

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique**

Université Hassiba Benbouali de chlef

Faculté des sciences & des sciences de l'Ingénieur

Département de génie des procédés

Option : Eau et Environnement

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité: Eau et Environnement

**ETUDE ET TRAITEMENT DE L'EAU DU BARRAGE DJORF-ELTORBA
DE LA WILAYA DE BECHAR PAR FILTRATION SUR SABLES**

Par

M^{eme} KOUIDRI NEE BELALA ZOHRA

Soutenu le: 14/02/2006.

Devant le jury constitué de :

A. Addou	Professeur. Univ. Mostaganem	Président
A. Ouagued	Professeur. UHB. Chlef	Rapporteur
N. Bettahar	Professeur. USTO. Oran	Examineur
A. Douaoui	Maître de conférences. UHB. Chlef	Examineur
M. Douani	Docteur. UHB. Chlef	Examineur

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier le Professeur A. Ouagued, mon directeur de thèse, qui m'a offert cette chance formidable de travailler sur un sujet aussi passionnant. Grâce à ces suggestions et à son suivi continu. J'ai pu apprendre ce qui est, je crois, la chose la plus importante pour un jeune chercheur, la méthodologie de la recherche. Je lui exprime toute ma gratitude.

J'exprime aussi mes profonds remerciements au Professeur A. Addou qui a accepté de présider le jury de cette thèse malgré ses nombreuses obligations. Je l'en remercie vivement.

Mes remerciements vont aussi au professeur N. Bettahar de l'USTO d'Oran et au M^r A. Douaoui Maître de conférence de UHB de Chlef. Ils ont été d'une extrême gentillesse en acceptant d'être membres de jury.

Je remercie également Docteur M. Douani d'avoir accepté la charge de rapporteur de ce travail. Et pour m'avoir épaulé à chaque instant de terminer ce travail

Je remercie vivement monsieur le directeur générale du CUB de BECHAR M^r A. Slimani, et à tous mes enseignants et collègues de CUB de BECHAR et de la faculté des sciences et des sciences d'ingénieurs de l'université HASSIBA BEN BOUALI – Chlef, ainsi qu'à tous les employés de station de traitement de Barrage Djorf-Eltorba qui nous ont aidé à compléter ce travail, et pour avoir suivi avec attention le déroulement de mes travaux.

Je ne voudrais surtout pas oublier de remercier mon très cher mari, mon très cher père, ma mère ainsi que mes sœurs et mes frères.

Enfin, mes derniers remerciements iront à tous mes amis (es) en particulier Naima, Dhaouia, Amel, Malika, Houria, Hayet, Fatima Zohra, Zahira, Noura, pour les échanges d'idées et leur soutien afin de mener à bien ce travail.

ملخص

سواء تعلق الأمر بتوفير المياه الصالحة للاستهلاك أو للاستعمال الصناعي، تبقى الرمال الوسط الحبيبي الأكثر استعمالا في التخلص من المواد العالقة.

الدراسة المقارنة بين النتائج المتحصل عليها خلال معالجة مياه سد جرف التربة لمنطقة بشار باستعمال ثلاثة مصادر رملية من مناطق مختلفة: رمل مستورد من تونس. رمل أولف و رمل عين بوده من منطقة أدرار، بينت فعالية رمل عين بوده.

و بالتوازي قمنا بدراسة مقاييس مرسب و كذا تأثير الارتفاع و مدة الترسيب على مرد ودية التصفية، فتبين لنا أن القيم المثلى الخاصة بالترسب بالنسبة للمدة الزمنية و الارتفاع هي 60 دقيقة و 60 سم على التوالي أما بالنسبة للتصفية على الرمال يصل الارتفاع الأمثل إلى 90 سم أما المدة الزمنية فتقدر ب 100 دقيقة.

RESUME

Qu'il s'agit du traitement de l'eau destinée à la consommation ou à usage industriel, le sable est le milieu granulaire le plus couramment utilisé dans l'élimination des matières en suspension.

L'étude comparative entre les résultats obtenus lors du traitement de l'eau du Barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar par trois types de sable de gisements divers, à savoir: Sable importé (Tunisie), Sable d' d'Aoulef et celui de Ain bouda (Adrar), a permis de montrer que ce dernier est le plus efficace.

En outre, nous avons étudié le dimensionnement d'un décanteur et l'influence de la hauteur et de la durée de décantation sur le rendement de la filtration, et nous avons montré qu'elles ont des valeurs optimales 60 cm et de 60 mn pour la décantation, alors qu'elles sont de l'ordre de 90 cm et 100 mn pour la filtration sur sables.

ABSTRACT

That it is about the treatment of water destined to the consumption or industrial use, the sand is the granular environment the most fluently used in the elimination of matters in abeyance.

The comparative survey between results gotten at the time of treatment of the water of the Dam Djorf-Eltorba of the region of Béchar by three various layer sand types, to know, : Tunisia (imported Sand), Sand of Aoulef and the one of Ain sulked, permitted to show that this last is most efficient.

Besides, we studied the dimensionnement of a décanteur and the influence of the height and the length of décantation on filtration, and we showed that they have the optimal values of 60mn and 60cm for the décantation, whereas they are 100mn and 90cm for filtration on sands.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	1
ملخص	2
RESUME	3
ABSTRACT	4
TABLE DES MATIERES	5
Liste des illustrations, graphiques et tableaux	7
INTRODUCTION	9
CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR L'EAU	
1.1- Introduction.	11
1.2- Propriétés de l'eau	11
1.3 - Eaux de surface	12
1.4 - L'eau potable	14
1.5 - Analyse de l'eau	22
1.6 - Traitements de l'eau	25
CHAPITRE 2 : DECANTATION ET FILTRATION	
II.1-La décantation	28
1- Types de décantation	28
2- Le Bac de décantation	29
3- Différents types de décanteurs	32
4- Problèmes liés a la décantation	35
	36
II.2-La filtration	
1- Rôle de la filtration	36
2- Critères de choix du type de filtration en fonction de la qualité d'eau et du prétraitement	37
3- Evolution des techniques de filtration	37
4- Colmatage et régulation des filtres	39
5- Lavage des filtres (décolmatage)	39
6- Mécanismes de filtration	40
7- Les différents procédés de filtration	41
8- Types de filtres	42
9- La filtration lente sur sable	42
II.3- Matériaux filtrants utilisés en traitement de l'eau	44
1- Types de matériaux	44
2- Choix des matériaux	45
3- Sable de filtration	45

CHAPITRE 3 : ETUDE EXPERIMENTALE	
1- Préparation des sables	50
2- Prélèvement de l'eau	50
3- Conservation des prélèvements	51
4- Les méthodes d'analyse	51
5- Appareillages d'analyse	51
6- Dispositifs	52
7- Caractérisation granulométrique des sables	53
8- Les Résultats et discussion de l'Analyse de l'eau	65
1) L'analyse de l'eau de Barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar	65
2) L'analyse de l'eau après décantation	85
3) L'analyse de l'eau après filtration	91
CONCLUSION	100
REFERENCES	102
ANNEXE A: Aperçu général sur les sites de prélèvements	105
ANNEXE B: Méthodes d'analyses des sables	113
ANNEXE C: Méthodes d'analyses de l'eau	119

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Figure I.1	Les étapes du traitement de l'eau	25
	Décanteur à flux vertical	Figure II.1 29
	Décanteur Circulator	Figure II.2 34
	Décanteur Pulsator	Figure II.3 35
	Exemple de filtre (coupe schématique)	Figure II.4 38
	Courbe granulométrique	Figure II.5 47
	Dispositif expérimental pour la loi de Darcy	Figure II.6 49
Figure III.1	Le montage expérimental	52
Figure III.2	Distribution granulométrique des sables (T, A, Ai)	55
	Evaluation des modules de finesse	Figure III.3 57
	Evaluation des D10	Figure III.4 57
	Evaluation des D60	Figure III.5 58
	Evaluation des CU	Figure III.6 58
	Evaluation des porosités	Figure III.7 59
	Evaluation des perméabilités	Figure III.8 59
	Comparaison des masses volumiques absolues et apparentes	Figure III.9 60
	Evaluation des volumes interparticulaires	Figure III.10 61
	Evaluation de la pureté des sables	Figure III.11 62
	Evaluation des pourcentages en argile	Figure III.12 62
	Evaluation des pourcentages en calcaire	Figure III.13 63
	Evaluation des pourcentages en chlorure	Figure III.14 63
	Evaluation des pourcentages en sulfate	Figure III.15 64
	Evaluation des pourcentages en silice	Figure III.16 64
	Evolution de la température de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.17 75
	Evolution de la couleur de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.18 75
	Evolution du pH de l'eau brute et traitée en fonction du temps	Figure III.19 76
	Evolution de la turbidité de l'eau brute et traitée en fonction du temps	Figure III.20 76
	Evolution de l'oxygène dissous de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.21 77
	Evolution de la conductivité de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.22 77
	Evolution des taux de sels dissous de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.23 78
	Evolution des résidus secs de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.24 78
	Evolution des matières en suspension de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.25 79
	Evolution des TA de l'eau brute en fonction du temps	Figure III.26 79
	Evolution des TAC de l'eau brute et traitée en fonction du temps	Figure III.27 80
	Evolution des chlorures de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure III.28 80
	Evolution des nitrates de l'eau brute en fonction du temps	Figure III.29 81

Evolution des nitrites de l'eau brute en fonction du temps	Figure III.30	81
Evolution du fer de l'eau brute en fonction du temps	Figure III.31	82
Evolution des silicates de l'eau brute en fonction du temps	Figure III.32	83
Evolution du zinc de l'eau brute et traitée en fonction du temps	Figure III.33	83
Evolution de la DBO ₅ de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure.III.34	84
Evolution de la DCO de l'eau brute et traitée en fonction du temps.	Figure.III.35	84
Variation des MES en fonction de la hauteur du décanteur à différents temps de décantation	Figure III.36	86
Variation des RS en fonction de la hauteur du décanteur à différents temps de décantation	Figure III.37	87
Variation de la couleur en fonction de la hauteur du décanteur à différents temps de décantation	Figure III.38	88
Variation de la turbidité en fonction de la hauteur du décanteur à différents temps de décantation	Figure III.39	89
Evaluation du MES en fonction du temps de filtration à différentes hauteurs du lits de sable	Figure III.40	93
Evaluation du RS en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs du lits de sable	Figure III.41	94
Evaluation de la couleur en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs du lits de sable	Figure III.42	95
Evaluation de la turbidité en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs pour les trois types de sables	Figure III.43	96
Evaluation de la volume en fonction du temps de filtration pour ces trois types de lits de sable	Figure III.44	97
Evaluation du débit en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs dues trois types de lits de sable	Figure III.45	98
Classification des paramètres qui contrôle la qualité de l'eau	Tableau I.1	14
Grille normative pour estimer la qualité de l'eau en Algérie	Tableau I.2	15
Matériels et méthodes d'analyse de l'eau sur le terrain	Tableau I.3	24
Caractéristiques des particules en suspension dans l'eau	Tableau II.1	30
Classification des décanteurs	Tableau II.2	33
Les domaines d'application des différents types de filtration	Tableau II.3	37
Rendement de filtres lents sur sable	Tableau II.4	44
Les compositions chimique et minéralogique représentatives d'un sable de filtration	Tableau II.5	46
Les appareillages et les paramètres mesurés	Tableau III.1	51
L'analyse granulométrique du sable T (Tunisie)	Tableau III.2	53
L'analyse granulométrique du sable A (Aoulef)	Tableau III.3	54
L'analyse granulométrique du sable Ai (Aine Bouda)	Tableau III.4	54
Caractéristiques physiques du trois types de sable	Tableau III.5	56
Tableau III.6 Les résultats de l'analyse chimique et minéralogique		60
Tableau III.7 Les résultats de l'analyse de l'eau des dates : 09, 10, 11,12 et 13/04/2005 pour différentes heures de la journée		65
Tableau III.8 Les résultats de l'analyse de l'eau brute après décantation		85
Tableau III.9 Résultats de l'analyse de l'eau après filtration		91

INTRODUCTION

L'eau est indispensable à la vie. Elle constitue 70% du poids du corps humain.

Elle est utilisée pour de nombreux usages essentiels: la boisson, la préparation des repas, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, les loisirs, l'industrie, l'agriculture...

L'eau que nous utilisons provient du réseau public de distribution des eaux. Celui-ci peut être alimenté par un cours d'eau, une nappe phréatique, une source, un barrage.

Les eaux de surface (cours d'eau, lacs, étangs), sont alimentées par le ruissellement des eaux de pluie.

L'eau brute captée en milieu naturel n'est pas toujours potable. Elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à une usine spécialisée dans le traitement de l'eau (barrage), qui la rend "potable" c'est à dire consommable sans risques.

Selon le type d'eau, différents types de traitement peuvent être préconisés (la décantation, la filtration...).

La filtration sur lit de sable élimine les derniers flocons. Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin ou une membrane. Les particules encore présentes dans l'eau sont alors retenues au fil de leur cheminement dans le filtre (nettoyé régulièrement par envoi d'eau et d'air à contre-courant pour permettre aux flocons de se détacher des grains de sable).

Le but de la filtration est de séparer les constituants d'un mélange liquide - solide par passage à travers un milieu filtrant. Cette opération est beaucoup plus rapide que la sédimentation: elle est donc plus utilisée.

Les matériaux de filtration rencontrés dans le traitement des eaux de consommation sont divers. Ils doivent présenter les qualités suivantes : insolubles, non friables et ne doivent larguer aucune substance susceptible d'altérer les qualités de l'eau.

Parmi les matériaux granulaires utilisés en traitement d'eau, le sable est le milieu le plus couramment mis en oeuvre, qu'il s'agisse de production d'eau destinée à la consommation humaine, d'eaux de piscine, d'eaux pour utilisations industrielles ou de filtration d'eaux issues de stations d'épuration en traitement tertiaire.

Le sable doit répondre à certaines exigences afin d'être apte à la filtration. Il convient de plus de connaître ses caractéristiques afin de choisir le sable le mieux adapté à l'application pour laquelle il est destiné.

Dans ce but, une étude comparative entre les trois sables, à savoir un sable importé de Tunisie, le sable d'Aoulef et le sable de Ain bouda, a été interprétés afin d'avoir le sable le plus efficace pour le traitement de l'eau de Barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar.

Le présent travail est subdivisé en trois chapitres. Le premier chapitre définit les généralités sur les principales propriétés de l'eau ainsi que les méthodes d'analyse et les procédés de traitement de l'eau. Dans le suivant, nous donnons les caractéristiques de la décantation, les différents types des décanteurs et l'étude du phénomène de filtration et le chapitre trois présente l'étude expérimental.

Nous achevons ce modeste travail par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Généralité sur l'eau

I-1 Introduction

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constituées d'eaux souterraines (nappe souterraine,...) des eaux terrestres (barrages, lacs, rivières,...), et en eaux de mer. Les ressources mondiales en eau exprimées en millions de mètres cubes sont estimées à : 1 350 pour les eaux salées, 33,6 pour les eaux douces et 74,4 en neige et glace. [1]

I-2 Propriétés de l'eau:

1) **Propriétés chimiques de l'eau**

L'eau, de par ses propriétés électriques et de par sa constitution moléculaire, est particulièrement apte à la mise en solution de nombreux corps gazeux, liquides polaires et surtout solides. [1] [2] La **solvatation** (ou action hydratante de l'eau) est le résultat d'une combinaison complète ou partielle de divers liens électrostatiques entre les atomes et les molécules du corps à dissoudre. En effet, les nouveaux liens avec les molécules d'eau forgent de nouvelles structures : il se produit une véritable réaction chimique. Une solvatation complète est une **dissolution**.

La **solvatation** est le phénomène physico-chimique observé lors de la dissolution d'un composé chimique dans un solvant.

Lors de l'introduction d'une espèce chimique initialement à l'état solide (sous forme de crystal ou bien amorphe) dans un solvant, les atomes, ions ou molécules du solide sont liés entre eux. Le produit ne va se dissoudre que si les molécules du solvant réussissent à rompre les liaisons dans le solide :

- soit par réaction chimique ;
- soit en affaiblissant suffisamment les liaisons

La solvatation est cette action des molécules du solvant sur le solide.

Pour qu'il y ait dissolution, les molécules du solvant doivent donc avoir une affinité avec les constituants du solide. Donc, les espèces dissoutes sont entourées par des molécules de solvant.

Cette action des molécules de solvant sur le solide constitue la solvatation.

La solvatation d'une espèce dépend de la nature du solvant et du soluté. En règle générale, un composé polaire sera très bien solvatoé dans un solvant polaire, tandis qu'un composé apolaire sera mieux solvatoé dans un solvant apolaire.

La solvatation dans l'eau est aussi appelée hydratation.

2) Propriétés biologiques de l'eau

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants [3]. Il existe un cycle biologique, cycle au cours duquel s'effectue une série d'échanges. L'eau entre pour une grande part dans la constitution des êtres vivants. Pour l'être humain, on cite les pourcentages suivants : [4]

- nouveau-né 66 à 74 %
- adulte..... 58 à 67 %

I-3 Eaux de surface :

Les principales sources d'**eau potable** sont les eaux de **surface**. Ces eaux s'avèrent souvent impropres à la consommation en raison de la pollution générée par nos activités urbaines, industrielles et agricoles. En effet, la qualité des eaux de **surface** varie selon les régions et les périodes de l'année. La nature et l'intensité des activités ne permettent pas toujours au cours d'**eau** de diluer ou de neutraliser la pollution à un niveau acceptable, si bien que l'**eau** ne peut pas être utilisée pour la consommation. L'emplacement des prises d'**eau** par rapport aux sources de pollution est aussi déterminant pour la qualité de l'**eau**. Il convient ainsi de situer la prise d'**eau** en amont d'une source importante de pollution (comme une ville ou une zone agricole) et de protéger cette prise d'**eau** en interdisant l'émission de contaminants aux alentours dans une zone d'une étendue respectable.

La qualité des eaux de **surface** varie fortement suivant leurs origines. Selon le cas, elles sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides, peu minéralisées,... Elles sont également vulnérables aux pollutions. De ce fait, les eaux de **surface** nécessitent des installations de traitement conséquentes comprenant généralement des opérations de chloration, coagulation, floculation,

décantation/ flottaison, filtration, minéralisation, neutralisation de l'acidité. L'eau de **surface** peut aussi être filtrée sur du charbon actif. L'ozonisation est aussi une technique utilisée pour éliminer les micro-polluants, les germes, les mauvais goûts, les couleurs et les odeurs.

Le coût du traitement, les variations saisonnières des caractéristiques de l'eau et les difficultés engendrées par les produits secondaires issus de la chloration d'eaux trop riches en matière organiques constitue les inconvénients majeurs des eaux de **surface** par rapport aux eaux souterraines. Les eaux de surface sont constituées des eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. .[5.6]

a/ Caractéristiques générales :

Une eau de surface peut être chargée de gaz dissous, issus de l'atmosphère : le dioxyde de carbone CO₂, l'azote N₂, l'oxygène O₂... Elle peut dissoudre des constituants minéraux contenus dans le sol. L'eau de surface est chargée de particules, matériaux divers,... en suspension :

- **Matières En Suspension (M.E.S)** : Elles représentent tout élément en suspension dans l'eau dont la taille permet sa rétention sur un filtre de porosité donnée. Les M.E.S. sont liées à la turbidité (mesure du trouble de l'eau).
- **Les Colloïdes** : sont des micelles chargées négativement (diamètre de 0,5 µm à 0,5 mm).
- **Matières Organiques (M.O)** : Elles sont issues de la décomposition des animaux et végétaux morts.
- **Plancton (Phytoplancton, Zooplancton)** : Il est constitué par des bactéries, des protozoaires, algues, animaux, et végétaux de petites tailles en surface ou proche de la surface.

Les eaux de surfaces sont sujettes à des :

- variations de la teneur en oxygène, fer, plancton,... en fonction de la profondeur.
- pollutions bactériennes et/ou virales (virus de la poliomyélite, le Choléra,...).
- pollutions organiques (eutrophisation : surmultiplication des algues).

b/ Types de pollutions:

- Pollutions microbiologiques
- Pollution urbaine (eaux de lavages, de lessives, de vaisselles, urée, etc..).
- Pollution agricole (engrais, pesticides, herbicides,...)

- Pollutions industrielles : radioactivité (Hôpitaux, Centre nucléaire)
- Pollutions chimiques :
 - polluants organiques (Hydrocarbures, phénols, cellulose,..)
 - polluants inorganiques (Molybdène, fer, manganèse,...) [7.8]

I-4 L'eau potable:

1) Qualité des eaux de boisson :

On note que 5 millions de personnes meurent chaque année dans le monde du fait de la mauvaise qualité de l'eau! L'assurance de la qualité et de l'hygiène de l'eau est l'une des exigences prioritaires de la santé publique.

1. Contrôle de la qualité de l'eau

Dans le but d'avoir une eau de qualité, les contrôles sont de plus en plus rigoureux. Ainsi en France, 5 paramètres étaient contrôlés en 1954 ; alors qu'ils sont de l'ordre de 61 en 1989. L'eau est l'aliment le plus surveillé ; Cela est fonction du développement des techniques d'analyses mais aussi de l'introduction dans le milieu de nouvelles substances dangereuses. [9]

Tableau I.1 : Classification des paramètres qui contrôlent la qualité de l'eau.

Paramètres	Exemples
4 organoleptiques	Couleur, turbidité, odeur, saveur.
15 physico-chimiques liés à la structure naturelle des eaux	Température, pH, chlorures, sulfates, magnésium, sodium, potassium, etc..
24 substances indésirables	Nitrates, nitrites, hydrocarbures, détergents, phénols, fer, manganèse, fluor, argent...
13 substances toxiques	Arsenic, cadmium, mercure, chrome, béryllium, plomb, nickel, hydrocarbures polycycliques aromatiques...
Pesticides	Aldrine, dieldrine, hexachlorobenzène...
8 microbiologiques	Coliformes, streptocoques, salmonelles, entérovirus, staphylocoques, bactériophages fécaux...

2. Les Normes de potabilité

Qu'est-ce qu'une eau potable? Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S., 1972), l'eau destinée à la consommation urbaine ne doit contenir ni substances chimiques, ni germes nocifs pour la santé. En outre, elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. Cette définition doit être traduite en termes permettant de déterminer si une eau est potable ou non. C'est là l'objet des normes de potabilité, approche quantitative de la notion qualitative de potabilité. Ces normes s'appliqueront à un certain nombre de grandeurs jugées pertinentes en la matière. **[10.11]**

- **Grille normative utilisée pour estimer la qualité de l'eau de boisson :**

Cette grille a été établie par l'agence nationale des ressources hydrauliques pour limiter les concentrations des paramètres physico-chimiques dans les eaux de boissons.

Tableau I.2 : Grille normative pour estimer la qualité de l'eau en Algérie.

	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Physico-chimiques				
pH	6.5-8.5	6.5-8.5	>6,<9	>5,<9
T°C	25	25-30	30-35	>35
Minéralisation mg/l	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600
Ca ²⁺ mg/l	40-100	100-200	200-300	>300
Mg ²⁺ mg/l	30	30-100	100-150	>150
Na ⁺ mg/l	10-100	100-200	200-500	>500
Chlorures mg/l	10-150	150-300	300-500	>500
Sulfates mg/l	50-200	200-300	300-400	>400
Organiques :				
O ₂ dissous %	>100	100-50	50-30	>30

Chapitre I: Généralités sur l'eau

DBO ₅ mg/l	5	5-10	10-15	>15
DCO mg/l	20	20-40	40-50	>50
Matières organiques	5	5-10	10-15	>15
Composés azotés :				
Ammonium mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrites mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrates mg/l	0-10	10-20	20-40	>40
Composés phosphorés:				
Phosphates mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Éléments toxiques et indésirables :				
Fe mg/l	0-0.5	0.5-1	1-2	>2
Mn mg/l	0-0.1	0.1-0.3	0.3-1	>1
Cr mg/l	0	0-0.05	0.05-0.5	>0.5
Cu mg/l	0-0.02	0.02-0.05	0.05-1	>1
Zn mg/l	0	0-0.5	0.5-1	>1
Cd mg/l	0	0	0-0.01	>0.01
Pb mg/l	0	0	0-0.05	>0.05
F ⁻ mg/l	0	0-0.8	0.8-1.5	>1.5
CN ⁻ mg/l	0	0	0-0.02	>0.2
Phénols mg/l	0.001-0.002	0.002-0.02	0.02-1	>1

Les paramètres faisant l'objet de limites de qualité sont classés en sept grandes catégories :

- **Les paramètres organoleptiques**

Il s'agit de la saveur, de la couleur, de l'odeur et de la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire mais, par leur dégradation, ils peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution. Ils permettent au consommateur de porter un jugement succinct sur la qualité de l'eau.

- **Les paramètres en relation avec la structure de l'eau**

Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...). Ce sont eux qui font l'identité de base de l'eau.

***Conductivité.**

La conductivité électrique permet d'avoir une idée concise de la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH peu ordinaires, soit avec une salinité élevée. Il y a lieu de noter que l'eau d'alimentation a une conductivité électrique de $2800\mu\text{S}/\text{cm}$.

***Titre alcalimétrique.**

Le titre alcalimétrique permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale. Le titre alcalimétrique complet, donnant l'alcalinité totale de l'eau (pas seulement l'alcalinité due au bicarbonate et au carbonate), ne doit pas être inférieur à 50 °F.

***Chlore**

Pour le chlore, la concentration "à risques" est de 200 mg/l. Les eaux chlorurées alcalines sont laxatives et peuvent poser des problèmes aux personnes atteintes de maladies cardio-vasculaires ou rénales. La présence de chlorures dans les eaux est due, le plus souvent, à la nature des terrains traversés. Elle peut être aussi un signe de pollution (rejet industriel ou rejet d'eaux usées).

***Sulfates**

Les concentrations maximales admissibles sont limitées à 250 mg/l. Des concentrations supérieures à 250 mg/l ne sont pas dangereuses mais comportent un risque de troubles diarrhéiques, notamment chez les enfants. La présence de sulfates est liée à la nature des terrains traversés. Elle peut également témoigner de rejets industriels.

• Les paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût (matières organiques, phénols, fer...), odeur (matières organiques, phénols...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor).

***Matières organiques**

La contamination des eaux par des matières organiques est mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium. Cette dernière est admissible pour une concentration maximale de 5 mg/l d'oxygène.

***Ammonium**

Par mesure de précaution, une concentration supérieure à 0,05 mg/l en ammonium laisse suspecter une pollution récente d'origine industrielle ou humaine. En effet, la concentration maximale admissible est de 0,5 mg/l.

***Nitrites**

Etant un signe très fort de la pollution pour des concentrations limites de 0,1 mg/l, la présence de nitrites dans les eaux justifie une analyse chimique et bactériologique détaillée.

***Nitrates**

Une eau contenant plus de 50 mg/l de nitrates est officiellement non potable car elle concentration maximale. Cependant, on estime que la consommation d'une eau ayant une teneur en nitrates comprise entre 50 et 100 mg/l peut être tolérée, sauf pour les femmes enceintes et les nourrissons. Au-delà de 100 mg/l, l'eau ne doit pas être consommée. Les populations concernées doivent être informées dans les meilleurs délais et par tous les

moyens adaptés. Pour les effets néfastes des nitrates sur la santé, il y a lieu de noter que l'ingestion de nitrates à fortes doses est susceptible, sous certaines conditions, de perturber l'oxygénation du sang chez les nourrissons ("maladie bleue", ou méthémoglobinémie). En outre, ils sont suspectés d'être à l'origine de l'apparition de cancers digestifs. Sur le plan floral, les effets des nitrates sur l'écosystème sont considérables. Associés au phosphore, les nitrates modifient le comportement de certaines espèces végétales. Dans les eaux douces, ils participent aux phénomènes de prolifération d'algues microscopiques (eutrophisation), préjudiciables aux traitements de potabilisation et à la sécurité des baignades (diminution de la transparence de l'eau). Dans les eaux de mer, cette eutrophisation se manifeste par des accumulations importantes d'algues vertes sur les plages.

***Fer**

Les besoins journaliers de l'organisme en fer s'élèvent à l'ordre de 1 à 2 mg. Les limites de potabilité sont basées sur des effets esthétiques, le seuil gustatif, les effets ménagers et les inconvénients qu'entraîne le fer, à trop fortes concentrations, dans les réseaux de distribution. A des concentrations de l'ordre de 300 mg/l, le fer tache le linge et les installations sanitaires en lui conférant de mauvais goût l'eau. Sa concentration maximale admissible est de 200 mg/l.

• Les paramètres toxiques

Une pollution industrielle de l'eau du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau lesquels sont dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Ils sont essentiellement représentés par les métaux lourds (plomb, nickel, mercure, chrome, cyanure, cadmium, arsenic etc.). Le cadmium, par exemple, est classé parmi les substances toxiques. Il a la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants au niveau du foie et des reins. Sa toxicité est liée à sa dissolution dans le sang. L'exigence de qualité sur la teneur en cadmium dans les eaux distribuées est de 5 µg/l. Si les canalisations sont en plomb (installations anciennes) et si l'eau est acide, elle peut le dissoudre. Le plomb expose les consommateurs au risque de **saturnisme**, intoxication chronique pouvant modifier l'humeur (irritabilité), le sommeil avec une diminution des capacités intellectuelles. La

teneur en plomb est limitée actuellement à 50 mg/l. La France devra rénover environ 40 000 km de canalisations pour se conformer aux normes... [12.13]

- **Les paramètres microbiologiques**

L'eau ne doit contenir ni microbes, ni bactéries pathogènes, ni virus qui pourraient entraîner une contamination biologique et être la cause d'une épidémie. Le dénombrement bactérien consiste à rechercher des bactéries aérobies, c'est-à-dire celles qui pourraient se développer en présence d'oxygène. Cette analyse est surtout significative pour l'étude de la protection des nappes phréatiques.

- à 37 °C et pendant une durée de 24 heures, on isole les bactéries vivant chez l'homme et chez les animaux à sang chaud. Si la population bactérienne ne dépasse pas 10 unités/ml, on peut en conclure qu'il n'y a pas de risques potentiels.
- à 20-22 °C et pendant une durée de 72 heures, on isole les bactéries du milieu naturel. Si la population bactérienne ne dépasse pas 100 unités/ml, on peut en conclure qu'il n'y a pas de risques potentiels.
- - Coliformes totaux et fécaux (Concentration maximale : 0)
 - Streptocoques fécaux (Concentration maximale : 0)
 - Clostridium sulfito-réducteurs (Concentration maximale : 0)
 - Staphylocoques pathogènes (Concentration maximale : 0)

La présence de coliformes fécaux ou de streptocoques fécaux indique une contamination de l'eau par des matières fécales. La présence d'autres coliformes, de clostridium ou de staphylocoques laisse supposer une contamination de ce type. Dans les deux cas, des mesures doivent être prises pour interdire la consommation de l'eau ou en assurer le traitement.

Les pollutions microbiologiques ne sont pas rares : d'après l'Institut Français de l'Environnement, plus de 17 millions de personnes ont consommé en 1997 une eau ponctuellement polluée par des streptocoques fécaux ou des coliformes. Dans ce domaine, on manque encore d'études épidémiologiques. [14]

- **Les paramètres concernant les pesticides et les produits apparentés**

Souvent dû à l'utilisation de produits destinés à la lutte contre les parasites, les insectes et les herbicides, la présence de pesticides et des produits apparentés dans l'eau est limitée à des doses infimes, à titre préventif pour la santé. La réglementation fixe à 0,1 mg/l la concentration maximale par substance individuelle et à 0,5 mg/l le total des substances mesurées. A forte dose, la toxicité sur l'homme (travailleurs exposés professionnellement) et les animaux est indéniablement prouvée. Les pathologies les plus souvent décrites sont des cancers. En revanche, les effets liés à l'ingestion de faibles teneurs, aussi bien dans l'alimentation que dans l'eau distribuée, restent encore peu connus. On suspecte les pesticides de "perturber les régulations hormonales et d'accroître le risque de cancers du sein, de la prostate et du testicule" (étude de De Hayo et Van der Werf citée par *Eurêka* no 36 octobre 98) et de diminuer la fertilité masculine. [14]

- **Les paramètres concernant les eaux douces**

Des seuils de teneurs en calcium et en magnésium (dureté) et d'alcalinité (pH) ont été fixés pour que l'eau douce convienne à la consommation humaine.

