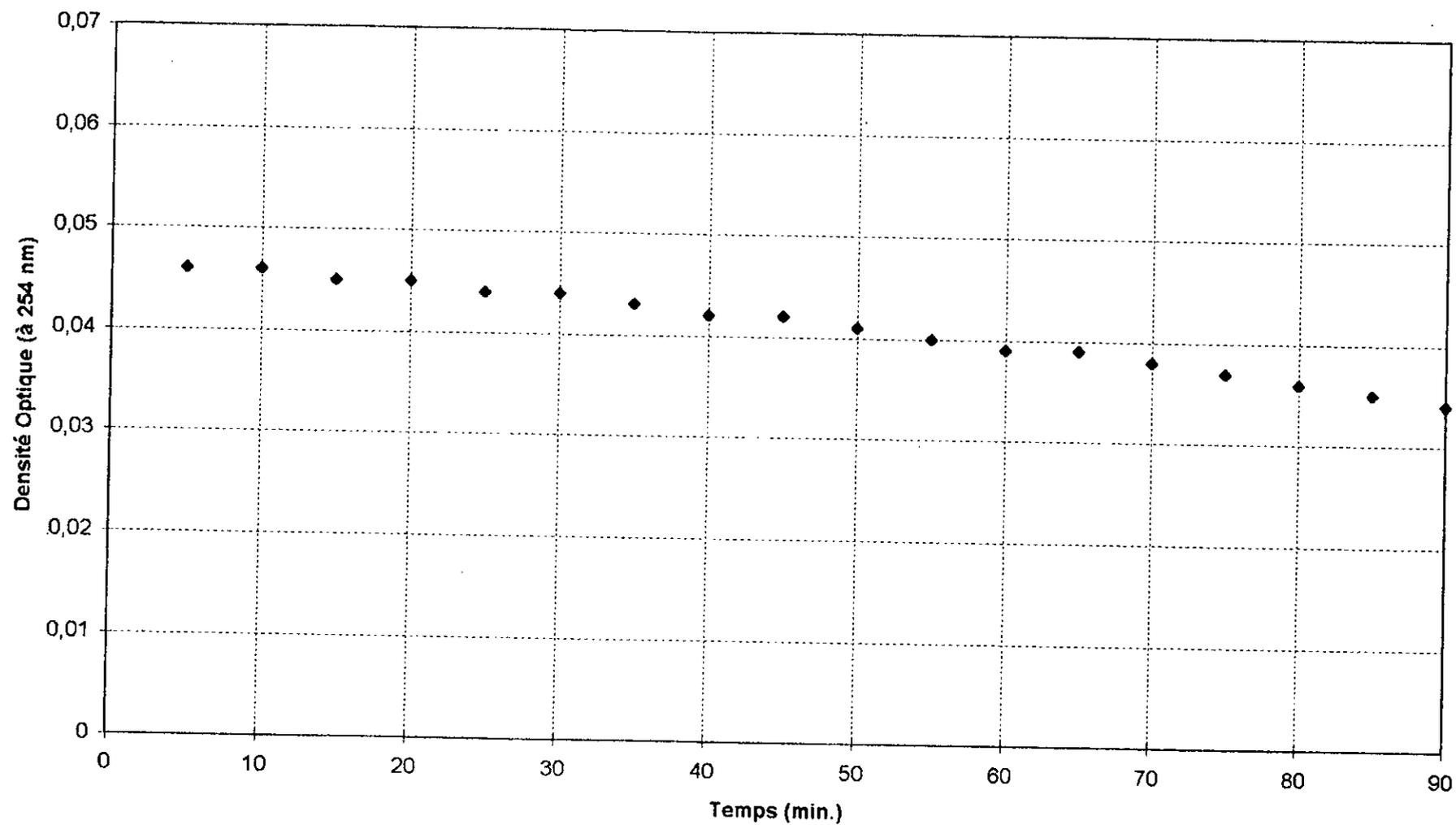


Figure VII.3.6 Evolution de la densité optique en fonction du temps

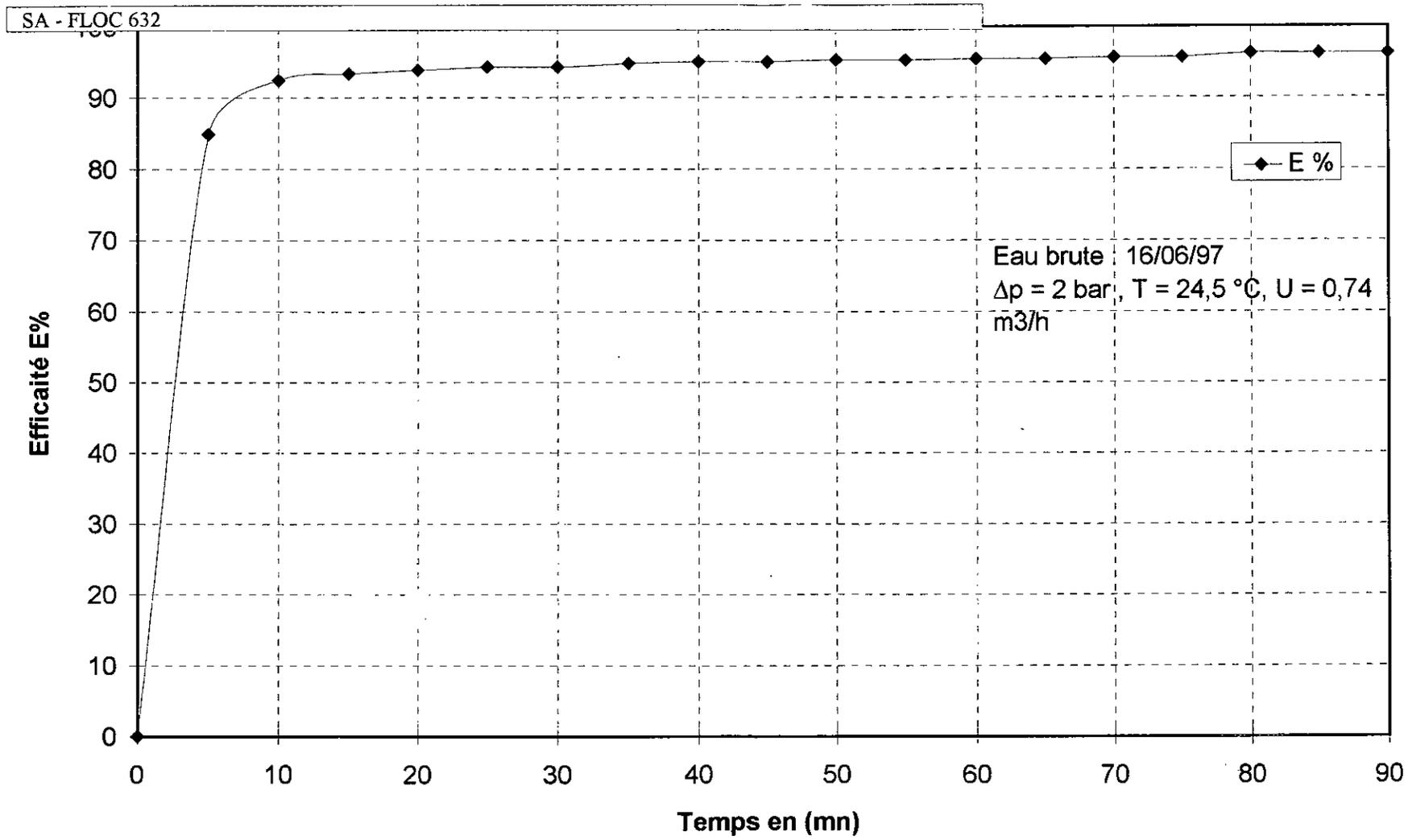


Figure VIII - 3 - 7 Evolution de l'efficacité en fonction du temps

### 3 - 2 - Evolution de la turbidité en fonction du temps :

Au cours de l'essai de concentration, l'évolution de la turbidité en fonction du temps d'ultrafiltration a été suivie. La figure (VIII - 3 - 3) indique une courbe à l'allure décroissante, ou la turbidité de 5,3 à 0,2 NTU en fin du procédé, soit une réduction de 96,2% au bout de 90 minutes seulement.

