



Année Universitaire : 2018-2019



Licence Sciences et Techniques :Géoresources et Environnement

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

**Optimisation de la méthode Coagulation-floculation :
Cas des eaux du barrage Hassan II**

Présenté par:
MEROUANI Houda

Encadré par:

Pr RAIS NAOUAL, FST-Fès
Ing.BALOU HASSAN, ONEE MIDELT

Soutenu Le11Juin 2019, devant le jury composé de:

Pr. BENABDELHADI. MOHAMMED
Pr. JABRANE. Raouf
Pr. EL GAROUANI. Abdelkader
Pr. RAIS. Naoual

Stage effectué à : ONEE, MIDELT





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Licence Sciences et Techniques

MEROUANI Houda

Année Universitaire: 2018/2019

**Titre: Optimisation de la méthode Coagulation-floculation :
Cas des eaux du barrage Hassan II**

Résumé

La station de traitement des eaux de la ville de MIDELT a pour but de répondre à l'insuffisance en eau potable que connaissait la ville étant donné la croissance démographique de celle-ci. Cette station a une capacité de produire un débit global qui égale 360 l/s.

En raison d'un manque d'activités industrielles et de la distance qui sépare le milieu urbain des sources d'eau (barrage HASSANII, Oued MOULOUYA), l'eau brute ne présente pas de problème notable lié aux activités anthropiques. Cependant, cette eau montre un pH qui tend vers l'alcalinité avec des valeurs éloignées du domaine de la consommation humaine.

Pour remédier à ceci, dans un premier temps nous avons opéré une optimisation des réactifs utilisés dans le traitement classique (coagulant, floculant, et boues recyclées), afin de trouver la dose optimale qui donne un bon pH tout en conservant les autres paramètres dans les normes de l'eau potable.

Puis, dans un deuxième temps nous avons proposé une solution afin de diminuer le pH en utilisant uniquement l'acide sulfurique sans qu'il y ait besoin d'ajout d'autres réactifs.

Ainsi, la comparaison entre les résultats montre que l'ajout de l'acide sulfurique représente la solution la plus adéquate pour résoudre le problème de pH des eaux brutes en les rendant moins alcalines et plus aptes à une consommation humaine.

Mots clés : station de traitement, eau potable, traitement classique, alcalinité de l'eau, optimisation des réactifs, eaux de surface (oued Moulouya/ barrage Hassan II).

Sommaire :

Listes des figures	4
Listes des tableaux.....	5
Introduction.....	6
Chapitre 1 : le Bassin versant de O. moulouya et le Barrage HASSAN2.....	7
1. Situation géographique	7
2. Géologie de la région	9
3. Climat du bassin versant de la Haute MOULOUYA	10
4. Hydrologie/ hydrogéologie.....	10
Chapitre 2 : Traitement des eaux potables.....	14
I. Principales étapes de production de l'eau potable.....	15
1. Pompage	15
2. Réservoir de mise en charge	15
3. Ouvrage d'arrivé	15
4. Le prétraitement	16
5. Le traitement de clarification.....	17
II. Analyses de qualité	19
1. Analyses physico-chimiques.....	19
2. Analyses bactériologiques.....	20
Chapitre 3 : Optimisation des réactifs pour résoudre le problème de pH Des eaux traitées.....	21
1. Demande en chlore.....	21
2. Jar test	22
I. Le Traitement classique coagulation-floculation.....	23
1. L'effet de sulfate d'aluminium.....	23
2. L'effet de polymère	24
3. L'effet de la boue	25
II. L'acide sulfurique	26
1. L'effet des filtres	27
2. L'acidification de l'eau.....	27
Interprétation générale	28
Conclusion.....	29
Liste Bibliographique	30

Listes des figures :

Figure 1 : situation géographique de barrage au sein du bassin de la Haute MOULOUYA.....	P7
Figure 2: Photo du barrage HASSAN2, Haute MOULOUYA.....	P8
Figure 3 : localisation du site de pompage : le lac reservoir du barrage HASSAN2.....	P8
Figure 4 : carte géographique simplifiée de la boutonnière de MIDELT	P9
Figure 5 : Schéma géologique de la région de la Haute MOULOUYA	P10
Figure 6 : précipitation moyennes annuelles observées à la station ZEIDA (1980-2000).....	P11
Figure 7 : précipitation moyennes annuelles observées à la station ANSEGMIR (1980-2000).....	P11
Figure 8 : la carte de réseau Hydrolique de la Haute MOULOUYA.....	P12
Figure 9 : Débits moyens annuels en m ³ /s (19980-1996) de l'oued MOULOUYA à la station ZEIDA	P13
Figure 10 : Débits moyens annuels en m ³ /s (19980-1999) de l'oued MOULOUYA à la station ANSEGMIR	P13
Figure 11 : Maquette de la station de traitement Midelt	P15
Figure 12 : cascade d'aération	P16
Figure 13 : Decanteur lamellaire	P17
Figure 14 : Filtres a sable	P18
Figure 15 : lavage des filtres	P18
Figure 16 : chloration au break- point.....	P21
Figure 17 : courbe de variation de pH en fonction de sulfate d'aluminium.....	P25
Figure 18 : courbe de variation de pH en fonction de polymère.....	P26
Figure 19 : courbe de variation de pH en fonction de la Boue	p28
Figure 20 : Courbe de pH en fonction d'acide sulfurique.....	P29

Listes des tableaux :

Tableau 1 : les paramètres de l'eau brute d'après le cahier des clauses techniques particulières.....	P14
Tableau 2 : les Normes d'eau potable	P19
Tableau 3 : paramètres physico-chimiques de l'eau brute prélevée le 22/04/2019.....	P21
Tableau 4 : doses de chlore injectées.....	P22
Tableau 5 : résultats de jar test 1 : pH en fonction de sulfate d'aluminium.....	P23
Tableau 6 : résultats de jar test 2 : pH en fonction de sulfate d'aluminium.....	P24
Tableau 7 : résultats de jar test 3 : pH en fonction de sulfate d'aluminium.....	P24
Tableau 8 : résultats de jar test 1 : pH en fonction de polymères.....	P25
Tableau 9 : résultats de jar test 1 : pH en fonction de la Boue	P26
Tableau 10 : résultats de jar test 2 : pH en fonction de la Boue	P27
Tableau 11 : résultats de jar test 1 : effet des filtres	P27
Tableau 12 : résultats de jar test 1 : pH en fonction d'acide sulfurique	P28
Tableau 13 : résultats de jar test 2: pH en fonction d'acide sulfurique.....	P28
Tableau 14 : la comparaison entre les doses optimales des 2 traitement	P29

Introduction

L'eau est un bien indispensable à la vie et à la santé et l'accès à une eau potable sûre et saine est un droit fondamental.

L'objectif du traitement des eaux est de protéger les consommateurs de microorganismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. L'eau qui coule du robinet, engendre les deux préoccupations permanentes que sont la santé publique ainsi que le confort et le plaisir de boire.

Une eau consommable sans risque pour la santé, c'est une eau respectant les normes de qualité qui fixent les teneurs limites qu'une eau potable ne doit pas dépasser. Ces limites concernent le pH, la turbidité, et d'autres substances comme les chlorures, le fer, l'aluminium...

L'eau brute de notre région d'étude, à savoir la région de Midelt, provient du barrage de Hassan II qui collecte les eaux de l'Oued Moulouya. Cette eau est caractérisée par sa pureté due à son éloignement des sources de pollution anthropique.

Cependant cette eau se caractérise par un pH qui est légèrement alcalin, dû probablement à la nature carbonatée des affleurements géologiques traversés par les eaux tributaires alimentant le barrage. Cette alcalinité constitue un problème puisqu'elle est en dehors de l'intervalle tolérant de la consommation humaine.

L'objectif de notre travail consiste à rechercher la meilleure solution afin de diminuer le pH des eaux brutes traitées pour la consommation humaine. Il comporte 3 étapes :

- ✓ Caractérisation de la zone d'étude ; le bassin versant de O. Moulouya et le barrage Hassan II, par des données géologiques, climatologiques, et hydrologiques.
- ✓ Description des principales étapes du traitement des eaux brutes, et des analyses de qualité effectuées au sein de laboratoire de la station d'épuration.
- ✓ Définir et exposer les résultats des différentes étapes d'optimisation des réactifs coagulant-floculant dans le but de diminuer l'alcalinité des eaux de consommation.