***L'acidité**

Le pH doit être, moyennement neutre, soit compris entre 6,5 et 8,5. Des pH inférieurs à 7 peuvent provoquer une corrosion des tuyauteries métalliques. La corrosion augmente avec le degré d'acidité de la solution (pH). Des concentrations élevées en plomb, par exemple, peuvent résulter de la corrosion de canalisations par une eau exagérément acide.

***Dureté**

La dureté d'une eau correspond à la présence de sels de calcium et dans une moindre mesure, de sels de magnésium (de strontium, de baryum). On l'exprime en général en milligrammes d'équivalents de carbonate de calcium par litre. Ce paramètre ne fait pas l'objet de normes strictes. Il varie le plus souvent entre 10 mg/l et 500 mg/l. La valeur de 100 mg/l est couramment atteinte. Avec l'intervention d'autres facteurs (pH, alcalinité), une dureté de plus de 200 mg/l peut entraîner l'entartrage des canalisations et des appareils de chauffage. A l'inverse, une dureté trop faible (inférieure à 100 mg/l) ne permet pas la formation d'une couche carbonatée protégeant les canalisations de certains risques de corrosion. Les éventuels effets sur la santé de la dureté de l'eau de boisson sont

controversés. Quoi qu'il en soit, par rapport à l'alimentation, l'apport de calcium et de magnésium par l'eau est faible (5 à 20 %).[15]

I-5 Analyse de l'eau:

Les études de qualité des eaux naturelles comportent trois étapes :

- L'échantillonnage.
- L'analyse
- L'interprétation. [16]

1) L'échantillonnage :

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence et la représentativité de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser. Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, suffisamment bien rincés avec de l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon.

a) Matériau de flaconnage :

La nature du matériau du récipient de prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser (passage en solution d'éléments chimiques entrant dans la composition du flacon ou fixation de certains ions de l'eau sur les parois du récipient). Le matériau idéal n'existe pas et l'emploi de tel produit plutôt que tel autre dépend de la nature des éléments à doser :

- Le quartz est le matériau le plus adapté pour la bonne conservation des échantillons mais il s'avère très fragile ;
- Le verre et le pyrex peuvent être employés sans problème pour le dosage des ions majeurs. Cependant des oligo-éléments peuvent passer en solution dans l'eau (silice du verre et bore du pyrex) ;
- Le polyéthylène est souvent recommandé pour les prélèvements en vue de mesures d'éléments radioactifs. Relativement poreux vis-à-vis des gaz, on lui préfère cependant le verre pour le prélèvement et la conservation des eaux fortement chargées en gaz (la diffusion est cependant assez lente).
- Les sachets de prélèvement en polyvinyle présentent l'avantage de ne servir qu'une seule fois, mais ils ont l'inconvénient de libérer du chlore si ces sachets restent trop longtemps exposés à la lumière.

b) Modifications possibles de l'échantillon :

Le fait de prélever un échantillon d'eau et de le séparer de son milieu naturel entraîne des modifications plus ou moins importantes selon les paramètres. Certains peuvent être considérés comme stables, les autres varient très rapidement : la température, la conductivité, le pH et les gaz dissous, les nitrates et les sulfates. Une variation de température entraîne une modification des constantes d'équilibres des éléments en suspension. Pour établir de nouveaux équilibres à la nouvelle température ambiante, divers réactions chimiques se produisent qui peuvent entraîner la précipitation de sels, favoriser la mise en solution de gaz... Toutefois, une température basse (environ -4°C) bloque l'évolution des réactions.

Chaque espèce ionique participe à la conductivité totale de la solution. Aussi, toute modification des équilibres chimiques, donc des proportions relatives des éléments dissous, entraîne un changement de la conductivité. Le CO_2 en solution tend à s'échapper d'autant plus que la température de l'eau est plus élevée. Un départ de CO_2 peut provoquer la précipitation de carbonate, qui à son tour modifie le pH. Les nitrates et les sulfates peuvent être réduits par l'activité bactérienne.

c) Représentativité des échantillons :

Dans les eaux de surfaces, les prélèvements doivent être effectués de façon à éviter au maximum les effets de bords (oxygénation trop près de la surface, mise en suspension des matières solides trop près du fond, eau stagnante trop près des rives...). Il peut être nécessaire de constituer un échantillon « moyen » en mêlant plusieurs prélèvements effectués en divers points d'une section de rivière, afin de mieux connaître la chimie moyenne de l'eau sur une section donnée. En revanche, il est indispensable d'effectuer différents prélèvements dans l'espace et dans le temps et de les traiter séparément pour étudier le fonctionnement d'une mare.

d) Mesures in situ :

La température, le pH, la conductivité, l'alcalinité et l'oxygène dissous doivent être mesurés in situ. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et susceptibles de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site. L'idéal est d'effectuer les mesures en continu (sauf l'alcalinité qui se mesure par titrage), en plein courant s'il s'agit d'une rivière ou dans un seau placé au refoulement de la pompe s'il s'agit d'eau souterraine. Il faut veiller à ne pas aérer l'eau (risque de précipitation d'éléments en solution, oxygène...). [17]

2) Méthodes d'analyse :

Le matériel et les méthodes utilisables sur le terrain sont présentés dans le tableau ci – dessous :

Tableau I.3 : Matériels et méthodes d'analyse de l'eau sur le terrain.

Paramètres	Mesure par sonde portative électrochimique	Photométrie (spectromètre)	Titrage ou colorimétrie
<u>pH</u>	<u>X</u>		
<u>Conductivité</u>	<u>X</u>		
<u>Chlorures</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Alcalinité</u>			<u>X</u>
<u>Phosphates</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Sulfates</u>		<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Ammoniac</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Calcium</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Magnésium</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Sodium</u>	<u>X</u>		
<u>Potassium</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Dureté</u>		<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Fer</u>		<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Manganèse</u>		<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Fluorures</u>		<u>X</u>	
<u>Silice</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Aluminium</u>			<u>X</u>
<u>Chlore</u>			<u>X</u>
<u>Hydrogène sulfuré</u>		<u>X</u>	<u>X</u>
<u>Oxygène</u>	<u>X</u>		
<u>Oxydabilité</u>			<u>X</u>

Les méthodes évoquées dans le tableau ci-dessus correspondent à l'emploi de matériel léger et relativement convivial. Il faut cependant garder en mémoire le fait que :

- les analyses réalisées par colorimétrie et interprétées visuellement ne sont pas très précises ;
- les analyses faites par ionométrie, requérant l'emploi de sonde spécifique, sont simples à mettre en œuvre, mais les sondes sont fragiles, onéreuses et de durée de vie limitée (environ un an) ;

- En vue de vérifier la reproductibilité des résultats précis des analyses des éléments « majeurs » et de les valider, il est recommandé de s'adresser à un laboratoire, ce qui ne représente pas un coût excessif. De telles procédures pourraient être utilisées de façon plus routinière ; Cependant, on note que l'utilisation de bandelettes pour la mesure du pH donne des résultats très approximatifs. [18]

3) Eléments d'interprétation :

Dans les eaux de surface, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, la température et la turbidité sont mesurés in situ. Ils permettent une première estimation de la qualité du milieu. Les phosphates, l'ammoniac, les nitrates et le fer permettent d'apprécier l'impact de rejets polluants sur la biosphère. Les analyses bactériologiques confirment, en général, la pollution microbienne de ces eaux de surface et permettent d'en fixer l'importance. [19]

I-6 Traitements de l'eau:

1) Les étapes du traitement

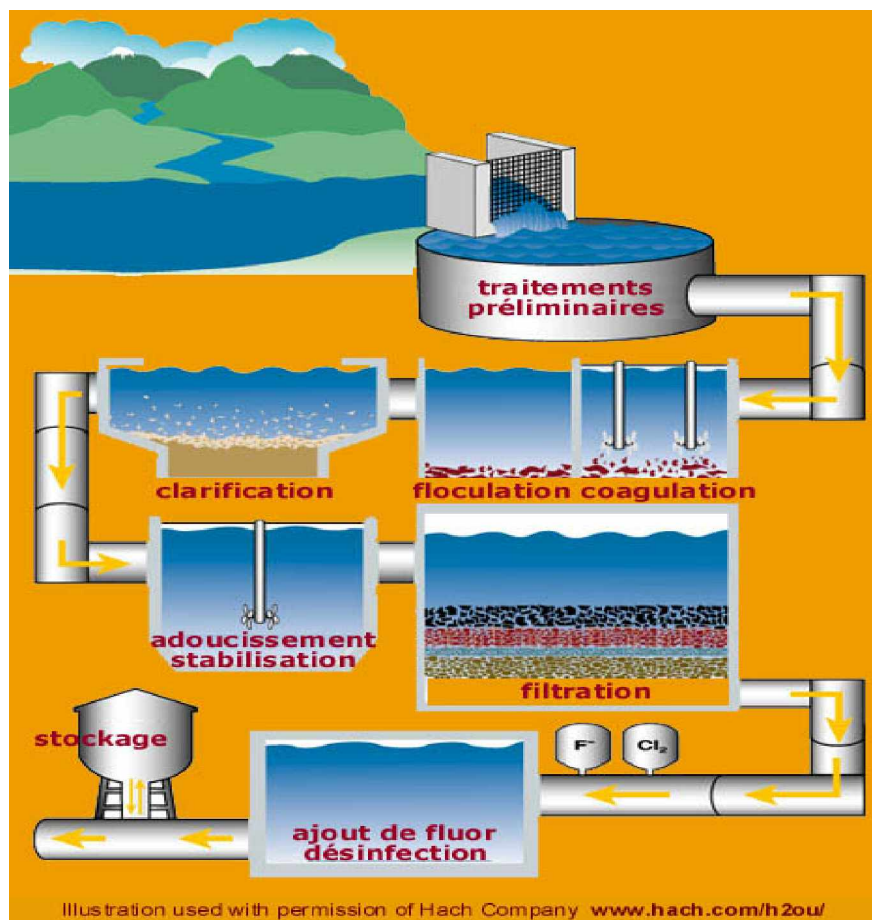
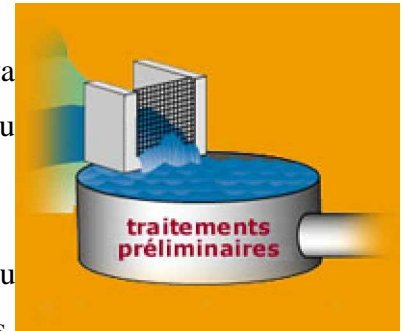


Figure I.1: Les différentes étapes du traitement de l'eau.

1. Prétraitement

Avant de procéder au traitement proprement dit, l'eau va subir différents **prétraitements** (physiques, chimiques ou mécaniques). Il s'agit, par exemple, de :

- retenir à l'aide de grilles des déchets solides plus ou moins volumineux tels que des pierres, branches, feuilles, etc.
- ajouter des produits chimiques pour prévenir ou limiter la croissance d'algues ;
- effectuer une sédimentation de matériaux légers tels que sable, gravier, ...



2. Floculation et coagulation

Pour la faire débarrasser des matières légères en suspension telles que les microorganismes, on procède à **un traitement chimique**.

On ajoute des produits chimiques comme l'alun ou le chlorure de fer puis on procède à une agitation rapide de l'eau dans un grand bassin. Les particules légères coagulent en plus grosses particules appelées floc. Lors de la coagulation, une partie du floc va se déposer. Puis, assez lentement, ce processus va se poursuivre : c'est **la floculation**.



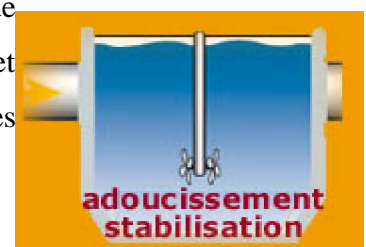
3. Clarification

En laissant couler l'eau lentement dans de grands bassins, un résidu de boues et d'eau s'accumule au fond. Ce résidu est ensuite recueilli et éventuellement stocké. Ce processus est également appelé **décantation**.



4. Adoucissement

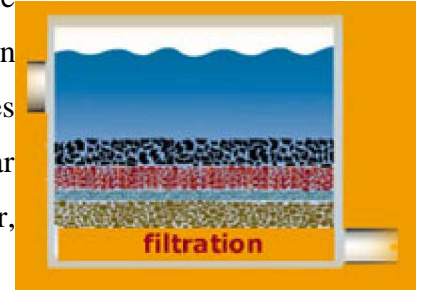
Une eau dure (c'est à dire assez riche en calcium, en magnésium, ...) peut à la longue causer des problèmes aux canalisations (dépôt de calcaire) ou, encore, diminuer l'efficacité des savons et détergents. Par contre, les canalisations peuvent être corrodées



par une eau trop douce. L'établissement d'un juste équilibre entre ces deux excès est le but de cette étape.

5. Filtration

Arrivée à ce stade, l'eau peut paraître trouble (on parle de turbidité) à cause de la présence de matières encore en suspension (algues, microorganismes, fer, substances utilisées dans les processus précédents, ...). L'eau est alors filtrée par passage à travers des couches de matériaux divers (sable, gravier, charbon,...).



6. Désinfection

Il est communément admis que le fluor protège l'émail des dents. Son apport alimentaire étant insuffisant, on y supplée en l'ajoutant dans l'eau de distribution. En ajoutant du chlore (efficace et économique) dans l'eau, on détruit les organismes pathogènes.



7. Stockage

Finalement, l'eau propre à la consommation sera stockée dans le but de satisfaire la demande. [20]



CHAPITRE II

Décantation et filtration

II-1 La décantation :

La déstabilisation des colloïdes et leur rassemblement en floccs de taille suffisante facilitent leur déposition sous l'effet de forces de gravitation ; Il reste à instaurer un régime hydraulique qui permet à ces floccs, relativement assez légers, de se déposer dans un ouvrage d'où l'on pourra les ôter commodément. Ainsi, la décantation est l'opération d'élimination de particules qui ont une densité relative supérieure à celle de l'eau. A la fin de cette opération de traitement, il faut envisager le traitement des boues accumulées au fond du bac de décantation. [20]

1- Types de décantation:

Il existe différents types de décantation :

1) Décantation discrète : Les particules à décanter gardent leurs propriétés.

2) Décantation freinée : Dans cette technique, on note une interaction forte entre les particules avec une séparation nette entre liquide et boues.

3) Décantation verticale dans un décanteur de section rectangulaire : Soit un cylindre droit de section S (m^2) traversé par un fluide chargé en matières en suspension de débit Q ($m^3 \cdot h^{-1}$), on appelle la vitesse de Hazen ou vitesse superficielle le rapport suivant:

$$V_c = \frac{Q}{S}$$

Il y a chute si $V_c > V_{\text{ascendante de l'eau}}$. En d'autres termes et en fonction de la hauteur du cylindre et du temps mis pour sa traversée par les particules, la vitesse V_c a pour expression :

$$V_c = \frac{H}{t}$$

où H est la hauteur du cylindre et t est le temps de décantation. Seules les particules dont la vitesse est supérieure à V_c sont éliminées. [21] L'analyse des forces agissant sur une particule

en chute dans la phase liquide en régime de Stokes conduit à l'établissement de la relation suivante :

$$V_c = \frac{1}{18\mu} g d^2 \Delta\rho$$

V_c , d , μ sont la vitesse limite de chute de la particule, le diamètre de la particule et la viscosité de l'eau en fonction de la température respectivement. La différence $\Delta\rho$ est de :

$$\Delta\rho : \rho_{\text{solide}} - \rho_{\text{eau}}$$

Condition de chute :

$$V_c \geq \frac{Q}{S}$$

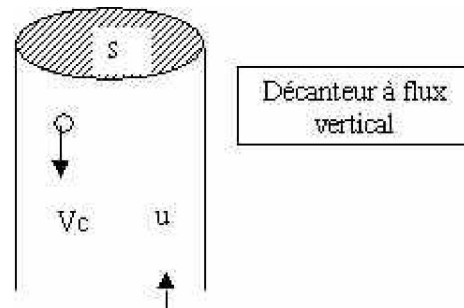


Figure II.1: Principe de la décantation à flux vertical.

2- Le bac de décantation

Les eaux de sources, et spécialement celles des sources à gros débits, contiennent des particules en suspension. Dans les cas où l'écoulement est turbulent, les eaux vont charrier de l'argile, des limons, du sable. Ces particules peuvent donner à l'eau une apparence sale et un goût rebutant. Elles peuvent également contribuer à l'accélération du phénomène d'érosion des tuyauteries ou éventuellement se déposer dans les points bas à l'occasion d'une baisse de vitesse (robinets fermés pendant les heures creuses par exemple) pour réduire ainsi progressivement le passage de l'eau tout en favorisant l'augmentation des pertes de charges. Si l'on arrive à retenir l'eau, relativement tranquilisée, dans un réservoir pendant un certain temps, un grand nombre de ces particules vont tomber au fond et resteront hors de portée de la sortie du tuyau. Ce processus appelé « sédimentation » s'accomplit dans un « bac de décantation » spécialement conçu à cet effet. [21.22]

1. Vitesse de décantation

Les phénomènes de décantation se produisent, pour des tailles de particules données, à des vitesses d'écoulement spécifiques. On estime des vitesses minimales à respecter pour éviter la décantation selon le type de particules considérées sur la base des données figurant dans le tableau II.1.

Tableau II.1: Caractéristiques des particules en suspension dans l'eau.

	diamètre (mm)	vitesse de décantation (cm/ mn)	vitesse de mise en suspension (m/s)
sable	1	600	1
sable fin	0.10	50	0.5 à 1
limon	0.01	1	0.1 à 0.2

** Vitesse de décantation = vitesse verticale de la chute des particules dans l'eau au repos.

Quand la vitesse de l'eau passe en dessous de ces minima, on constate le dépôt d'une couche formée essentiellement de particules : c'est la décantation. En effet, de tels phénomènes sont perceptibles dans les citernes ou dans les adductions dont le diamètre est trop grand pour le débit considéré. Les tuyaux de trop gros diamètres vont ralentir la vitesse de l'eau pour un débit donné. Si la vitesse de l'écoulement est ralentie, on pourra assister à la décantation pour, enfin, boucher les canalisations. Une augmentation du diamètre de conduites n'est donc absolument pas la panacée pour éviter l'obturation des tuyaux. La vitesse de l'eau dans les tuyaux doit être comprise entre 0,7 m/s minimum et 2,0 m/s maximum (exceptionnel). De point de vue hydraulique, la vitesse moyenne admise pour éviter de tels phénomènes est de l'ordre de 1 à 1,5 m/s. Une vitesse importante est souvent préjudiciable car alors le courant d'eau sera trop turbulent avec des pertes de charges considérables. Les calculs nécessitent l'introduction de formules empiriques dont l'application est dépendante du domaine de leur validité dans le cas des écoulements biphasiques. C'est ainsi que des résultats risquent d'être faussés et l'eau transporterait une quantité d'air bien supérieure à ce qui était prévue théoriquement.

Par ailleurs, on définit la vitesse de mise en suspension comme étant la vitesse horizontale minimale de l'eau pour permettre la mise en suspension des particules. En d'autres termes, au dessus de cette vitesse, les particules considérées sont mises en suspension. En dessous de cette vitesse, elles peuvent décanter. La construction d'un décanteur met donc en pratique cette faculté de décantation à faible vitesse. En tranquillisant l'eau, on laisse le temps aux

particules de se déposer dans le fond du bac. Celui-ci devra être régulièrement nettoyé (curage). Contrairement à la citerne, le départ du tronçon aval sera placé en hauteur et le niveau d'eau sera fixe. Les citernes ne peuvent pas être considérées comme des décanteurs, à l'évidence, parce qu'elles sont situées en bas d'adduction tandis que les bacs de décantation sont situés en haut, mais aussi parce que le niveau de l'eau y varie constamment (heures creuses, heures pleines). Les particules qui s'y déposent pendant les heures creuses (les robinets sont fermés et la vitesse de l'eau est ralentie) seront facilement entraînées pendant les heures pleines.

2. Durée de rétention

Pour dimensionner un décanteur, nous choisissons un temps de séjour de l'eau qui permet aux particules fines de s'y déposer. Si les particules de sable fin déposent à une vitesse de 10 cm/mn, un temps de séjour, estimé de l'ordre de 15 minutes, sera acceptable pour une hauteur d'eau de 1,5 m. Si la hauteur d'eau est de 1 mètre seulement, le temps de séjour pourra être limité à 10 minutes. Pour un lit de hauteur égale à h et si la vitesse de chute est V_c , alors le temps de séjour a pour expression:

$$T_s = \frac{h}{V_c}$$

La durée pendant laquelle l'eau va rester dans le bac de décantation est appelée « **durée de rétention** ». Le calcul de cette durée de rétention va dépendre de plusieurs facteurs: le débit, la quantité des particules dans l'eau, leur taille et la surface libre de l'eau dans le bac de décantation...

3. Capacité du bac

Compte tenu de la définition de la durée de rétention, on peut alors calculer la dimension nécessaire du bac (**C**) en fonction du débit (**Q**) et de la durée de rétention (**T**).

$$C = Q \times T$$

C = Capacité en litres.

Q = Débit en litres par seconde.

T = Temps de rétention en secondes.

Pour un débit de 5 l/s, à Bélé, en Ethiopie, sur l'adduction de Fajenamata [24], donne un temps de séjour de l'eau de 20 minutes environ. Le bac a été dimensionné à 6 m³ (1,5 x 2 x 2). En effet, pour un débit de 5 litres/s et pour une durée de rétention de 20 minutes ; la capacité du bac est estimée à:

$$C = Q \times T = 5 \times 1200 = 6\,000 \text{ litres} = 6 \text{ m}^3.$$

4. Construction de l'ouvrage

On positionne l'arrivée d'eau et son départ de façon opposée de sorte à éviter les courants d'eau préférentiels qui peuvent nuire à la décantation de la totalité du débit entrant. L'arrivée et le départ sont donc placés en hauteur avec une protection pour éviter que les « flottants » qui s'introduisent dans le tuyau de départ (système de sous-verse). La vidange est largement dimensionnée de manière à créer un fort courant d'eau dans l'ouvrage quand elle est ouverte. Ce courant verse dans un puisard vers lequel convergent les pentes du fond du bac. L'élimination des sédiments piégés est ainsi facilitée.

En assainissement, des dessableurs sont installés en tête de station d'épuration. Il s'agit d'ouvrages très simples permettant une première décantation qui évite l'entrée de sable. Ce sont des petits bassins de forme allongée dans lesquels l'eau transite à une vitesse inférieure à 1 m/s. Pour les adductions à faible débit, une brise-charge remplit ce type de fonction. Il évite l'ensablage (bouchage au niveau des fontaines qui sont souvent les seuls points de remontée de l'adduction) d'autant plus facilement que le faible débit transporté induit souvent des vitesses très faibles dans l'adduction. [23,24,25].

3- Différents types de décanteurs

1. Décanteur à flux horizontaux

Dans ces bassins, la condition pour qu'une particule soit retenue est qu'elle ait le temps d'atteindre le fond avant le débordement ou la sortie de l'ouvrage. Un décanteur horizontal est caractérisé par :

- le débit d'eau Q ,
- sa surface S ,
- sa hauteur h entre le plan d'eau libre et le radier.

Dans ce cas, le *temps de rétention* dans l'ouvrage est :

$$t = \frac{S * h}{Q}$$

Une particule en suspension arrivant en surface à l'entrée du décanteur décante avec une vitesse constante V_0 . La décantation est achevée lorsque la particule s'est déposée sur le radier et la durée de chute est estimée à (h / V) . La possibilité pour les particules d'atteindre le fond de l'ouvrage est évidemment envisageable seulement si :

$$t > h / V$$

ou encore

$$V_0 > Q / S.$$

Le terme Q / S est appelée *vitesse de Hazen*, il s'exprime souvent en (m/h), [26]

2. Décanteurs à flux verticaux.

Dans ce type d'ouvrages, l'écoulement de l'eau suit un mouvement descendant vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la force de traînée. Ce sont des ouvrages de forme conique ou pyramidale pour permettre un contrôle plus aisé du voile de boues. On rencontre les ouvrages suivants :

Tableau II.2: Classification des décanteurs.

Type de décantation	Statique	À contact de boues		
		À lit de boues pulsé	À recirculation de boues	
			Sans épaissement des boues	Avec recirculation des MES
Sans équipement lamellaire	-Rectangulaire, flocculateur séparé, raclé ou non, -Circulaire, raclé, flocculateur intégré (clariflocculateur)	Pulsator	Accelator Circulator Turbocirculator Claricontact Actiflo (floc lesté)	=
Avec équipement lamellaire (plaques et/ou tubes)	Sedipac Multiflo Fluorapid (floc lesté)	Pulsatube Superpulsator Ultrapulsator	=	Densadeg

- décanteurs dits statiques,
- décanteurs à circulation de boues,
- décanteurs à lit de boues.

a/ Décanteurs dits statiques (simples ou lamellaires)

Dans ce type d'appareils, on trouve de nombreuses configurations à savoir : décanteurs circulaires ou rectangulaires, raclés ou non raclés, précédés ou non d'un flocculateur ; les plus récents peuvent être, en outre, garnis d'un dispositif de **décantation lamellaire** (plaques ou tubes, inclinés à 60° sur le plan horizontal) pour tenter d'augmenter la vitesse de passage qui, sans cela, ne pouvait dépasser $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ sur la surface de décantation (surface des flocculateurs non comprise).

b/ Décanteurs à circulation de boues.

Ils favorisent un bon contact de l'eau et des boues par recyclage total ou partiel des boues dans une colonne centrale de réaction. En outre, le rassemblement des flocons permet une sédimentation plus rapide.

— le **Circulator** (figure II.2). Il est de conception très simple. La recirculation des boues est assurée par un système d'hydro-éjecteur placé sur le tuyau d'arrivée d'eau brute. Cependant, le floc risque de se briser au passage de la tuyère, ce qui a conduit au type suivant ;

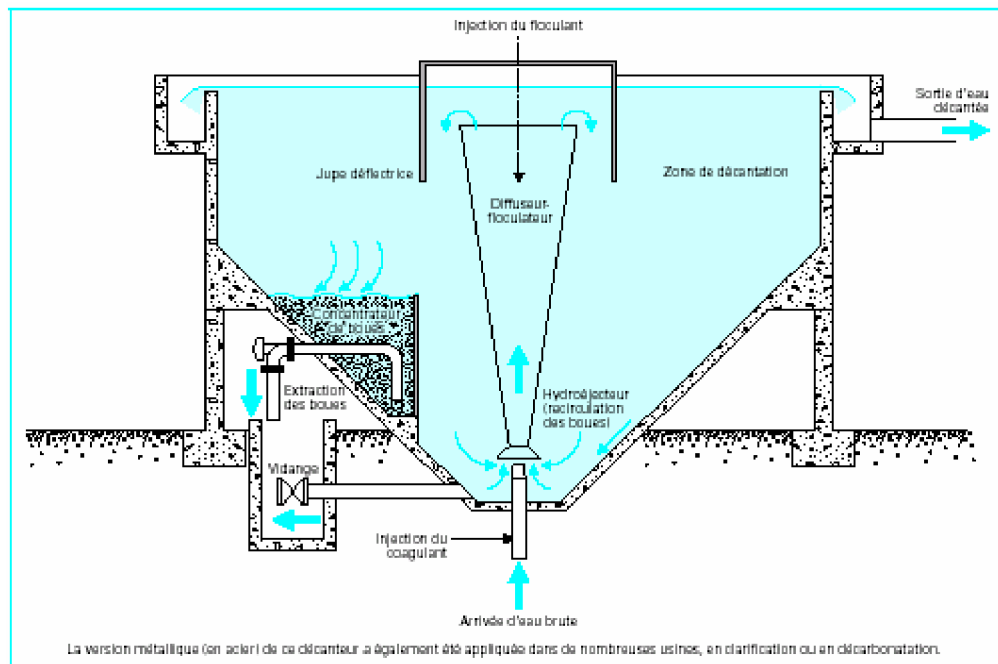


Figure II.2: Schéma d'un décanteur Circulator

— le **Turbocirculator**, dans lequel, la tuyère est remplacée par une hélice. Dans les grands appareils, le radier très incliné est remplacé par un radier à faible pente et un pont racleur assure la collecte des boues pour les ramener dans la zone centrale. [27]

c/ Décanteurs à lit de boues

Ce type d'appareil est surtout représenté par le **Pulsator** (figure II.3) dans lequel l'eau à clarifier traverse verticalement le lit de boues qui jouent un rôle de filtre fluidisé très efficace. Les pulsations (qui lui ont donné son nom) garantissent la bonne floculation et l'homogénéité du lit de boues. À surfaces de décantation égales, la vitesse autorisée est souvent est de l'ordre de 2 à 3 fois plus grande à celle d'un appareil statique (soit 3 à 5 m/h).

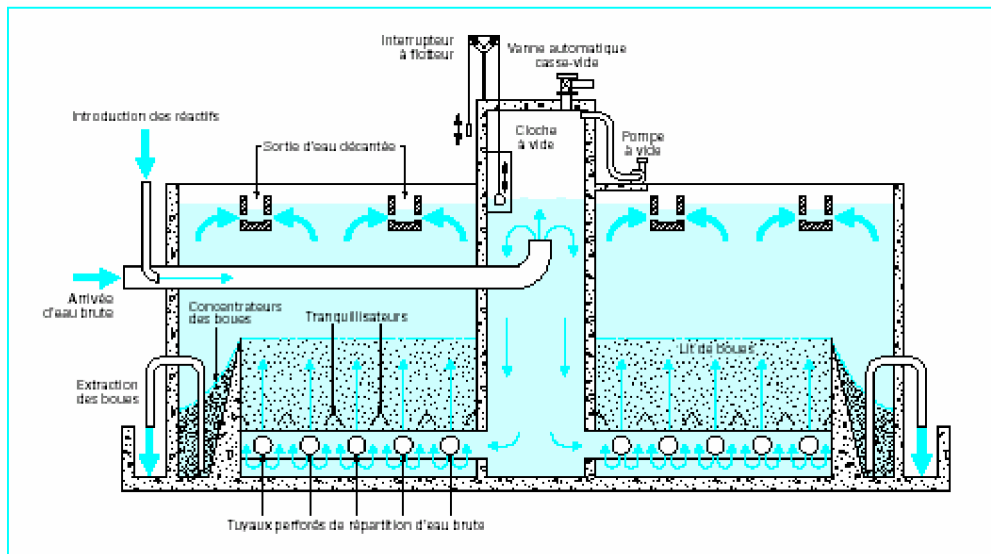


Figure II.3: Décanteur Pulsator

4- Problèmes liés à la décantation

Les problèmes les plus fréquents peuvent avoir des origines diverses, à savoir:

- **Présence de sable** : un dessablage préliminaire évitera l'engorgement du décanteur ;
- **Fortes pointes de matières en suspension** : Suivant le cas, on choisira un appareil statique raclé de préférence à un décanteur accéléré, ou bien on placera un débourbeur (pré-décanteur spécialement conçu à cet effet, précédé ou non d'une injection de coagulant) en amont d'un appareil accéléré à contact de boues ;
- **Variations brutales de températures** : Du fait des courants de convection qu'elles engendrent, les variations brutales de températures provoquent des départs de boues si l'eau n'est pas parfaitement répartie dans l'appareil.
- **Abondance d'algues** : Les bulles de gaz qu'elles dégagent provoquent des remontées de boues; Souvent un traitement préalable par pré-chloration, pré-ozonation avec,

éventuellement, un traitement simultané au charbon actif en poudre entravent ces phénomènes. [28]

II-2 La filtration :

Le but de la filtration est de procéder à la séparation la plus complète possible entre l'eau et les différentes sortes de particules en suspension. La séparation s'effectue à travers une masse granulaire. Que l'eau soit décantée (ou « flottée ») ou non, il faut toujours la filtrer pour que l'élimination des matières insolubles soit aussi complète que possible dans le but d'obtenir une eau avec une turbidité voisine de zéro. [29]

1- Rôle de la filtration

Une filtration est souvent indispensable, ne serait-ce que par mesure de sécurité et pour parvenir à une clarification correcte de l'eau. La chaîne de traitement se termine donc, dans la grande majorité des cas, par un filtre ou plus exactement par une batterie de plusieurs filtres, permettant de maintenir le fonctionnement de l'installation lorsqu'un des filtres est à l'arrêt pour une anomalie. Les particules à éliminer peuvent exister à l'état naturel dans les ressources à l'état d'argiles, limons, sables, plancton, bactéries, parasites et des virus.