### 3 - 3 - Evolution de la conductivité électrique :

Au cours de l'essai de concentration, l'évolution de la conductivité en fonction du temps d'ultrafiltration a été suivie.

La figure (VIII - 3 - 5) indique une courbe à l'allure décroissante, celle-ci permet de dire que le passage de sels diminue lentement dans le . jusqu'à atteindre un palier ou il se stabilise . ceci est du en fait que l'accumulation de solutés en amont de la membrane forme un milieu poreux qui joue le rôle de filtre . Il en résulte une filtration plus poussée , d'ou les résultats obtenus ; par ailleurs, la présence du palier peut s'expliquer par le fait que la polarisation de concentration atteint un état stable , c'est à dire que le transport convectif des éléments qui traversent, la membrane compense la diffusion au coeur de la solution des éléments qui ne la traversent pas.

### 3 - 4 - Evolution de la densité optique en fonction du temps :

l'évolution de la turbidité en fonction du temps d'ultrafiltration indique une courbe .figure (VIII - 3 - 6) à l'allure décroissante; ou la densité optique varie de 0,05 à 0,034 en fin de procédé, soit réduction de 32% de matière organique ou sont de 90 minutes seulement .

### 3 - 5 - Evolution du flux de perméat (Jv) dans le temps :

l'évolution du flux de perméat en fonction du temps d'ultrafiltration représenté dans la figure (VIII - 3 - 2) pendant une durée de 90 minutes , indique une diminution du flux de 280 l/hm<sup>2</sup>, soit une décroissance de 45% ce type de variation correspondait à la formation d'une couche de polarisation voire à un partiel de la membrane utilisée.

### 3 - 6 - Détermination de la perméabilité à l'eau de la membrane après traitement :

L'essai de la concentration a montré qu'une baisse du flux de perméat a lieu pour une pression, une vitesse de recirculation et une température constante ceci ne peut s'expliquer que par une diminution de la surface active de la membrane et donc du rayon de ses pores . En effet, initialement la perméabilité à l'eau de la membrane était de 140 l / h .m<sup>2</sup> à 26 °C . Après l'essai de concentration nous avons déterminer sa nouvelle valeur pour la même température les résultats obtenus sont résumés dans le tableau (Tableau VIII - 3 - 3) est représenté par la figure (VIII - 3 - 8).

Tableau (VIII - 3 - 3) : Evolution du débit de perméat en fonction de la pression transmembranaire après traitement.

P <sub>1</sub> (bar)	0,79	1,10	1,29	2,11	2,73	3,25	3,98
P <sub>2</sub> (bar)	0,73	1,04	1,24	2,05	2,67	3,19	3,94
Δ P (bar)	0,76	1,07	1,265	2,08	2,70	3,22	3,96
t <sub>e</sub> (s)	221,40	162,50	136,50	86,40	80,60	67,40	54,80
j <sub>v</sub> (l/h.m <sup>2</sup> )	81,30	170,77	131,96	208,33	223,32	267,06	328,47

La courbe obtenue  $J_v = f(\Delta P)$ , représentée dans la figure (VIII - 3 - 8), est une droite passant par l'origine des axes . Donc la variation du flux de perméat en fonction de la pression transmembranaire reste linéaire même après l'essai de concentration conformément à la loi de DARCY . La valeur de la perméabilité à l'eau de la membrane est donnée par le calcul de la pente de la droite obtenue, on aura :

