



Université Cadi Ayyad
Faculté des Sciences et Techniques
Marrakech



Mémoire de stage de Fin d'Etudes

Master Sciences et Technique

Eau et environnement



**Ressources en eau du district minier d'El Hammam.
Recyclage des eaux industrielles et mise aux normes
des eaux potables.**

Par

Houssam AYT OUGOUGDAL

Sous la direction de :

**Nadia KHAMLI
Jalila BENSALAM**

**FSTG Marrakech
SAMINE Meknes**

Soutenu le 25 juin 2014 devant le jury composé de :

**Professeur Ali RHOUJJATI
Professeur Abdelatif SAIDI
Professeur Samia BERRADA
Professeur Nadia KHAMLI**

**FSTG Marrakech
FSTG Marrakech
FSTG Marrakech
FSTG Marrakech**

DEDICACES

Louange à dieu le tout puissant.

À mes chers parents,

Nul mot ne saurait exprimer à sa juste valeur le dévouement et le profond respect que je porte envers vous, rien au monde ne pourrait compenser tout ce que vous avez fait pour moi.

Que ce travail soit le témoignage de ma gratitude et mon grand respect. Que Dieu, le tout puissant, vous préserve et vous procure santé et longue vie.

À ma sœur et mon frère,

Merci pour vos encouragements, votre confiance, votre présence et votre soutien dans les moments difficiles. Vous êtes pour moi les meilleurs frères au monde. J'espère que tous vos rêves soient exhaussés et je vous souhaite tout le bonheur du monde mes chers. Que dieu vous garde et vous préserve.

À toute ma famille,

Pour leur assistance et leur soutien.

À mes professeurs,

Pour leurs efforts, et leurs directives cruciales.

À tous mes amis,

Pour leur amour et leur encouragement.

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à ALLAH, le tout puissant de m'avoir donné la vie et la santé pour la réalisation de ce travail.

*J'ai eu l'honneur et le plaisir d'avoir le Professeur **Nadia KHAMLI** comme encadrante de ce projet de fin d'étude. Qu'elle trouve ici l'expression de ma vive reconnaissance, ma grande considération et mes remerciements les plus sincères.*

*Je tiens à exprimer une gratitude au maitre de stage Mlle **Jalila BENSALÉM** Pour ses conseils pertinents qui m'ont été un appui considérable.*

Je tiens à remercier les responsables des deux laboratoires, Waterleau, et le laboratoire de chimie des matériaux, et de l'environnement, de m'avoir accueillir au sein de leurs labos pour l'exécution des analyses.

*Mes sincères remerciements et gratitude s'adressent aux Professeurs membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail: **A. RHOJJATI, A. SAIDI et S. BERRADA**, qu'ils trouvent ici l'expression de ma vive reconnaissance.*

Je tiens également à remercier tous les professeurs du département de géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, pour les efforts déployés au cours de ma formation académique, et pour leurs conseils et encouragements. Je leur souhaite une vie pleine de joie et de prospérité.

RESUME

L'objectif du présent projet, effectué au sein de la SAMINE service "Qualité, Sécurité et Environnement, est la réponse à la politique adoptée par l'entreprise dans le but d'évaluer le taux de recyclage des eaux issues de l'usine de traitement du minerai, ainsi que l'évaluation de la qualité des eaux potables distribuées au niveau de la mine El Hammam et mettre en évidence les éventuelles défaillances dans le procédé de traitement.

Notre travail s'est articulé sur trois principaux axes : le premier correspond au calcul du bilan global du circuit d'eau au niveau de la mine El Hammam, le second axe correspond à la caractérisation physico-chimique de l'eau brute et de l'eau traitée et diagnostic du procédé de potabilisation de la station de traitement afin d'identifier les points de défiances, le troisième axe est consacré au développement des solutions proposées pour améliorer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Sommaire