Ces particules peuvent également être générées dans la chaîne de traitement de l'eau, (par exemple) :

- cas de floccs d'hydroxyde métallique produits dans une étape de coagulation / floculation,
- précipités de carbonate insolubles résultant d'un adoucissement chimique,

En complément de sa fonction principale de séparation ou de clarification, la filtration permet également de réaliser des traitements de nature *biologique*. [30]

2- Critères de choix du type de filtration en fonction de la qualité d'eau et du prétraitement

Les critères de choix présentés dans ce chapitre sont valables pour la filtration utilisée en tant que méthode de clarification (l'aspect biologique n'est pas pris en compte). Le tableau III.1, présenté ci-après, indique les domaines possibles d'application des différents types de

filtration en fonction de certaines caractéristiques de l'eau brute. Ce tableau est valable pour énumérer les techniques les techniques utilisées pour le traitement des eaux superficielles. [31]

Tableau II.3: Domaines d'application des différents types de filtration

Prétraitement avant filtration	Type de filtration	Qualité de l'eau brute			
		Turbidité (NTU)	Couleur (CU)	Algues (unités/ml)	Coliformes totaux (100 ml)
Coagulation-floculation-séparation	Filtration rapide mono ou bicouche	Pas de restriction	<75	Pas de restriction	<5000
Coagulation-floculation	Filtration rapide mono ou bicouche	< 15	<40	< 1 000	<500
Coagulation-contact	Filtration rapide mono ou bicouche	<15	<20	< 1 000	<500
Coagulation directe	Filtration rapide en mono ou en bicouche.	<15	<20	< 1 000	<500
Microtamisage	Filtration lente.	< 10	<5	<200	<800

3- Evolution des techniques de filtration

En fonction des performances qu'ils peuvent réaliser, il existe différents types de filtres :

- de la vitesse de filtration (V), exprimée par le quotient du débit (Q) sur la surface de la masse filtrante (S_f), soit :

$$V = Q / S_f$$

- des pertes de charge (perte d'énergie potentielle se traduisant par une différence de niveau d'eau) qu'ils occasionnent,

- du cycle de filtration (durée de fonctionnement entre deux opérations de lavage).

1) Filtres ouverts

De conception française, le filtre de ce type est constitué généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé, divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-

plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier. Un matériau filtrant (le plus souvent du sable) est déposé sur ce faux-plancher pour constituer un lit dont l'épaisseur est de l'ordre de 1 m, (de 0,70, à 1,20m).

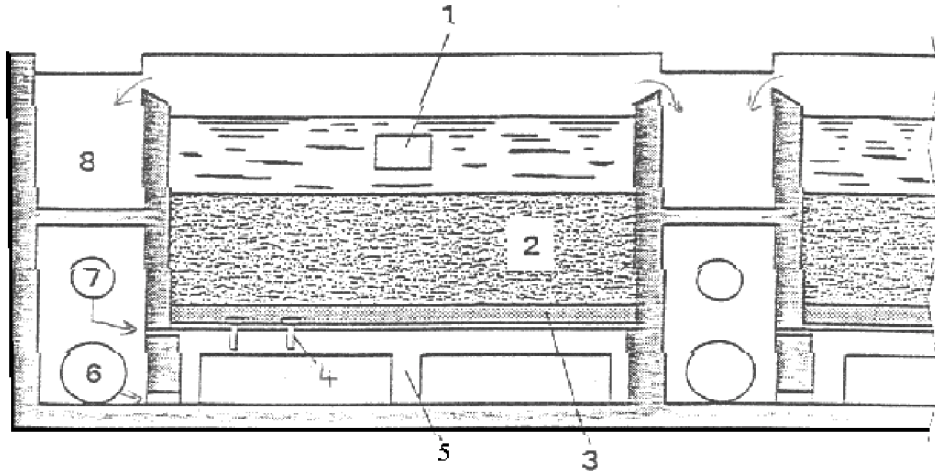


Figure II.4: Exemple de filtre (coupe schématique).

- 1- Admission de l'eau. 2- Sable filtrant. 3- Plancher de béton.
4- Crépines (passage de l'eau filtrée, ainsi que de l'eau et de l'air de lavage).
5- Poutres de soutien. 6- Sortie de l'eau filtrée et admission de l'eau de lavage.
7- Admission de l'air de lavage. 8- Goulotte d'évacuation des eaux sales de lavage.

L'eau décantée est admise au-dessus du lit filtrant, traverse celui-ci de haut en bas, ainsi que le faux-plancher qui comporte les dispositifs nécessaires à cet effet pour pénétrer dans le faux fond (entre faux-plancher et radier) où elle est filtrée et débarrassée de ses impuretés les plus fines dans le but de l'évacuer à l'extérieur. [32]

2) Filtres sous pression

Les filtres de ce type sont en cuves fermées, cylindres horizontaux ou verticaux suivant les surfaces de filtration désirées et fonctionnent sous pression. Dans ces filtres fermés, les dispositifs de régulation sont adaptés à leur mode de fonctionnement et les planchers filtrants souvent remplacés par des raquettes perforées, munies elles-mêmes de buselures ou simplement noyées dans du gravier.

4- Colmatage et régulation des filtres

Le mécanisme de la filtration consiste dans l'adsorption et la rétention sur les grains de matériaux filtrant des particules floculées. Le "colmatage" qui se produit ainsi accroît la perte de charge due au fonctionnement du filtre. Cette dernière se manifeste par la différence de niveau entre le plan d'eau sur le filtre et le plan d'eau dans une cuve de réception d'eau filtrée, à la sortie du filtre qui fonctionne à un débit donné. [33]

5- Lavage des filtres (décolmatage)

Le lavage d'un filtre à sable peut être déclenché :

- lorsqu'une consigne de perte de charge maximale est atteinte ;
- en cas de dégradation de la qualité de l'eau filtrée ;
- par un signal.

Lorsqu'un filtre est mis à l'arrêt pour lavage, en période de production d'une installation comprenant N filtres, la totalité du débit est répartie sur les (N-1) filtres restants en service. Pour des raisons évidentes, le débit accepté par ces (N-1) filtres doit rester raisonnable. C'est pourquoi, une unité de traitement destinée à produire 24h/24 devra comporter un nombre suffisant de filtres. Pour une petite unité de traitement comportant moins de 4 filtres, le lavage sera effectué hors des périodes de production. Le lavage est réalisé à contre courant du sens de filtration, à l'aide d'eau filtrée, avec ou sans procédures auxiliaires (air, balayage de surface du matériau).

Les différentes procédures habituelles d'un lavage peuvent être réparties comme suit :

- 1ère phase : **détassage**. Injection d'air à contre courant, dans le but de désentasser le lit de matériau qui s'est progressivement compacté au cours du cycle de filtration.
- 2ème phase : **lavage**. Lavage à contre-courants simultanés d'air et d'eau filtrée. Pendant cette phase, les forces de cisaillement exercées sur les dépôts, conjuguées aux frottements des grains entre eux, permettent de décoller les particules ayant adhéré aux grains au cours du cycle de filtration.
- 3ème phase : **rinçage**. Injection d'eau seule, à une vitesse supérieure à celle de la phase de lavage. Cette phase de rinçage a pour objectif l'entraînement hors de la

masse filtrante des matières en suspension décrochées lors de la phase de lavage air + eau.

Le lavage d'un filtre à sable selon cette technique (air + eau) nécessite au total un volume d'eau de lavage d'environ $4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de surface filtrante. Dans ces conditions, à raison d'un lavage par filtre et par 24 heures, la perte en eau due au lavage s'élèvera à environ 3 % de la production. [26,27]

6- Mécanismes de filtration:

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre, peuvent intervenir l'un ou plus des trois mécanismes principaux suivants: capture, fixation et détachement.

1) Mécanisme de capture:

Ils sont essentiellement de deux natures:

- a) Tamisage mécanique: Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes matériaux filtrants. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine ; il est de peu d'importance pour un lit filtrant composé de matériau relativement grossier. Par contre, il est prépondérant dans une filtration sur support mince: tamis, manchon filtrant, etc...
- b) Dépôt sur le matériau filtrant: La particule en suspension suit, dans le liquide, une ligne de courant. Sa taille comparée à celle des pores pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée. Cependant, différents phénomènes entraînent un changement de trajectoire pour limiter ainsi le temps de contact avec le matériau. On distingue en particulier:
 - L'interception directe par frottement.
 - La diffusion par mouvement brownien.
 - L'inertie de la particule.
 - La décantation: De par leur poids, les particules peuvent se déposer sur le matériau filtrant quel que soit le sens de filtration.

2) Mécanisme de fixation:

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces (coincement, cohésion...) et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals.

3) Mécanisme de détachement:

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement pour être entraînés plus avant dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat. Les particules solides contenues dans un liquide et les particules colloïdales, les plus ou moins flocculées, n'ont pas les mêmes caractéristiques et ne réagissent pas dans la même proportion aux divers mécanismes précédents. [30.33]

7- Les différents procédés de filtration

1) Filtration par gravité

Le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, qui peut être du sable par exemple, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant.

2) la filtration par surpression : La suspension arrive sous pression dans le filtre.

3) la filtration sous pression réduite : Le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide. Lors du passage d'une suspension à travers un milieu filtrant, le fluide circule à travers les ouvertures tandis que les particules sont arrêtées. En s'enchevêtrant, ces dernières finissent par former un second milieu filtrant pour les autres particules qui se déposent d'une manière continue sous forme de gâteau dont l'épaisseur va en croissant au fur et à mesure de l'écoulement de la suspension. [29]

8- Types de filtres

Les filtres sont classés en fonction de différents types suivant la vitesse de filtration:

***Filtres lents:** 1 à 2 m/h: Ils sont efficaces mais exigent de grandes surfaces.

***Filtres rapides:** 4 à 25 m/h: Ils sont les plus rapides. Il en existe deux catégories:

- Les filtres ouverts ou filtres rapides gravitaires ou la couche d'eau à filtrer est de 0.5m
- Les filtres sous pression [25].

9- La filtration lente sur sable

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit, il se forme une mince couche appelée "membrane biologique". Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est à ce niveau que le processus d'épuration se déroule.

1) **Avantages**

Cette méthode de purification est souvent la plus économique en pays en développement et offre l'avantage d'une grande efficacité et d'une exploitation simple. Ainsi, elle répond aux besoins d'amélioration de la qualité de l'eau tout en offrant la possibilité d'associer la collectivité à la gestion, à l'entretien et à l'exploitation des installations. Son aptitude à apporter une amélioration simultanée des qualités physiques, chimiques et bactériologiques de l'eau brute représente un avantage considérable par rapport à d'autres techniques :

- Accéder à une qualité d'eau satisfaisante sans rajouter d'autres étapes dans le processus de purification.
- Contribuer largement à en faire une technique appropriée spécialement pour les collectivités des pays en développement. A noter que son efficacité et son coût ont suscité un nouvel intérêt dans les pays développés. D'ailleurs, des villes comme Londres et Amsterdam ont toujours eu des stations de filtration lente sur sable.

Ces systèmes ont l'avantage de ne pas utiliser des produits chimiques.

2) Inconvénients

Effets des algues sur les filtres : Elles se développent dans l'eau stagnante sous l'influence des rayons du soleil à condition que cette eau contienne des substances nutritives telles que des nitrates et des phosphates. Bien qu'à strictement parler, elles ne participent pas au mécanisme de filtration, certains types d'algues sont importants au fonctionnement d'un filtre biologique. Ces effets peuvent être bénéfiques ou nuisibles, selon les conditions. Par ailleurs, sous certaines circonstances (climat, qualité de l'eau brute), une prolifération de certains types d'algues peut provoquer un colmatage rapide du lit filtrant et par conséquent poser des problèmes d'exploitation, à savoir, couvrir les filtres fait éviter la prolifération qui prend place dans la couche d'eau surnageante. Il convient de souligner que la filtration lente n'est pas une panacée à tous les problèmes de traitement de l'eau et qu'elle a certaines limitations. Un accroissement de la quantité des matières solides en suspension dans l'eau brute, telles qu'on le constate de plus en plus fréquemment, oblige à des nettoyages à intervalles trop fréquents. En conséquence, si la turbidité dépasse 30 Unités Néphélométriques de Turbidité (UNT) pendant de longues périodes, un prétraitement par décantation, préfiltration à flux horizontal ou vertical, ou autres types de prétraitement est indispensable.

3) Composants du système

Le système de filtration lente sur sable, fonctionnant à la demande, est constitué d'un réservoir d'amont, d'un ou de plusieurs filtres à sable et d'une unité de stockage. Il peut être commandé manuellement ou automatiquement par la pression de l'eau lorsqu'il est alimenté par diverses sources d'énergie.

4) Performance de la filtration lente sur sable

L'analyse des échantillons des eaux de surface, prélevés à la sortie d'un filtre à sable, indique une réduction de l'intensité de couleur, de la turbidité. Afin d'assurer la potabilité de l'eau traitée, il est recommandé de la désinfecter après la filtration. [22]

Tableau II.4: Rendement de filtres lents sur sable (Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement / IRC, 1991, Filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau potable, document technique n°24, La Hague).

Paramètres de la qualité de l'eau.	Effet d'épuration de la filtration lente sur sable
Couleur Turbidité	Réduction de 30 à 100%. La turbidité est généralement réduite jusqu'à 1UNT.
Coliformes fécaux Virus	Réduction de 95 à 100%. Elimination complète.
Matières organiques Fer et manganèse	Réduction de 60 à 75%. Elimination en grande partie.
Métaux lourds	Réduction de 30 à 95%.

II-3 Matériaux filtrants utilisés en traitement de l'eau:

Les matériaux de filtration rencontrés dans le traitement des eaux sont divers. Ils doivent présenter les qualités suivantes, à savoir :

- Etre insolubles,
- Etre non friables,
- Ne larguer aucune substance susceptible d'altérer la qualité de l'eau. [34]

1- Types de matériaux

Les trois matériaux les plus employés sont:

***sable :** Le sable utilisé en filtration est un matériau naturel, à base de silice, provenant de rivières, de gisements naturels, de dunes, ou obtenu à partir de galets marins. Sa densité réelle est d'environ 2.5 à 2.7.

Le **sable concassé** est obtenu par un broyage de silex de carrière ou de galets de mer, suivi d'opérations de lavage, séchage et tamisage. Il présente des grains anguleux, favorables à la rétention des particules lors de la filtration.

Le **sable roulé** est un sable naturel, tamisé après lavage et séchage. Contrairement au sable concassé, il possède des grains arrondis.

***l'antracite,**

L'antracite est un matériau à base de carbone, obtenu par calcination de matériel végétal

tel que le bois ou la tourbe. Il se présente sous la forme de grains durs et anguleux.

***charbon actif,**

Le charbon actif est également un matériau à base de carbone, obtenu par calcination et activation de bois, houille, tourbe ou noix de coco. [35]

2- Choix des matériaux

1) **Nature du matériau.** Pour une clarification, les matériaux les plus courants sont le sable et l'antracite. Le sable est employé seul en tant que monocouche, ou associé à de l'antracite dans les filtres bicouches. Les supports de filtration biologique (déferrisation, démanganisation, nitrification, dénitrification) sont le sable et le charbon actif en grains.

2) **Choix de la granulométrie**

Le choix de la granulométrie des matériaux repose sur plusieurs critères, dont :

- la qualité de l'eau à filtrer,
- la vitesse de filtration,
- la hauteur de la couche filtrante,
- la qualité d'eau filtrée qui est recherchée,
- la perte de charge disponible,
- la durée de cycle souhaitée.

Ces critères ne peuvent être considérés de façon indépendante. [36]

3- Sable de filtration

Parmi les matériaux granulaires utilisés en traitement d'eau, il y a le sable qui est le milieu le plus couramment mis en oeuvre, qu'il s'agisse de production d'eau destinée à la consommation humaine, d'eaux de piscine, d'eaux pour utilisation industrielle ou de filtration d'eaux issues de stations d'épuration en traitement tertiaire. Le sable doit répondre à certaines exigences afin d'être apte à la filtration. Il convient de plus de connaître ses caractéristiques afin de choisir le sable le mieux adapté à l'application pour laquelle il est destiné. [37.38]

1) Caractérisation du sable de filtration

a) Origine

Le sable peut être extrait de rivières ou provenir de régions côtières (galets).

b) Préparation et forme des grains

***Préparation :**

- **sable de rivière** : lavage → séchage → dépoussiérage → tamisages successifs ;
- **sable de mer** : lavage → broyage → séchage → dépoussiérage → tamisages successifs.

***Forme des grains :**

- sable de rivière roulé : arêtes arrondies ;
- sable de mer broyé : angles à arêtes vives.

A granulométrie égale, l'augmentation de la perte de charge au travers du lit filtrant est légèrement plus importante avec des grains roulés qu'avec des grains anguleux, car ces derniers s'imbriquent moins bien que les premiers, d'où des sections de passage plus importantes. On en déduit qu'à granulométrie égale, la qualité de l'eau filtrée peut être meilleure avec un lit constitué de grains à arrêtes arrondis. [39]

Tableau II.5 : Les compositions chimique et minéralogique représentatives d'un sable de filtration

Composition chimique		Composition minéralogique	
SiO ₂	87,00%	Rutile (oxyde de titane)	0,02%
Al ₂ O ₃	6,61%	Chlorite	0,47%
CaO	0,11%	Gypse	0,06%
MgO	0,07%	Mica	3,45%
Fe ₂ O ₃	0,45%	Feldspath (aluminosilicate)	28,19%
Na ₂ O	1,10%	Quartz	66,87%
K ₂ O	3,51%		
SO ₃	0,03%		

***Courbe granulométrique**

C'est le tracé de la courbe de pourcentage de la masse (tamisât) de chaque fraction granulométrique passant à travers une série de tamis d'essais en fonction de l'ouverture de la maille du tamis.

Elle est établie conformément à la norme ISO 2591-1. La répartition granulométrique permet de déduire deux valeurs caractérisant le sable :

- la taille effective, d_{10} , correspondant à l'ouverture de maille théorique par laquelle passe 10% des particules ;

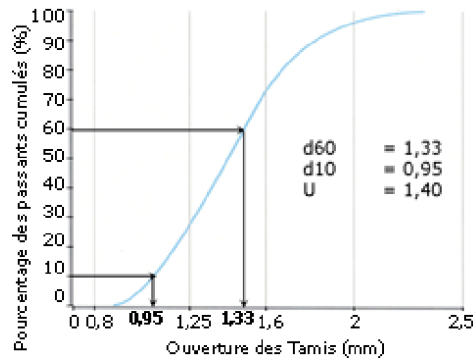


Figure II.5: Courbe granulométrique

- le coefficient d'uniformité, U , qui est le rapport de l'ouverture de maille de tamis qui permet le passage de 60% de particules, à l'ouverture de maille de tamis permettant le passage de 10% des particules :

$$U = d_{60}/d_{10}.$$

- La taille effective, d_{10} , doit être choisie en fonction de la nature de l'eau devant être filtrée et du type de filtration. La tolérance admise par rapport à la valeur nominale annoncée par le producteur est de $\pm 5\%$. Le coefficient d'uniformité U doit être inférieur à 1,5.
- Plus la valeur de U se rapproche de 1, meilleure est l'homogénéité obtenue pour le lit filtrant, ce qui permet de réduire les pertes de charge et d'obtenir une rétention en profondeur des matières en suspension.

Il est également important que les proportions de particules les plus fines et les plus grossières définies par la courbe de répartition granulométrique soient les plus faibles possibles.

*Masses volumiques absolue et apparente

-**La masse volumique absolue** : Elle est définie comme étant le rapport de la masse divisée par volume à l'exclusion du volume poreux et des cavités internes. Elle varie de 2,6 à 2,7 kg/l suivant l'origine du sable et en particulier de sa teneur en silice. Plus celle-ci est élevée, plus la masse volumique absolue est élevée.

-**La masse volumique apparente** ou masse volumique des particules : Définie par le rapport de la masse divisée par son volume incluant les pores et les cavités internes, elle dépend

également de la composition chimique du sable, mais aussi de sa granulométrie. Plus la taille effective est importante, moins grande est la masse volumique apparente. La comparaison entre les deux masses volumiques, absolue et apparente, permet de définir le **volume interparticulaire** servant à la rétention des matières. Ainsi, pour un sable de TE d10 de 0,95 mm, la masse volumique apparente est de l'ordre de 1,46 kg/l (sable de rivière roulé à 87% de silice) tandis que la masse volumique absolue est de 2,60 kg/l ; le volume interparticulaire est de 44% : [40.41] Par définition, on a :

$$V_i = 1 - \left(\frac{M_{vap}}{M_{vab}} \right)$$

où V_i , M_{vap} et M_{vab} sont le volume interparticulaire, la masse volumique apparente et la masse volumique absolue du sable respectivement.

$$V_i = 100 * \left(1 - \left(\frac{1,46}{2,6} \right) \right) = 44\%$$

***Porosité d'une masse granulaire :** La porosité d'une couche de matériau granulaire, encore appelée *fraction de vide*, est la proportion de vide existant entre les grains de matériau empilés. La porosité, notée ε , est désignée par un nombre sans dimension (ou un pourcentage) :

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{\text{volume réel du matériau}}{\text{volume apparent du matériau}} \right)$$

La porosité d'un empilement de grains ne dépend que de leur forme et de leurs dispositions géométriques relatives et non de leur taille. Pour un lit filtrant composé de grains anguleux (sable, anthracite), la porosité obtenue après tassement du matériau est de l'ordre de 0,35 à 0,40.

***La perméabilité :** Ce paramètre est exprimé par le coefficient de perméabilité **K** qui figure dans la **loi de Darcy**

$$Q = K.A.DH/L$$

Où **Q**, **A**, **L**, **DH** sont le débit de l'eau, l'aire de la couche mesurée perpendiculairement à la direction de l'écoulement, l'épaisseur de la couche et la chute totale de pression à travers la couche, exprimée en hauteur d'eau respectivement Elle est déterminée en utilisant le dispositif faisant l'objet de la figure III.3. [42]

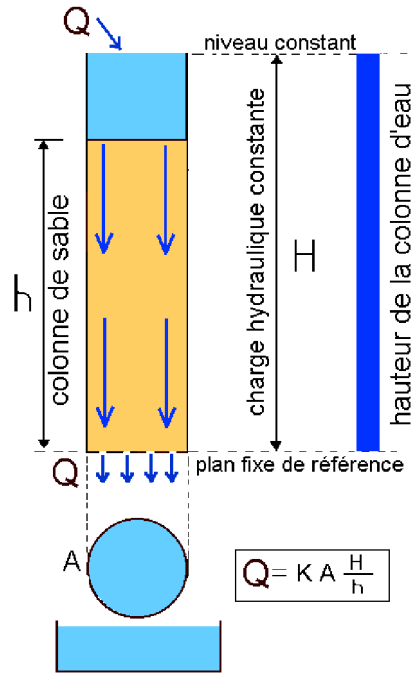


Figure II.6: Dispositif expérimental pour la détermination de la perméabilité.

CHAPITRE III

Etude expérimentale

A la différence d'une eau distillée, les eaux de boisson sont chargées en ions dont les concentrations sont souvent variables, mais elles doivent répondre à des normes nationale ou internationale. [30]

1- Préparation des sables

Le sable destiné à servir de filtre subit les opérations de dépoussiérage, de lavage, de séchage et de tamisages successifs.

* **Dépoussiérage:** Cette opération est effectuée par voie manuelle dans un tamis de maille de 0.315mm, en évitant la poussière et les particules fines.

* **Lavage:** On introduit 1kg de sable dans une bouteille en plastique de 5 litres auquel on y ajoute 3 litres d'eau de robinet. Après une agitation manuelle pendant 2 minutes, l'eau polluée, chargée de quelques particules en suspension (argile, etc.), est rejetée. Cette opération est répétée trois fois, alors que la quatrième est effectuée en utilisant de l'eau distillée.

* **Séchage:** Dans un récipient en verre, on verse 1kg de sable dans un récipient en verre lequel est étalé au même niveau. Dans une seconde étape, cette quantité est introduite dans une étuve à une température de 120°C pendant 15 heures afin de pouvoir éliminer les particules d'eau.

* **Tamisages successifs:** Afin de se débarrasser des fines particules du sable, on procèdera manuellement par un tamisage dans un tamis de maille de 0.315mm.

2- Prélèvement de l'eau

Le mode de prélèvement varie selon l'origine de l'eau à analyser. Dans le cas de prélèvement de l'eau au niveau d'un robinet; il convient d'ouvrir le robinet à débit maximum pendant **5 à 10** secondes puis de le ramener à un débit moyen pendant **2** minutes. Le volume nécessaire pour une analyse complète de l'eau varie de **2 à 5** litres. [30]

3- Conservation des prélèvements

Les prélèvements doivent être réalisés avec le plus grand soin et les échantillons prélevés, pour différentes analyses, doivent être conservés dans des flacons fumés en polyéthylène, verre, ou en verre borosilicaté préalablement lavés et rincés sur place au moment de la prise de l'échantillon. Les flacons sont remplis jusqu'au bord et bouchés de telle façon qu'il n'y ait aucun contact avec l'air et tout inscrivant les mentions relatives à la date de la prise ainsi que l'origine de la source. [33]

4- Les méthodes d'analyse :

Pour identifier la nature des polluants, l'eau doit subir les différentes analyses suivantes :

- * Analyse gravimétrique utilisée pour les résidus secs ;
 - * Analyse volumétrique dont le but est de déterminer l'acidité de l'eau, son TA, son TAC et les chlorures qui s'y trouvent.
 - * Analyse spectrophotométrique afin de déterminer sa couleur ainsi que sa teneur en matières en suspensions.
 - * Analyse pour sa caractérisation en quantifiant les grandeurs suivantes : Conductivité, salinité, taux de sels dissous, oxygène dissous, nitrates, nitrites, fer, silicates, zinc, DBO₅ et DCO.
- [32.33]

5- Appareillages d'analyse

Les appareillages utilisés pour les différentes analyses sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau III.1: Les appareillages et les paramètres mesurés.

Paramètres mesurés.	Types d'appareils.
* Couleur, matières en suspension * Température. * Turbidité.	*Spectrophotomètre modèle DR2000 (HACH) * Thermomètre de 100°C. * Turbidimètre de laboratoire modèle 2100N (HACH) 0 à 4000 NTU.
* pH, salinité, oxygène dissous, conductivité, et taux de sels dissous. * Nitrates, nitrites, le fer, silicate,	* Portable multi paramètre modèle SENS ION 156 (HACH). * Portable multi paramètre modèle LON C100

Chapitre III : Etude expérimentale

phosphate et le zinc.. * Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.) * Demande biologique en oxygène (DBO ₅),	(HANNA) * Thermoréacteur DCO.-6 modèle 44 000 638. * Portable multi paramètre modèle SENS ION 156 (HACH).
--	---

6- Dispositifs :

Dans notre expérience, on a réalisé au niveau du laboratoire un dispositif qui nous a permis de faire un traitement physico-chimique de l'eau brute du barrage Djorf-Etorba (Béchar), destinée à l'alimentation de la population. Pour cela, on a procédé à la décantation suivie par une filtration en utilisant le sable de la région d'Adrar.

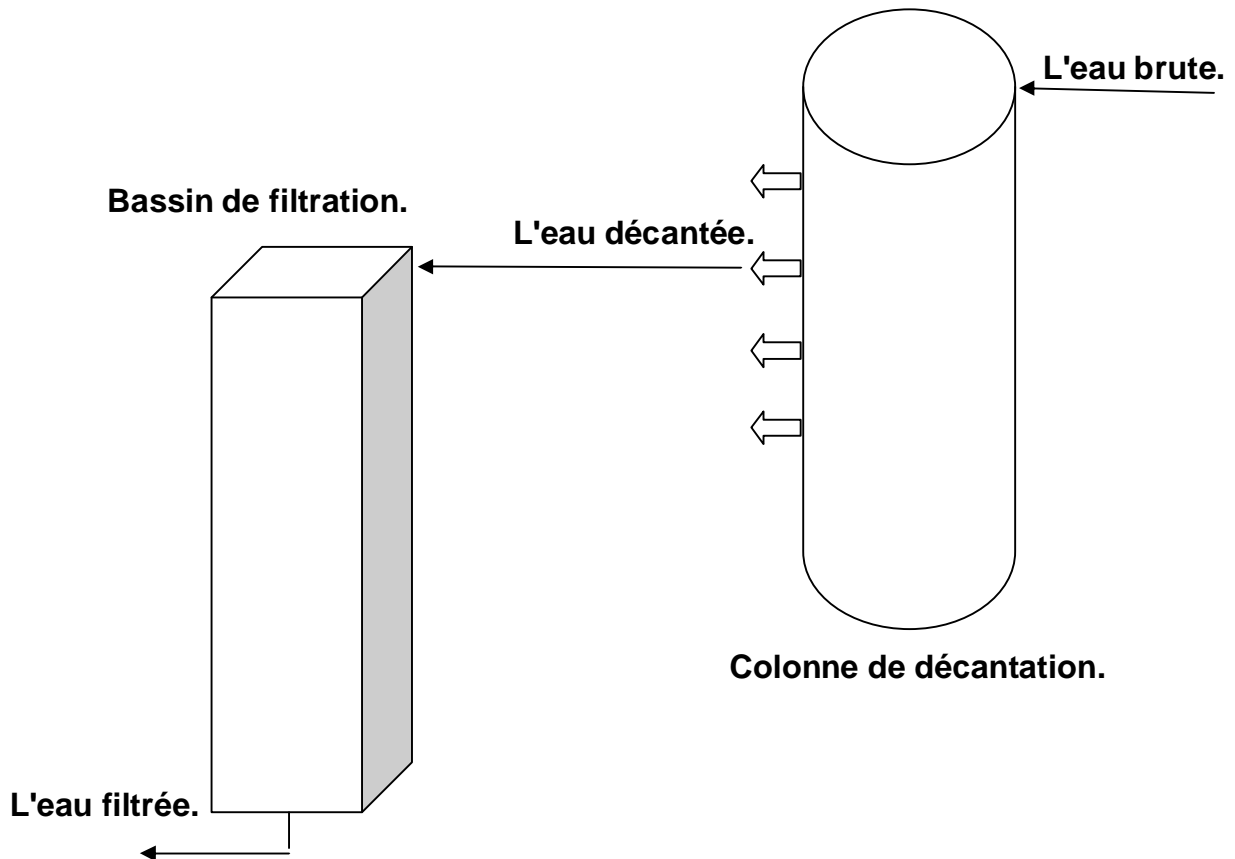


Figure III.1 : Le montage expérimental.

Chapitre III : Etude expérimentale

Notre dispositif est constitué d'une colonne de décantation en PVC, de 1.5 m de hauteur et de 150 mm de diamètre, pourvue de robinets équidistants de 30 cm pour les prises d'échantillons le long de la colonne. Le bassin de filtration en fer galvanisé (inoxydable) de dimensions L*l= 25*25cm et H=125cm.

On précise d'une part que la variation possible de la hauteur des lits de sable est de 60, 75, 90, 100 cm et d'autre part que le matériau filtrant utilisé est le sable des régions d'Adrar (Aoulef et Aine Bouda) et celui de Tunisie. Dans ce qui suit, on dénotera par :

T: Le sable de Tunisie ;

A: Le sable d'Aoulef ;

Ai: Le sable de Ain Bouda.

6- Caractérisation granulométrique des sables:

1) Pourcentage selon la taille pour les trois sables (Annexe B):

Afin de pouvoir caractériser les différents sables, on doit préalablement définir les grandeurs suivantes :

- Pourcentage refus cumulés R(%) :

$$R(\%) = \frac{100 * R}{M}$$

où R est la masse des refus cumulés et M, la masse de l'échantillon exprimée en kilogramme.

- Pourcentage des tamisât Ts (%) :

$$T_s(\%) = 100 - R(\%)$$

Tableau III.2 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable T (Tunisie).