$$L_p = 103 \text{ l/h.m}^2 \text{ bar .}$$

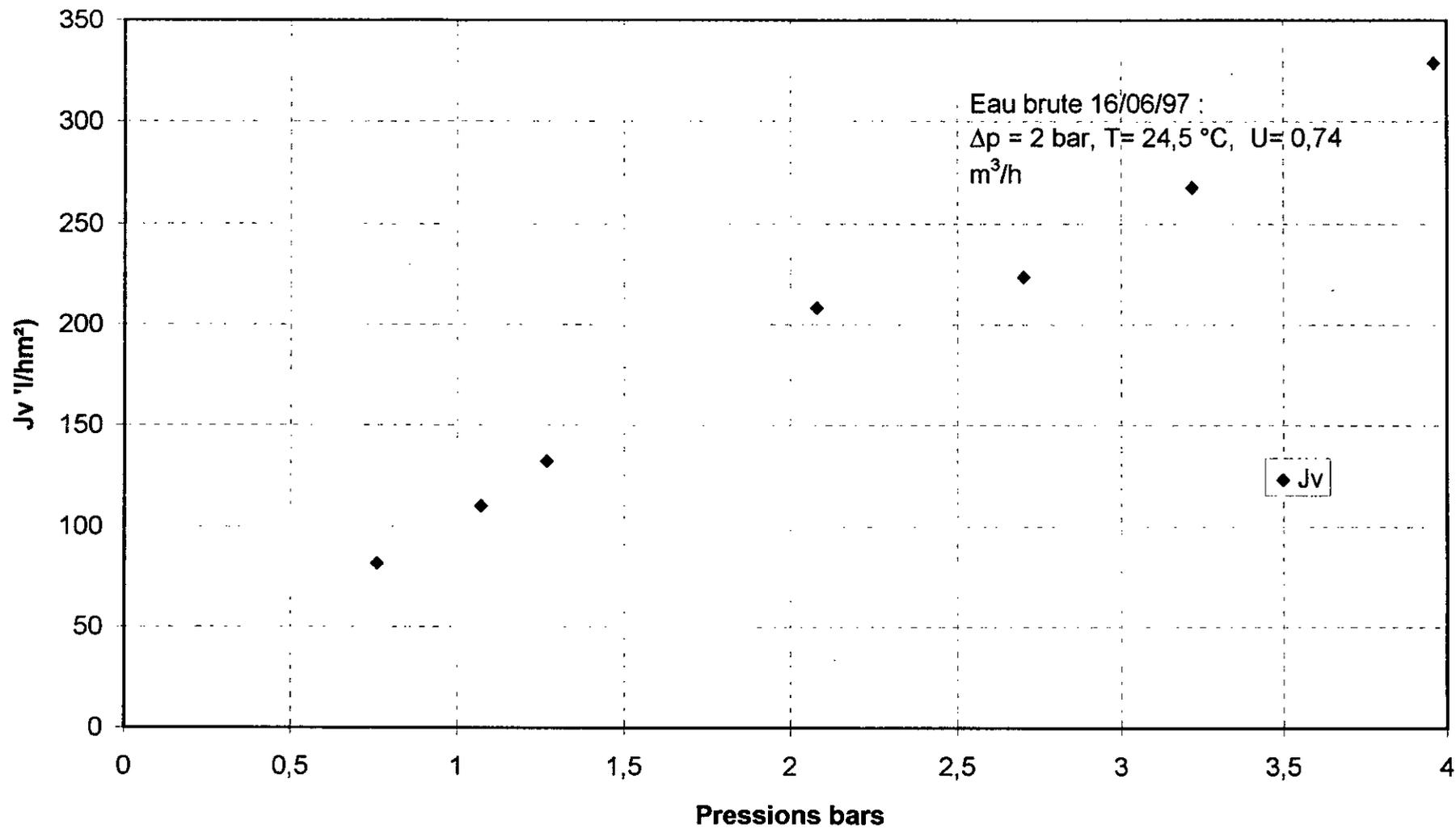


Figure VIII - 3 - 8 : Variation du flux de perméat Jv en fonction de la pression transmembranaire

#### **VIII - 4- Elimination des matières organiques par adsorption sur charbon - actif:**

Le principale but de cette partie expérimentale est d'étudier les possibilités des traitement de l'eau de KADDARA par adsorption sur charbon actif dans le but d'élimination des matières organiques. Pour se faire, on utilisera deux procédés d'adsorption : Adsorption statique, adsorption dynamique .

##### **4 - 1 - Adsorption statique :**

Pour se rendre compte de l'efficacité de traitement de l'eau de surface, il est nécessaire d'effectuer des analyses avant et après traitement de coagulation - floculation ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - flocculant ), puis de comparer ces résultats .

##### **4 - 1 - 1 - Traitement par charbon actif avant coagulation - floculation ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ - YSA - FLOC 632 ) :**

Le tableau suivant (VIII - 4 - 1) regroupe les caractéristiques de l'eau de KADDARA qui a été prélevé le 28/01/1997 après traitement avec le charbon actif .

**Tableau (VIII - 4 - 1) :** Traitement par charbon actif avant traitement coagulation - floculation ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  - YSA - FLOC 632 ), eau brute 28 /01/1997 de caractéristiques :

La turbidité = 7,6 NTU

Do (254 nm) = 0,044

pH = 8,62

Température = 16 °C

Temps (mn)	10			20			30			40			50			60		
Quantité de charbon actif (g/l)	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	p
0,1	4,8	0,043	8,6	3,3	0,04	8,5	3,1	0,039	8,5	2,3	0,036	8,5	2,1	0,032	8,5	1,8	0,032	8,
0,4	2,4	0,042	8,44	2,1	0,038	8,43	1,8	0,036	8,43	1,5	0,032	8,42	1,3	0,03	8,38	1,2	0,03	8,
0,8	3,6	0,051	8,38	3	0,044	8,37	2,8	0,04	8,35	2,5	0,032	8,38	2,1	0,03	8,34	2	0,028	7,
1,2	4,2	0,06	8,34	3,6	0,046	8,34	3,1	0,038	8,3	3,9	0,03	8,32	2,5	0,031	8,26	2,3	0,024	
1,6	4,4	0,062	8,3	3,7	0,042	8,28	3,5	0,042	8,24	3,1	0,03	8,26	2,8	0,029	8,2	2,5	0,026	7,
2	4,9	0,062	8,29	4,4	0,049	8,27	4	0,052	8,27	3,6	0,041	8,26	3,4	0,036	8,18	3	0,029	7,

Les figures (VIII - 4 - 1 ), (VIII - 4 - 2) et (VIII - 4 - 3), représentent respectivement l'évolution de la turbidité, de la densité optique et du pH en fonction du temps et en fonction de différente quantité de charbon actif avant coagulation - floculation .

**\* Interprétation :**

L'allure des courbes représentant l'évolution de la turbidité résiduelle en fonction du quantité charbon actif (VIII - 4 - 1),(VIII - 4 - 2), fait apparaître trois zones :

Un première zone décroissante, où la turbidité résiduelle et la densité optique diminue proportionnellement à la dose croissante du charbon actif correspondant à l'adsorption des matières organiques par un charbon actif .

Une deuxième zone creuse représentant l'intervalle de dosage où la turbidité résiduelle et la densité optique est minimale, donnant la dose optimale du charbon actif .

Une troisième zone où la turbidité et la densité optique de l'eau commence à croître à partir d'une dose limite (optimale) indiquant un surdosage du charbon actif .

L'allure des ces courbes montrant que l'utilisation du charbon actif directement sur l'eau brute entraîne une saturation rapide des sites d'adsorption du charbon actif . Ceci se traduit par l'augmentation de la turbidité résiduelle et la densité optique au cours du temps .