Chapitre 1 : Le bassin versant de O. MOULOUYA et le Barrage HASSAN II

1. Situation Géographique

Le barrage HASSAN II, situé dans le bassin versant de la MOULOUYA constitue l'une des plus grandes retenues d'eaux marocaines avec une capacité de stockage maximale de 400 millions de m³. Il a comme vocations principales l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la protection des zones et barrages situés en aval contre l'inondation.

Le barrage HASSAN II, où Sidi SAID entre dans le domaine du bassin versant de la MOULOUYA, qui est subdivisé géomorphologiquement en 3 sous bassins ; la Moyenne MOULOUYA, la Basse MOULOUYA et la Haute MOULOUYA qui contient ce barrage.

Le barrage HASSAN II, est donc situé sur l'oued MOULOUYA, à 17 Km en amont. Aligné aux mines d'AOULI, il est localisé à 12 km au Nord-ouest de la ville de MIDELT.

Les coordonnées LAMBERT du site sont :

X= 558.949, Y=244169, Z=1262.00

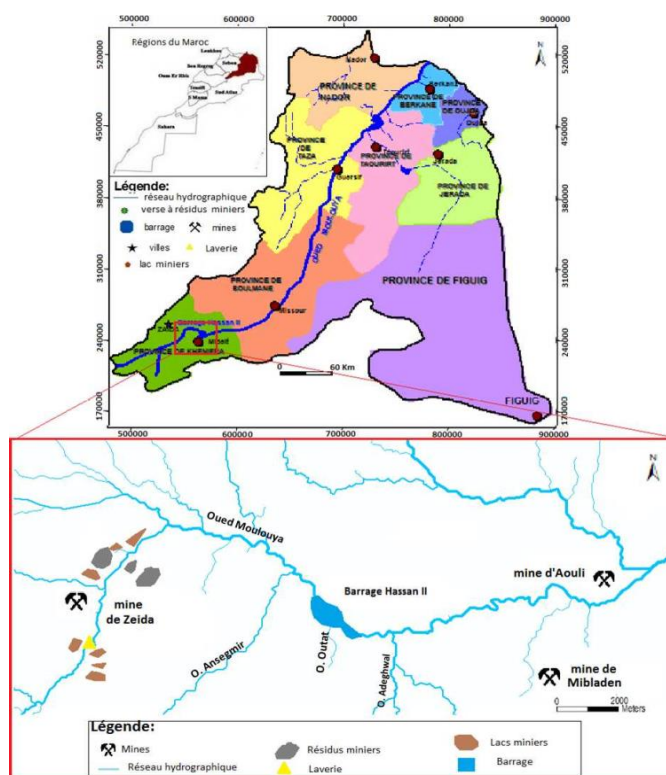


Figure 1 : situation géographique de barrage HASSAN II au sein du bassin de la MOULOUYA



Figure 2 : photo du Barrage Hassan II, Haute Moulouya

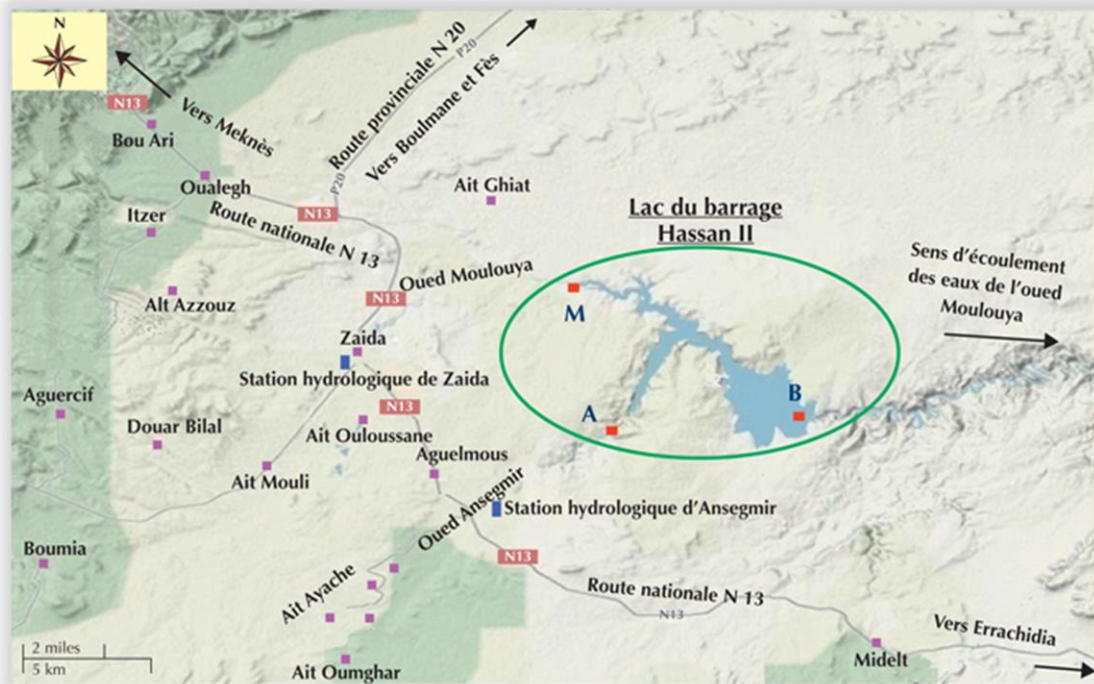


Figure 3 : localisation du site de pompage : le lac reservoir du barrage HASSAN2

2. Géologie de la région :

Dans la vallée de la Haute MOULOUYA se situe une boutonnière Hercynienne exactement à la jonction entre le Haut-atlas et le Moyen-atlas, c'est la Boutonnière de MIDELT (fig.4).

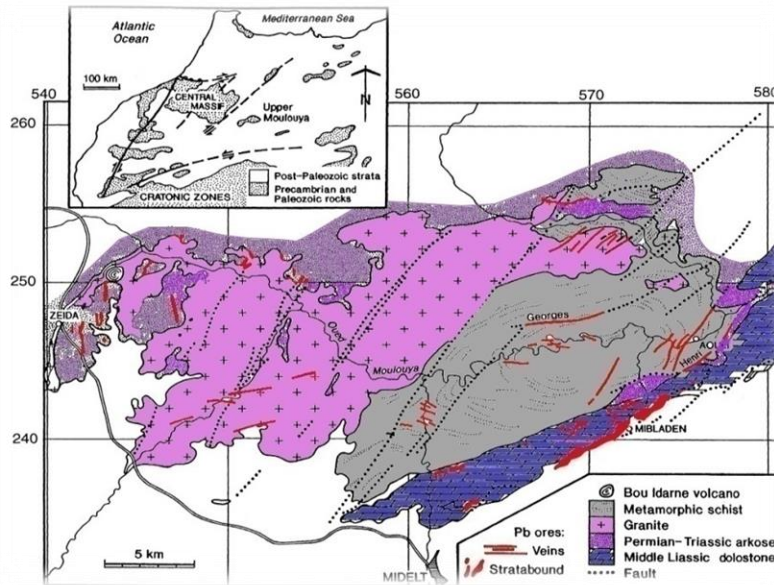


Figure 4 : Carte géologique simplifiée de la boutonnière de MIDLIT (d'après Emberger, 1965)

Elle est constituée dans sa partie occidentale par des granitoïdes et dans sa partie orientale par des schistes et phyllades. Ces terrains sont d'âge *paléozoïque (permien)*, (Christian HOEPFFNER 1987),

On rencontre des affleurements à l'ouest, dans les massifs de BOUMIA-ZAIDA, et à l'est dans le massif d'AOULIE, ainsi que dans le barrage HASSAN II.

A la surface de la zone de la Haute MOULOUYA affleurent plusieurs autres formations qui appartiennent à plusieurs autres âges (figure 4).

Le Permo-Triassique : c'est la période entre le permien et le jurassique, les formations de cette période sont formées de conglomérat à ciment Rouge. Des arkoses, et des détritiques argileux Rouges affleurent à JBEL BOUSSELLOUM .