N° Tamis AFNOR	Ouverture de la maille (mm)	Masse des refus cumulés R (g)	Pourcentage refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamisât Ts (%)
37	4.00	0	0	100
36	3.15	0	0	100
35	2.50	4.4	0.44	99.56
34	2.00	20.5	2.05	97.95
33	1.60	70.4	7.04	92.96

Chapitre III : Etude expérimentale

32	1.25	116.5	11.65	88.35
31	1.00	200	20	80
30	0.80	500.2	50.02	49.98
29	0.63	801	80.1	19.9
28	0.50	984.7	98.47	1.53
27	0.40	993.4	99.34	0.66
26	0.315	994.1	99.41	0.59

Tableau III.3 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable A (Aoulef).

N°Tamis AFNOR	Ouverture de la maille (mm)	Masse des refus cumulés R (g)	Pourcentage refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamisât Ts (%)
37	4.00	0	100	100
36	3.15	0	100	100
35	2.50	53	5.3	94.7
34	2.00	100.3	10.03	89.97
33	1.60	182.5	18.25	81.75
32	1.25	343.7	34.37	65.63
31	1.00	490.5	49.05	50.95
30	0.80	660.4	66.04	43.96
29	0.63	790.7	79.07	20.93
28	0.50	956.1	95.61	4.39
27	0.40	991.6	99.16	0.84
26	0.315	993.9	99.39	0.61

Tableau III.4 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable Ai (Ain Bouda).

N° Tamis AFNOR	Ouverture de la maille (mm)	Masse des refus cumulés R (g)	Pourcentage refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamisât Ts (%)
37	4.00	0	100	100
36	3.15	0	100	100
35	2.50	0.2	0.02	99.98
34	2.00	0.5	0.05	99.95
33	1.60	0.9	0.09	99.91
32	1.25	1.4	0.14	99.86
31	1.00	32.6	3.26	96.74
30	0.80	83.3	8.33	91.67
29	0.63	391	39.1	60.9
28	0.50	663	66.3	33.7
27	0.40	772	77.2	22.8
26	0.315	995.3	99.53	0.47

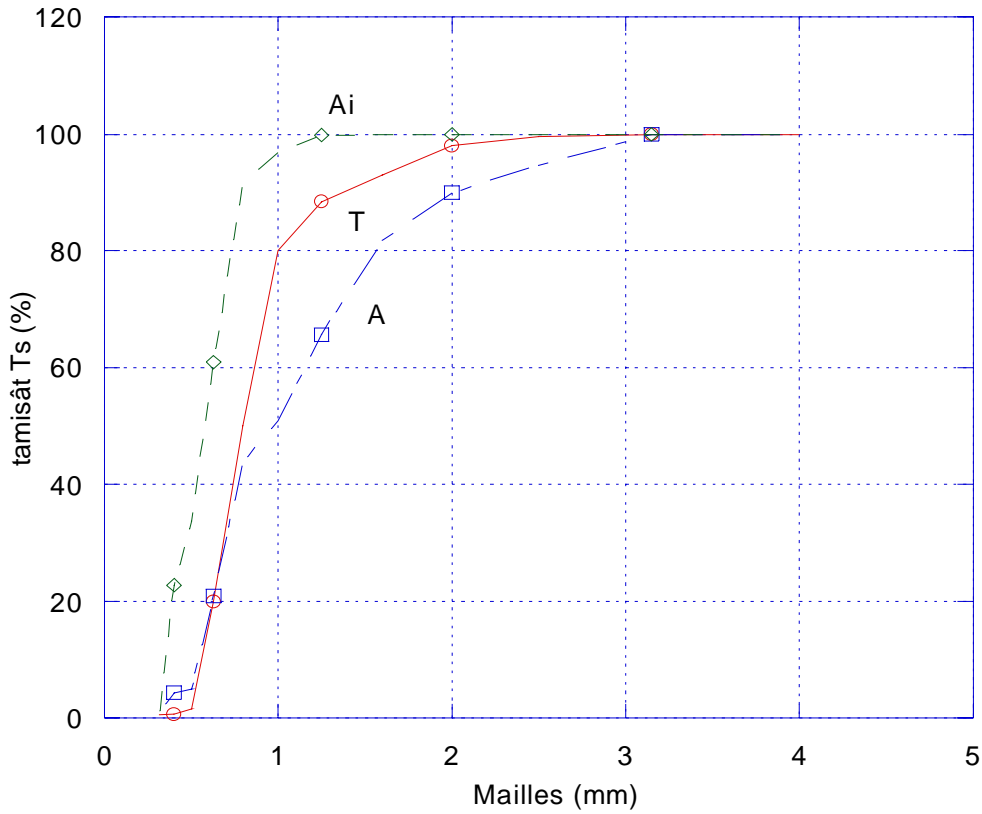


Figure III.2: Distribution granulométrique des sables utilisés (T, A, Ai).

La Figure III.2 donne l'allure correspondant à la variation des pourcentages du tamisât des trois sables (T, A, Ai) en fonction du diamètre des tamis. Cette étude nous montre la présence de trois types distincts de granulométrie. Pour une maille de 1mm, le pourcentage de tamisât est de 80% (T); il est de 50,95% pour le type A, alors qu'il est de 96,74% pour le sable de Ain Bouda. Pour une ouverture de maille de 2,5mm, on note les pourcentages sont de 99,56% (T), de 94,7% (A) et de 99,98% (Ai). A partir de cette courbe de distribution, on peut déduire les caractéristiques physiques des trois types de sable.

Suivant cette courbe granulométrique on déduit les Caractéristiques physiques des sables

Tableau III.5: Caractéristiques physiques des trois types de sable (Annexe B)

Origine du sable.	T	A	Ai
Module de finesse	3,89%	4,26%	2,54%
Diamètre effectif D10 (mm)	0,60	0,60	0,30
D60 (mm)	0,8	1,12	0,63
Coefficient d'uniformité (CU)	1,33	1,86	2,1
Porosité (ε)	0,36	0,37	0,35
Perméabilité (K)	0,183	0,186	0,128

On définit le module de finesse (MF) par le rapport de la somme de masse de refus cumulés (R) sur la masse totale de l'échantillon.

$$MF = \frac{\sum \text{Masse des refus cumulés.}}{\text{Masse totale de l'échantillon.}}$$

D10, est l'ouverture de maille théorique par laquelle passe 10% des particules ; alors que *D60* correspond à l'ouverture de maille théorique par laquelle passe 60% des particules de sorte que le coefficient d'uniformité (CU) soit défini par :

$$CU = \frac{D60}{D10}$$

Cependant, la porosité (ε) est, par définition, le rapport du volume du vide sur le volume total apparent du lit.

$$\epsilon = \frac{V_{app} - V_{réel}}{V_{app}}$$

Conformément à la loi de Darcy, la perméabilité du lit (K), en m/sec, peut être définie par la loi empirique suivante :

$$K = \frac{Q}{A * \left(\frac{h}{l}\right)}$$

où Q le débit volumique exprimé en m³/s, A la section du fût vide traversé par le fluide en écoulement en m² et h/l, le gradient hydraulique de l'écoulement.

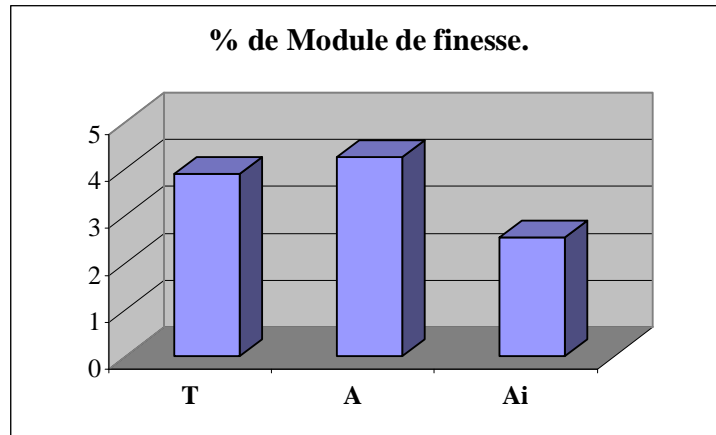


Figure III.3: Evolution du module de finesse des sables.

Le milieu filtrant est constitué d'un sable propre. On remarque d'après l'histogramme qui représente la variation des modules de finesse des trois types de sable que le sable **Ai** est plus approprié car il se caractérise par le module de finesse le plus bas.

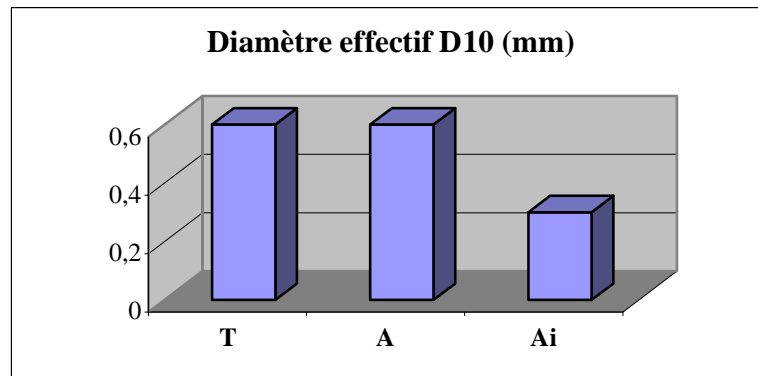


Figure III.4: Evolution des D10 avec le type de sable étudié.

Le sable filtrant doit avoir un diamètre effectif (D10) compris entre 0,25 et 1mm. La valeur typique généralement étant de 0,35 mm. L'histogramme représentatif de la variation des diamètres effectifs D10 des différents sables montre que le sable **Ai** possède un D10 minimum (0,3mm) par rapport aux autres sables, c'est-à-dire le sable Ai possède des grains fins.

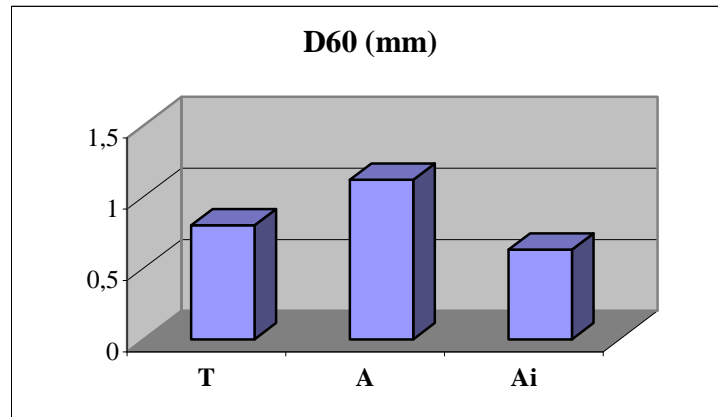


Figure III.5: Evolution des D60 avec le type de sable étudié.

La *diversité 60 %*, exprimée en millimètre ou en microns, est donnée par l'ouverture de maille laissant passer 60 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse, qui est de 0,63 pour le sable Ai, 1,12 pour le sable A et de 0,8 pour le sable de Tunisie. Donc le sable Ai a un D60 minimum par rapport à (A) et (T). Cette remarque nous confirme que Ai est le sable le plus fin.

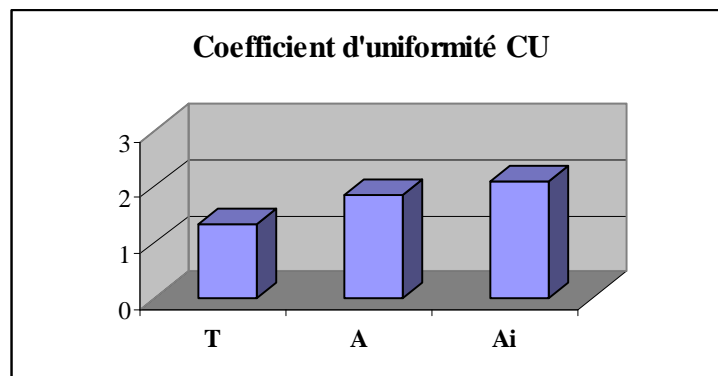


Figure III.6: Evolution des CU avec le type de sable étudié.

Suivant l'histogramme qui représente l'évaluation des CU des différents types de sable, on constate une diminution du coefficient d'uniformité CU qui passe de 2,1 pour le sable Ai, 1,86 d'Aoulef à 1,33 pour celui de Tunisie. Ce qui montre une légère différence du CU pour les trois types de sables. Le coefficient d'uniformité CU donne une indication très précise relative à l'homogénéité granulométrique de la masse filtrante.

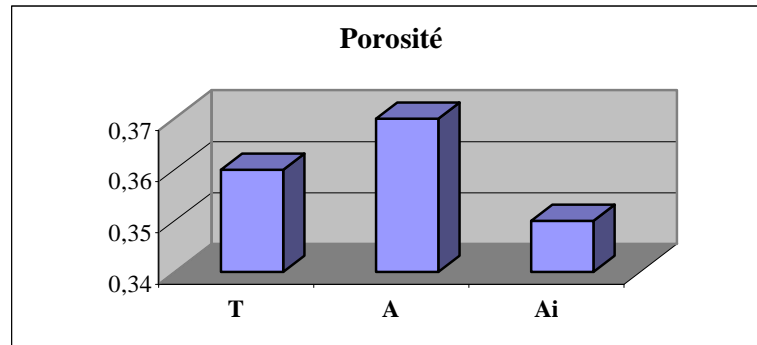


Figure III.7: Evolution des porosités avec le type de sable étudié..

D'après l'histogramme qui représente la variation des porosités des différents types de sable, on constate que le sable Ai possède la valeur de la porosité la plus faible soit 0,35 par rapport à celle du sable d'Aoulef. Ce dernier, sa porosité est de 0,37, alors que celui de Tunisie elle est de 0,36. De tels résultats confirment que le sable de Ain-Bouda possède la fraction de vide minimum. La porosité d'un empilement de grains ne dépend que de leurs formes géométriques et de leurs dispositions spatiales relatives dans la matrice et non de leur taille.

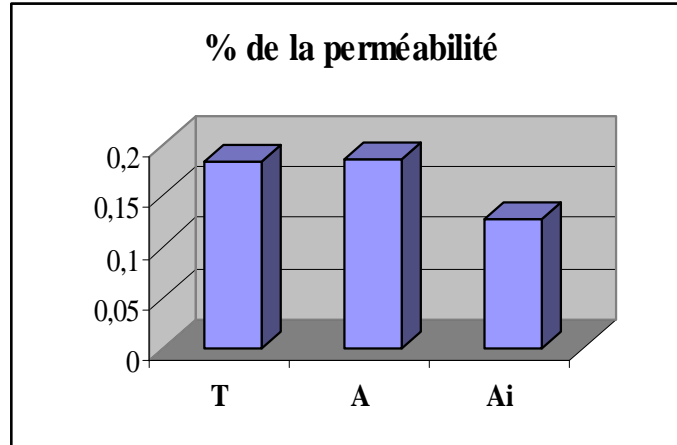


Figure III.8: Evolution des perméabilités en fonction du type de sable étudié..

Suivant l'histogramme qui représente la variation des perméabilités des différents types de sable, on constate que le sable Ai possède la valeur de la perméabilité la plus petite 0,128 par rapport à celle du sable d'Aoulef qui est de 0,186 et celui de Tunisie qui est de 0,183. Une masse filtrante perméable assure un grand débit de l'eau filtrée.

2) Composition chimique et minéralogique (Annexe B):

Tableau III.6: Résultats de l'analyse chimique et minéralogique.

Origine des sables.	Tunisie.	A	Ai
Lieu de prélèvement	Galets de mer de Tunisie.	Dunes d'Aoulef.	Dunes de Ain-Bouda
Masse volumique absolue	2,63	2,62	2,86
Masse volumique apparente	1,39	1,4	1,50
Volume inter- particulaire (*) (%)	47,14	46,56	47,55
Equivalent de sable (% pureté)	95,93	96,83	97,50
Bleu de méthylène (%d'argile)	1,5	1	0,5
Calcaire %	6,95	7,05	5,20
Chlorures %	2,4	0,4	0,1
Sulfates %	4,5	2	1,8
Insolubles (% de la silice)	91	95	97,5

*Volume interparticulaire = $100 - ((\text{La masse volumique apparente} \times 100) / \text{La masse volumique absolue})$

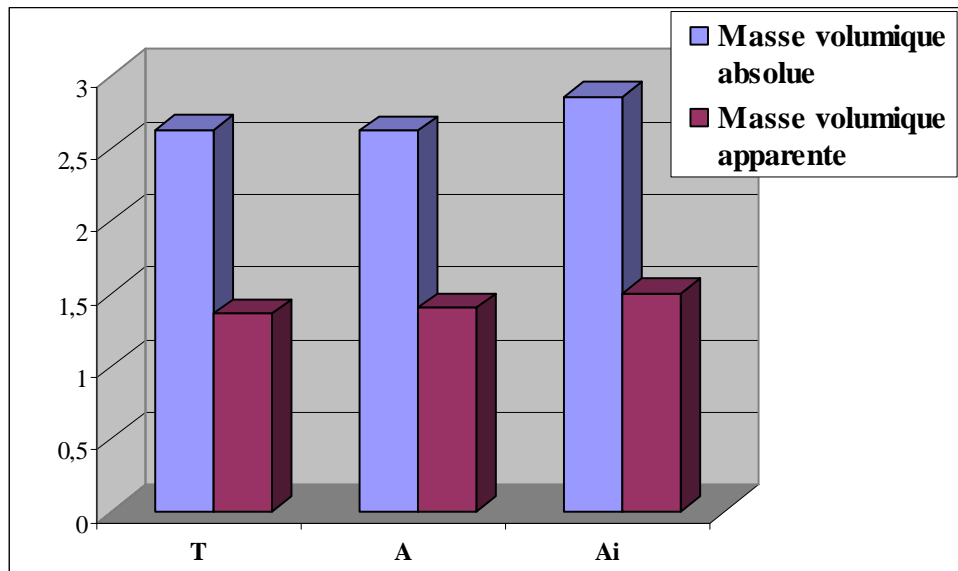


Figure III.9: Comparaison des masses volumiques absolues et apparentes des différents sables.

Chapitre III : Etude expérimentale

Le sable utilisé en filtration est un matériau naturel. Sa densité réelle est d'environ 2,5 à 2,7. On remarque d'après l'histogramme (figure n°III.9) qui représente la variation des masses volumiques absolue (réelle) et apparente des différents sables que la densité apparente d'un matériau granulaire est inférieure à sa *densité réelle* car elle tient compte de la porosité. Les meilleurs sables à exploiter sont ceux de Ain-Bouda.

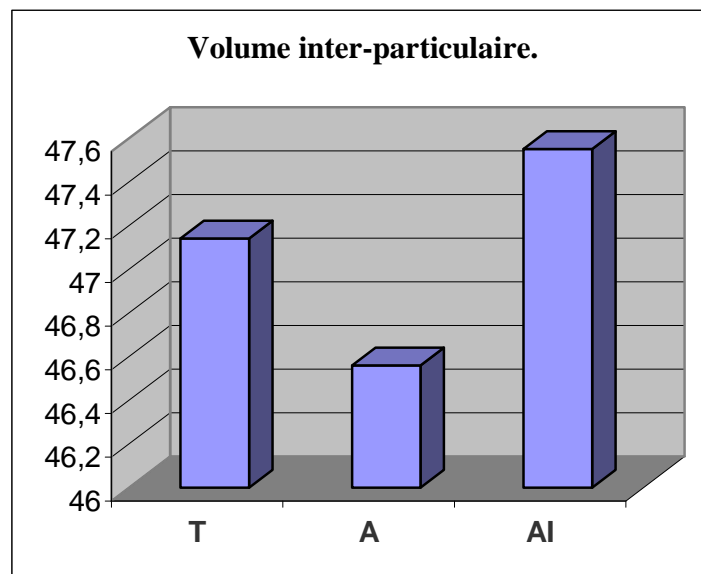


Figure III.10: Evolution des volumes inter-particulaires avec le type de sable étudié..

La comparaison entre les deux masses volumiques, absolue et apparente, permet de définir le **volume interparticulaire** qui est responsable de la capacité de rétention des matières en suspension. Sur la base des données regroupées et présentées graphiquement à travers l'histogramme, on constate que le sable de Ain-Bouda a un taux de rétention supérieur à celui des deux autres sables analysés.

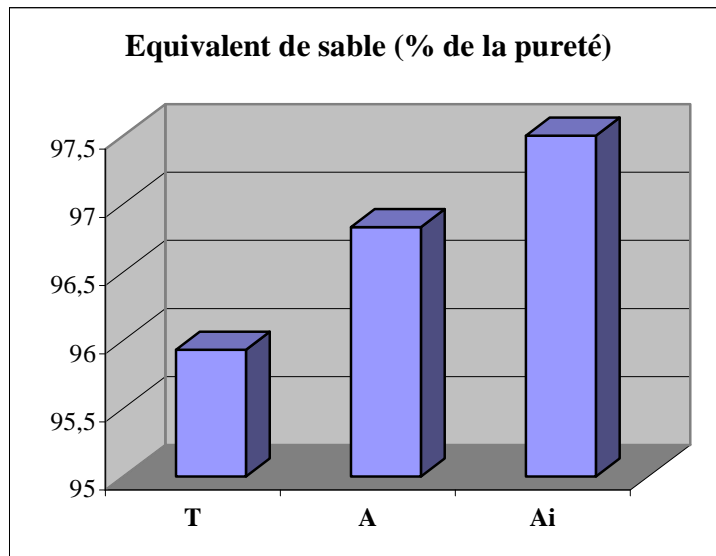


Figure III.11: Evolution de la pureté des sables avec le type de sable.

Le milieu filtrant est constitué d'un sable sélectionné propre. Il doit être exempt de toutes particules fines et poussière. D'après l'histogramme qui représente la variation du pourcentage de la pureté des différents types de sables, il ressort que le sable **Ai** est un sable dont la pureté est meilleure.

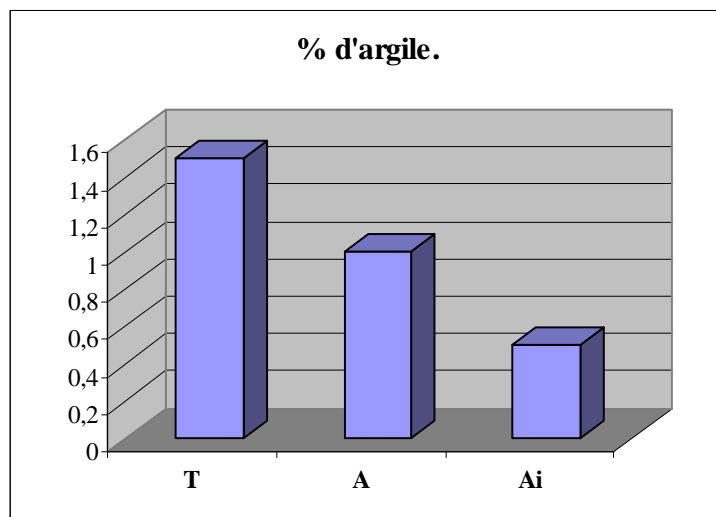


Figure III.12: Evolution du pourcentage en argile dans le sable.

Pour éviter le colmatage, le sable filtrant doit être préférentiellement exempt d'argile. D'après l'histogramme qui représente la variation du pourcentage d'argile dans les trois sables, un

résultat frappant se dégage et qui consiste à conclure que le sable **Ai** possède un pourcentage très faible (0,5%) devant 1% dans le sable d'Aoulef et 1,5% dans celui de Tunisie.

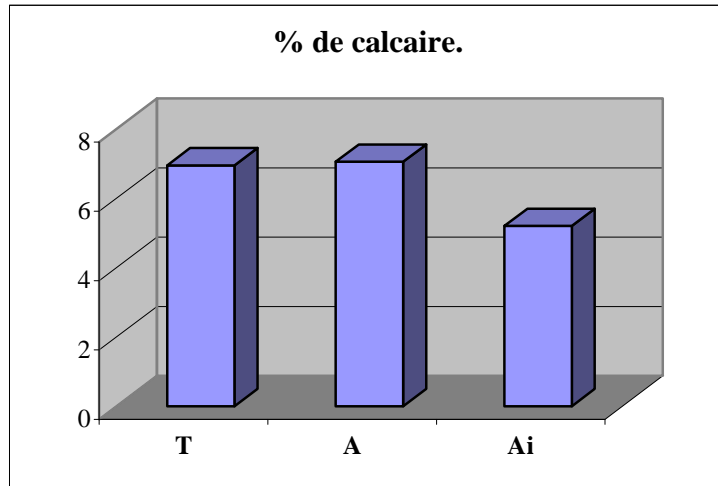


Figure III.13: Evolution du pourcentage en calcaire des sables.

La figure III.13 montre la variation du pourcentage en calcaire dans les différents sables. On remarque que le sable **Ai** a un taux de calcaire minimum. Il est de 5,20%, alors qu'il est respectivement de 7,05% et 6,95% pour ceux d'Aoulef et de Tunisie. On en conclut qu'il n'y a pas de risques d'altérer la qualité de l'eau filtrée par la quantité de calcaire que renferme le sable durant la filtration.

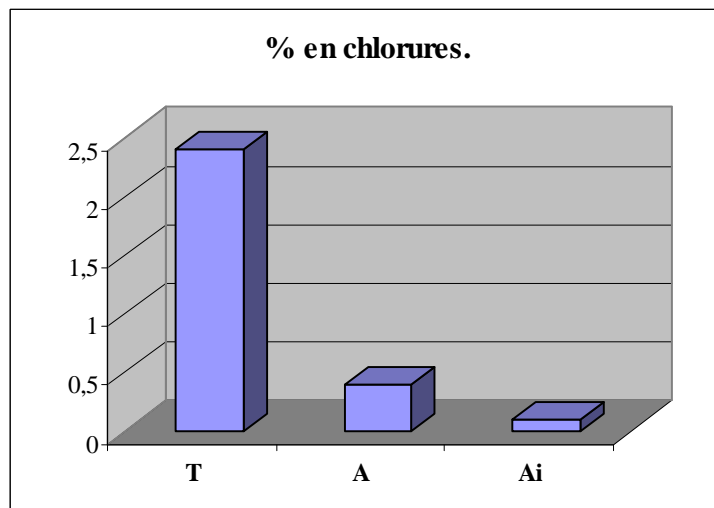


Figure III.14: Evolution des pourcentages en chlorures dans les sables.

L'analyse a mis en évidence la présence de très faibles pourcentages en chlorures présents

dans les trois sables. En effet, ce résultat montre qu'il est possible d'utiliser les trois sables dans la filtration sans courir les risques de contamination des eaux par les chlorures présentes dans ces sables.

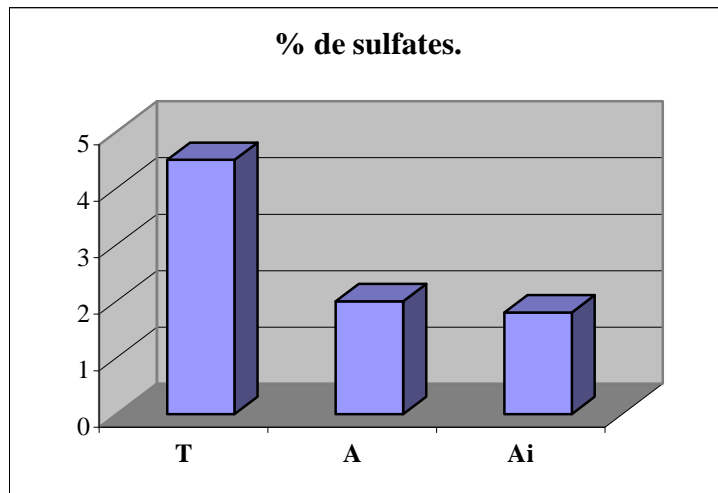


Figure III.15: Evolution des pourcentages en sulfates.

Le pourcentage de sulfates présents dans les trois sables sont faibles, mais pour celui de **Ai**, il a un taux le plus minimum. Ce dernier indique que les réactions chimiques entre les sulfates des sables et l'eau filtrée (échange d'ions) ne sauraient avoir lieu de façon intense.

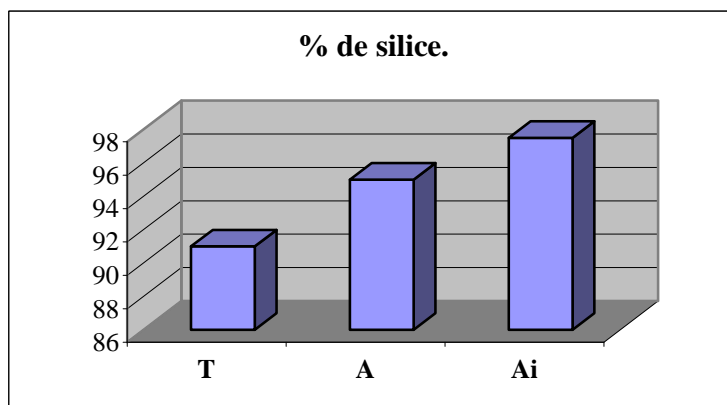


Figure III.16: Evolution des pourcentages en silice dans les sables.

Le milieu filtrant est constitué essentiellement d'un sable à base de silice. On constate d'après l'histogramme, représentant la variation de la teneur en silice, que le sable Ai possède un taux de silice maximum de 97,5% devant 95% d'Aoulef et 91% de Tunisie. De tels résultats

Chapitre III : Etude expérimentale

laissent augurer que les trois sables sont de très bons milieux filtrants pour le traitement des eaux de barrage.

7- Résultats et discussion de l'analyse de l'eau (Annexe C):

1) L'analyse de l'eau du barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar :

Tableau III.7: Résultats de l'analyse de l'eau aux dates : 09, 10, 11,12 et 13/04/2005 pour différentes heures de la journée.