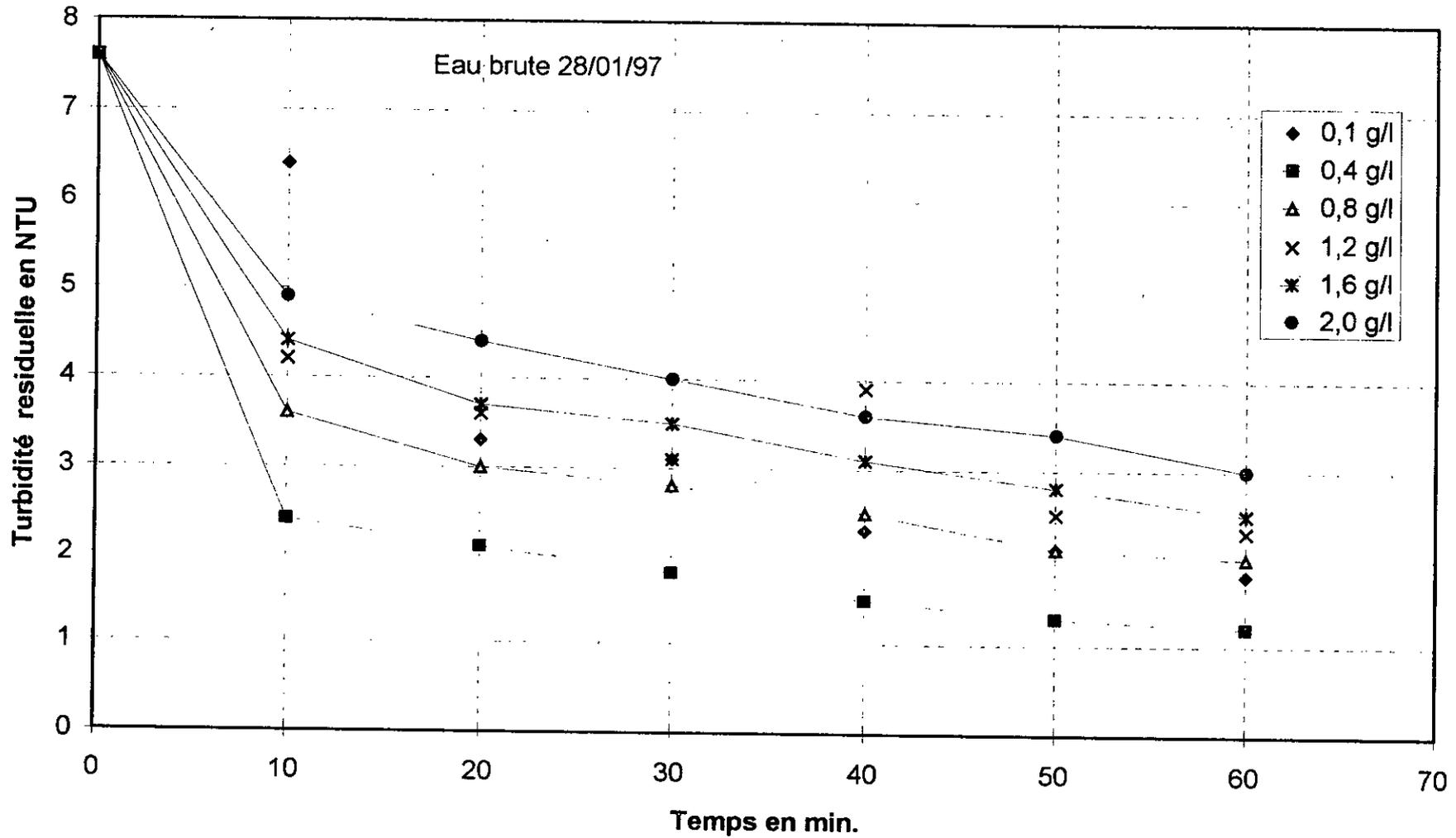


Figure VIII - 4 - 1 : Evolution de la turbidité résiduelle en fonction du temps à différentes quantités en charbon actif avant traitement coagulation-floculation (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>·18H<sub>2</sub>O - YSA - FLOC 632)

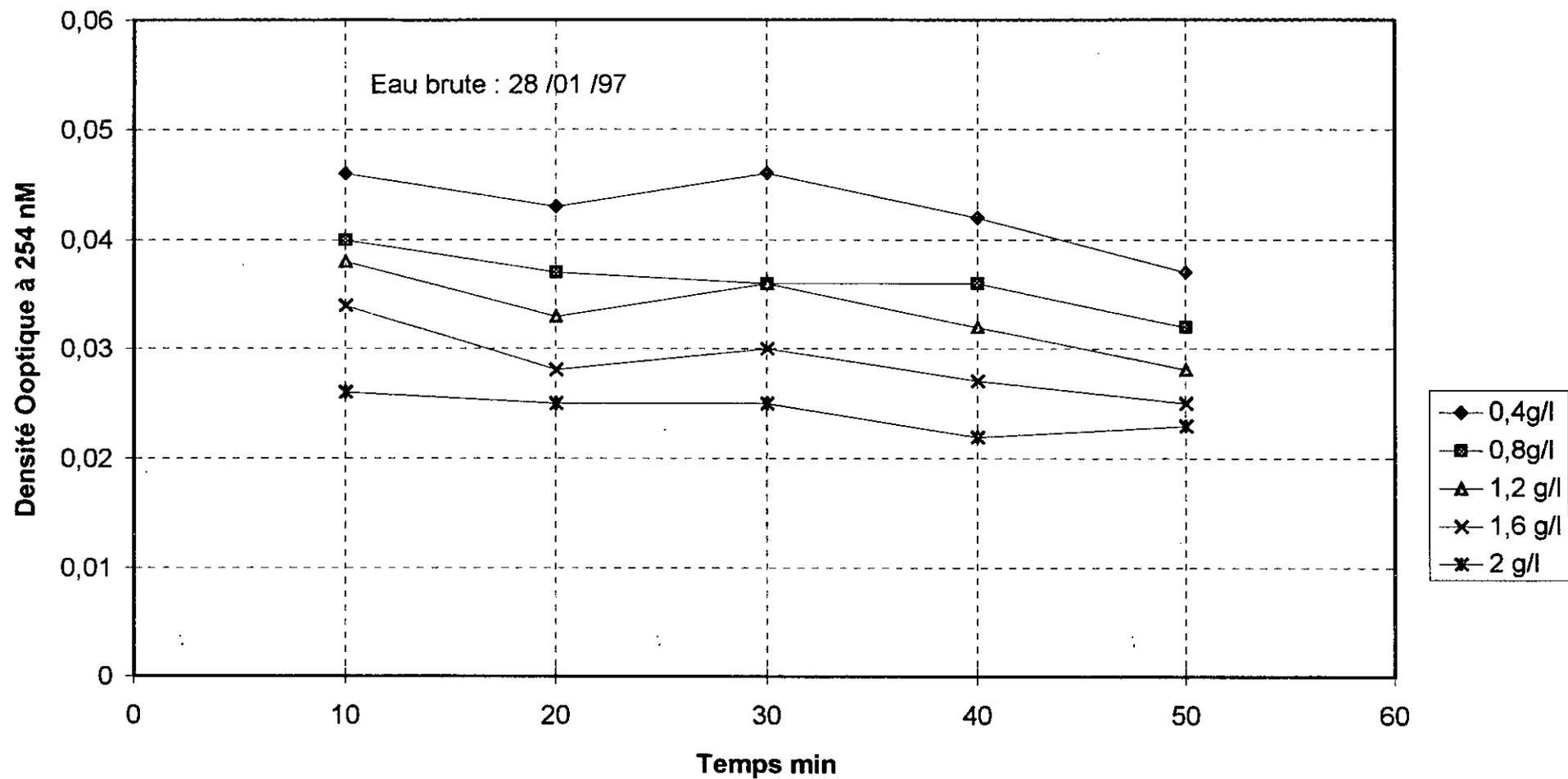
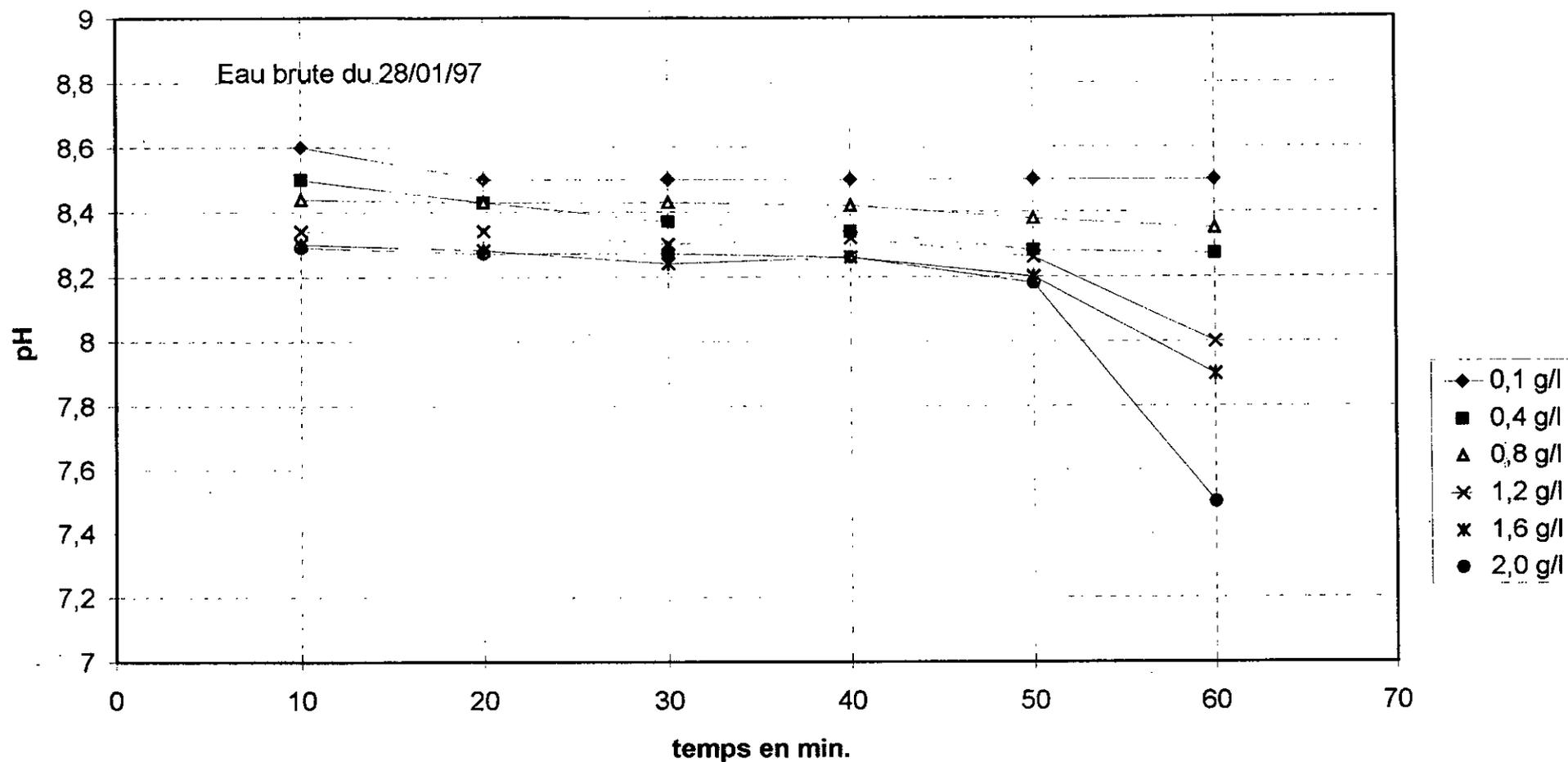