L'arkose de cette époque rentre parfois en contact avec le massif granitique.

le Jurassique: constitué par une série de calcaire dolomitique et de calcaire marneux, cette série représente un massif karstifère, qui affleure sur une large zone de Haut et moyen Atlas et dans la région de midelt.

Le crétacé: débuté par des marnes et des grès rouges, de cénomanien inférieur, puis des marnes jaunes ou verts de cénomanien supérieur, et finalement le turonien avec des calcaires blancs.

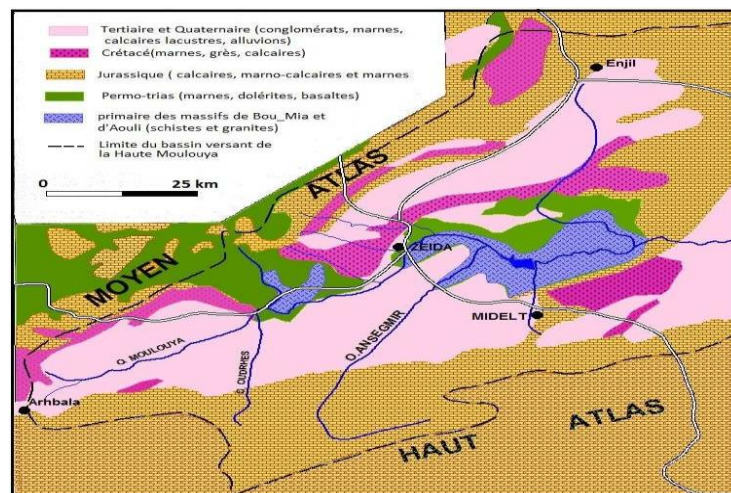


Figure 5 : carte géologique simplifiée de la région de la Haute MOULOUYA (Chaoui 2012-2013)

Le crétacé affleure le long du moyen Atlas et à l'est de MIDELE, entre le massif d'AHOUALI et le Haut Atlas.

Le Quaternaire : représenté par des argiles rouges, des conglomérats et des calcaires lacustres, il affleure sur les 2 rives de OUED MOULOUYA

3. Climat du bassin versant de la haute MOULOUYA :

Le bassin versant de la Moulouya est caractérisé par une diversité de relief, ce qui influence sur le type du climat. Le type de climat détecté au niveau de la haute MOULOUYA, est un climat semi-aride mésothermique sec à tendance montagnarde.

Précipitations :

Au niveau de la Haute Moulouya, la moyenne pluviométrique annuelle atteint 300 mm et varie en fonction de l'altitude. Elle atteint 660mm à ARBALA et ne dépasse pas 206mm à ZEIDA pour les altitudes respectivement de 1800 et 1470 m,

Les précipitations sont souvent sous forme de neige et de pluies irrégulières qui se produisent au niveau des altitudes (1400-1800m). Elles jouent un rôle important dans l'alimentation des sources et des oueds. Ces précipitations neigeuses persistent pendant longtemps (plusieurs jours voire quelques semaines).

Variation des précipitations dans le temps :

La distribution des pluies mensuelles du bassin versant de la Moulouya varie selon les périodes de l'année. Les précipitations maximales sont atteintes en hiver (novembre/décembre) et parfois une seconde fois au printemps (Avril/Mai), alors que les minimales sont enregistrées en été (Juillet/Août). À l'échelle interannuelle, la variation des pluies est irrégulière avec une alternance d'années sèches et humides

(fig. 6, fig. 7).

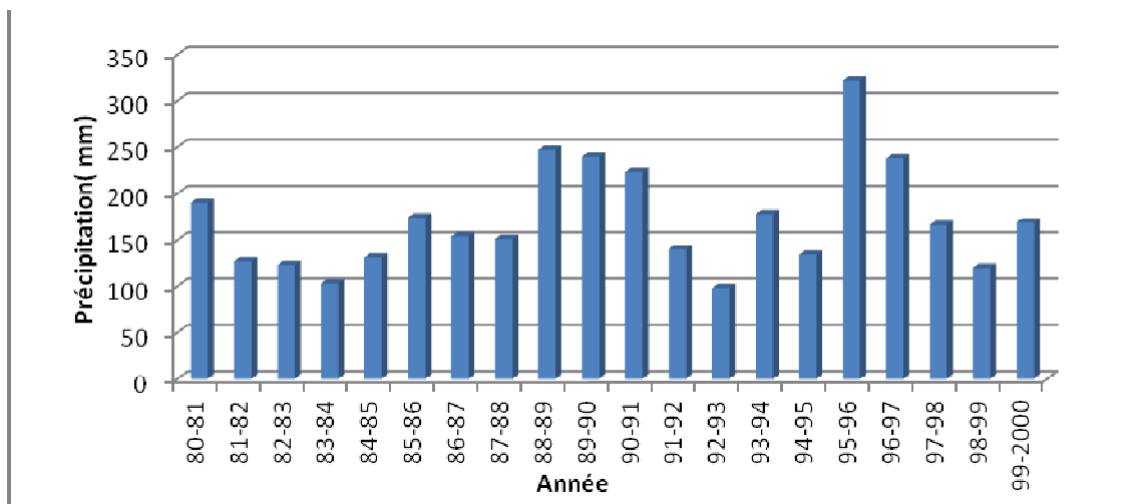


Figure 6 : Précipitations moyennes annuelles observées à la station Zeida (1980-2000)

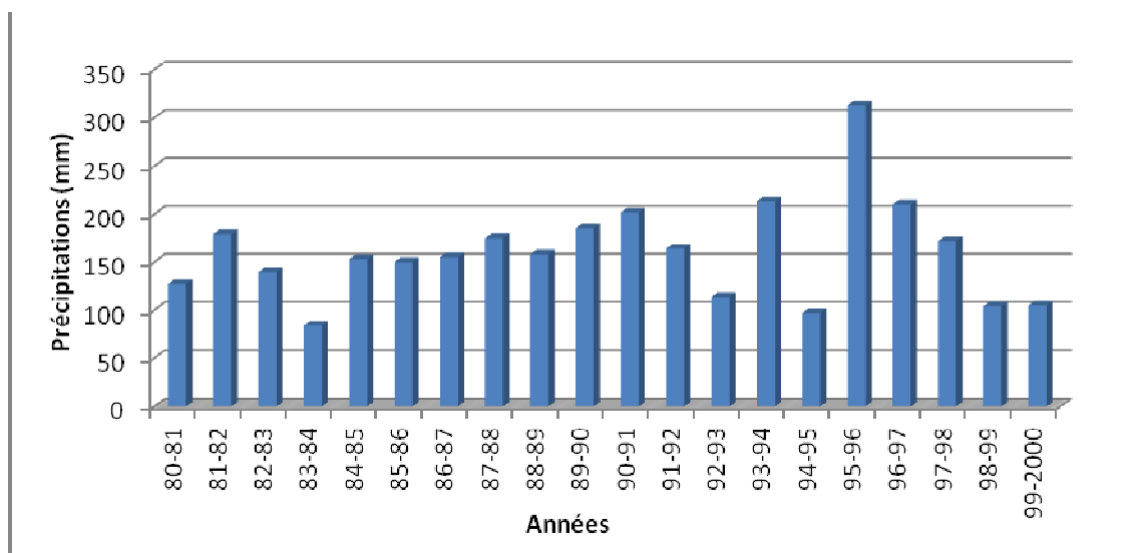


Figure 7: Précipitations moyennes annuelles observées à la station Ansegmir (1980- 2000)