Le 09/04/05

Paramètres.	Eau brute			Eau traitée			Normes
	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
Horaire de prélèvement.	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
Température (°C)	18.5	20.4	21.5	18.7	19	19.7	25
Couleur (Unité Platine Cobalt)	44	64	98	06	08	10	25
pH	07.86	07.96	08.01	08.25	08.14	08.11	6.5 à 8.5
Turbidité (NTU)	08	11	17	02	02	01	1 à 5
Salinité (‰)	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
Oxygène dissous (OD)	6.4	6.5	6.6	6.9	7	7.3	5 à 8
Conductivité électrique (µs/cm)	1410	1397	1355	1382	1376	1352	2800
Taux de sels dissous (TDS) (mg/l)	753	765	774	765	778	786	300 à 1000
Résidus secs (mg/l)	700	685	650	560	555	550	2000
Matières en suspension (mg/l)	30	33	35	14	12	11	<30
L'acidité							
a) Teneur en acides minéraux libres (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
b) Acidité totale (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
L'alcalinité							
a) Carbonates (TA) (mg/l)	1100	1095	1096	00	00	00	
b) Bicarbonates (TAC) (mg/l)	701.5	700	700.5	610	609	609	12

Chapitre III : Etude expérimentale

Chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	280	281	281	176.5	177	177	250
Nitrates (NO ³⁻) (mg/l)	02	02	02	00	00	00	50
Nitrites (NO ²⁻) (mg/l)	0.03	0.03	0.03	00	00	00	0.1
Fer (mg/l)	0.21	0.22	0.22	00	00	00	0.3
Silicates (mg/l)	0.04	0.05	0.05	00	00	00	0.01
Phosphates (mg/l)	00	00	00	00	00	00	0.5
Zinc (mg/l)	0.15	0.16	0.15	0.06	0.05	0.05	5
DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	5.5	5	5	0.5	0.6	0.6	5 à 10
DCO (mg de O ₂ /l)	9	8.9	8.9	1.5	1.4	1.4	20 à 40
Bactériologie							
a) Coliformes totaux/100ml	0		0	0	0	0	0
b) Coliformes fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
c) Streptocoques fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
d) Salmonelles/5000 ml							
e) Staphylocoques pathogènes/100 ml	0		0	0	0	0	0
	0		0	0	0	0	0

Chapitre III : Etude expérimentale

Le 10/04/05

Paramètres.	Eau brute			Eau traitée			Normes
	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
Temps	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
La température (°C)	20.2	21.1	22.1	19.6	19.3	19.8	25
La couleur (Unité Platine Cobalt)	61	85	102	10	12	10	25
Le pH	8.29	7.84	7.9	8.31	8	8.12	6.5 à 8.5
La turbidité (NTU)	14	16	18	2	5	2	1 à 5
La salinité (‰)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
L'oxygène dissous (OD)	6.8	6.1	6.15	7.5	6.7	6.8	5 à 8
La conductivité (µs/cm)	981	961	958	978	971	986	2800
Le taux de sels dissous (TDS) (mg/l)	687	684	686	685	691	692	300 à 1000
Le Résidus secs (mg/l)	720	700	680	550	549	544	2000
Les matières en suspension (mg/l)	32	31	30	11	11	11	<30
L'acidité							
a) Teneur en acides minéraux libres (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
b) Acidité totale (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
L'alcalinité							
a) carbonates (TA) (mg/l)	1099	1100	1100	00	00	00	
b) bicarbonates (TAC) (mg/l)	700	699.5	699	610	610	610	12
Les chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	281	280	282	176.5	177	177.5	250
Les nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/l)	03	03	03	00	00	00	50
Les nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.04	0.03	0.03	00	00	00	0.1
Le fer (mg/l)	0.25	0.24	0.25	00	00	00	0.3
Les silicates (mg/l)	0.05	0.04	0.04	00	00	00	0.01
Les phosphates (mg/l)	00	00	00	00	00	00	0.5

Chapitre III : Etude expérimentale

Le zinc (mg/l)	0.15	0.13	0.13	0.05	0.06	0.06	5
DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	5	5.1	5.1	0.5	0.5	0.5	5 à 10
DCO (mg de O ₂ /l)	9	9	9	1.4	1.4	1.4	20 à 40
Bactériologie							
a) Coliformes totaux/100ml	0		0	0	0	0	0
b) Coliformes fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
c) Streptocoques fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
d) Salmonelles/5000 ml	0		0	0	0	0	0
e) Staphylocoques pathogènes/100 ml	0		0	0	0	0	0

Chapitre III : Etude expérimentale

Le 11/04/05

Paramètres.	Eau brute			Eau traitée			Normes
	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
Temps	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
La température (°C)	20.8	20.5	21	19	20.8	20.9	25
La couleur (Unité Platine Cobalt)	76	80	82	13	12	13	25
Le pH	7.8	7.56	7.60	7.6	7.7	8	6.5 à 8.5
La turbidité (NTU)	13	18	14	1	1	3	1 à 5
La salinité (‰)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
L'oxygène dissous (OD)	5.8	6.2	6.89	6	6.7	7.2	5 à 8
La conductivité (µs/cm)	956	1000	1005	1023	1029	1033	2800
Le taux de sels dissous (TDS) (mg/l)	686	687	689	698	700	700	300 à 1000
Le Résidus secs (mg/l)	650	652	650	512	512	512	2000
Les matières en suspension (mg/l)	30	31	31	12	12	12	<30
L'acidité							
a) Teneur en acides minéraux libres (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
b) Acidité totale (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
L'alcalinité							
a) carbonates (TA) (mg/l)	1101	1102	1102	00	00	00	
b) bicarbonates (TAC) (mg/l)	702	701	701	608	609	609	12
Les chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	280	280	282	177	177.1	176	250
Les nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/l)	02	02	02	00	00	00	50
Les nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.03	0.04	0.04	00	00	00	0.1
Le fer (mg/l)	0.21	0.20	0.20	00	00	00	0.3
Les silicates (mg/l)	0.05	0.04	0.04	00	00	00	0.01
Les phosphates (mg/l)	00	00	00	00	00	00	0.5

Chapitre III : Etude expérimentale

Le zinc (mg/l)	0.13	0.12	0.12	0.03	0.02	0.03	5
DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	5.2	5.2	5.5	0.8	0.8	0.8	5 à 10
DCO (mg de O ₂ /l)	9.5	9.5	9.5	1.4	1.4	1.4	20 à 40
Bactériologie							
a) Coliformes totaux/100ml	0		0	0	0	0	0
b) Coliformes fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
c) Streptocoques fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
d) Salmonelles/5000 ml	0		0	0	0	0	0
e) Staphylocoques pathogènes/100 ml	0		0	0	0	0	0

Chapitre III : Etude expérimentale

Le 12/04/05

Paramètres.	Eau brute			Eau traitée			Normes
	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
Temps	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
La température (°C)	20.1	23.4	23.5	18.2	19.6	19.1	25
La couleur (Unité Platine Cobalt)	32	40	114	08	09	09	25
Le pH	8.2	8.4	8.3	7.7	7.9	7.6	6.5 à 8.5
La turbidité (NTU)	12	13	20	01	01	02	1 à 5
La salinité (‰)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
L'oxygène dissous (OD)	6.01	6.80	6.85	6.5	7	7.01	5 à 8
La conductivité (µs/cm)	1354	14032	1124	1313	1305	1132	2800
Le taux de sels dissous (TDS) (mg/l)	745	748	719	755	758	732	300 à 1000
Le Résidus secs (mg/l)	700	702	701	550	550	550	2000
Les matières en suspension (mg/l)	35	32	32	13	13	13	<30
L'acidité							
a) Teneur en acides minéraux libres (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
b) Acidité totale (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
L'alcalinité							
a) carbonates (TA) (mg/l)	1105	1100	1100	00	00	00	
b) bicarbonates (TAC) (mg/l)	700	700.5	700	608	608	608	12
Les chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	282	280	283	175	175.5	176	250
Les nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/l)	03	02	02	00	00	00	50
Les nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.04	0.03	0.03	00	00	00	0.1
Le fer (mg/l)	0.22	0.21	0.20	00	00	00	0.3
Les silicates (mg/l)	0.05	0.04	0.04	00	00	00	0.01
Les phosphates (mg/l)	00	00	00	00	00	00	0.5

Chapitre III : Etude expérimentale

Le zinc (mg/l)	0.16	0.15	0.15	0.06	0.06	0.05	5
DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	5.5	5.5	5.5	0.6	0.6	0.6	5 à 10
DCO (mg de O ₂ /l)	9.1	9.1	9.1	1.3	1.3	1.3	20 à 40
Bactériologie							
a) Coliformes totaux/100ml	0		0	0	0	0	0
b) Coliformes fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
c) Streptocoques fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
d) Salmonelles/5000 ml	0		0	0	0	0	0
e) Staphylocoques pathogènes/100 ml	0		0	0	0	0	0

Chapitre III : Etude expérimentale

Le 13/04/05

Paramètres.	Eau brute			Eau traitée			Normes
	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
Temps	8 ^H	12 ^H	16 ^H	8 ^H	12 ^H	16 ^H	
La température (°C)	20.3	21	21.2	19	19.5	19.6	25
La couleur (Unité Platine Cobalt)	120	108	122	12	11	13	25
Le pH	8.3	8.1	8.22	7.6	7.8	7.9	6.5 à 8.5
La turbidité (NTU)	23	20	26	2	1	1	1 à 5
La salinité (‰)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
L'oxygène dissous (OD)	6.55	6.87	6.95	7	7.03	7.2	5 à 8
La conductivité (µs/cm)	1398	1432	1394	1369	1421	1424	2800
Le taux de sels dissous (TDS) (mg/l)	767	799	787	774	793	795	300 à 1000
Le Résidus secs (mg/l)	700	680	680	520	522	521	2000
Les matières en suspension (mg/l)	32	30	34	13	12	12	<30
L'acidité							
a) Teneur en acides minéraux libres (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
b) Acidité totale (mg/l)	00	00	00	00	00	00	00
L'alcalinité							
a) carbonates (TA) (mg/l)	1102	1101	1101	00	00	00	
b) bicarbonates (TAC) (mg/l)	700.5	700	700	605	605	605	12
Les chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	280	285	283	177.5	177.4	177.4	250
Les nitrates (NO ₃ ⁻) (mg/l)	04	03	03	00	00	00	50
Les nitrites (NO ₂ ⁻) (mg/l)	00	00	00	00	00	00	0.1
Le fer (mg/l)	0.22	0.20	0.21	00	00	00	0.3
Les silicates (mg/l)	0.05	0.05	0.05	00	00	00	0.01
Les phosphates (mg/l)	00	00	00	00	00	00	0.5

Chapitre III : Etude expérimentale

Le zinc (mg/l)	0.16	0.15	0.15	0.06	0.05	0.05	5
DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	5.2	5.2	5.2	0.7	0.7	0.7	5 à 10
DCO (mg de O ₂ /l)	9.4	9.4	9.4	1.1	1.1	1.1	20 à 40
Bactériologie							
a) Coliformes totaux/100ml	0		0	0	0	0	0
b) Coliformes fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
c) Streptocoques fécaux/100 ml	0		0	0	0	0	0
d) Salmonelles/5000 ml	0		0	0	0	0	0
e) Staphylocoques pathogènes/100 ml	0		0	0	0	0	0

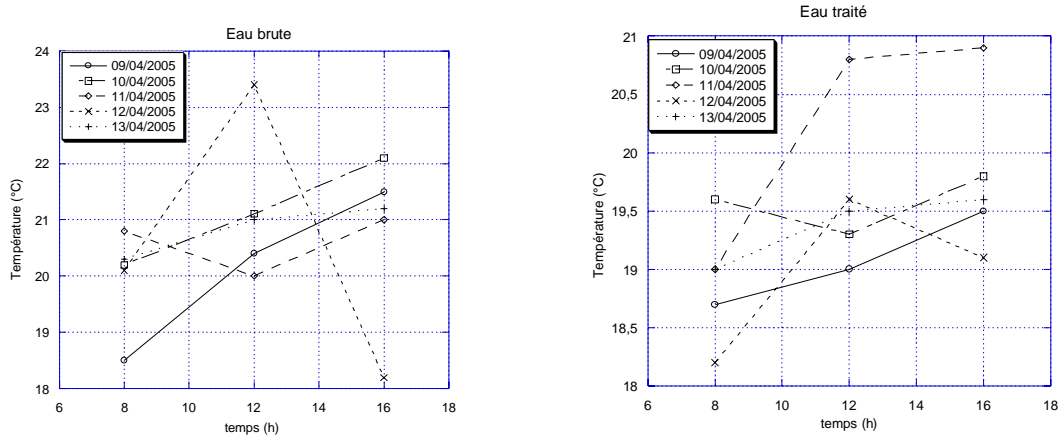


Figure III.17: Evolution de la température de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

La température des eaux superficielles est très variable. On observe d'après le graphe que les températures de l'eau brute et celle de l'eau traitée du Barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar pour le mois d'Avril sont conformes aux normes (25°C).

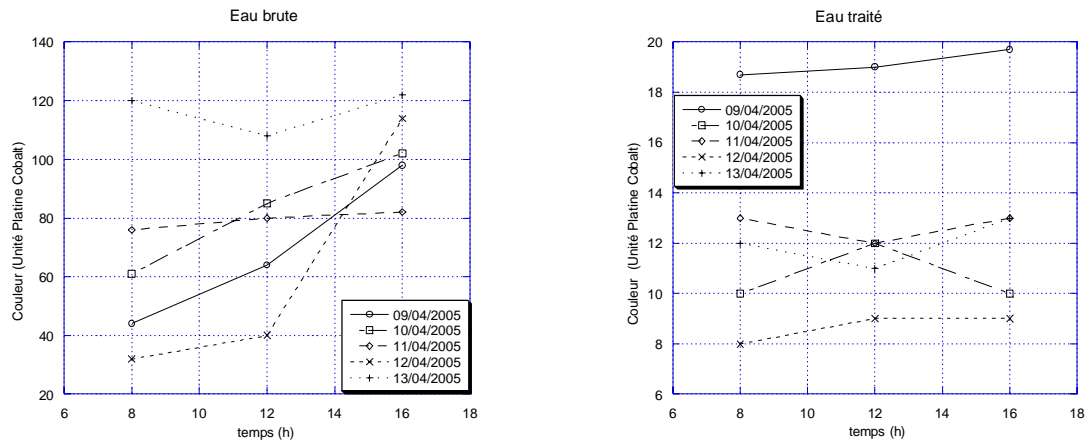


Figure III.18: Evolution de la couleur de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

La couleur est variable à cause du vent de sable qui caractérise cette région. Les couleurs d'eau brute sont plus élevées que les normes par contre les couleurs d'eau potables sont dans les normes (25 Unité Platine Cobalt).

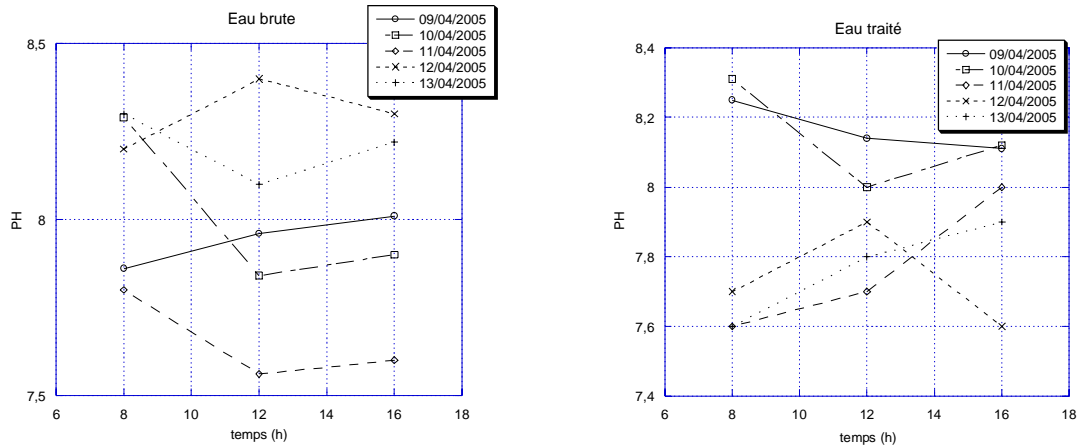


Figure III.19: Evolution du pH des eaux brute et traitée en fonction du temps

D'après la Figure III.19 qui représente l'évaluation du pH de l'eau brute et traitée en fonction du temps, on remarque que les pH de tous nos échantillons bruts et potables sont dans les normes (6,5-8,5). Des pH inférieurs à 7 peuvent provoquer une corrosion des conduites (tuyauteries) métalliques. La vitesse de corrosion de métaux se trouve assez souvent influencée par la valeur effective du pH.

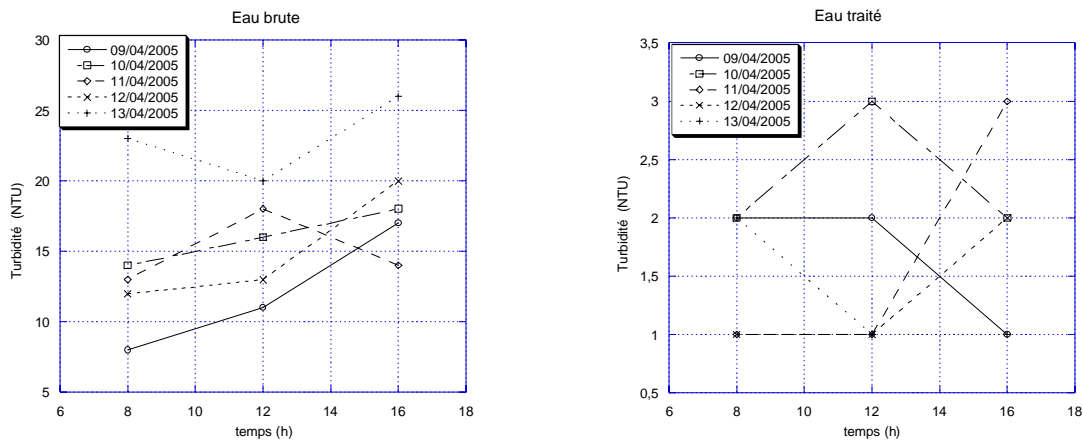


Figure III.20: Evolution de la turbidité de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Les turbidités de l'eau brute sont variables à cause du vent de sables qui caractérise surtout le mois d'avril. Les valeurs élevées de la turbidité peuvent contribuer à la diminution du

Chapitre III : Etude expérimentale

pouvoir pénétrant de la lumière. A 8^h, on remarque une variation de la turbidité entre 8 et 23 NTU. A midi (12^h), elle est de 11-20 NTU alors qu'elle est de 16 dans l'après midi. On constate une variation entre 14 et 26 NTU. Par contre les valeurs de la turbidité des eaux traitées sont de 5 NTU ce qui fait qu'elles répondent aux normes (Figure V.19).

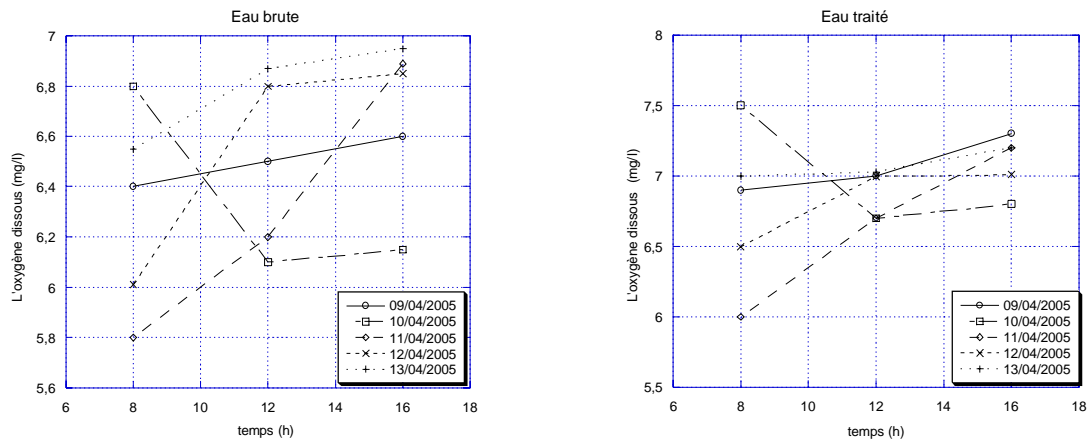


Figure III.21: Evolution de L'oxygène dissous de l'eau brute et traitée en fonction du temps. Toutes les valeurs de la teneur en oxygène dissous dans les eaux brutes et potables sont dans les normes, voire comprises entre 5 et 8 mg/l.

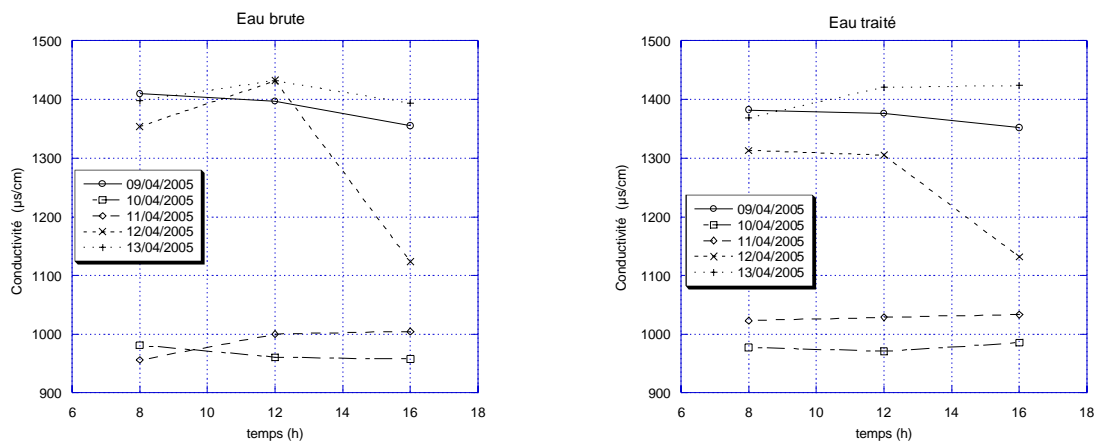


Figure III.22: Evolution de la conductivité électrique des eaux brute et traitée en fonction du temps

Les valeurs de la conductivité électrique de tous nos échantillons d'eaux sont entres 900-1500

Chapitre III : Etude expérimentale

$\mu\text{s}/\text{cm}$. On peut conclure qu'elles ont des propriétés électriques qui sont conformes aux normes ($<2800\mu\text{s}/\text{cm}$). En effet, une conductivité élevée se traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée.

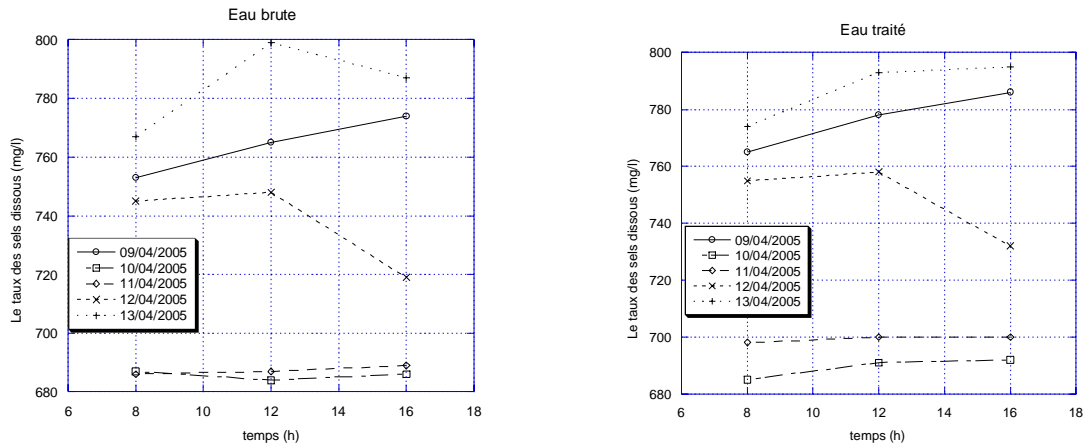


Figure III.23: Evolution des taux de sels dissous dans l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Les échantillons d'eaux brutes et traitées, prélevés à différentes périodes de la journée, ont des taux de sels dissous inférieurs à 800 mg/l. Il en ressort que leur minéralisation est acceptable du moment qu'elles répondent aux normes d'eau potable (300-1000 mg/l).

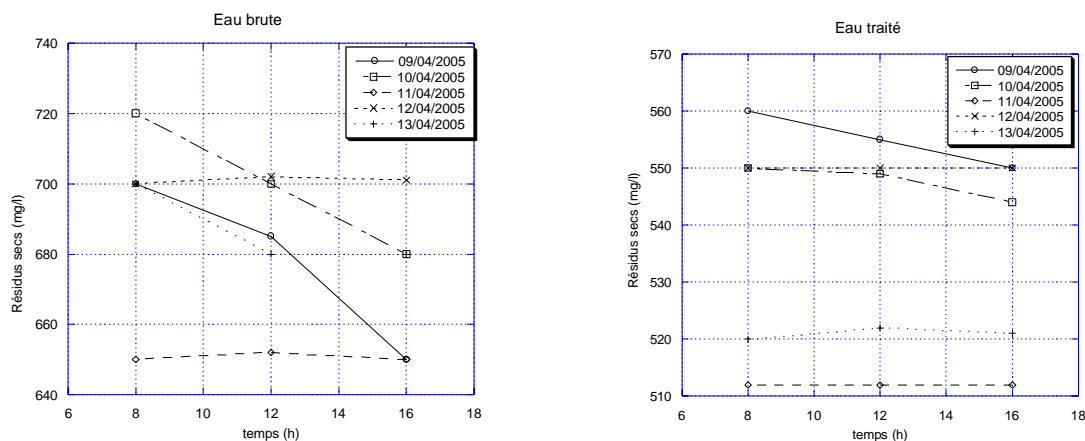


Figure III.24: Evolution des Résidus secs de l'eau brute et traitée en fonction du temps

Les teneurs en résidus secs des eaux brutes et potables, sont dans les normes (2000 mg/l). Ce qui

confirme que l'eau ne contient pas de matières minérales dissoutes.

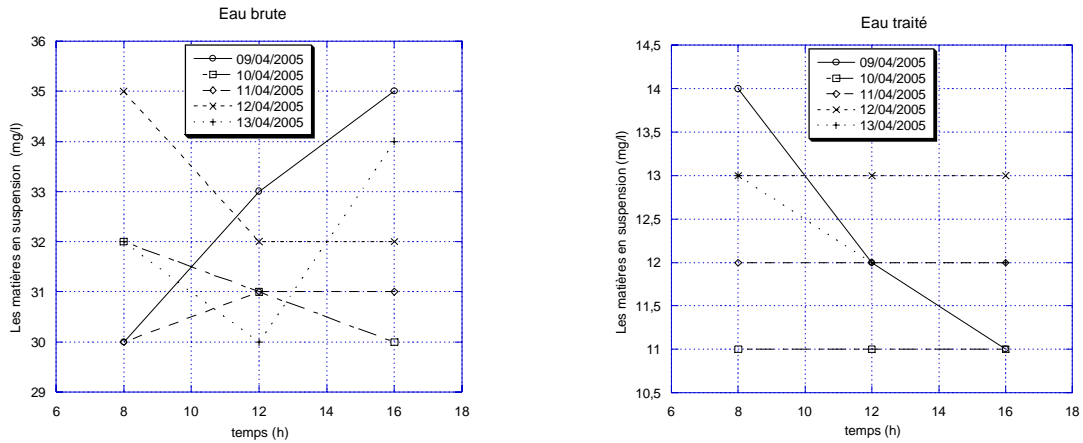


Figure III.25: Evolution des matières en suspension de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

La teneur en matières en suspension dans l'eau brute est variable. Cependant, leur teneur dans l'eau traitée est toujours inférieure aux normes (<30 mg/l). Les teneurs élevées des MES peuvent avoir une incidence sur le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre les différentes espèces.

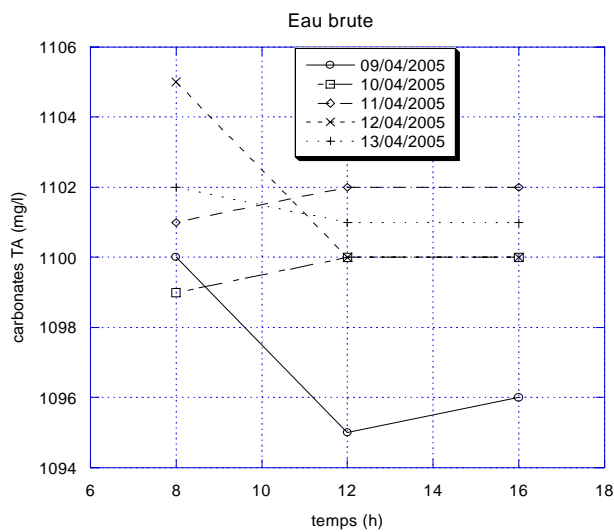


Figure III.26: Evolution des TA de l'eau brute en fonction du temps.

Chapitre III : Etude expérimentale

Le titre alcalimétrique (carbonates CO_3^{2-}) de l'eau brute varie entre 1095 et 1105 mg/l, tandis que dans l'eau traitée, les résultats ont montré qu'il est nul. La formation d'une couche carbonatée assurant la protection des canalisations contre certains risques de corrosion nécessite une alcalinité minimale.

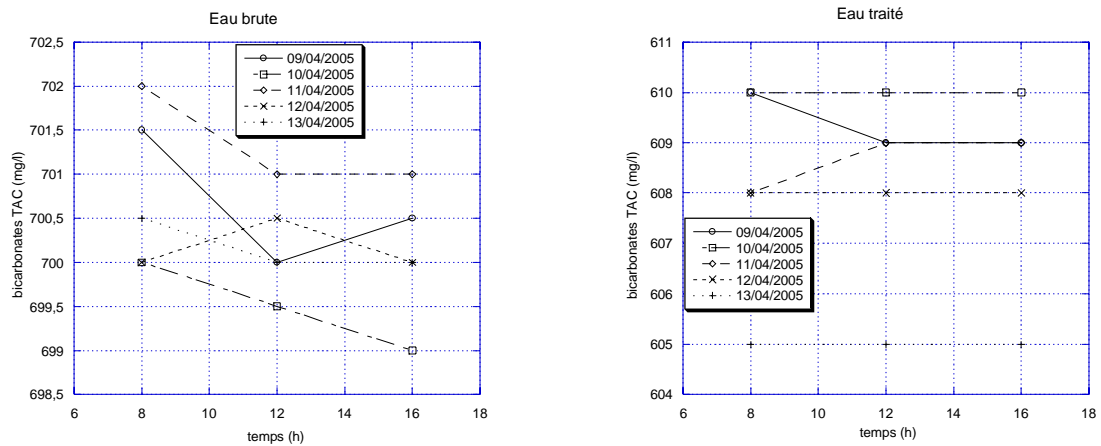


Figure III.27: Evolution des TAC de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Les résultats d'analyse pour les différents échantillons d'eaux brute et traitée montrent que les teneurs en bicarbonates HCO_3^- (titre alcalimétrique complet) prend des valeurs qui dépassent largement la norme fixée à 12 mg/l. Le titre alcalimétrique complet donne l'alcalinité totale de l'eau.

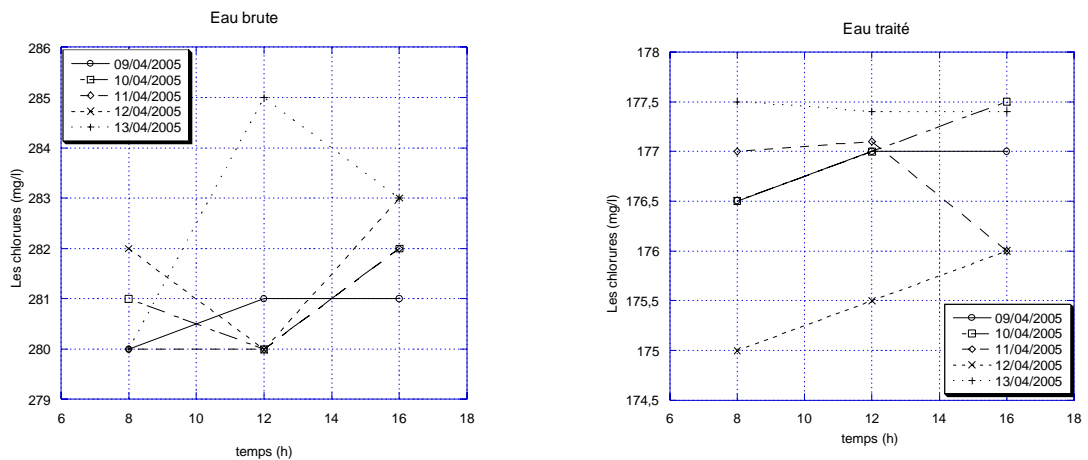


Figure III.28: Evolution des chlorures de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Chapitre III : Etude expérimentale

Les teneurs en chlorures de l'eau brute dépassent les normes, mais dans l'eau potable, elles sont toutes en de ça de la norme fixée à 250 mg/l. La présence de chlorures dans les eaux est due, le plus souvent, à la nature des terrains traversés lors du ruissellement des eaux fluviales.

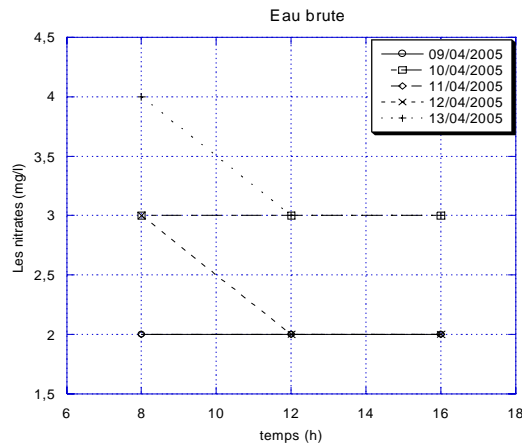


Figure III.29: Evolution des nitrates de l'eau brute en fonction du temps.

Les valeurs des nitrates des eaux brutes et potables durant la journée sont constantes et correspondent aux normes fixées à 50 mg/l. On note que les effets néfastes des nitrates sur la santé sont associés à la perturbation du phénomène d'oxygénation du sang chez les nourrissons ("maladie bleue", ou méthémoglobinémie).