Figure VIII - 4 - 2 : Evolution de la densité optique en fonction du temps à différentes quantité du charbon actif avant traitement coagulation-floculation ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  - YSA - FLOC 632)



**Figure VIII - 4 - 3 : Evolution du pH en fonction du temps à différentes quantité en charbon actif avant traitement coagulation - floculation ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  - YSA - FLOC 632)**

4 - 1 - 2 - Traitement par charbon actif après le traitement coagulation - floculation :

Le tableau suivant (VIII - 4 - 2) regroupe les caractéristiques de l'eau traité par coagulation - floculation ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - floculant ); après traitement avec le charbon actif .

**Tableau (VIII - 4 - 2) :** Traitement par charbon actif parés traitement coagulation - floculation ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  - YSA-FLOC 632)

Eau brute 28 /01/1997 de caractéristiques :

La turbidité = 7,6 NTU  
 DO (254 nm) = 0,044  
 pH = 8,62  
 Température = 16 °C

Temps (mn)	10			20			30			40			50		
	Quantité de charbon actif (g/l)	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)	pH	Turbidité résiduelle (NTU)	DO (254 nm)
0,4	1,8	0,046	8,53	1,60	0,043	8,47	1,6	0,046	8,55	1,53	0,042	8,3	1,60	0,037	8,3
0,8	1,8	0,04	8,43	1,70	0,037	8,42	1,8	0,036	8,39	1,60	0,036	8,2	1,54	0,032	8,2
1,2	1,8	0,038	8,40	1,65	0,033	8,36	1,7	0,036	8,20	1,60	0,032	8,1	1,50	0,028	8,2
1,6	1,7	0,034	8,34	1,60	0,028	8,31	1,6	0,030	8,10	1,54	0,027	8,1	1,50	0,025	8,0
2	1,54	0,026	8,28	1,52	0,025	8,29	1,5	0,025	8,10	1,49	0,022	8,1	1,47	0,023	8,0

### **\* Interprétation :**

L'allure des figures (VIII - 4 - 4 ), et (VIII - 4 - 5) représentent respectivement l'évolution de la turbidité, de la densité optique et du pH en fonction du temps et en fonction de différente quantité de charbon actif après coagulation - floculation .

Ces figures montrant une diminution de la turbidité résiduelle et la densité optique au cours des doses croissantes du charbon actif at au cours du temps . Ceci laisse penser que l'utilisation du charbon actif doit se faire après tratiement comme un traitement complémentaires .

### **4 - 2 - Adsorption dynamique :**

Le but de ce travail est d'examiner en dynamique élimination du matière organique par adsorption sur charbon actif .

Nous nous somme proposé d'examiner l'évolution de la densité optique à une longueur d'onde 250 nm en fonction du temps .

La figure (VIII - 4 - 7) représente l'évolution de la densité optique en fonction du temps par adsorption du charbon actif à l'eau brute sur colonne .

### **\* Interprétation :**

L'allure de la courbe représentant l'évolution de la densité optique en fonction du temps (Fig. VIII - 4 - 7) est sous forme une courbe de perçage de lit de charbon actif vis-à-vis de l'adsorbât considéré (matières organiques), D'ou on peut dire qu'on a éliminé totalement des matières organiques .

Les valeurs du pH de charbon actif relevé sont comprises dans l'intervalle (6,5 à 8,5) de potabilité (Fig. VIII- 4 - 3) et (Fig.VIII - 4 - 6).