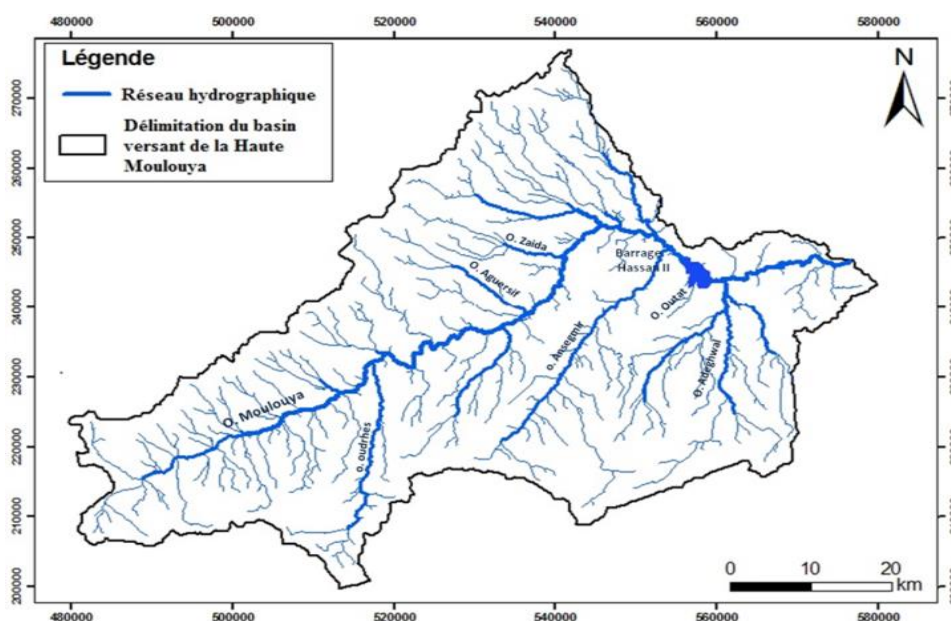
4. Hydrologie/ Hydrogéologie :

Les ressources en eau du bassin versant du Moulouya sont représentées par des ressources en eaux de surface et des ressources en eaux souterraines :

Eaux de surface :

L'oued Moulouya, principal cours d'eau du bassin, prend naissance au niveau de la jonction de la chaîne du Haut et du Moyen Atlas. Il joue un rôle socio-économique important pour les habitants de la région (irrigation, eau potable, industries...).

Dans la Haute Moulouya, plusieurs affluents alimentent la zone, et par conséquent, ils influencent sur le débit de la Moulouya. Il s'agit des oueds : **Oudrhès, Ansegmir, Outat, Adeghoual, Mibladen, Bousselloum, Bou-Adil et AgouniDara**, de la rive droite. Sur la rive gauche on rencontre les oueds d'origine du moyen atlas : **Kiss, Aguercif, Boulajoul**,



Sidi Ayad et Amrhid (EL HACHIMI, 2006)

Figure 8 : la carte du réseau hydrologique de la haute MOULOUYA

- Un autre type de ressources en eau, est représenté par des lacs de carrières, issus d'anciennes carrières de la mine abandonnée (Zeïda, Mibladen). Ces eaux, issues des nappes et du ruissellement, sont utilisées par les riverains de la haute Moulouya sans aucun traitement préalable.
- Les mesures des débits dans la Haute Moulouya sur les stations de Jaugeage de la direction de l'hydraulique (D.H.) (Fig. 9 et 10)

La station de Zeïda : (1470m d'altitude) :

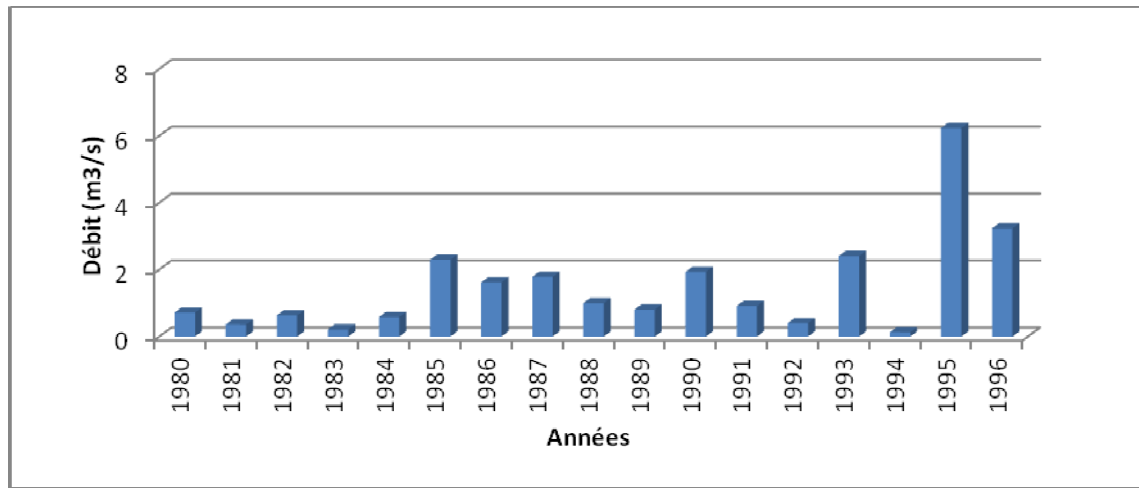
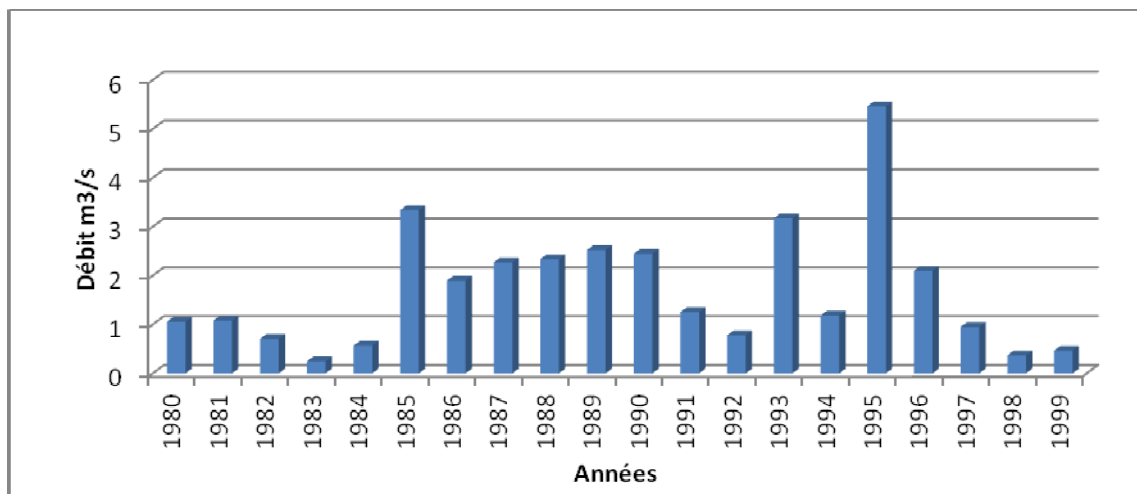


Figure 9 : Débits moyens annuels en m³/s (1980-1996) de l'oued MOULOUYA à la station ZEIDA

La station d'Ansegmir : (1400m d'altitude)



Eaux souterraines :

Parmi les nappes les plus importantes, on distingue (EL HACHIMI, 2006):

- La nappe profonde des calcaires du Lias, donnant naissance à plusieurs sources importantes (1m³/s). Ces résurgences d'eaux soutiennent les écoulements de l'oued Moulouya et ANSEGMIR.

- La nappe des calcaires du Crétacé, avec une quinzaine de sources d'un débit moyen de 215l/s.

Chapitre 2 : Traitement des eaux potables

Avant de réaliser une station de traitement, il est d'abord nécessaire de faire une étude sur l'eau brute censée être traitée, dans le but de déterminer les caractéristiques de cette eau. En effet, cela s'explique par le fait que le traitement d'eau brute dépend de sa qualité et de ses constituants.

Les stations de traitement n'effectuent pas toutes le même travail ; on trouve celles qui suivent un traitement classique et d'autres qui suivent un traitement spécifique, tout dépend de la qualité d'eau brute :

1. **Traitement spécifique :** utilisé en cas de pollution spécifique, Il est obligatoire d'effectuer une étape supplémentaire quand il s'agit de l'élimination d'éléments indésirables (ex : Fe, Mn, NH₄, H₂S...), en utilisant des filtres plus ou moins complexes.

C'est aussi le cas en cas d'eaux salées (eau de mer), en utilisant la distillation.

2. **Traitement classique :** Souvent utilisé afin de traiter les eaux de surfaces loin des sources de pollutions.