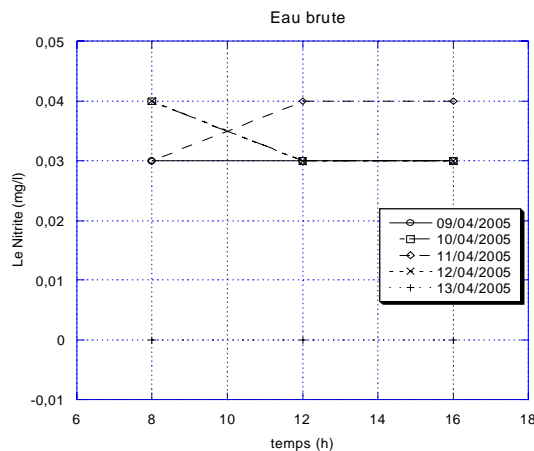


Figure III.30: Evolution des nitrites de l'eau brute en fonction du temps.

Chapitre III : Etude expérimentale

La présence des nitrites dans les eaux est un signe certain de la pollution. Elle justifie la nécessité d'une analyse chimique et bactériologique détaillée. Cependant, dans notre analyse, tous les échantillons d'eau brute ont une teneur en nitrites presque négligeable vis-à-vis des normes (0,1mg/l). Tandis que pour l'eau traitée, on observe l'absence totale de nitrites.

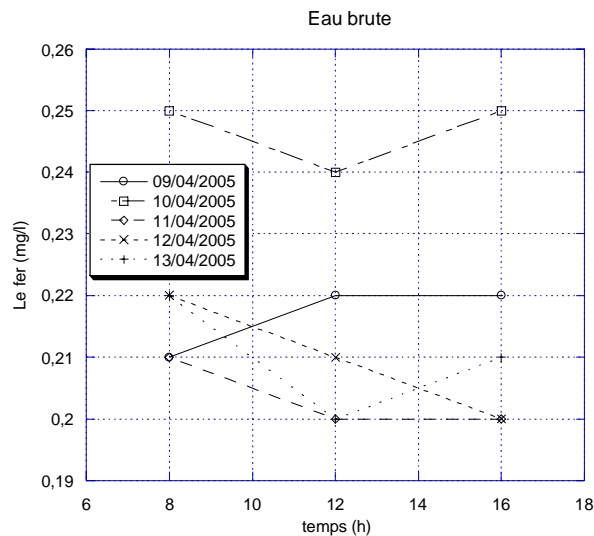


Figure III.31: Evolution du fer de l'eau brute en fonction du temps.

Les besoins journaliers de l'organisme sont de 1 à 2 mg de fer, mais à des concentrations de l'ordre de 300 $\mu\text{g/l}$, le fer tache le linge et les installations sanitaires et donne mauvais goût à l'eau. Dans notre analyse, tous les échantillons d'eau brute ont une teneur en fer inférieure aux normes (0,3mg/l). Tandis que pour l'eau traitée, on observe l'absence totale de fer.

Chapitre III : Etude expérimentale

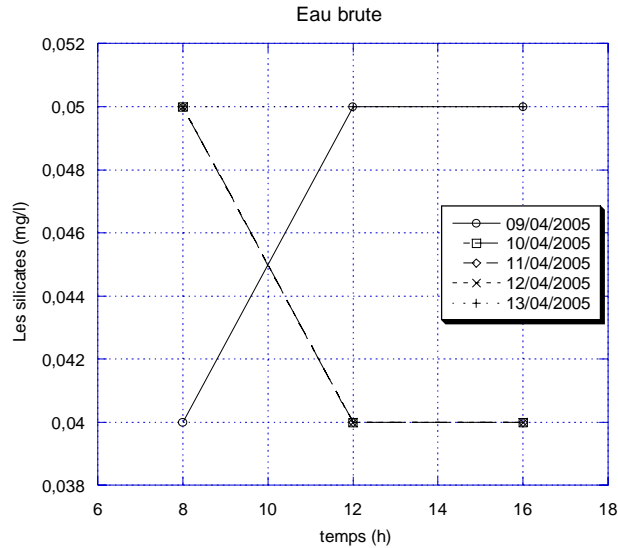


Figure III.32: Evolution des silicates de l'eau brute en fonction du temps.

Les résultats des analyses pour les différents échantillons d'eau brute montrent que toutes les teneurs en silicates sont légèrement supérieures aux normes fixées à 0,01, mais dans l'eau potable on remarque l'absence totale des silicates.

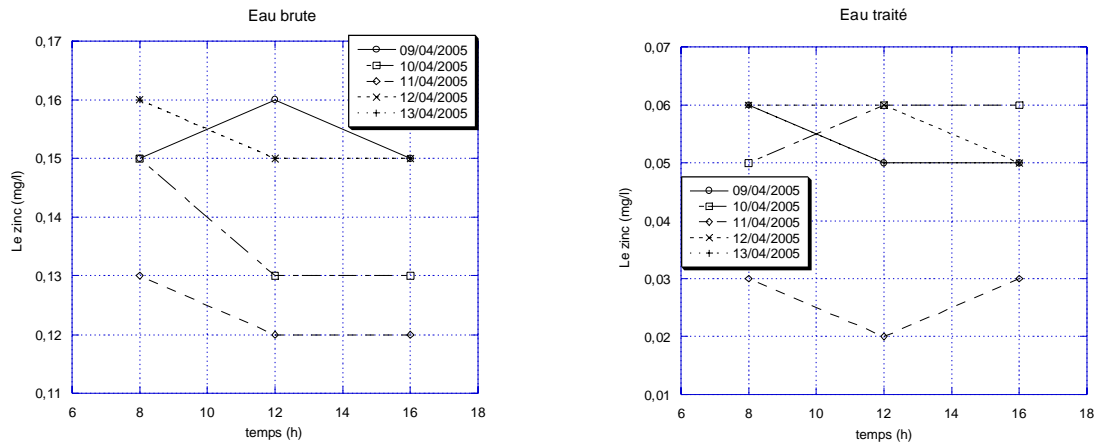


Figure III.33: Evolution du zinc de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Les teneurs en zinc de l'eau brute et traitée sont au de ça de norme fixée à 5 mg/l.

Chapitre III : Etude expérimentale

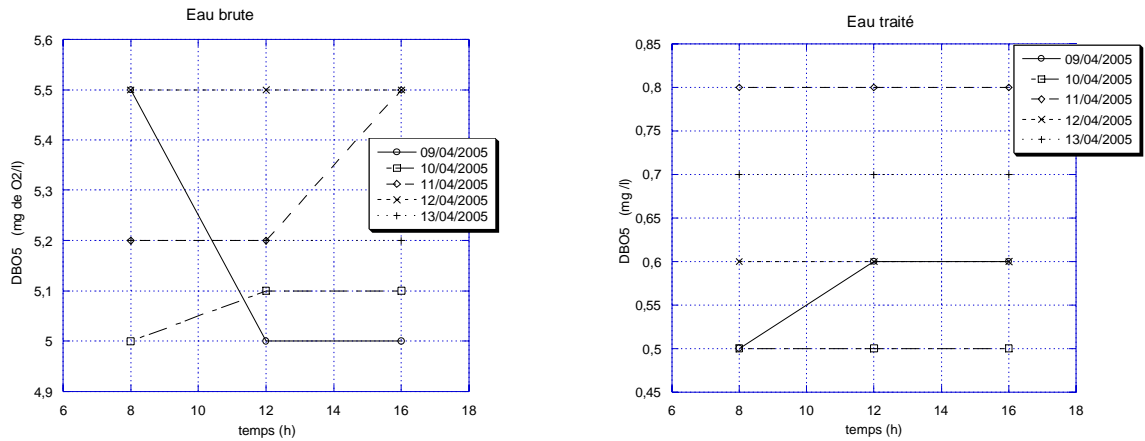


Figure III.34: Evolution du DBO₅ de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Le DBO₅ mesure la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour l'oxydation des matières organiques dans l'échantillon d'eau. Les valeurs de DBO₅ de l'eau brute et potable sont aux normes fixées à 5-10 mg de O₂/l. qui confirme l'absence des bactéries dans nos échantillons d'eau

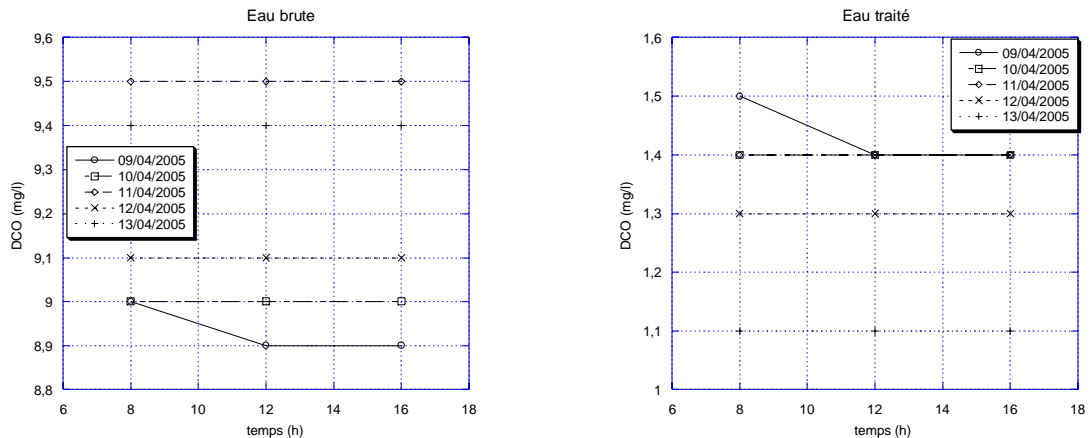


Figure III.35: Evolution du DCO de l'eau brute et traitée en fonction du temps.

Le DCO est la mesure de l'équivalent en oxygène de la teneur en matière organique d'un échantillon qui est susceptible d'être oxydée par un oxydant chimique puissant. Les valeurs de DCO de l'eau brute et potable sont aux normes fixées 20-40 mg de O₂/l. qui confirme l'absence des matières organiques dans nos échantillons d'eau

Chapitre III : Etude expérimentale

2) Analyse de l'eau après décantation: (le 17/04/05)

Le décanteur est constituée d'une colonne en PVC de 1.5 m de hauteur et de 150 mm de diamètre, pourvue de robinets équidistants de 30 cm pour les prises d'échantillons. On prélève des échantillons de 100 ml, à chaque niveau (du haut vers le bas) et à des temps prédéterminés: 10, 20, 40, 60, 80, et 120 minutes, et on y dose les MES, RS, la couleur et la turbidité. L'analyse de l'eau avant décantation donne les valeurs suivantes : MES = 35 (mg/l), RS = 720 (mg/l), Couleur = 122 (UPC) et la Turbidité = 23 (NTU).

Tableau III.8: Résultats de l'analyse de l'eau brute après décantation.

I:30 cm. II:60cm III:90 cm. IV :120cm

Temps (mn)	Profondeur à partir du haut (cm)	MES mg/l	RS mg/l	Couleur (Unité Platine Cobalt)	Turbidité (NTU)
10	I	33	660	113	20
	II	34	680	114	21
	III	37	705	117	22
	IV	38	710	118	23
20	I	30	600	112	19
	II	32	608	113	20
	III	38	704	118	21
	IV	39	712	120	23
40	I	28	560	110	18
	II	31	575	111	19
	III	38	705	122	21
	IV	40	720	126	24
60	I	27	510	109	16
	II	30	563	110	17
	III	39	700	123	21
	IV	42	750	128	26
90	I	27	490	108	15
	II	29	555	110	16
	III	40	709	125	22
	IV	44	755	131	29
120	I	26	485	108	15
	II	31	550	111	16
	III	42	725	127	23
	IV	45	777	133	30

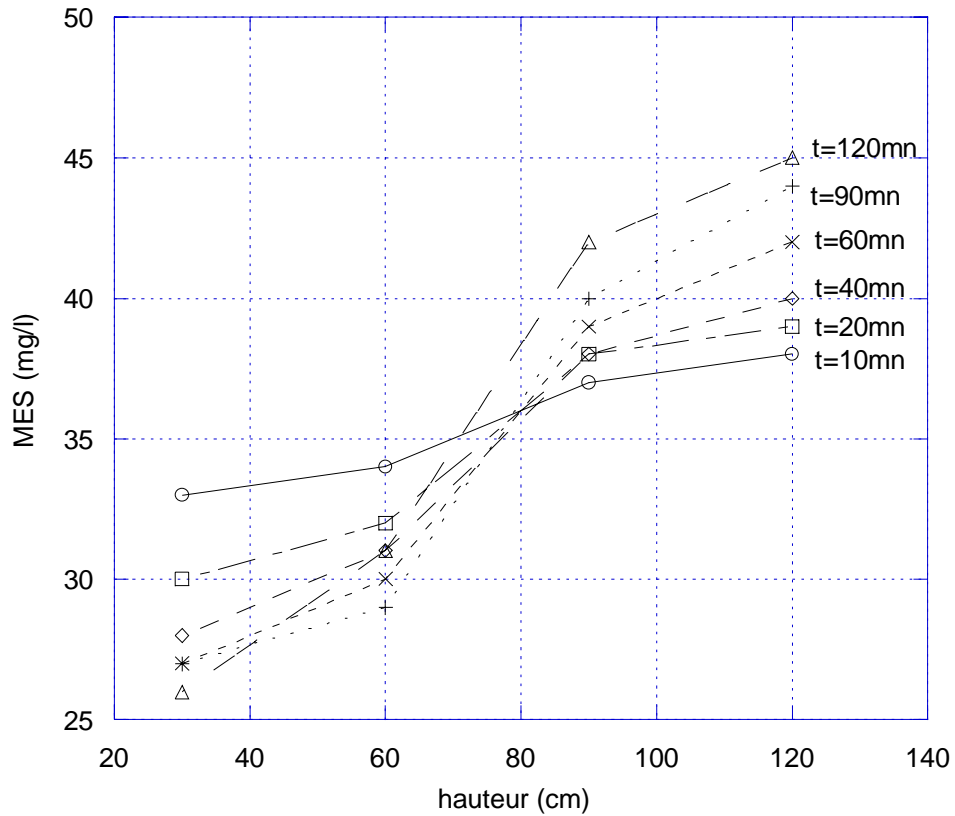


Figure III.36: Variation des MES en fonction de la hauteur de décantation à différents instants de prélèvement.

D'après la figure III.36 qui représente l'évolution des MES en fonction de différentes hauteurs de décantation pour différents temps de prélèvement. On remarque que les MES augmentent considérablement avec la hauteur et diminuent avec le temps. Néanmoins, à une hauteur de 90cm, on constate une augmentation des MES en fonction de la hauteur et du temps.

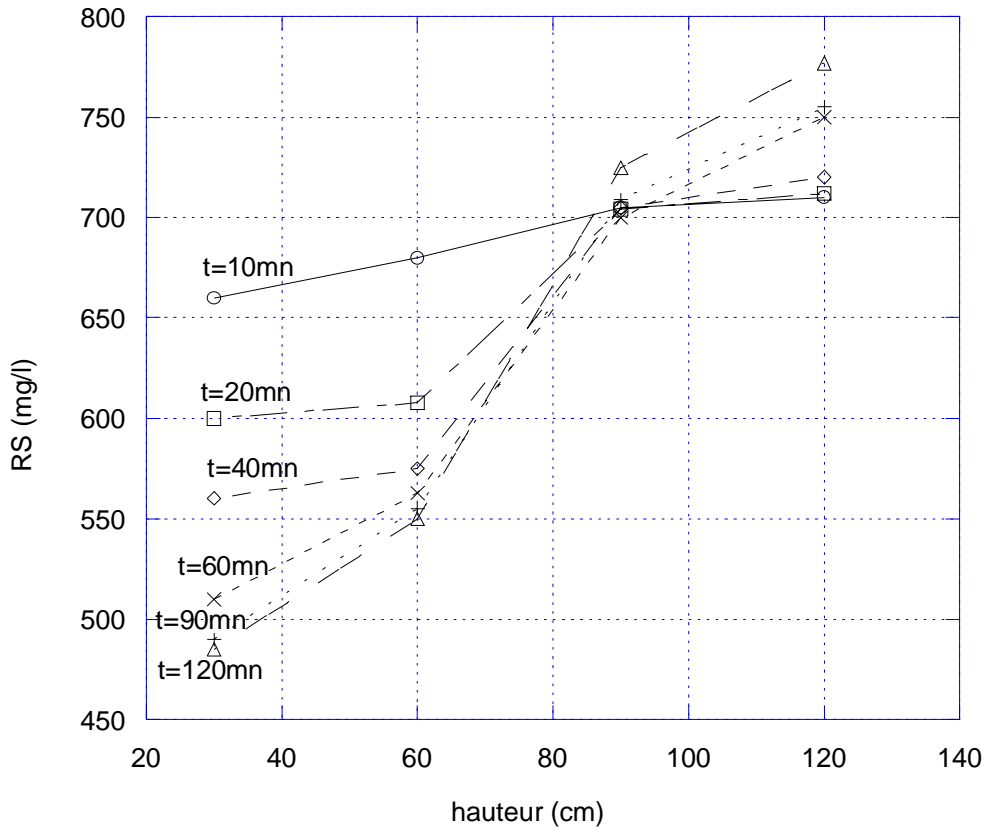


Figure III.37: Variation des RS en fonction de la hauteur de décantation à différents temps.

On voit clairement dans la figure III.37 qui représente l'évolution des RS en fonction de différentes hauteurs de décantation en fonction du temps. On note une augmentation des RS avec les hauteurs et une réduction avec le temps, jusqu'à une hauteur de 90cm.

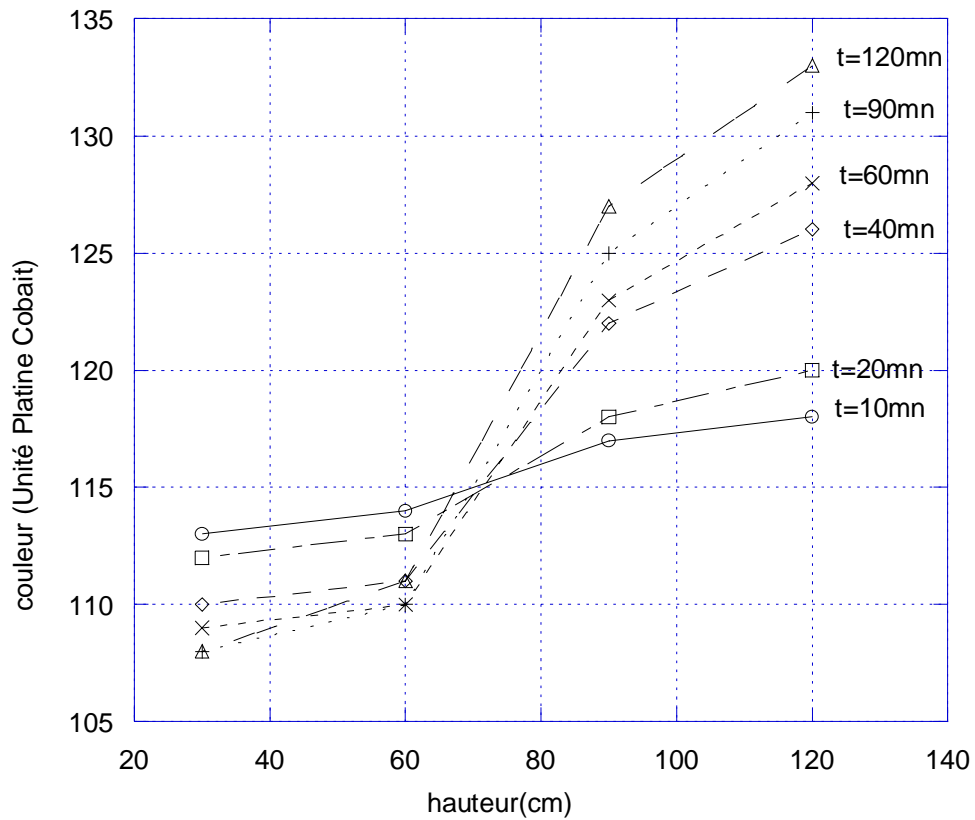


Figure III.38: Variation de la couleur en fonction de la hauteur de décantation à différents temps de prélèvements.

Sur la base des résultats présentés dans la figure III.38, l'évolution de la couleur en fonction de différentes hauteurs de décantation et en fonction du temps, on remarque l'accroissement de la couleur en fonction de la hauteur avec une réduction sensible avec le temps. Pour une hauteur supérieure à 90cm, la couleur commence à croître avec le temps.

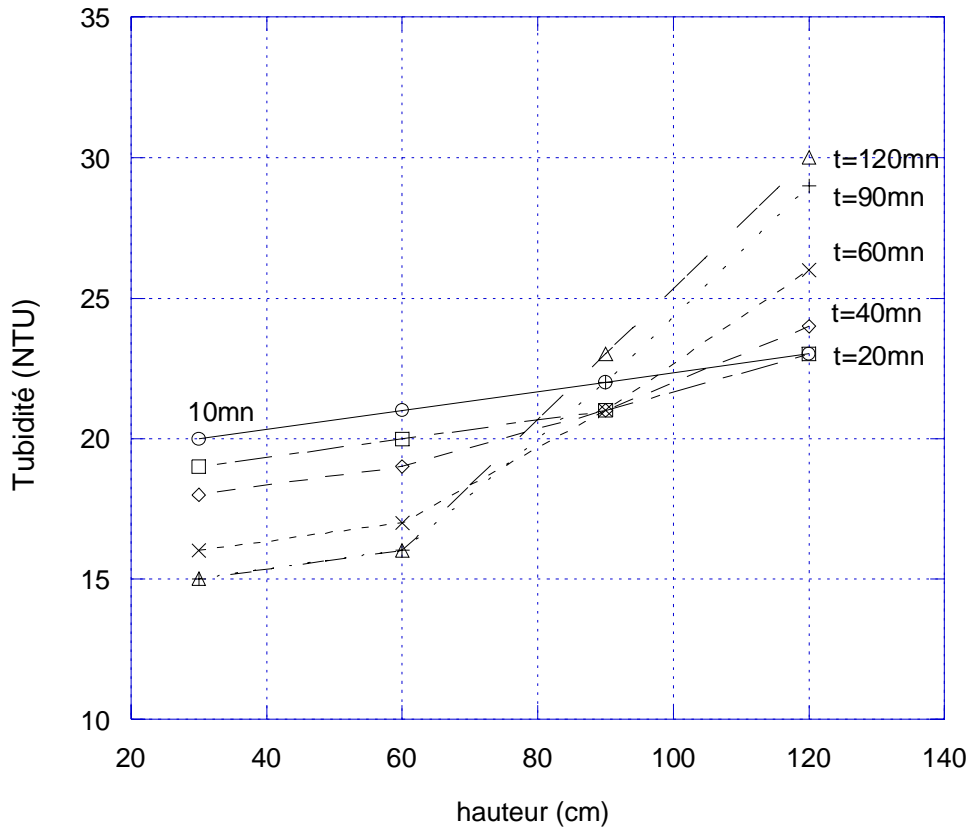


Figure III.39: Variation de la turbidité en fonction de la hauteur de décantation à différents temps de prélèvements.

On constate suivant la figure III.39 qui représente l'évolution de la turbidité en fonction des hauteurs de décantation à différents temps, un accroissement de la turbidité avec les hauteurs, et une diminution avec le temps de décantation. Il y a lieu de mentionner qu'à une hauteur de 90cm, la variation de la turbidité est proportionnelle avec le temps et la hauteur.

Conclusion:

D'après les travaux que nous avons réalisés, on peut conclure que :

* D'après les figures V.35, V.36, V.37, V.38 que les MES, les RS, la couleur et la turbidité augmentent considérablement avec la hauteur et diminuent avec le temps de prélèvement et se stabilisent à 90cm. Au-delà, on établit toujours un constat identique pour les hauteurs croissantes. Cependant, on doit faire remarquer une inversion de l'évolution par rapport au temps ce qui confirme que, à partir de cette hauteur, on obtient une eau trouble à cause de l'accumulation des MES au bas du bac de décantation.

*Les MES, les RS, la couleur et la turbidité subissent une légère augmentation avec la hauteur jusqu'au $H_d=60\text{cm}$. Au-delà, l'augmentation devient remarquable. Les MES, les RS, la couleur et la turbidité subissent une fléchissement remarquable avec le temps de décantation jusqu'au 60mn où on constate une légère régression.

* Le temps nécessaire pour avoir une meilleure décantation de notre eau brute est 60mn. Jusqu'à une hauteur de 60cm, on constate une eau claire et une eau trouble bien distinctes. On peut déduire que le temps de décantation et la hauteur du décanteur optimums sont respectivement 60mn et 60cm.

Chapitre III : Etude expérimentale

80	T	I	14	575	34	4	16.213	202.662
		II	13	552	31	3	16.033	200.412
		III	11	540	22	2	15.664	195.8
		IV	11	540	17	2	15.000	187.65
	A	I	12	560	18	2	16.987	212.337
		II	10	536	14	2	16.123	201.537
		III	9	520	11	1	15.897	198.712
		IV	9	519	9	1	15.012	187.5
	Ai	I	10	534	13	0	11.935	149.187
		II	8	525	10	0	11.824	147.8
		III	7	515	9	0	10.865	135.812
		IV	7	513	7	0	10.635	132.937
100	T	I	11	551	20	3	19.210	192.1
		II	10	533	16	3	18.895	188.85
		III	9	527	10	2	18.543	185.43
		IV	9	523	9	2	17.745	177.45
	A	I	10	544	13	1	20.354	203.54
		II	9	524	12	1	19.865	198.65
		III	8	514	10	1	18.798	187.98
		IV	8	512	8	1	18.265	182.65
	Ai	I	8	520	10	0	13.250	132.5
		II	7	513	9	0	13.020	130.2
		III	6	510	8	0	12.995	129.95
		IV	6	508	6	0	12.331	123.31
120	T	I	10	530	12	3	21.986	183.216
		II	9	526	10	2	21.214	176.78
		III	8	519	9	1	19.786	164.883
		IV	8	516	9	1	19.145	159.541
	A	I	8	520	10	1	22.500	187.5
		II	7	515	9	1	22.032	183.6
		III	6	509	8	1	21.963	183.025
		IV	6	505	8	0	20.999	174.991
	Ai	I	5	507	9	0	15.021	125.175
		II	4	500	7	0	14.973	124.775
		III	4	498	5	0	14.200	118.333
		IV	4	495	5	0	14.100	117.5

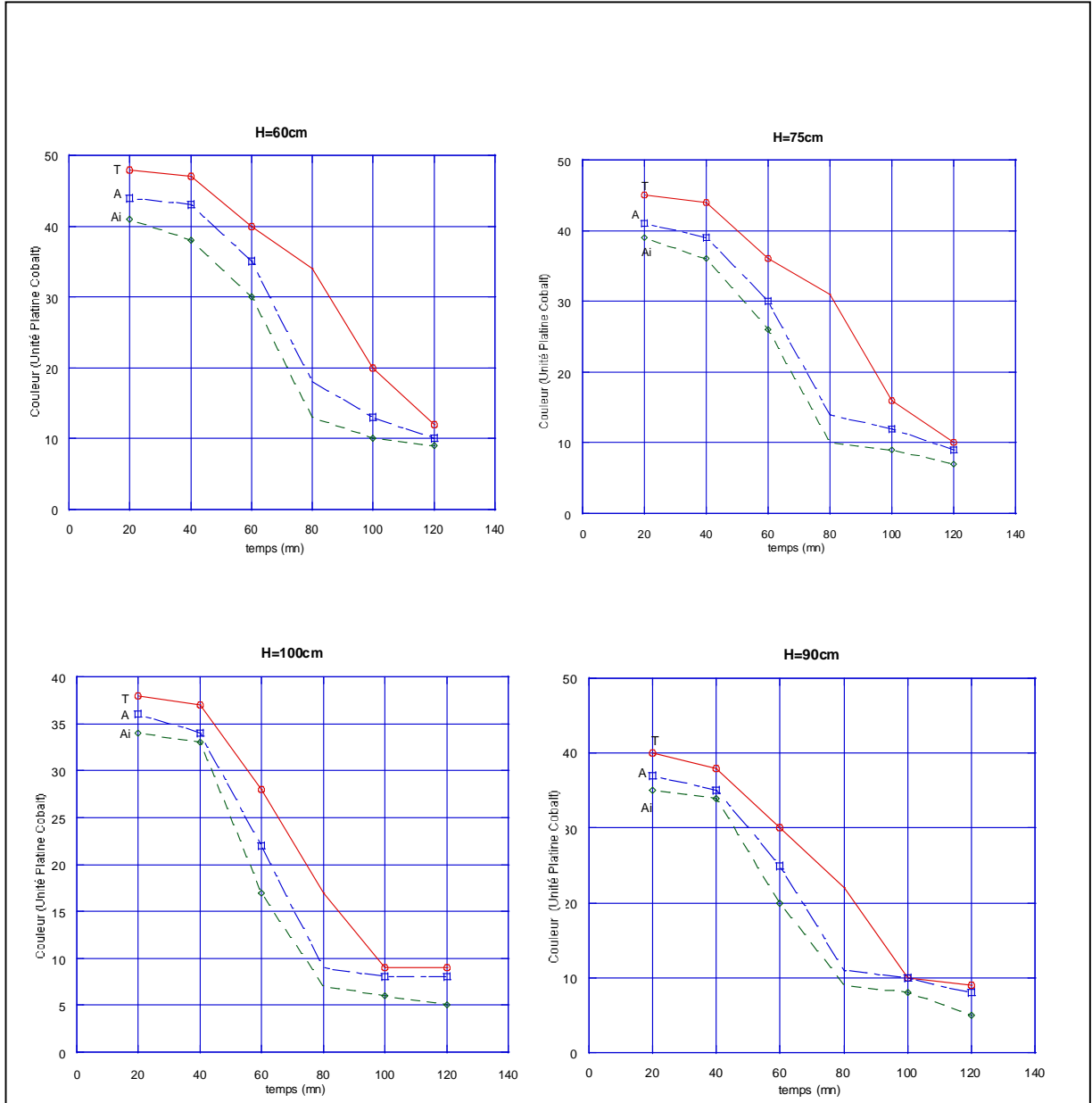


Figure III.40: Evaluation du MES en fonction du temps de filtration à différentes hauteurs du lits de sable.

On remarque sur la figure V.39 qui représente l'évaluation du MES en fonction du temps de filtration à hauteurs du lits de sable (H=60, H=75, H=90 et H=100 cm) de Tunisie, Aoulef et de Aine Bouda. Que les MES ont diminué en fonction de temps de filtration; et de la hauteur du

Chapitre III : Etude expérimentale

lit de sable, jusqu'à atteindre une valeur inférieure à la norme ($<30\text{mg/l}$). et on voit clairement sur cette figure qu'à partir de la hauteur de lit filtrant des trois sables H=90 cm les valeurs des MES presque reste constantes.