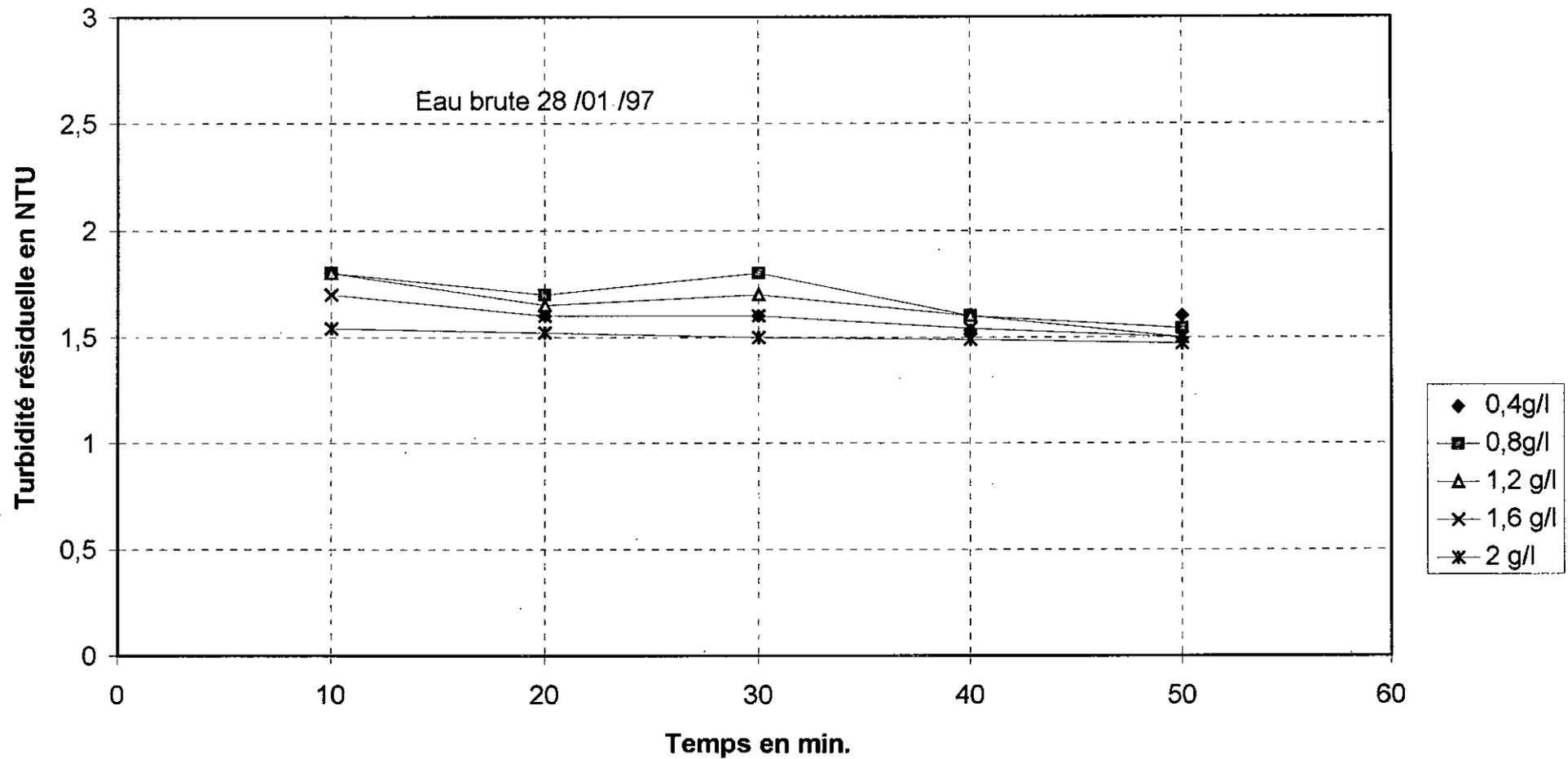


Fig. VIII - 4 -4 : Evolution de la turbidité résiduelle en fonction du temps à différentes quantités charbon actif après traitement coagulation-flocualtion ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  - YSA - FLOC 632

Graph1

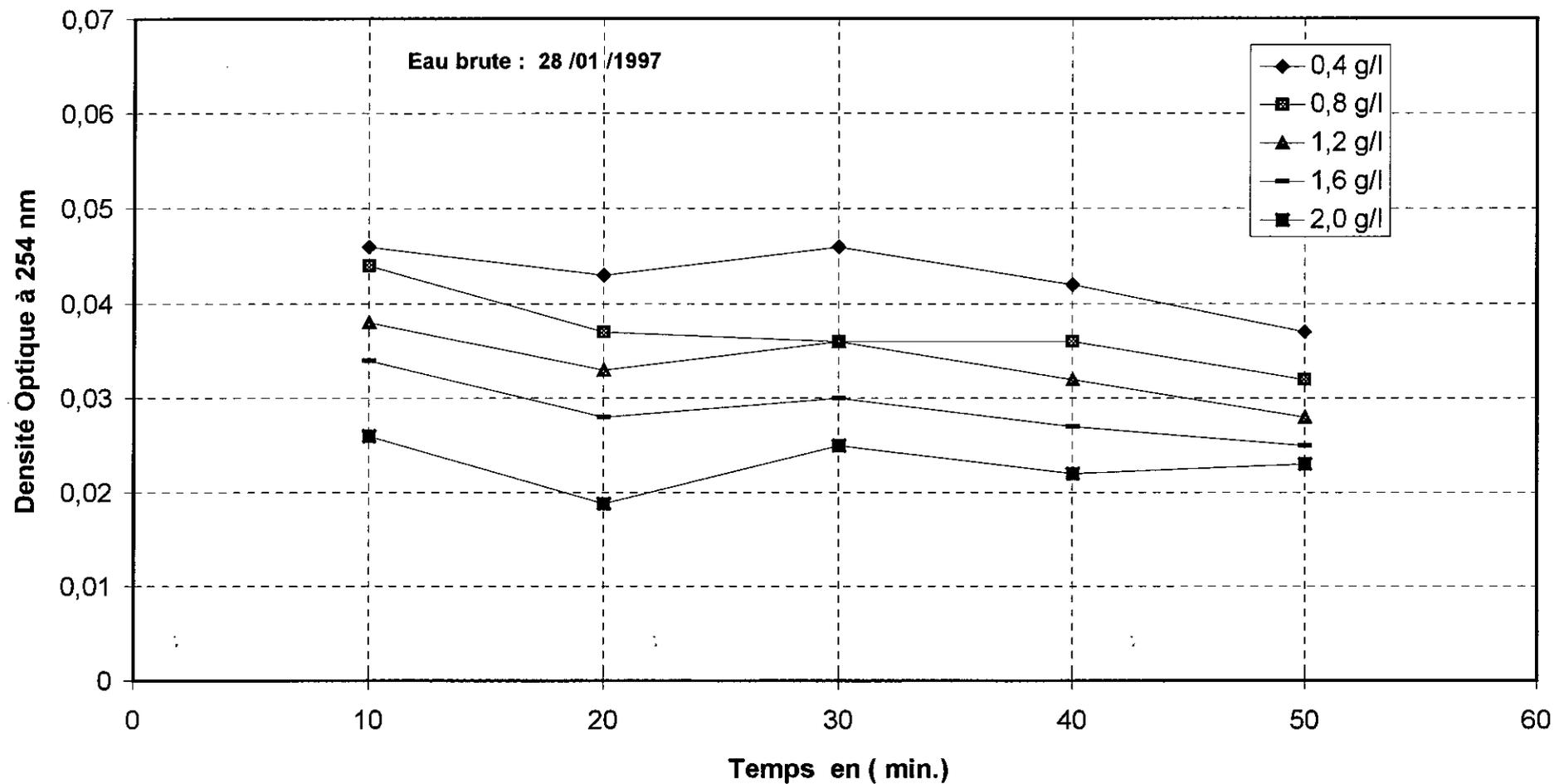


Figure VIII - 4 - 5 : Evolution de la densité optique en fonction du temps à différentes quantités de charbon actif après traitement coagulation-floculation  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O]$  - YSA - FLOC 632