Dans notre cas, la station de traitement est alimentée par le barrage HASSAN II. L'eau de ce barrage a été étudiée durant 2ans (2006 et 2007), ce qui a permis de confirmer qu'un traitement classique était suffisant afin de traiter cette eau. Les résultats de l'analyse des paramètres de qualité sont exposés au Tableau 1

Tableau 1 : les paramètres de qualité de l'eau brute d'après le cahier des clauses techniques Particuliers (l'étude effectuée sur le barrage HASSANII)

Paramètres de qualité	Analyses 2006-2007	
	Min	Max
Couleur	0	0
Odeur	0	0
Température de l'eau	11	29
pH	8.10	8.40
Mes (mg/l)	< 50 NTU	< 50 NTU
Turbidité (NTU)	0,5	5,2
Conductivité (us/cm)	405	448
Résidu sec à 105°(mg/l)	221	322
Oxygène dissous (mg /l)	5,2	9,0
Pesticides (ug/l)	--	--
Phosphate total (mg/l)	0	0
Fer dissous (mg/l)	0.04	0.05
Manganèse Total (mg/l)	0.00	0.02
Chlorure (mg/l)	14.11	29.6
Calcium (mg/l)	45.7	77.8
T.A (°F)	0.00	0.40
T.A.C (°F)	14	19
Plomb (ug/l)	< 5	< 5
Arsenic (ug/l)	< 3	< 3



Figure 11 : maquette de la station de traitement de MIDELT

I. Les principales étapes de production d'eau potable :

L'eau captée est éventuellement stockée puis transportée jusqu'à l'unité de traitement concernée, dans des tuyaux généralement souterrains.

1. Pompage :

Le barrage est constitué de 4 strates ou pertuis ; chaque pertuis a 10m de profondeur. Le pompage se fait de bas en haut, afin de pomper l'eau avec le moins de sels et de matière organique possible. Pendant les périodes d'été et d'automne, le barrage connaît ce qu'on appelle le phénomène de brassage, où l'eau est la même dans tout le barrage. Le débit maximum prélevé = 1.00 m^3

2. Réservoir de Mise-en-charge :

C'est la chambre de stockage et de première décantation de l'eau pompée dans le barrage. Elle se situe dans un point plus haut, en altitude, afin que l'eau s'écoule vers la station grâce au phénomène de gravité.

3. Ouvrage d'arrivée :

A l'arrivée de l'eau, il y a un débitmètre qui mesure de débit de l'eau rentrée. Les capacités de pompes ont un maximum de 360l/s ; et le débit utilisé selon le besoin est de 240l/s. L'eau rentre en 2 ligne séparées avec des traitements identiques. Le but de cette division est de ne pas bloquer le traitement en cas de nettoyage ou d'une panne.

4. Prétraitement :

a. **Aération : cascade d'aération.**

L'utilisation de l'oxygène de l'air comme oxydant est effectuée depuis très longtemps pour éliminer l'hydrogène sulfureux, lorsqu'il a été identifié comme étant responsable des goûts et des odeurs de l'eau, et pour augmenter la teneur en oxygène dissous. L'aération est encore utilisée pour éliminer les matières organiques volatiles qui sont à l'état de traces dans l'eau, et pour oxyder le fer ou/et le manganèse.



Figure 12 : cascade d'aération

b. Pré-chloration :

Dans le canal de réception de l'eau aérée, on pourra additionner, selon les caractéristiques de l'eau brute, les réactifs suivants :

- **Chlore** : désinfecteur et oxydant doux.
- **Lait de chaux** : pour le contrôle du pH.
- **Charbon Actif** : pour contrôler la qualité organoleptique de l'eau (odeur, saveur, couleur).
- **Permanganate de potassium** : pour l'oxydation du fer et du manganèse.

La pré-chloration de l'eau brute a pour but :

- D'oxyder le fer et le manganèse contenus dans l'eau brute, donc de détruire les matières organiques afin d'améliorer l'odeur et le goût.
- De détruire les micro-organismes, d'inhiber la croissance algale.

Le produit généralement utilisé est le chlore.

5 . le traitement de clarification :

Clarifier une eau, c'est la débarrasser de toutes les particules colloïdales et en suspension qui ont échappé au prétraitement et qui donnent à l'eau une turbidité et une couleur indésirable. Elle s'effectue par : Coagulation-floculation, décantation et filtration.

a) Coagulation-floculation :

Le procédé de coagulation floculation consiste à ajouter à l'eau un coagulant et un électrolyte permettant de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes et aptes à sédimenter. Cette transformation est le résultat de deux actions distinctes :

- La déstabilisation des particules par neutralisation de leurs charges électriques, connue sous le nom de « **coagulation** ». Pour ce faire, on introduit habituellement dans l'eau un produit chimique chargé positivement (sulfate d'aluminium ou chlorure ferrique).
- La mise en contact des particules déstabilisées constitue « **la floculation** » ou la formation des floes. Le floculant ajouté est généralement un [polymère](#) (poly-électrolyte), qu'il soit organique ou naturel, qui va jouer le rôle de colle entre les colloïdes.

b) Décantation :

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente de MES et des colloïdes (rassemblés sous forme de floc après une étape de coagulation floculation).

Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules, d'où l'utilité du phénomène de coagulation-floculation. La technique de décantation a évolué depuis les décanteurs statiques jusqu'aux appareils modernes qui possèdent une zone de réaction où l'on met en contact l'eau brute et ses réactifs avec les boues déjà existantes : Décanteur lamellaire, ce type de décanteur est muni de plaques parallèles, inclinées d'un angle (Fig. 13)



Figure 13 : Décanteur Lamellaire

c) Filtration :

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (filtre ; le plus courant est le sable (1m)) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée).



Figure 14 : filtres à sables



Figure 15 : lavage des filtres

Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre. On dit alors qu'il y a colmatage, donc un lavage se fait tous les 48h, par courant d'eau et d'air, pour éviter ce problème (Fig. 15).

II. Les analyses de Qualité :

Face à des exigences croissantes en termes de qualité, il est de plus en plus complexe de s'assurer que l'eau est bel et bien « potable ». Dans le respect des recommandations et normes en vigueur pour la qualité de l'eau potable. Les normes d'eau potable sont les suivants (Tableau 2).

Tableau 2 : Les normes marocaines d'eau potable

Paramètre	Norme
La température (°c)	Entre 5 et 30
La turbidité (NTU)	<0,5
Le chlore (mg/l)	Entre 0,8 et 1,2
Le pH	Entre 7,9 et 6,9
L'oxygène dissous (mg/l)	Entre 5 et 8

1. Les analyses physico-chimiques :

- A. **Les paramètres physico-chimiques mesurés sur place :** sont des analyses journalières effectuées au laboratoire, à cause de leur grande variété dans un intervalle de temps court ; ils sont les suivants :
- La température :** mesurer par le thermomètre (en °C)
 - Le pH :** mesurer par le pH-mètre
 - La turbidité :** mesurer par le turbidité-mètre (l'unité est le NTU= unité de turbidité Néphalométrique).
 - Le chlore résiduel :** le Cl₂ qui reste dans l'eau après le traitement mesuré par le chlore-mètre (mg/L)
 - L'oxygène dissous :** la quantité d'oxygène en eau, mesurée par l'oxy-mètre (mg/L)
 - La conductivité :** c'est la capacité d'une eau à faire passer le courant. Elle donne une idée sur la teneur en ions (sels) dans l'eau.
- B. **Les analyses physico-chimique** Ce sont des titrages qui déterminent les teneurs de quelques éléments chimiques dans l'eau.
- TA/TAC :** le titre alcalimétrique et le titre alcalimétrique complet, ils servent à mesurer l'alcalinité de l'eau qui est due aux ions OH⁻, CO₃²⁻, et HCO₃⁻. Si le pH est <8,3, TA=0
 - Le titre Hydrotimétrique où la dureté :** c'est un titrage des ions bivalent ou trivalent dans l'eau (Ca²⁺, Mg²⁺)
 - Titration des chlorures (Cl)**
 - L'oxydabilité :** Déterminer la quantité de la matière organique existante dans l'eau revient à déterminer la quantité de KMnO₄ au cours de la réaction (dosage en retour par l'acide oxalique).
 - Les kits colorimétriques :** Ce sont des produits commercialisés dans la plupart des cas. Il faut ajouter un sachet de poudre ou quelques gouttes d'un réactif à un échantillon d'eau, puis comparer la couleur de l'échantillon avec un catalogue (couleur = teneur en élément); les kits qui existent au laboratoire :
 - Le kit d'aluminium
 - Le kit de fer
 - Le kit de nitrate
 - Le kit de manganèse

2. **Les analyses bactériologiques :** Ce sont des analyses des eaux brutes et traitées, qui sont effectuées pour déterminer le taux des bactéries pathogènes dans l'eau, (Exemples : les coliformes, E.coli, les Enterocoques intestinaux, les spores). Les incubation des bactéries sont fait dans des températures proches de température de corps humain. Les normes sont égales à 0 bactérie par 100ml.