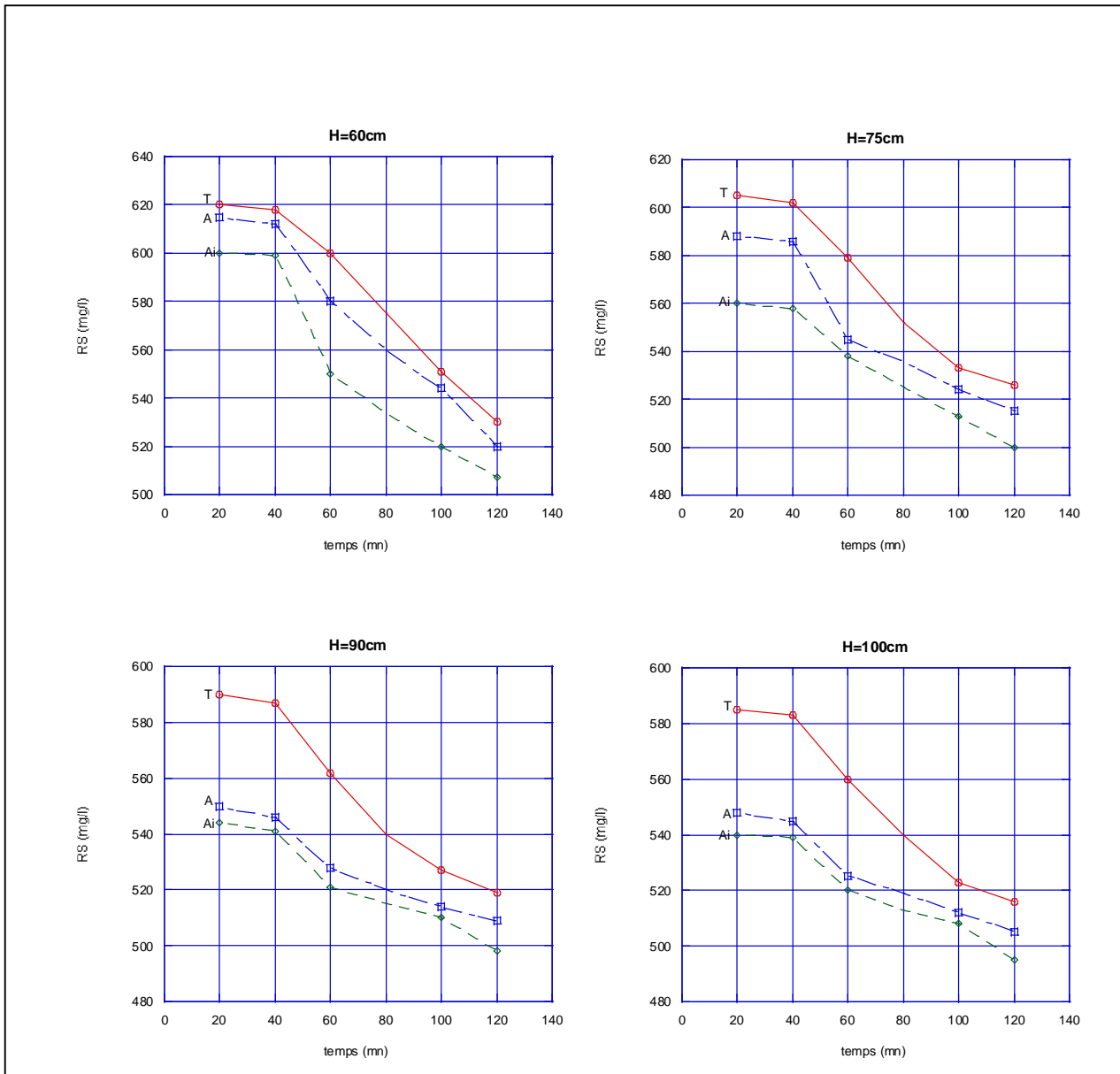


Figure III.41: évaluation du RS en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs du lits de sable.

Comme les MES; les RS diminuent pratiquement en fonction de temps de filtration; et de la hauteur du lit de sable, comme le montre la figure IV.40 jusqu'au une valeur optimale

Chapitre III : Etude expérimentale

H=90 cm, puisque ces RS sont généralement des MES d'origine organique, il sont donc retenus dans le lit de sable.

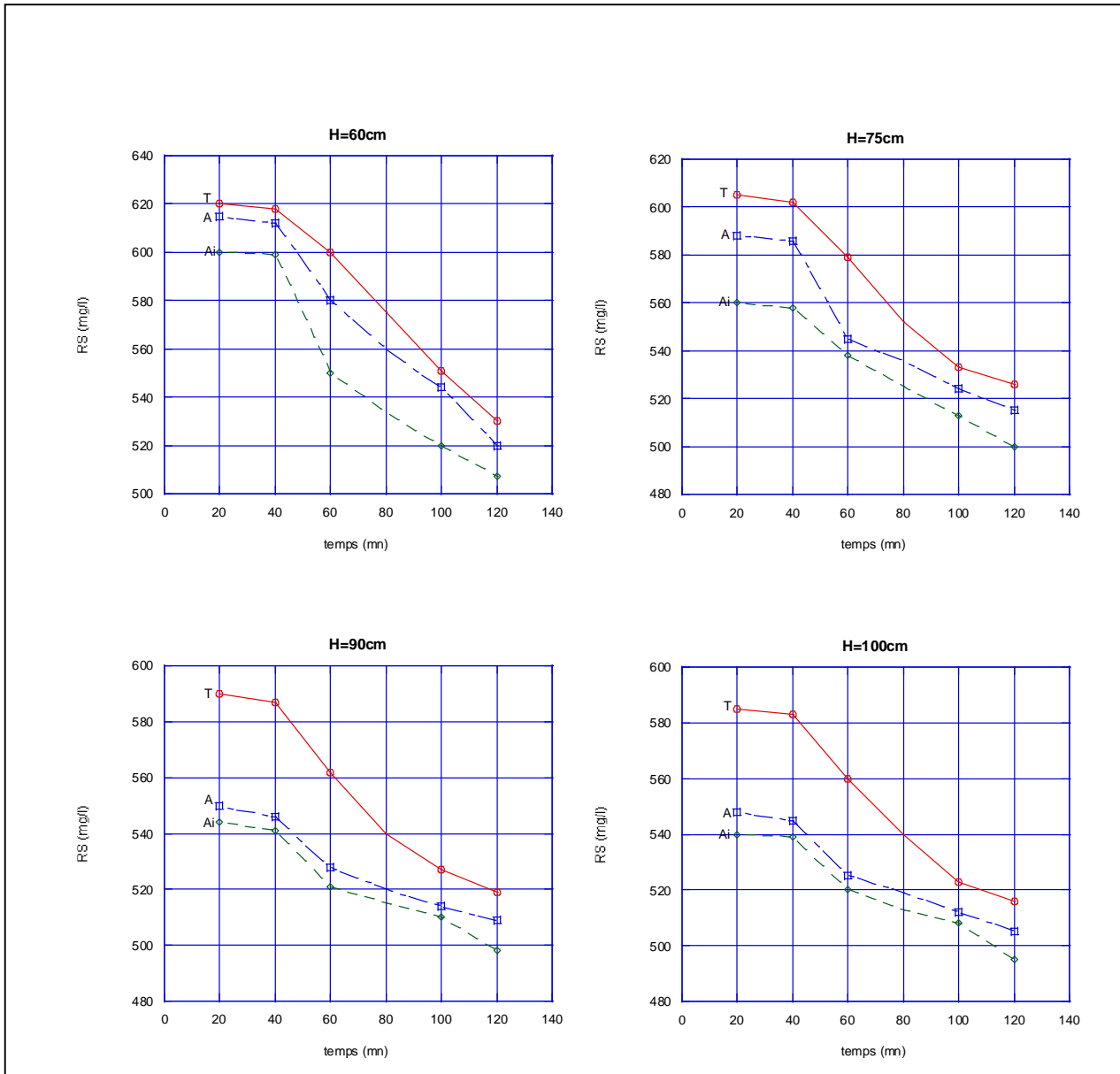


Figure III.42: Evolution de la couleur en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs de lits de sable.

Comme le montre la figure V.41 qui représente l'évolution de la couleur en fonction du temps de filtration à différentes hauteurs du lit de sables de Tunisie, Aoulef et de Aine Bouda (H=60, H=75, H=90 et H=100 cm), L'eau devient en plus claire avec l'augmentation du

Chapitre III : Etude expérimentale

temps et de la hauteur du lit filtrant. Pour les différentes hauteurs, on constate une diminution remarquable de la couleur au bout de 100 minutes où on observe des valeurs constantes.

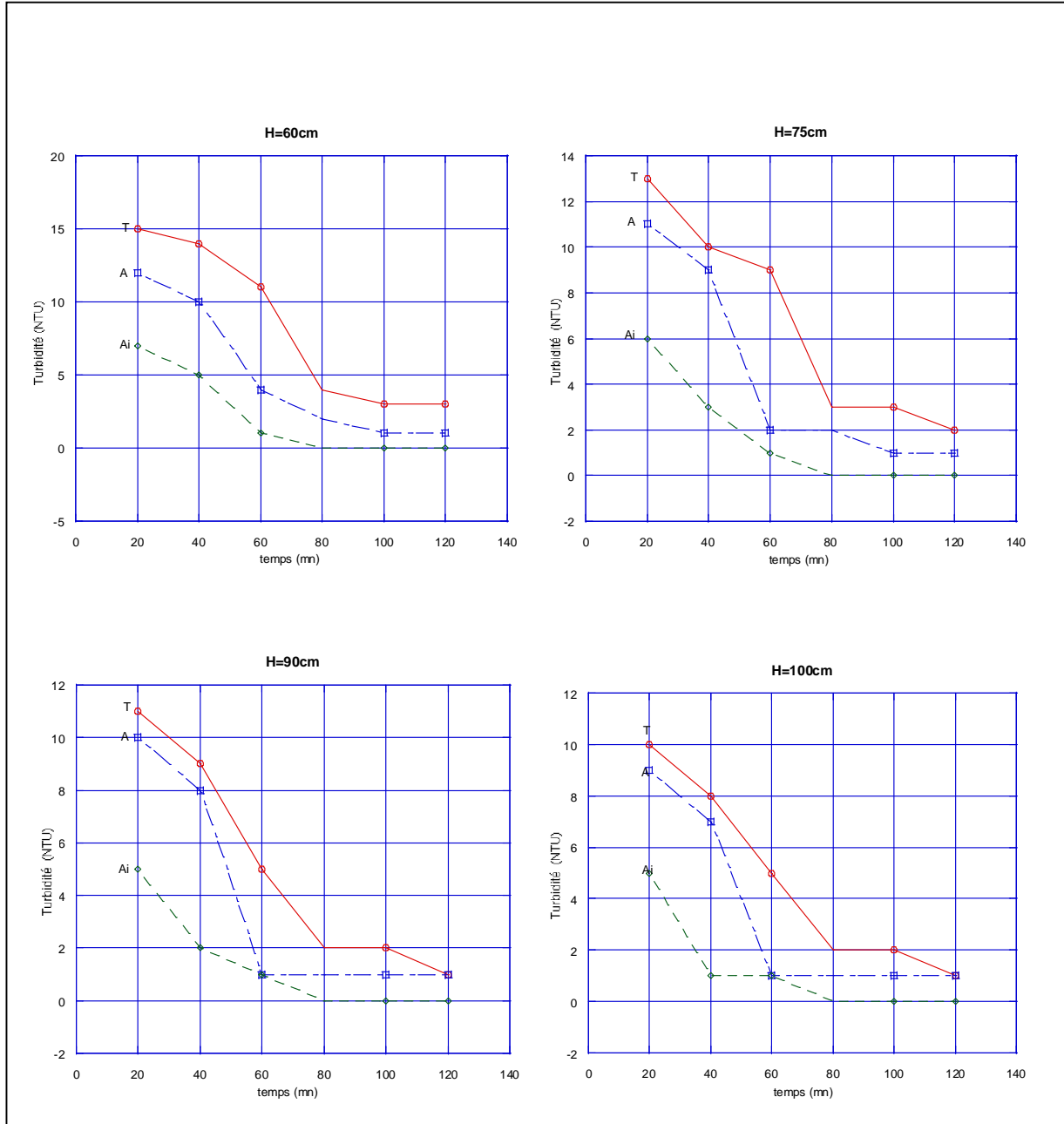


Figure III.43: Evolution de la turbidité en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs pour les trois types de sables.

Chapitre III : Etude expérimentale

On observe d'après la figure V.42 que la turbidité subit une variation inverse avec le temps de filtration et la hauteur de lits filtrants pour les trois types de sable. L'eau devient de plus en plus limpide pour $t=80\text{mn}$ et $H=90\text{cm}$. Au-delà, elle devient très claire.

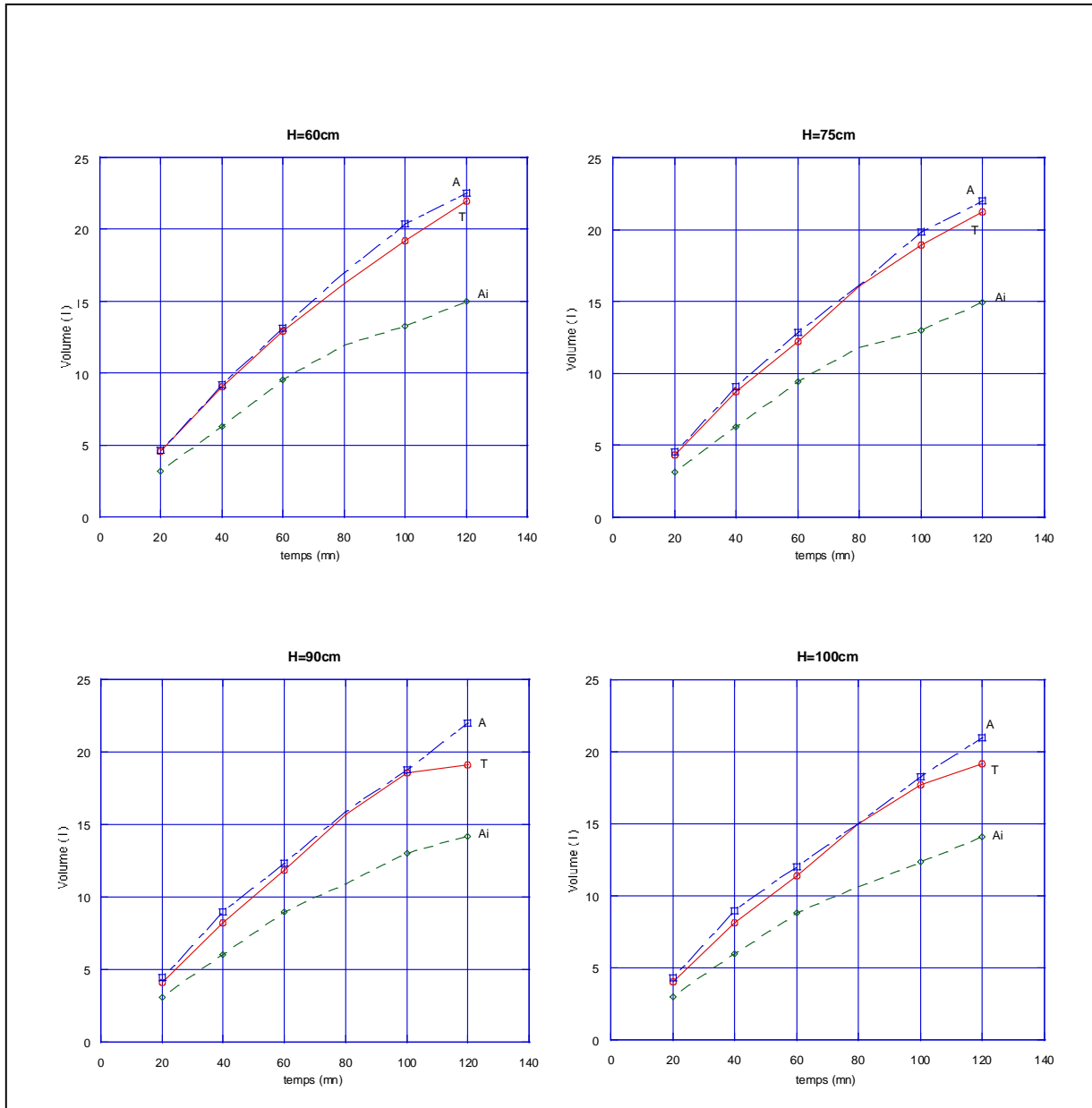


Figure III.44: Evolution du volume en fonction du temps de filtration pour les trois types de lits de sable.

Chapitre III : Etude expérimentale

Pour la figure V.43, on en conclut qu'il y a une variation proportionnelle du volume avec le temps de filtration et qu'il est inversement proportionnel avec la hauteur de lit de sable.

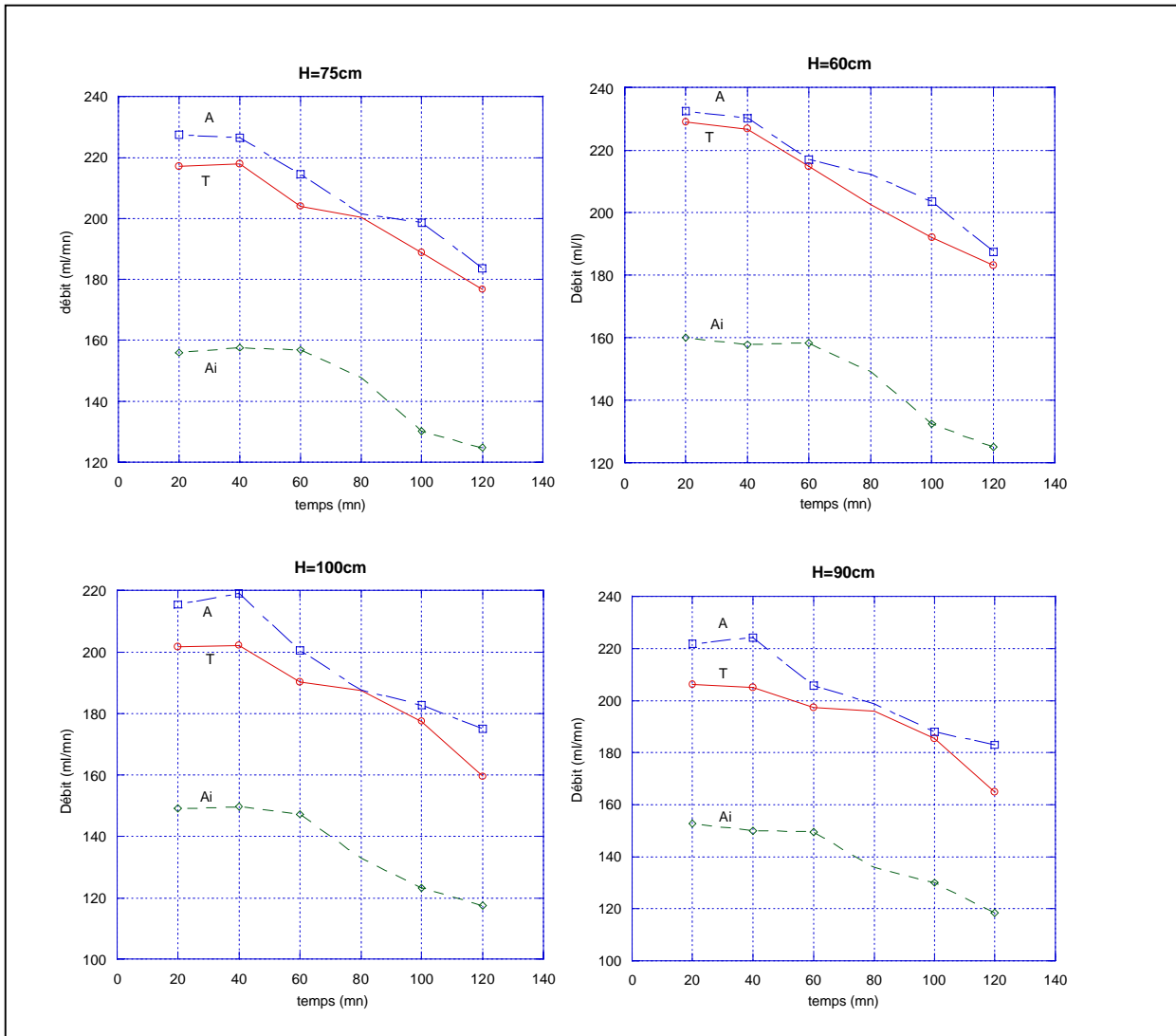


Figure III.45: Evolution du débit en fonction du temps de filtration à des différentes hauteurs dans les trois types de lits de sable.

Chapitre III : Etude expérimentale

Sur la figure V.44, on constate une diminution du débit en fonction de la hauteur de lit de sable et le temps de filtration. De toute évidence, l'augmentation de la hauteur conduit à l'augmentation des pertes de charge et par conséquent la réduction sensible du débit du filtrat.

Conclusion:

D'après les travaux que nous avons effectués, on peut conclure que:

* Les MES, les RS, la couleur et la turbidité subissent une diminution avec le temps de filtration et la hauteur de lits filtrants avec les trois types de sables.

* En comparant les valeurs des MES, les RS, la couleur et la turbidité retenue sur un lit de sable de hauteur 90cm et pour un temps de 100mn, on remarque comparativement entre les trois types de sable que le traitement par le sable d'Aoulef est efficace par rapport à celui de Tunisie, mais de meilleurs résultats sont obtenus avec le sable de Ain Bouda.

CONCLUSION

Dans le but de la valorisation des produits locaux nous avons étudié deux types de sable de la région d'Adrar (d'Aoulef et de Ain Bouda) par analyse granulométrique et chimique.

On rappelle que le sable actuellement exploité pour la filtration dans la station de traitement de l'eau du barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar est de provenance tunisienne. Une étude comparative entre les trois types de sables a été menée. Le sable filtrant doit correspondre à certaines exigences granulométriques. Le résultat de la caractérisation des sables montre que le sable de Ain Bouda possède les meilleures caractéristiques d'un sable filtrant pour le traitement de l'eau.

Module de finesse: 2.54%

Diamètre équivalent D10: 0.30

D60: 0.63

Coefficient d'uniformité (CU): 2.1

Porosité (e): 0.35

Perméabilité (K): 0.128 لک/سنو

Et de point de vue chimique; le milieu filtrant est constitué d'un sable sélectionné propre, à base de silice. Il doit être exempt de poussière, de particules fines d'argile ou d'autre matières susceptibles de se désintégrer ou de cimenter le sable. D'après notre étude le sable de Aine Bouda possède les meilleures propriétés par rapport à celui de Tunisie et d'Aoulef.

Bleu de méthylène (% d'argile): 0.5

Calcaire % : 5.20 %

Sulfates % 1.8

Les insolubles (% de la silice); 97.5

Le traitement de l'eau du barrage Djorf-Eltorba de la région de Béchar par décantation montre que le temps de décantation et la hauteur du décanteur optimums sont respectivement égaux à 60mn et 60cm.

Pour la filtration sur sables, les résultats montrent que le temps de filtration et la hauteur de lits filtrant optimums pour les trois sables sont respectivement 100mn et 90cm. Le traitement par le sable d'Aoulef est efficace par rapport à celui de Tunisie, mais les meilleurs résultats sont obtenus avec le sable de Ain Bouda.

REFERENCES

1. Règlement sur l'eau potable, (1984) 116 G.O. II, 2123.CENTRE SAINT-LAURENT. 1996. Rapport-synthèse sur l'état du Saint- Laurent.
2. MEINCK (F.), STOOF (J.) et KOHLSCHUETTER(H.). – Les eaux usées industrielles. Massonéd., Paris (1977).
3. Mémento technique de l'eau. Sté Degrémont. Ed. Technique et Documentation, Paris (1989).
4. L'eau Lucien Buisson . Cannes publications de l'Ecole moderne française, 1987
5. Les énergies : l'eau source et facteur de vie Paris, agence de coopération culturelle et technique, 1980
6. La fabuleuse histoire de l'eau Paris, Casterman, 1985.
7. Planète eau Guy Leray. Presses pocket, 1990
8. Les eaux douces : abondances, sécheresses et conflits François Durand-Dastès. Paris, Rageot éditeur, 1992.
9. MARQUIS, A. «L'eau potable : une ressource à économiser». Horizon environnement. Vol. 1, no.2 (mai 1994). P.1
10. Ma santé, mon environnement. Sainte-Foy, Québec : Publications du Québec, 1995. P.21-25.
11. SAINT-LAURENT VISION 2000, VOLET SANTÉ. L'eau potable une histoire de goût. Supplément du magazine Envirotech. 1996.
12. Volume 2: L'état du Saint-Laurent. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement - et Éditions MultiMondes, Montréal. Coll.
13. «BILAN Saint-Laurent». COMITÉ DE SANTÉ ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC.
14. Directives de qualité pour l'eau de boisson Genève. OMS, 1985-86

15. SAINT-LAURENT VISION 2000, VOLET SANTÉ. Reflets du Saint- Laurent - La parole aux riverains, Ministère des Approvisionnements et Services Canada, numéro de catalogue H21-132/1996F, 1996.
16. BOEGLIN (J.C.). – Analyses des eaux résiduaires. Mesures de la pollution. P 4 200 (1997). Traité Analyse et Caractérisation, volume P5.
17. «L'eau du robinet est-elle potable?», Protégez-vous. Cahier spécial H₂O. Mai 1995. P. 26-29
18. L'eau en danger. Dominique Armand. Toulouse, Milan, 1998
19. Du champ à la source : retrouver l'eau pure André Pochon. Trégueux, CEDAPA, 1991
20. EDELINE (F.). – L'épuration physico-chimique des eaux résiduaires. Théorie et technologie. Co-édition Cebedoc (1988).
21. BLAZY (P.), JDID (E.A.) et BERSILLON (J.L.). – Décantation. Équipements et procédés J 3451 (1999). Traité Génie des procédés, Opérations unitaires, volume J3.
22. BLAZY (P.) et JDID (E.A.). – Flottation. Mécanismes et réactifs J 3350 (2000). Traité Génie des procédés, Opérations unitaires, volume J3.
23. MOUCHET (P.). – Traitement des eaux avant utilisation. Matières particulaires G 1170 (2000). Traité Environnement, volume G1.
24. MOUCHET (P.). – Traitement des eaux avant utilisation. Substances dissoutes G 1171 (2000). Traité Environnement, volume G1.
25. MOUCHET (P.). – Traitement des eaux avant utilisation. Filières et applications G 1172 (2000). Traité Environnement, volume G1.
26. Les traitements de l'eau - Procédés physico-chimiques et biologiques. Cours et problèmes résolus - Génie de l'environnement, de Claude Cardot, Collection : Technosup, 256 pages, 1997.
27. Le traitement des eaux, de Chantal Desjardins, Tec & Doc, 204 pages, 1997.
28. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC, Lignes directrices concernant l'application des contrôles de la qualité en physico-chimie, DR-12-SCA-01, Ministère de l'Environnement du Québec, Édition courante.
29. L'Actualité Chimique, septembre-octobre 1991.

30. JEAN RODIER, "L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer", 7^{ème} édition, 1984.
31. Documents de Wacker , "le Nobel", 99 Cours Gambetta, 69446 Lyon Cedex 03.
32. Technologie Génie Chimique (ANGLARET - KAZMIERCZAK) Tomes 1 (schémas de filtre notamment), 199
33. DEGREMENT, "Mémento technique de l'eau", Tome I, 1989.
34. BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC, Sols Analyse granulométrique des sols inorganiques, BNQ 2501-025, Ministère de l'Industrie et du Commerce, 1987.
35. Materials News International, revue de Dow Corning, 113 rue des Sars, 59600 Maubeuge.
36. Techniques de l'Ingénieur, "Silicones", 1995.
37. Les silicones, Rhône-Poulenc, Techno-Nathan, 1988.
38. Journal of Chemical Education, 11 (63) 956, novembre 1986.
39. Documents et informations Photowatt, 33 rue St Honoré, 38300 Bourgoin Jallieu.
40. Pour la Science, juin 1987, n°147, janvier 1990, n°172 février 1992.
41. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n°483, mai 1990..
42. MOHAND-SAID OUALI, "Traitement des eaux", office des publications universitaires, 5-2001. édition 2.10.4334.
43. Rapport de DHW de Béchar 1993.
44. Rapport DPATI Béchar.
45. Guide : Ministère de tourisme et de l'artisanat, la erection de la wilaya d'Adrar 2001.

1 Présentation de la wilaya Béchar

La wilaya de Béchar se situe au sud-ouest du territoire national. Elle est limitée :

- à l'Est par la Wilaya d'Adrar,
- à l'Ouest par le Maroc,
- au Nord par les Wilayates de Naâma et d'El Bayadh
- et au Sud par les Wilayates de Tindouf et d'Adrar.

La wilaya de Béchar constitue un pôle important dans le SRAT (Schémas Régional d'Aménagement du Territoire).

Superficie :

Avec une superficie de 161.400 Km², soit 6,77% environ du territoire national, la Wilaya de Béchar occupe le 6^{ème} rang par rapport à l'ensemble des wilayates du pays. L'immensité du territoire et l'éparpillement des populations augmentent les distances entre les localités. A titre d'exemple, les communes les plus rapprochées entre elles sont distantes de 11 Km (Timoudi et Ouled Khodeir). Les plus éloignées sont celles de Ksabi et Tabelbala (588 Km) (cf. tableau des distances).

Relief :

Le territoire de la wilaya de Béchar est façonné par cinq (5) principaux reliefs :

*Les montagnes : Elles sont dénudées et parfois élevées. Citons : Le Djebel Antar (1953 m), le Djebel Grouz (1.835m) et le Djebel Béchar (1206 m).

*Les Oueds : Six principaux oueds sillonnent la wilaya. Du Nord au Sud on rencontre :

l'Oued Namous, l'Oued Zouzfana, l'Oued Béchar, l'Oued Guir, l'Oued Saoura et l'Oued Daoura.

*Les vallées : ce sont des dépressions façonnées par les cours d'eau importants. Les principales sont celles de la Zouzfana, du Guir et de la Saoura.

*Les Regs (Hamada) : ce sont de vastes étendues rocailleuses. Les plus importantes sont celles de Guir et Daoura.

*Les ergs: Ils représentent des massifs dunaires pouvant atteindre jusqu'à 300 m de hauteur. Les ergs existants portent le nom de : Grand Erg Occidental, Erg Erraoui, Erg El Atchane, et l'Erg Iguidi.

Climatologie:

La Wilaya de Béchar est caractérisée par un climat de type désertique continental. On distingue deux zones :

- **La zone de transition** délimitée par Béni Ounif au nord et le parallèle d'Igli au sud : très chaude en été (+ 45°C) et froid rude en hiver (2°C à 3°C) .Les précipitations sont de l'ordre de 60 mm/an. Les vents de sable sont fréquents et souvent violents (100 km/h).

- **La zone désertique** s'étend au-delà de Béni Abbès. Les précipitations sont de l'ordre de 40 mm/an. Les vents de sable sont très fréquents.

Il est à noter que la sécheresse perdure dans la région depuis plus de 10 ans.

[43.44]

2 Présentation de la wilaya d'ADRAR

La wilaya d'ADRAR est située dans la partie centrale du Sahara algérienne. Elle s'étend sur une superficie globale de 427968Km², occupée par 270932 ha elle est limitée au Nord par les wilayas d'Albayadh, Ghardaïa et Béchar. A l'ouest par la wilaya de Tindouf. Au Sud-est par la wilaya de Tamanrasset et au sud par la république du Mali et la république islamique de Mauritanie. Constituée en trois régions : le Touat, le Gourara et le Tidikelt. L'activité principale des habitants de ces régions est l'agriculture qui est fondée essentiellement sur la culture des palmiers dattier qui occupe une superficie globale de 16000 d'hectares.

Climatologie : la wilaya d'Adrar se caractérise par un climat sec et aride.

Végétation : dans l'ensemble il n'existe de véritable pâturage dans la région, la végétation essentielle qui est les plantes et les arbustes.

Agriculture : l'agriculture dans la wilaya d'Adrar est caractérisée par la production des dattes et des céréales.

Tourisme: Sites et monuments: vieux Ksours de Tamentit - Timimoun, gravures rupestres et écriture préhistorique sur roche à Timiaouine, forêt de bois pétrifié à Aoulef. [45]

3 Les ressources d'eau de la ville de Béchar

L'eau destinée à tous les usages, dans la ville de Béchar proviennt de deux origines:

***Ressources souterraines**

La ressource souterraine proviennt des sept (7) forages avec la capacité totale de 112 l/s.

***Ressources superficielle**

La ressource principale superficielle existante est celle du Barrage Djorf-Eltorba, sa capacité estimée à 365 millions m³ d'eau, avec un débit d'exploitation 100 m³/h. Le volume mobilisé du barrage varie selon la pluviomètre.

Note: Débit du Barrage Djorf-Eltorba 24.000 m³/jours, on remarque que les eaux superficielles traitées représentent 75% du volume total à l'alimentation en eaux potable. Par contre les eaux souterraines représentent 25%.

4 Présentation du Barrage Djorf-Eltorba

Perspective de classement et de protection du site du barrage de "Djorf-Eltorba" (Béchar), en tant que zone humide nationale (APS, 3 Juillet 2004).

Les autorités locales de l'environnement envisagent le classement du site du barrage de "Djorf-Eltorba", (80 km au Sud-Ouest de la ville de Béchar), en tant que zone humide nationale, dans la perspective de sa protection.

Selon une étude, ce site qui s'étend sur une superficie de 21500 km², dont 94 km² constituant son lac est alimenté par les crues de l'oued Guir régulées grâce au barrage qui a une contenance de 365 millions de mètres cubes. Plus de 4000 ha de diverses espèces végétales notamment des arbres de tamarix ont été recensé.