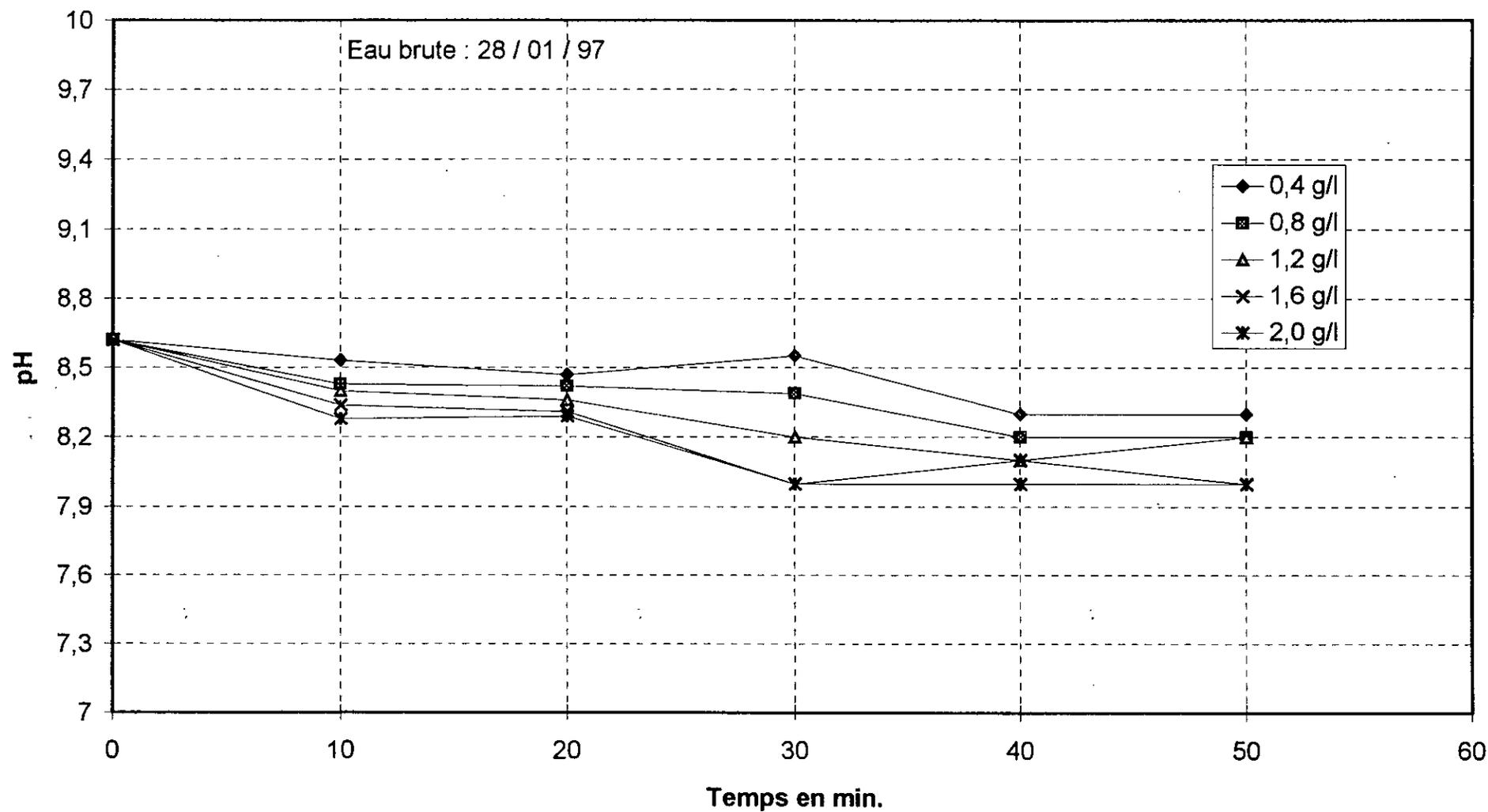


Figure VIII - 4 -6 : Evolution du pH en fonction du temps à des différentes quantité en charbon actifs après traitement coagulation-floculation  $[Al_2(SO_4)_3, 18 H_2O]$ -YSA-FLOC 632,

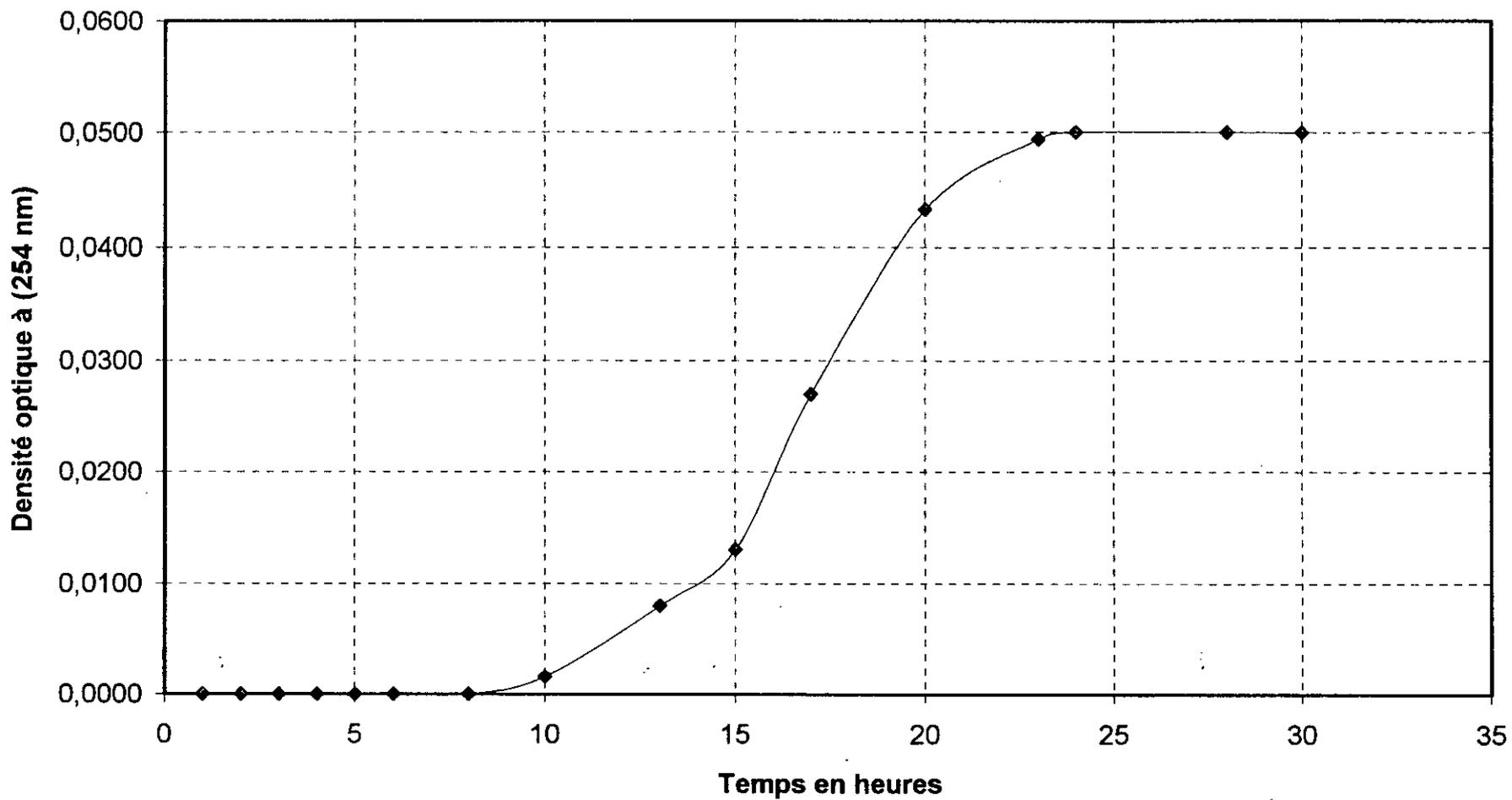


Figure VIII - 4 - 7 ; Traitement par charbon actif en colonne , Evolution de la densité optique en fonction du temps

## IX - CONCLUSION

L'eau dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable pour la consommation humaine, ni pour l'industrie, car elle n'est pas, sauf dans des rares cas; suffisamment " pure".