Chapitre 3 : optimisation des réactifs pour diminuer le pH des eaux traitées :

L'eau brute provennt du barrage Hassan II qui entre dans la station est de bonne qualité, c'est-à-dire dépourvue de métaux lourds, de pesticides, de phosphate, et avec une faible turbidité qui ne dépasse pas 1 NTU.

Cependant, le problème qui se pose avec cette eau brute se situe au niveau du pH, qui varie de 8,00 à 8,40 d'après le cahier des clauses techniques particulières.

Pour vérifier ce constat, nous avons fait un prélèvement des eaux brutes le 22/04/19 et on a mesuré les paramètres physico-chimiques suivants (Tableau 3).

Tableau 3. Paramètres physico-chimiques des eaux brutes prélevées le 22/04/2019

Paramètres	T°c	pH	Turbidité (NTU)	Conductivité (us/cm)	Oxygène Dissous (mg /L)	TAC (méq/L)	Th (méq/L)	Cl- (mg/L)	Matière Organique (mg/L)	Ca2+ (méq/L)
22/04/2019	12	8.21	0.42	368	7.59	3.3	2.4	24.85	2.416	29.6

Pour résoudre ce problème de pH, Il existe plusieurs solutions. Parmi celles-ci, deux ont été expérimentées dans le laboratoire,

- **Optimisation de la méthode classique utilisée au laboratoire : coagulation-floculation**
- **Proposition d'une nouvelle méthode : ajout de l'acide sulfurique.**

1- La demande en chlore :

Avant tout traitement de l'eau brute par coagulation-floculation, il faudrait définir la demande en chlore de notre eau à traiter. C'est une méthode qui a comme but la détermination de la quantité de chlore qu'il faut injecter à l'eau lors de la préchloration, c'est-à-dire, la quantité suffisante pour éliminer la matière organique, et pour protéger l'eau d'une contamination bactérienne le long de son transport vers le consommateur.

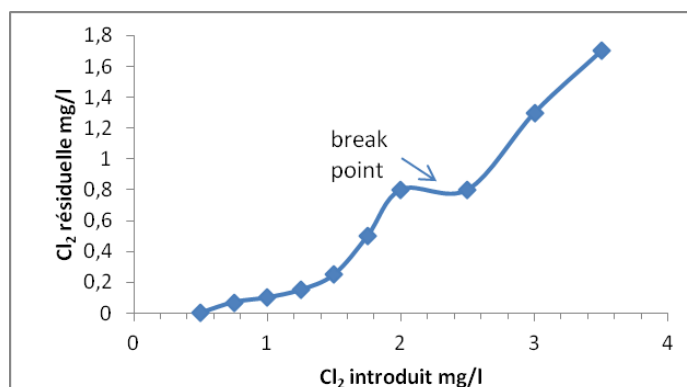


Figure 16 : chloration au break-point

Pour déterminer la dose de chlore à injecter, on introduit dans différents récipients remplis de 100 mL d'eau, une dose de Cl₂ introduite croissante. La mesure du Cl₂ résiduelle après environ 30 minutes donne la courbe d'absorption du chlore qui définit le break-point (point de rupture).

D'après le tableau 4, la dose de chlore 3mg/L est le Break-point, donc la dose que l'on va utiliser dans la préchloration est celle qui suit le break-point c'est-à-dire 3,25mg/L de chlore introduit.

Tableau 4 : Doses de chlore injectées

Cl ₂ (mg/L)	1.5	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75
Cl ₂ (après 30min)	0.68	0.89	0.97	1.05	1.33	1.6	1.47	1.78	1.57	1.92

2 – Essais de coagulation-floculation par Jar test :

Les essais de coagulation-floculation ont été conduits selon le protocole bien connu du « Jar-Test » sur un flocculateur à 6 agitateurs avec une vitesse de rotation individuelle variant entre 0 et 200 tr/min.

Cet appareil permet d'assurer une agitation rigoureusement identique pendant une même période dans une série de béchers contenant 1L d'eau à examiner. Les essais de floculation comportent trois phases :

- ✓ **Une phase brève** (2 min) d'agitation rapide (120 tr/min), pendant laquelle on procède à l'introduction du coagulant.
- ✓ **Une phase longue** (20 min) d'agitation lente (40 tr/min), pendant laquelle se produit la formation du floc.
- ✓ **Une phase de décantation** (30 min) durant laquelle le floc déstabilisé est entraîné vers le fond des béchers. Le surnageant est récupéré pour être filtré sur un papier filtre, pour déterminer la turbidité et l'alcalinité

La dose optimale est choisie selon des critères bien déterminés : critères du choix du meilleur bécher.

Critères de choix du meilleur bécher			
pH	Turbidité colloïdale	Turbidité Décantée	Teneur en Al ³⁺
Entre 7.70 et 7.30	Inférieur ou égale à 0.50NTU	Inférieur ou égale à 5 NTU	Inférieur ou égale à 0.20 mg/l

I. Le traitement classique : coagulation- floculation :

1. L'effet de sulfate d'aluminium (coagulant) :

Le coagulant est un réactif qui neutralise les particules dans l'eau afin de favoriser la formation des floes.

A l'aide du **JAR TEST**, nous allons déterminer la dose optimale de sulfate d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$), c'est-à-dire celle qui va donner la meilleure qualité. Dans les normes de concentration, nous utilisons le sulfate d'alumine à 10g/L pour la coagulation.

a. Jar test 1 :

Caractéristique de l'eau brute : pH=8,06, Turbidité = 0.60NTU

La pré-chloration = 3,25 mL (solution de 1g de chlore/L)

Tableau 5 : Résultats de jar test 1 : pH en fonction de sulfate d'aluminium (SA)

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de SA	0	5	10	15	20	25
Turbidité	0.49	0.64	1.23	1.91	1.80	0.95
Turbidité colloïdale	0.23	0.40	0.32	0.50	0.41	0.23
pH	8.10	7.90	7.86	7.75	7.52	7.47
AL3+ (mg/L)	0.00	0.07	0.07	0.12	0.20	0.23

D'après le tableau 5, les béchers 3 ,4 et 5 donnent leurs meilleurs résultats au niveau de la turbidité, du pH et des teneurs en aluminium qui sont dans les normes (norme d' Al^{3+} entre 0,07 et 0,20mg/l).En conséquence, nous allons élargir cet intervalle afin de trouver la dose optimale.

b. Jar test 2 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=8,01 ; turbidité =0,52NTU

La pré-chloration = 3,25ml

Tableau 6 : Résultats de jar test 2 : pH en fonction de sulfate d'aluminium (SA)

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de SA	0	8	10	12	14	16
Turbidité	0.50	1.12	1.35	1.12	1.00	1.58
Turbidité colloïdale	0.17	0.34	0.24	0.29	0.25	0.25
pH	8.02	7.88	7.85	7.79	7.75	7.68

D'après ce tableau6, les 4 béchers (3 à 6) donnent de bons résultats, alors nous continuons à élargir l'intervalle.

a. Jar test 3 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=7,92 ; turbidité= 0,72 NTU

La pré-chloration=3,25 mL

Tableau 7 : Résultats de jar test 3 : pH en fonction de sulfate d'aluminium (SA)

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de SA	10	11	12	13	14	15
Turbidité	1.15	1.10	1.32	1.37	1.00	0.53
Turbidité colloïdale	0.47	0.48	0.38	0.34	0.29	0.15
pH	7.85	7.80	7.77	7.70	7.65	7.60



Figure 17 : Courbe de variation de pH en fonction de sulfate d'aluminium

Interprétation des résultats :

D'après les résultats de ce *Jar test*, le pH des 3 premiers béchers est supérieur de 7.70, donc à éliminer. Les 3 derniers béchers répondent aux critères de choix et plus spécialement le bécher N°6.