Sur ce site, ont comptabilise 43 espèces d'oiseaux de différentes tailles et des animaux rares dont le chacal doré et le fennec, outre les mammifères marins, tels la tortue aquatique et d'autres espèces de poissons d'eau douce. Pour les autorités chargées de l'environnement, le site de par sa situation géographique qui fait de lui une importante zone de transit et de repos pour l'avifaune migratrice, empruntant la cote ouest de l'Afrique par le Détroit de Gibraltar, doit être répertorié dans la liste des zones humides nationales pour sa protection et sa valorisation. De nombreuses associations activant dans le domaine de la protection de l'environnement ont émis les vœux pour que cette zone soit effectivement classée par les instances nationales

concernés du fait qu'elle est unique dans toutes les régions du sud du pays.

***Caractéristiques du Barrage Djorf-Eltorba**

Le barrage de Djorf-Eltorba constituer la pièce maîtresse indispensable au développement agricole et industriel de la vallée de la Saoura et de tout l'Ouest Saharien.

L'Oued Guir qui draine un bassin versant de 22.000 Km² roule un débit annuel moyen de 230 à 260 millions de mètres cubes d'eau.

Les pointes de débits de crues peuvent être estimées à:

- * 1500 m³/s pour la crue annuelle,
- * 2500 m³/s pour la crue décennale,
- * 5000 m³/s pour la crue centennale,
- * 10.000 m³/s pour la crue exceptionnelle catastrophique.

***compositions du Barrage Djorf-Eltorba**

Le Barrage est du type poids en béton. Il est composé de deux parties distinctes.

- **La partie centrale déversante comprenant:**

- * 2 passes principales de 15.00 m de largeur chacune avec un seuil calé à la cote 699.00.

- * 6 passes secondaires de 12.00 m de largeur chacune avec un seuil calé à la cote 701.50.

Les différentes passes des déversoirs sont séparées par des piles où sont logés les puits d'accès et les organes de commande des vannes d'irrigation.

La longueur totale de cette partie centrale est égale à 122.15m.

- **La partie courante du barrage d'une longueur de 831.35m:**

- La longueur totale de l'ouvrage est égale à 953.50m.

- La crête du barrage est arasée à la cote 706.00 et l'implantation est faite suivant une courbe de 490m de largeur est aménagée permettant ainsi le franchissement de l'Oued Guir par la route de Colamb-Béchar-Méridja.

- La hauteur maximum de l'ouvrage au-dessus des fondations est de 36m.

A l'aval des déversoirs un coursier en béton de 33m de longueur comportant 2 séries de dents de Rehbock permet de dissiper l'énergie de l'eau.

7 pertuis d'irrigation équipés de vannes seront aménagés à la partie inférieure

du barrage permettant la restitution à l'Oued de 200m³/s maximum. Mentionnons que les débits à lâcher pour les irrigations varient de 1.5 a 13 m³/s suivant les différentes périodes de l'année.

L'étanchéité des calcaires perméables sous l'assise du barrage est assurée par un rideau d'injections.

Le volume total des bétons constituant le barrage est égal à 180.000m³ environ.

Les travaux ont été exécutés par:

- * La Compagnie d'Etudes et de Travaux en Algérie (COMETRA).
- * La Compagnie Industrielle de Travaux (CITRA).
- * La Société des Entreprises BOUSSIRON.

Les études ont été assurées par:

- * La Société Française d'Etudes et d'Engineering (SOFRETEN)

Les travaux ont dure 40 mois et l'effectif du personnel en période de pointe atteint les 450 personnes.

***Le procédé de traitement des eaux du barrage Djorf-Eltorba**

Le traitement au niveau du Barrage Djorf -Eltorba passe par les étapes suivantes:

a) Prise d'eaux :

La prise d'eau brute s'effectue au niveau de la digue du Barrage par quatre pompes (deux en repos et deux en marchent), cette eau est pompée vers la tour de mélange.

b) Tour de mélange :

C'est une chambre munie d'un agitateur, les eaux seront reculées dans cette chambre en ajoutant les réactifs. Le rôle de la tour de mélange, c'est dispersé les réactifs dans la totalité du volume d'eau brute, ainsi que ceux qui résulte de la déstabilisation de la solution colloïdale.

c) Les réactifs utilisés:

- *Sulfate d'alumine:*
 - Ce produit est importé de l'étranger (Espagne).
 - C'est un sel, sous forme commerciale $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.
 - Son rôle c'est un déstabilisateur des colloïdes.

- Le pourcentage : 17-18% de Al_2O_3 .
- On l'utilise sous forme d'une solution avec une dose de 25g dans un mètre cube d'eau brute.

- *La chaux ;*

- C'est un produit local de la Société des produits de l'ouest de la Wilaya de Saida.
- Son rôle c'est la neutralisation de l'eau.
- D'après la fiche technique de la chaux hydratée de cette Société, la chaux représente les caractéristiques suivantes:

- *La densité 715g/l.

- *Le pourcentage de $Ca(OH)_2$: 88.89%.

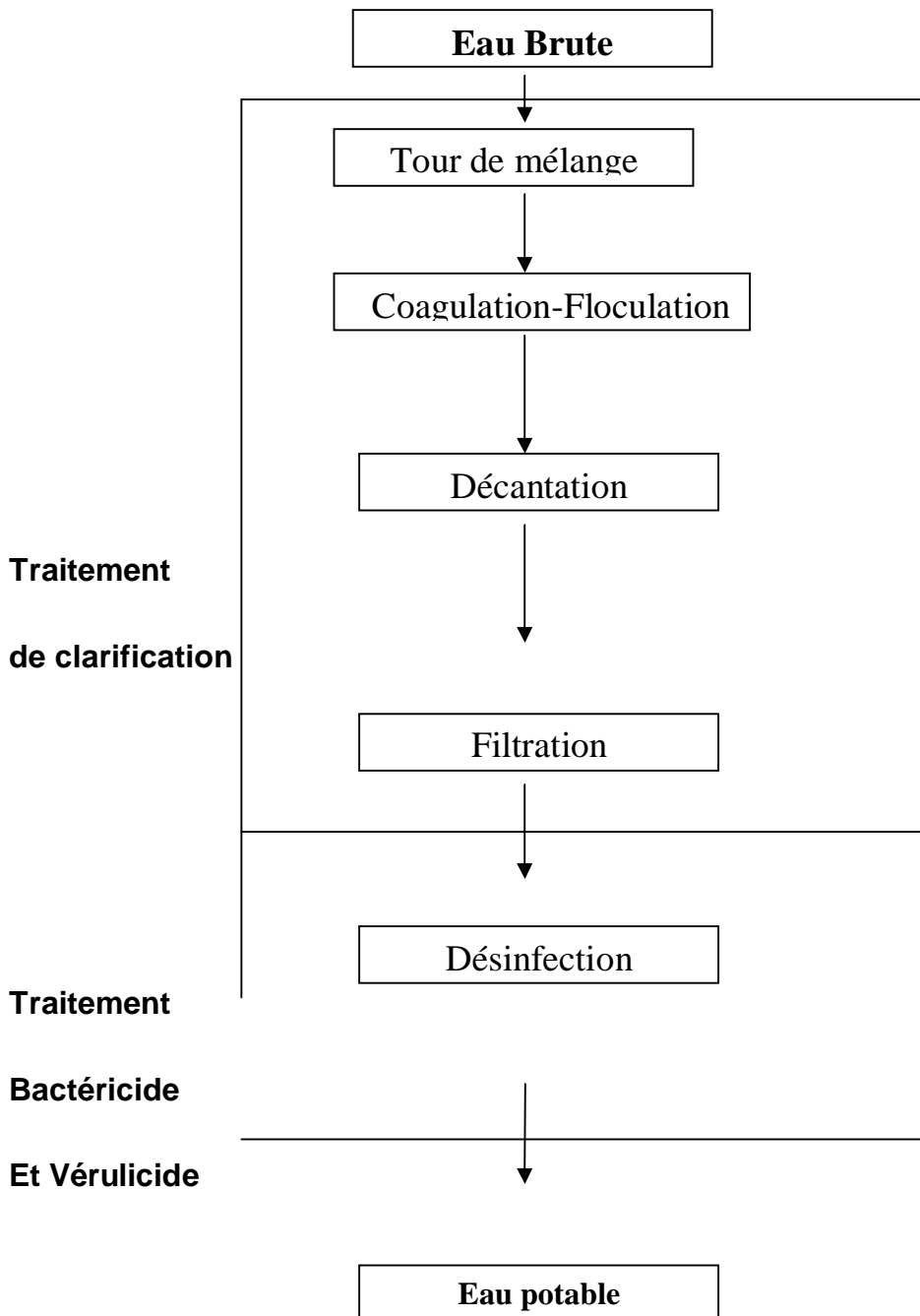
- On utilise la chaux sous forme d'une solution (lait de chaux), avec une dose de 15g par mètre cube d'eau brute.

- *Hypochlorite de Sodium:*

La solution d'hypochlorite de sodium de l'usine C.E.L.P.A.P de la Wilaya de la Mostaganem, transportée soigneusement sur des camions à citernes spéciales, avec un degré chlorométrique de 40°-47° degrés chlorométrie.

Les solutions (Sulfates d'alumine, la chaux et l'hypochlorite de sodium) sont injectées dans la tour de mélange, par des pompes réglables selon la dose estimée au préalable.

Représentation schématique de la chaîne de traitement du barrage Djorf-Eltorba.

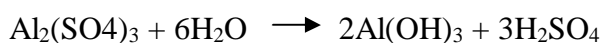


d) Décantation

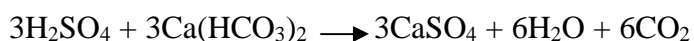
La réaction du coagulant qui est le sulfate d'alumine avec l'alcalinité lait de chaux introduite dans l'eau, on obtient la précipitation d'un gel très absorbant c'est le « *Floc* », sur lequel se fixeront les matières colloïdales.

- **Aspect chimique de la précipitation:**

1- *Hydrolyse de coagulant: (Sulfate d'alumine).*



- Il se forme un acide qui réagit avec le tampon bicarbonate présent dans l'eau.



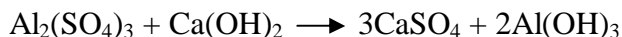
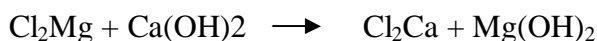
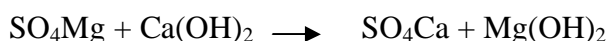
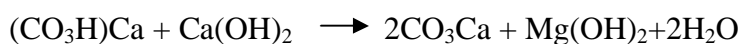
- La réaction globale est:



- La solution traitée s'acidifie.

2- *La chaux: Ca(OH)₂*

L'eau brute est additionnée de chaux qui transforme les bicarbonates de calcium et de magnésium en carbonates de calcium et hydroxydes de magnésium insolubles, et les sels de magnésium en hydroxyde de magnésium.



La décantation des floes s'effectue dans deux décanteurs à réacteurs de forme conique. Les floes se déposent dans le fond du décanteur puis raclées vers un puisard où on aura formation de la boue. Une quantité de cette boue sera purgée vers l'extérieur.

La lame supérieure de l'eau sera déversée dans des canaux qui acheminera l'eau vers les filtres à sables.

e) La filtration

La filtration est réalisée par des filtres à sables au nombre de six. Elles constituent des couches filtrantes constituées par du sable siliceux, la granulométrie

varie entre 0.8 à 1.2 mm.

f) La désinfection

N'a pas pour but de détruire les organismes vivant dans l'eau mais, plutôt de garantir l'absence de tout germe infectieux, et d'éliminer les risques de contamination des points d'eau ou les systèmes ayant subi une pollution. Le pouvoir oxydant et bactéricide des ions hypochloreux permet d'éliminer toutes sortes de bactéries et virus au la chloration finale après la filtration est assurée avec un taux de chlore résiduel de 1-1.5 mg/l. [43]

1) La Masse Volumique Absolue:

La méthode de l'éprouvette graduée est la méthode utilisée.

- * Verser dans une éprouvette graduée un volume V_1 d'eau (500ml).
- * Peser une masse du sable (de l'ordre de $M= 500g$), et l'introduire graduellement dans l'éprouvette afin d'éliminer les bulles d'air.
- * Soit le volume V_2 atteint.
- * Le volume absolu est: $V=V_2-V_1$.
- * Et la masse volumique absolue (MVab) est : $MVab= M/ V_2-V_1$

2) La Masse Volumique Apparente:

- * Prendre le sable dans les deux mains formant entonnoir.
- * Placer ces deux mains à 10 cm environ au-dessus d'une mesure d'un litre, et laisser tomber ce sable, ni trop vite, ni trop lentement.
- * Verser ainsi le sable, toujours au centre de la mesure. Jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône.
- * Araser à la règle.
- * Peser le contenu.
- * La Masse Volumique Apparente (MVap) de ce sable est la masse pesée en kg/l ou en g/ml.

3) Equivalent de sable (% de la pureté):

On n'utilise que la fraction du granulat qui traverse le tamis de 5mm

- * Laver l'échantillon (avec une solution étalon spéciale), et laisser reposer pendant 20 minutes.
- Après le temps prescrit, mesurer:
- La hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.
 - La hauteur h_2 : sable propre seulement.
- * Par définition, l'Equivalent de sable est:

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

4) L'essai au Bleu de méthylène, dit essai à la tâche (% d'argile):

Le principe de l'essai consiste à introduire des quantités croissantes de bleu de méthylène par dose successive, jusqu'à ce que les particules argileuses en soient saturées: il apparaît alors un début d'excès qui marque la fin de l'essai et que l'on détecte par le test dit à la tâche. Ce dernier consiste à former, une tâche qui est un dépôt de sable coloré en bleu soutenu, entouré d'une zone

humide, coloré en bleu de sombre. L'excès de bleu se traduit par l'apparition dans cette dernière zone d'une auréole bleu clair. On dira alors que le test est positif.

On procéda de la manière suivante:

* L'échantillon de sable (une masse M_0) est mis à tremper avec 100 ou 200 ml d'eau distillée dans un récipient. Le bain obtenu sera maintenu en permanence sous agitation.

* On injecte dans le récipient, au moyen d'une burette, des doses successives de 10cm^3 d'une solution de bleu de méthylène, chaque addition étant suivie du test de la tache sur le papier filtre. On procéda ainsi qu'à ce que le test devienne positif. Pour y avoir on a arrivé à testé jusqu'à le volume V avec réduction de dose (5 à 2 cm^3) dans les 10 dernières gouttes. Ace moment, on a laissé s'opérer l'adsorption du bleu sur les particules argileuses du sable sans rien y ajouter (couleur bleue de sombre).

* On a calculé la quantité correspondant à 100 g de sable, appelé valeur de bleu sol (M).

$$M(\%) = M_0/V$$

5) Mesure du Calcaire:

Le calcaire est mesuré par un calcimètre, montage d'une burette (remplie d'une solution tampon) + tuyau relia par un couvert.

* Disposer 1g de sable dans un tube a essai.

* Ajouter 10ml d'acide chlorhydrique concentré.

* On introduit le tube à essai dans le récipient.

* Fermer immédiatement et agiter

* On remarque la diminution de la solution tampon dans la burette (V).

Le pourcentage de calcaire ($M\%$) présent dans 100g de sable est donné par la relation suivante:

$$M\% = V.100/115$$

6) Dosage des Chlorures:

***Extraction**

- Peser 5 à 10g de sable séchée à l'air

- Mettre la prise d'essai dans un bêcher en verre de 600 ml

- Verser 100 ml d'eau déminéralisée chaude.

- Placer le bêcher sur un agitateur magnétique

- Agiter
- Ajouter quelques gouttes d'acide nitrique si le sable est argileux.
- Verser le contenu du bêcher sur un filtre posé au dessus d'une fiole jaugée de 250ml ou 500 ml.
- Laver les reprises de dépôt recueilli sur le filtre avec 50 ml ou 100 ml d'eau déminéralisée Chaude.
- Compléter la fiole jusqu'au trait de jauge avec de l'eau déminéralisée (eau distillée).

***D o s a g e**

- Prélever 50ml d'échantillon dans une fiole jaugée de 250ml
- Filtrer les 50 ml
- recueillir les 50ml dans une fiole jaugée de 250ml.
- Laver correctement le filtre avec de l'eau déminéralisée
- Verser 5 à 10 gouttes de $K_2 CrO_4$ en solution saturée dans la fiole
- Titrer avec $Ag NO_3$ 0,1N jusqu'à apparition de couleur rouge due à la précipitation de $Ag_2 CrO_4$ (le volume v').
- Faire un témoin avec de l'eau déminéralisée (le volume v_0)

***Expression des résultats**

- La quantité d'ion Cl^- exprimée en mg dans le volume v est: $(v_0-v') \times 0,1$

7) Dosage de sulfate:

- Déposer $1g \pm 0,5 g$ (m_s) de sable dans un bêcher de 250 ml
- Ajouter 90 ml d'eau froide
- Agiter vigoureusement le mélange
- Ajouter 10ml d'HCl concentré
- Chauffer doucement la solution en écrasant l'échantillon avec un agitateur en verre jusqu'à décomposition complète du sol
- Poursuivre le chauffage pendant 15 min à une température juste au dessous de celle de l'ébullition .
- Filtrer le résidu sur papier filtre.
- Laver complètement à l'eau chaude (résidu).
- s'assurer de la disparition des ions Cl^- au nitrate d'Argent (Facultatif)

- Amener le volume à 250ml.
- Porter la solution à ébullition et la maintenir pendant 5min.
- Vérifier que la solution est limpide si non recommencer avec une nouvelle prise.
- Ajouter goutte à goutte 10 ml de chlorure de Barium en agitant fortement pendant l'ébullition
- Maintenir l'ébullition pendant 15 min
- Laisser reposer la solution pendant 12 H ou 24 H à une température comprise entre 60°C et 100°C.
- Filtrer le concentré sur papier filtre fin.
- Laver complètement à l'eau bouillante jusqu'à disparition des ions Cl⁻ qui est vérifiée par le nitrate d'Argent .
- Calciner à 925° C ± 25°C pendant 15 min
- Calculer la masse constante m₁₀ par pesé du calcina.

***Expression des résultats**

$$\text{Teneur en sulfate } SO_3^- = 34,3.m_{10}/ m_s$$

m_s = masse de la prise d'essai de sol

m₁₀ = masse de sulfate de baryum

8) Mesure des insolubles (SiO₂, MgO, CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃):

- * Disposer 1g de sable dans un bêcher de 250ml
- * Ajouter 90 ml d'eau froide en agitant.
- * Ajouter 10ml d'acide chlorhydrique concentré.
- * Chauffer pendant 15 minutes à presque 100°C.
- * Peser les filtres (**F₁**).
- * Filtrer le résidu sur un papier filtre (lavage complet a eau chaude).
- * Conserver les filtres dans l'air ambiante jusqu'à séchage complet
- * Peser les filtres après le séchage (**E₁**).
- * La masse des insolubles en pourcentage:

$$M (\%) = (E_1 - F_1).$$

9) Détermination de la granulométrie : méthode gravimétrique par tamis :

Cette méthode a été écrite pour la détermination de la granulométrie par gravimétrie dans les échantillons solides.

L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules.

Il n'existe pas de méthode parfaite pour déterminer la granulométrie; l'exactitude de la méthode dépend de la nature du sol et, plus précisément, de la forme géométrique des particules et du pourcentage des matières organiques qu'elles renferment.

***Principe et théorie:**

Une portion d'échantillon est séchée et séparée par vibration sur une série de tamis superposés. Par la suite, le contenu de chaque tamis est pesé et la fraction d'échantillon recueillie par tamis est rapportée sur la quantité d'échantillon totale.



***Appareillage:**

1. Balance analytique dont la sensibilité est de 0,01 g
2. Tamis en métal de porosité de : 0.315, 0.4, 0.5, 0.63, 0.8, 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.15, et 4 mm.

***Préparation de l'échantillon:**

1. Faire sécher à 105 °C pendant une nuit environ 1500 g d'échantillon.
2. Peser tous les tamis et la base.

***Dosage:**

1. Peser tous les tamis.
2. Monter la série de tamis en commençant par le bas dans la séquence suivante : base, tamis de 0.315, 0.4, 0.5, 0.63, 0.8, 1, 1.25, 1.6, 2, 2.5, 3.15, et 4 mm.
3. Peser de 1000 g d'échantillon sec.
4. Agiter à vitesse maximum pendant 15 minutes (Agitation à mains).
5. Peser chacun des tamis et la base contenant une fraction de l'échantillon.

***Calcul et expression des résultats:**

Les résultats sont exprimés en % pour chaque fraction obtenue, selon l'équation suivante:

$$c = \frac{A-B}{D} \times 100$$

Où

C : fraction de l'échantillon sur un tamis (%);

A : poids du tamis avec fraction (g);

B : poids du tamis vide (g);

D : poids d'échantillon total utilisé (g).

1) La couleur:

1. Assembler le dispositif de filtration (membrane filtrante, support de filtre, fiole à vide et trompe à eau).
2. Rincer le filtre en filtrant environ 50ml d'eau désionisée. Jeter cette eau de rinçage.
3. Filtrer une autre portion de 50 ml d'eau désionisée.
4. Remplir un flacon colorimétrique (le blanc) avec 25 ml d'eau désionisée filtrée. Eliminer l'excède.
5. Entre le numéro de programme mémorisé pour la couleur varier (120).
6. Tourner le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique 455nm.
7. Remplir un second flacon colorimétrique (l'échantillon) avec 25ml d'eau à analysée filtrée.
8. Placer le blanc dans le puits de mesure et on fixe le zéro.
9. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure et lire le résultat en Unité Platine Cobalt.

2) Mesure de la température:

La température des eaux superficielles est très variable selon les saisons. (5)

La température est mesurée par un thermomètre ordinaire.

3) Mesure de pH:

La mesure du pH traduit l'acidité ou la basicité (alcalinité) d'un milieu.

Le pH est mesuré par un pH mètre portable multi paramètre modèle SENS ION 156 (HACH), en rincer le pH mètre par l'échantillon et lire le pH en tenant compte de la température.

4) Mesure de la turbidité:

La turbidité est mesurée par un turbidimètre modèle 2100 N HACH, lorsque la turbidité varie entre 0 et 4000 NTU (unité néphélogétries de turbidité), en mode de sélection automatique de gamme avec positionnement automatique du point décimal.

Les solutions avec turbidité plus élevées sont mesurées en diluant avec l'échantillon filtré. On peut aussi mesurer la turbidité en unités Néphélos (0-26800 Néphélos), ou en unités EBC (Européen Brewery Convention) 0-980 EBC.

* On prélève un échantillon représentatif dans un récipient propre et on remplit une cuvette jusqu'au trait (environ 30ml) en prenant soin de manipuler la cuvette par la partie supérieure, on bouche la cuvette.

* On tient la cuvette par le bouchon, et avec un tissu doux sans peluches pour retirer les gouttes

d'eau et les traces de doigts.

* On place la cuvette dans le puits de mesure et on ferme le capot.

* On choisit le mode manuel ou automatique de sélection de gamme et on sélectionne l'unité de mesure, on lit la turbidité en UNT.

5) Mesure de la conductivité:

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et la conductivité électrique. L'unité utilisée pour exprimer la conductivité est le micro siemens par centimètres ($\mu\text{s/cm}$). (8)

- 1 Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de la conductivité, placer cette électrode dans l'eau à analysée.
- 2 La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en ($\mu\text{s/cm}$).

6) Mesure de la salinité:

- 1 Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de la salinité, placer cette électrode dans l'eau à analysée.
- 2 La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (%).

7) Mesure de l'oxygène dissous (OD):

- 1 Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de l'oxygène dissous, placer cette électrode dans l'eau à analysée.
- 2 La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (mg/l).

8) Le taux des sels dissous (TDS):

- 1 Après avoir étalonné rigoureusement l'électrode de taux des sels dissous, placer cette électrode dans l'eau à analysée.
- 2 La mesure peut s'effectuer en sélectionnant dans le menu "affichage numérique" en attendant que la valeur affichée se stabilise; le résultat est donné en (mg/l).

9) Résidus secs (RS):

La détermination des résidus secs sur une eau reflète la teneur en matière dissous et en suspension non volatile. (5)

Soit un creuset de masse M_0 , bien séché à l'étuve et refroidis à l'abri de l'humidité dans un dessiccateur. On mesure exactement 25ml d'échantillon à l'aide d'une pipette et on les verse dans le creuset.

On introduit le creuset pendant quatre heures à 105°C dans l'étuve; puis on le met après les quatre heures dans un dessiccateur.

Le creuset est ensuite pesé une autre fois et on note la mesure M_1 et enfin on calcul les Résidus secs comme suit:

$$RS(mg/l) = (M_1 - M_2) \cdot 10^6 / V$$

Avec $V=25ml$.

10) Les matières volatiles en suspension (MVS):

Après les pesés de RS, on introduit le creuset de masse M_1 dans le four pendant deux heures à 900°C. Puis on le met dans le dessiccateur.

Le creuset est ensuite pesé et on note la mesure M_2 .

On calcul les MVS comme suit:

$$MVS (mg/l) = (M_1 - M_2) \cdot 10^6 / V$$

Avec $V=25ml$.

11) Les matières en suspension:

1 Homogénéiser 500ml d'échantillon dans un homogénéiseur à grande vitesse pendant exactement deux minutes.

2 Verser l'échantillon homogénéisé dans un bécher de 60ml.

3 Pipeter immédiatement 25 ml de l'échantillon homogénéisé au centre du bécher dans un flacon colorimétrique (l'échantillon préparé).

4 Remplir un second flacon colorimétrique (le blanc) avec 25 ml d'eau désionisée homogénéisé. Eliminer l'excède.

5 Entre le numéro de programme mémorisé pour les matières en suspension (630).

6 Tourner le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à ce que l'affichage indique 810nm.

7 Placer le blanc dans le puits de mesure et on fixe le zéro.

8 Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure et lire le résultat en mg/l.

12) Détermination de l'acidité:

L'acidité d'un échantillon est engendrée par la présence d'acide, comme les acides sulfurique, nitrique, et chlorhydrique.

***Teneur en acides minéraux libres:**

La teneur en acides minéraux libres donne la teneur en chlorure, sulfates et nitrates de l'eau.

Pour un prélèvement de 10 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 2 gouttes de méthyle orange et on titre avec l'hydroxyde de sodium (0.2N) jusqu'au virage au bleu.

***Acidité totale:**

L'acidité totale résulte en grande partie de la dissolution du dioxyde de carbone. Lorsque l'on détermine l'acidité totale, l'échantillon est titré jusqu'à ce que son pH soit de 8.3.

Pour un prélèvement de 10 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 3 gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine et on titre avec l'hydroxyde de sodium (0.2N) jusqu'au virage au rose pâle.

Remarque: puisque notre échantillons possèdent un pH supérieurs à 4.5; la teneur en acides minéraux libres et l'acidité totale est nulle.

13) Détermination de l'alcalinité:

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydroxydes; de carbonates (CO_3^{2-}) et de bicarbonates (HCO_3^-).

***Dosages des carbonates: (TA)**

Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur de l'eau en alcalis libre et en carbonates caustiques.

Pour un prélèvement de 10 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 2 gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine, une couleur rose doit alors se développer dans le cas contraire le TA est nul. Verser doucement l'acide chlorhydrique (0.1N) jusqu'à disparition de la couleur.

La teneur en carbonate est donnée par la relation:

$$\text{TA (meg/l)} = N_{\text{Hcl}} \cdot V_{\text{Hcl}} \cdot 1000 / V_{\text{H}_2\text{O}}$$

***Dosage du titre alcalimétrique complet (bicarbonates):(TAC)**

Le titre alcalimétrique complet (TAC) mesure la teneur de l'eau en alcalis, en carbonates et en bicarbonate.

Pour un prélèvement de 20 ml d'eau à analyser dans un bécher, ajouter 2 gouttes de méthyle orange et en titre avec l'acide chlorhydrique (0.1N) jusqu'au virage au jaune orangé.

La teneur en bicarbonate est donnée par la formule suivante:

$$\text{TAC (meg/l)} = N_{\text{Hcl}} \cdot V_{\text{Hcl}} \cdot 1000/V_{\text{H2O}}$$

14) Dosage des chloruresc (Cl):***Principe de la méthode de MOHR:**

Les chlorures sont dosés par le nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une teinte jaune au rouge brique.

A une prise d'essai de 10ml d'eau à analyser on ajoute 2 à 3 gouttes de chromate de potassium (10%) on titre par une solution de nitrate d'argent AgNO_3 (0.1N) jusqu'au changement de teinte.

La teneur en chlorures s'exprime par:

$$\text{TCI (mg/l)} = N_{\text{AgNO}_3} \cdot V_{\text{EDTA}} \cdot 1000.35.5/V_{\text{H2O}}$$

15) Demande biologique en oxygène (DBO5)

La DBO est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d' O_2) au cours des procédés d'autoépuration.

***Principe**

La DBO est mesurée au bout de 5 jours (=DBO5), à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en O₂, le second à la mesure de la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours. La DBO5 est la différence entre ces 2 concentrations. Les mesures seront effectuées sur un même volume et le second échantillon sera conservé 5 jours à l'obscurité et à 20°C.

DBO5 = F (T0-T5)

T0 (en mg/l) : la concentration initiale en O₂ dissous.

T5 (en mg/l) : la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours.

F: facteur de dilution.

16) Demande chimique en Oxygène (DCO)

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale.

***Principe**

On évalue la quantité d'oxygène (en mg /l), utilisée par les réactions d'oxydation, à partir de la mesure du résidu de réactifs au bout de 2 h. L'oxydation s'effectue à chaud, en milieu acide, en présence d'un excès d'oxydant.

1. Prélever 2 ml de l'eau à analyser et le rajouter au tube de réactifs à DCO
2. Placer le tube 2 heures à 150 °C
3. Après refroidissement, lire directement la DCO en mg/l.

17) Bactériologie

***Signification**

Les populations bactériennes sont à la base de tout processus d'épuration : leur présence atteste de la présence de matières organiques et de la possibilité de les bio-dégrader. Par ailleurs, la présence de souches bactériennes particulières peut être interprétée comme un

indicateur de contamination de l'eau ou comme l'absence d'éléments toxiques susceptibles d'entraîner leur disparition ...

***Principe du dénombrement bactérien par la méthode des dilutions**

Il est possible de dénombrer globalement les populations bactériennes d'une eau en comptant les colonies qui se développent sur milieu gélosé ensemencé par une dilution de l'échantillon (1 bactérie -> 1 colonie).

Il existe, par ailleurs, de nombreux protocoles, plus complexes, permettant de cultiver, d'isoler, d'identifier, de dénombrer sélectivement les différentes classes de bactéries afin de déterminer la qualité bactériologique d'une eau.

***Protocole**

- 1 Effectuer des dilutions en eau physiologique stérile (tubes à vis, pipettes 1 ml stériles) de l'eau à analyser : 10^{-4} à 10^{-7} pour commencer, puis ajustement ultérieur en fonction des premiers résultats.
- 2 Préparer un milieu gélosé ordinaire conditionné en flacons de 20 ml (Agar 15 g/l, glucose 5 g/l, viandox 5 g/l, NaCl 9 g/l). Stériliser à l'autoclave 120°C, 15 min.
- 3 Ensemencer, pour chaque dilution, 2 boîtes avec 1 ml d'eau étalée au fond d'une boîte de Pétri. Couler le milieu gélosé fondu (flacon 20 ml), refroidi et maintenu en fusion à 40-50°C au bain Marie, dans la boîte. Laisser refroidir. Retourner les boîtes. Etiqueter avec précision.
- 4 Manipuler en prenant les précautions habituelles d'asepsie, afin d'éviter toute contamination des bactéries étudiées et toute contamination par les bactéries étudiées (mains et pailasse propres, stérilisation des milieux et des instruments, travail en zone stérile...).
- 5 Incuber 48h à 20°C. Les colonies bactériennes se développent en surface et dans la masse du milieu gélosé.

***Résultats**

Dénombrer les bactéries en sélectionnant la dilution pour laquelle de 30 à 100 colonies se seront développées.

***Nombre de bactéries vivantes par ml d'eau = nombre significatif de colonies x 10^x** (UFC: unité formant colonie)

x: nombre de dilution.