Un intérêt chaque jour grandissant se manifeste pour la qualité des eaux de consommation . Ce mouvement est du à l'évolution simultanée de la qualité des ressources sous l'effet de la pollution .

Pour avoir une meilleure approche de la qualité des eaux, qui varie selon les saisons, on a examiné les résultats d'analyse d'eau brute de KADDARA durant le premier semestre de l'année 1997 . Le dépouillement de ces résultats nous a permis de classer cette eau comme une eau potable car les caractéristiques physico-chimique des eaux de KADDARA sont globalement ou très proche de la norme de potabilité, sauf pour la turbidité (8 NTU).

Cependant, les travaux que nous avons réalisés dans le cadre de la réduction de la turbidité et de la matière organique des eaux de la retenue de KADDARA en vue de la production d'eau potable nous ont permis de faire une étude comparative entre trois filières de traitement comportant les techniques suivantes :

### 1 - La coagulation - floculation :

L'opération de coagulation - floculation, vise l'élimination des particules en suspension et très stable, elle a pour but principale, la déstabilisation des particules colloïdale en suspension et faciliter leur agglomération, les particules résultantes ont une très faible charge et sont instable . Ils en résulte des collisions et la formation de Microflocs . La floculation par contre est un processus de grossissement et d'uniformisation des flocans sous l'action d'une faible agitation . La coagulation - floculation est un phénomènes complexe son optimisation tien compte de plusieurs variable tel : pH, condition du mélange et la turbidité . Cependant, les travaux que nous avons réalisés nous permet de faire une étude comparative entre deux coagulants : le Sulfate d'aluminium et le sulfate de fer (II), puis entre les mêmes coagulants à leurs doses optimales en combinaisons avec un flocculant . (YSA - FLOC 632) .

Les essais en jar-test suivi des analyses physico-chimique : de la turbidité résiduelle, pH, densité optique nus ont permis d'arriver aux conclusions suivantes :

Le couple coagulant Sulfate d'aluminium - YSA - FLOC 632 présente des résultats meilleures que le couple Sulfate de fer (II) - YSA - FLOC 632, en effet, il présente un pourcentage de réduction de la turbidité (efficacité) de 83 % , correspondant à une turbidité résiduelle, un pH de 8.35 et DO de 0.042 pour une concentration de sulfate d'aluminium égale 4 mg/l et une concentration de polymère Asp 632 de 0,15 mg/l

## 2 - Les procédés membranaires :

L'utilisation des procédés membranaires pour la clarification et la désinfection des eaux potables est une technique émergente dans les applications à l'échelle industrielle. Ces techniques doivent être considérées comme une véritable alternative au traitement plus conventionnel de clarification physico-chimique et de désinfection chimique. En effet, les procédés physico-chimiques ne permettent pas d'assurer avec fiabilité une réduction parfaite de la turbidité et des particules, ainsi qu'une élimination totale des micro-organismes.

L'étude technique membranaires effectuée dans les présents projets de fin d'étude, en vue de les intégrer dans une chaîne de traitement d'eau a conduit aux conclusions suivantes :

L'étude de l'ultrafiltration a montré que, pour déterminer la perméabilité à l'eau de la membrane, la loi de DARCY reste valable quelque soit l'état de colmatage de la membrane.

L'essai de concentration en mode discontinu effectué sur l'eau de surface de KADDARA a montré qu'un taux de réduction de la turbidité de plus de 96 % a été atteint après 70 minutes de fonctionnement et un taux de rétention des matières organiques de plus de 30 % a été atteint après 90 minutes de fonctionnement du pilote dans les conditions expérimentales suivantes  $\Delta p = 2$  bars,  $U = 0.60$  m<sup>3</sup> / h,  $T = 25$  °C. De plus, ce procédé assure une décontamination de l'eau traitée. L'utilisation du pilote pour le traitement de l'eau de surface permet d'avoir une eau de qualité répondant parfaitement à la norme de potabilité la plus exigeante qu'elle soit concernant la turbidité, d'autre part ce procédé, repousse plus loin le risque de contamination et de pollution. L'utilisation de pilote ne nécessite pas l'ajout de réactifs chimiques pour réaliser le traitement minimisant ainsi la formation extrême des bords.

## 3 - Adsorption charbon - actif :

Enfin, le procédé d'ultrafiltration peut aussi être combiné avec d'autres traitements comme l'adsorption sur un lit de charbon actif en grains. Cette combinaison est bien adaptée aux traitements d'eau de surface qui contiennent des matières organiques.

Dans cette optique on a cherché à déterminer l'évolution des matières dans le charbon-actif la quantité du polluant à la sortie de la colonne. Ainsi on a pu établir la courbe de percée du lit de charbon actif vis-à-vis de l'adsorbât (matières organiques), d'où l'intérêt de l'utilisation de ce procédé de traitement qui assure une dépollution efficace des matières organiques.

À la lumière des résultats obtenus dans notre expérience nous proposons une chaîne de traitement suivante :

Eau brute  $\xrightarrow{\text{(Prétraitement)}}$  Ultrafiltration  $\xrightarrow{\hspace{2cm}}$  Adsorption par charbon -actif  $\rightarrow$  eau traitée

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] : **DEGREMONT** " Mémento technique de l'eau" , DEGREMONT Edition 1989, Tec et Doc, Lavoisier.
- [ 2 ] : **Marie Antoinette** "*Traitement individuel des eaux domestiques*" , , "Techniques de l'ingénieur" , N° C 3840 {C 311}, 1984, France .
- [ 3 ] : **Terradellas .J** : Adsorption - Publication de l'institution du génie de l'environnement - Publication N° 2 Lausanne 1976
- [4] **KETTAB A.**, "*Traitement des eaux potables*", OPU 1982, Alger
- [ 5 ] **OZANNE F.**: "Conditions de rejet des lixiviations", "TSM " N°2, Juin 1990,
- [ 6 ] **GOMELLA C. & GUERRE H.** : "*Le traitement des eaux publiques industrielles et privées*", Edition Eyrolles 1978, Paris.
- [ 7 ] **MAUREL A** : "*Traitement des eaux de distribution* ", "Techniques de l'ingénieur" N° C 5200 , 1986,
- [8] **STUMM - W. OME Lin C.R, STOI** Chimestry of coagulation, J AWWA, Denver, Mai 1968, pp 514-589
- [ 9 ] : **CROC - SPINELLI M.P**, *Etude de la chloration, coagulation-floculation d'une eau*, Rapport Interne de la société Degremont, Paris 1971
- [ 10 ] **DEGREMONT** " Mémento technique de l'eau " DEGREMONT, 9 Edition ed.1989,Tec et Doc Lavoisier
- [ 11 ] : **H. ZEKKOUR** : "Optimisation du traitement de coagulation-floculation des eaux de barrage de Keddara" Mémoire d'ingénieur, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (1980)
- [ 12 ] : "Dossier technique du microlab 130 S de la firme GAMMA filtration", 1991,
- [13] **R.BENACER** : " Traitement des eaux de surface par les techniques membranaire "mémoire d'ingénieur", Ecole Nationale Polytechnique d'Alger (1994).