La dose optimale du coagulant SA est égale à 15mg/L. Cette dose donne une qualité qui entre dans les normes d'une eau potable, et cela en ce qui concerne tous les paramètres. Il suffit donc d'utiliser le coagulant pour avoir une eau prête à être consommée ; mais à l'échelle de la station, cela provoque une accumulation d'aluminium, ce qui nécessite le lavage quotidien des chambres de la station, mais aussi les décanteurs ainsi que les filtres.

2. L'effet de poly-électrolyte (floculant) :

Le floculant est un polymère qui exerce le rôle d'une colle, c'est-à-dire qu'il agglomère les floccs afin de favoriser leur décantation.

Comme pour le coagulant, nous allons donc déterminer la dose optimale de floculant qui offre une meilleure qualité à l'eau. Dans les normes de concentration, nous allons travailler avec le polymère à 1mg/L pour la floculation.

b. Jar test 1 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=7.98, turbidité =0.50 NTU

Pré-chloration =3.25 mL

Tableau 8 : Résultats de jar test : pH en fonction du polymère

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de SA	15	15	15	15	15	15
Doses de polymère	0.05	0.08	0.10	0.12	0.15	0.20
Turbidité	0.96	0.70	1.81	1.82	0.78	2.13
Turbidité colloïdale	0.43	0.40	0.50	0.3	0.18	0.20
pH	7.70	7.64	7.62	7.61	7.59	7.57

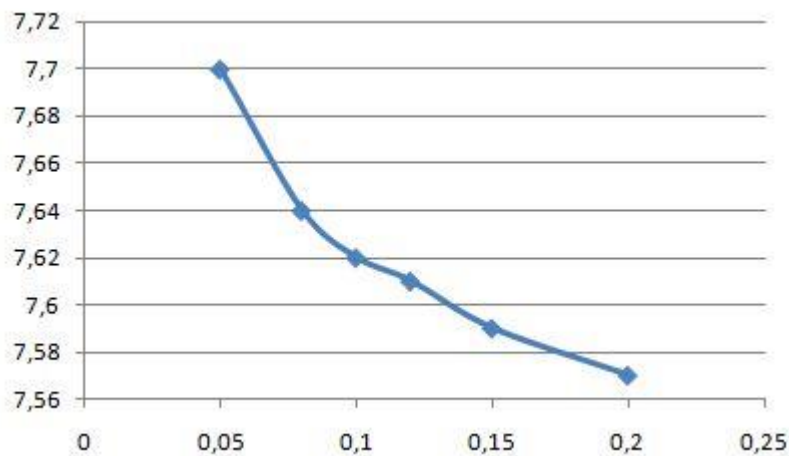


Figure 18 : Courbe de variation de pH en fonction de la dose du polymère

Interprétation des résultats :

D'après les résultats de ce Jar test, l'effet de floculant sur la turbidité décantée et filtrée est manifeste.

Le 2ème béccher est le meilleur du point de vue de la turbidité et de pH, ce qui fait de 0.08 mg/L du polymère une dose optimale.

3. L'effet de la boue :

L'ajout de la boue, c'est-à-dire l'augmentation de la matière en suspension de l'eau, améliore la décantation par l'accroissement de la taille des floes.

Avant d'utiliser la boue, il faut d'abord mesurer sa MES (matière en suspension). Le prélèvement de la boue se fait avec des pompes à boue et il existe une pompe pour chaque ligne. Par conséquent, nous devons déterminer la MES de chaque ligne

La détermination de MES :

Principe : Nous déterminons la MES d'une eau, par :

1. Filtration de 10mL de la solution par une pompe à vide.
2. Séchage du filtre pendant 30min, dans une étuve de 105°C
3. Pesage de la MES.

Ligne 1 :

- m_1 =poids de creuset + filtre = 41.71 g
- m_2 =poids de creuset+ filtre + boue après séchage=41.75g
- $M_{ES} = (m_1 - m_2) / \text{Volume filtré (mL)} = 4\text{g/L}$

Ligne2 :

- m_1 =poids de creuset + filtre = 44.29 g
- m_2 =poids de creuset+filtre + boue après séchage=44.35g
- $M_{ES} = (m_1 - m_2) / \text{Volume filtré (mL)} = 6\text{g/L}$

Pour le jar test, nous allons choisir la boue qui a la MES la plus grande pour pouvoir prélever le plus petit volume.

c. Jar test 1 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=7.90, turbidité =0 NTU

Pré-chloration =3.25ml

Tableau 9. : Résultats de jar test 1 : pH en fonction de la boue

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de SA	15	15	15	15	15	15
Doses de polymère	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Doses de boue (mg/L)	100	200	300	400	500	600
Doses de boue (mL)	16.6	33.2	50	66.6	83.3	100
Turbidité	1.81	1.99	3.45	3.19	4.15	4.80
Turbidité colloïdale	0.49	0.25	0.45	0.65	0.86	1.26
pH	7.77	7.71	7.66	7.62	7.60	7.59

D'après le tableau des résultats, au-delà du 3^{ème} béccher la turbidité se retrouve en dehors des normes. Donc, on ne peut pas prendre en compte les 3 derniers béchers, même si leurs pH est convenable. En conséquence, nous allons élargir l'intervalle entre 100 et 300 mg/L.

d. Jar test 2 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH= 7.98 , turbidité = 0.50 NTU

Pré-chloration = 3.25 mL

Tableau10 : Résultats de jar test 2 : pH en fonction de la boue

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de SA	15	15	15	15	15	15
Doses de polymère	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Doses de boue (mg/L)	50	100	150	200	250	300
Doses de boue (mL)	8.3	16.6	25	33.2	41.65	50
Turbidité	1.58	1.81	0.62	0.28	0.30	1.1
Turbidité colloïdale	0.55	0.49	0.30	0.18	0.18	0.23
pH	7.86	7.77	7.72	7.58	7.62	7.61

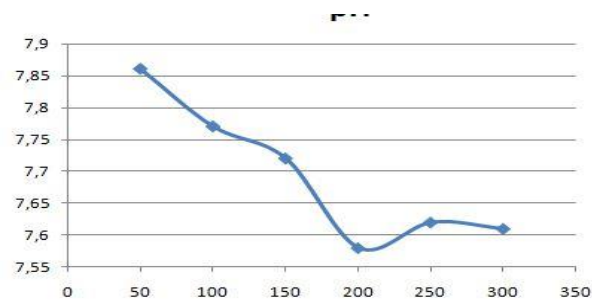


Figure 19 : Courbe de variation de pH en fonction de la boue

Interprétation des résultats :

Après 30min de décantation, la turbidité des 4 derniers béchers entre dans les normes (<0.5 NTU). Ce qui explique l'effet de la boue dans l'amélioration de la décantation. Le 4^{ème} béccher est le meilleur du point de vue de la turbidité avant et après filtration. C'est également adéquat pour le pH. Donc 200mg/L de boue est la dose optimale.

A la fin de ce travail nous pouvons conclure que 15g/L de coagulant, 0.08 mg/L de floculant et 200 mg/L de boue, offre un mélange capable de régler le problème de pH de manière à ce que cette eau ne provoque pas des problèmes de santé ni de corrosion des conduites.

II- L'ajout de l'acide sulfurique :

L'acide sulfurique entre dans le traitement classique de l'eau dans le but de diminuer le pH, mais puisque la coagulation-floculation donne à notre cas un pH acceptable, donc ce n'est pas nécessaire d'ajouter l'acide.

1. L'effet des filtres :

A partir de plusieurs échantillons à turbidités et pH différents (prélèvement de 6 jours) ; nous allons évaluer l'effet de filtres sur leurs qualité.

e. Jar test 1 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=7.90, turbidité =0.66 NTU

Pré-chloration =3.25 mL

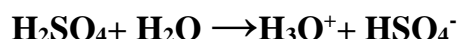
Tableau 11 : Résultats de jar test 1 : effet des filtres

Béchers	1	2	3	4	5	6
Turbidité de départ	0.35	0.45	0.52	0.60	0.56	0.72
pH de départ	8.29	8.03	8.30	8.06	8.30	8.03
Turbidité après décantation	0.33	0.42	0.50	0.58	0.55	0.70
Turbidité colloïdale	0.27	0.25	0.23	0.17	0.21	0.47
pH final	8.30	8.05	8.30	8.10	8.30	8.10

Les résultats du jar test ci-dessus, montrent que les filtres sont capables de diminuer la turbidité jusqu'à la moitié de sa valeur initiale, alors que demeure le problème de pH qui est toujours élevé.

2. L'acidification de l'eau :

L'acide sulfurique va diminuer le pH de l'eau brute, avant qu'elle passe par les filtres, ce qui garantie une bonne qualité du point de vue de la turbidité ainsi que pour le pH.



Les dilutions:

Dans les normes de concentration, l'acide sulfurique utilisé est de C=1N

- La concentration de la solution mère : $C_m = 18\text{N}$
- 1^{ère} dilution $C_1 = 3\text{M}$
- 2^{ème} dilution $C_2 = 1\text{M}$

f. Jar test 2 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=7.97, turbidité =0.42 NTU

Pré-chloration = 3.25 MI

Tableau 12 : Résultats de jar test 2 : pH en fonction de l'acide sulfurique

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses D'acide sulfurique (1N)	0.02	0.05	0.08	0.10	0.12	0.14
Turbidité	0.40	0.41	0.40	0.39	0.41	0.40
Turbidité colloïdale	0.28	0.28	0.29	0.27	0.29	0.30
pH	7.79	7.72	7.60	7.54	7.48	7.40

L'effet de l'acide sur le pH est clair, une différence de 0.03 mL provoque une diminution de 0.10 dans la valeur pH.

Tous les 4 derniers béchers donnent des valeurs acceptables de pH, 0.08 mL d'acide est le minimum de la dose que l'on peut utiliser;

Dans le jar test suivant, nous allons allonger cette intervalle pour déterminer la dose maximale de l'acide sulfurique .

g. Jar test 3 :

Caractéristiques de l'eau brute : pH=7.97, turbidité =0.50 NTU

Pré-chloration =3.25 ml

Tableau 13 : Résultats de jar test3 : pH en fonction de l'acide sulfurique

Béchers	1	2	3	4	5	6
Doses de l'acide sulfurique (1N)	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
Turbidité	0.45	0.42	0.43	0.41	0.42	0.42
Turbidité colloïdale	0.30	0.29	0.29	0.28	0.31	0.30
pH	7.55	7.46	7.40	7.31	7.23	7.16

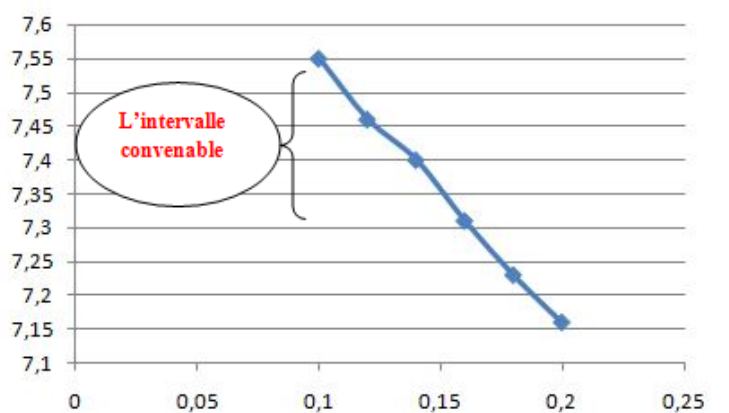


Figure 20 : Courbe de variation de pH en fonction de l'ajout de l'acide sulfurique

Interprétation des résultats :

Au-delà du 4^{ème} bécher le pH tend vers l'acidité et sort de l'intervalle de consommation, donc la dose maximale de l'acide sulfurique est de 0.16 mL.

Pour ce qui concerne l'acidification, c'est une méthode qui donne une qualité convenable avec un petit prix en optimisant le coagulant, le flocculant et la boue aussiet en utilisant un petit intervalle de 0,08 à 0,16 mL d'acide par litre.

Interprétation générale :

Les résultats obtenus dans ce travail nous ont permis de conclure que le traitement classique represente une solution pour le problème de pH, mais qu'il existe une solution plus efficace encore et moins couteuse et qui se trouve être l'ajout d'acide sulfurique .

Tableau 14 : la comparaison entre les doses optimales des 2 traitements :

Les solutions	Volume ajoutée en ml	Le pH obtenu
Le sulfate d'aluminium	1.5	7.58
+	+	
Le polymère	0.08	
+	+	7.40
La boue	33.2	
L'acide sulfurique	0.14	

Nous pouvons donc déduire que l'eau de cette région peut être traitée seulement par l'acide sulfurique afin qu'elle devienne consommable et sans aucun risque pour l'homme.

Conclusion :

La station de traitement des eaux de la ville de MIDELT a pour but de répondre à l'insuffisance en eau potable que connaissait la ville étant donné la croissance démographique de celle-ci. Cette station a une capacité de produire un débit globale qui égale 360 l/s. Les eaux brutes à traiter proviennent du barrage HASSAN II et ne présentent pas de problème notable lié aux activités anthropiques. Cependant, cette eau montre un pH qui tend vers l'alcalinité avec des valeurs éloignées du domaine de la consommation humaine.

Pour remédier à ceci, dans un premier temps nous avons opéré une optimisation des réactifs utilisés dans le traitement classique (coagulant, flocculant, et boues recyclées), afin de trouver la dose optimale qui donne un bon pH tout en conservant les autres paramètres dans les normes de l'eau potable. Les résultats des essais Jar test ont donné une valeur de pH de 7.65 pour le mélange optimale de 15mg/l de coagulant, 0.08 mg/l de flocculant et 200mg/l de la boue.

Puis, dans un deuxième temps nous avons proposé une solution afin de diminuer le pH en utilisant uniquement l'acide sulfurique sans qu'il y ait besoin d'ajout d'autres réactifs. Les résultats montrent un intervalle entre 7.60 et 7.30 des valeurs de pH pour un petit intervalle entre 0.08 et 0.16 mL d'acide sulfurique

Ainsi, la comparaison entre les résultats montre que l'ajout de l'acide sulfurique représente la solution la plus adéquate pour résoudre le problème de pH des eaux brutes en les rendant moins alcalines et plus aptes à une consommation humaine

Liste bibliographique :

- ✓ CHAHBOUNE, CHAHLAOUI, ZAID, BEN MOUSSA 2013: contribution à la caractérisation Physico-chimique des eaux du lac réservoir du Barrage HASSAN2. Equipe de gestion et valorisation des ressources Naturelles, Faculté des sciences Meknès, Université Moulay Ismail, 17p.
- ✓ EL HACHIMI, M.L., EL FOUNTI, L., BOUABDLI, A., SAIDI, N., FEKHAOUI, M. & TASSE N. 2006. Pb et As dans des eaux alcalines minières: Contamination, comportement et risques (mine abandonnée de Zeïda , Maroc). Revue des sciences de l'eau, 19p.
- ✓ Emberger et al., 1965 synthèse métallogénique du district plombifère de la Haute Moulouya, , Notes et Mémoires du Service Géologique Marocain
- ✓ Fatima BOUTAHRINE 2013-2014 : Optimisation des traitements des eaux potables de la station de KHENIFRA en amont de là de minéralisation, Projet de fin d'études, Master Sciences et Techniques, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques Fès. 81p.
- ✓ HOEPPFNER Christian 1987, la tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc, Sciences de la terre, Thèse doctorat, Université louis Pasteur. 295p.
- ✓ Mariam CHAOUI 2012-2013 : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et métallique des eaux de surface (Oued Moulouya/ Barrage Hassan II), Projet de fin d'études Master Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences et Techniques Marrakech. 98p.