Introduction générale.....	1
CHAPITRE I: GENERALITES	5
Partie I : généralités sur la mine El Hammam.....	6
I. Présentation du groupe ONA	6
II. Situation de la mine El Hammam.....	13
II.1. Situation géographique de la mine El Hammam	13
II.2. Cadre géologique	14
II.3. Données hydrologiques.....	15
II.4. Données climatiques	16
Partie II : généralités sur la réglementation sur l'eau, qualité, méthode de potabilisation des eaux de surface	17
I. Aspects réglementaires	17
I.1. La loi N° 10-95 sur l'eau.....	17
I.2. Normes de qualité des eaux.....	18
II. LA QUALITE ET LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE	19
II.1. INTRODUCTION	19
II.2. Les paramètres de la qualité des eaux.....	20
II.3. Processus de potabilisation des eaux de surface.....	26
CHAPITRE II : Circuit et bilan global de l'eau industrielle de la mine El Hammam.....	34
II.1. Circuit d'eau industrielle de la mine El Hammam	35
II.1.1. Bassin bas.....	35
II.1.2. Circuit d'eau de l'usine de traitement.....	35
II.1.3. Bassin haut	36
II.2. Bilan global de l'eau au niveau de la mine El Hammam	37
II.2.1. Bilan du bassin haut	39
II.2.2. Bilan du bassin bas.....	39
II.2.3. Bilan global de l'usine	39
II.2.4. Bilan de la digue	41
II.2.5. Composition de l'eau	43
CHAPITRE III : Analyses des eaux potables et diagnostic du procédé de traitement	44
III.1. Description et fonctionnement des ouvrages de la station.....	45
III.1.1. Introduction	45
III.1.2. Prétraitement au niveau de la source (Oued Beht)	45
III.1.3. Traitement au niveau de la mine EL Hammam.....	47
III.2. Analyse de la qualité des eaux brutes et potables	49
III.2.1. Introduction	49
III.2.2. Méthodologies des analyses	49

III.2.2.1. Analyse par spectrophotomètre des sulfates.....	50
III.2.2.2. Analyse de l'alcalinité par dosage	52
III.3. Résultats et interprétation.....	53
III.4. Analyse critique et mise en évidence des problèmes	58
CHAPITRE IV : Solutions proposées pour l'amélioration de la qualité de l'eau.....	59
IV.1. Introduction	60
IV.2. Consommation de l'eau potable au niveau de la mine El Hammam	60
IV.3. ratio de consommation par unité consommatrice	63
IV.4. Evolution de la consommation de l'eau potable dans le temps	64
IV.5. Dimensionnement des nouveaux filtres à sables.....	65
IV.5.1. Introduction	65
IV.5.2. motivation du choix de type de filtre	65
IV.5.3. Dimensionnement des filtres à sable.....	66
IV.5.3.1. Débit de conception.....	66
IV.5.3.2. Critères de départ et Motivation du choix de la couche filtrante	67
IV.5.3.3. Données de départ	68
IV.5.3.4. Calculs de la configuration normale de filtration	68
IV.5.3.5. Calculs de la configuration du média filtrante	70
IV.5.3.6. Calcul de la perte de charge	71
IV.5.3.7. Calcul de la configuration du contre lavage	72
IV.5.4. Etablissement des spécifications de construction de l'unité	73
IV.5.5. Résultat de calcul de dimensionnement	75
IV.5.6. Accessoires du filtre.....	76
IV.5.7. Description générale	77
IV.5.8. Dessin de spécification de l'appareil	79
IV.5.9. Recyclage d'eau de lavage	80
IV.6. Conception d'un poste de désinfection	81
IV.6.1. Introduction.....	81
IV.6.2. Calcul de la capacité de la pompe doseuse	82
IV.6.3. Calcul du temps de contact requis entre l'eau et le chlore	83
IV.6.4. Calcul du volume du bassin de contact	84
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	87
Références bibliographiques	88
LISTE DES TABLEAUX.....	90
Liste des Figures.....	91
ANNEXES	92

Introduction générale

Ce rapport présente les résultats du travail effectué durant mon stage au sein de La SAMINE (Société Anonyme d'Entreprises Minières) et précisément dans la mine El Hammam. Ce stage s'est déroulé du 07-03-2014 au 16-06-2014.

La production de l'eau potable joue un rôle très important dans l'amélioration de vie de la population et elle est nécessaire pour le développement d'un pays. Au Maroc, l'accès à une eau dite "potable" est un droit. Afin d'assurer cet accès, les responsables du secteur doivent fournir aux abonnés une eau traitée et conforme de point de vue bactériologique et physicochimique. Les normes de mise en distribution de l'eau propre à la consommation sont draconiennes et ce sont renforcées depuis quelques années pour assurer la disponibilité aux consommateurs d'une eau conforme afin d'éviter tout problème sanitaire.

Le service "Qualité, Sécurité et Environnement" de la SAMINE gère l'adduction d'eau potable ainsi et sa distribution dans la mine El Hammam. Sa mission principale est d'assurer la disponibilité de l'eau industrielle et potable aux usagers en quantité suffisante et en qualité conforme aux normes.

Dans le cadre de sa politique en tant qu'acteur économique responsable, la SAMINE a adopté une approche basée sur sa conviction que la durabilité des ressources hydriques joue un rôle fondamental dans sa réussite à long terme et par conséquent, la préservation de ces ressources doit faire partie intégrante de sa stratégie.

Alors au niveau de la mine El Hammam, le souci est double :

- Le premier souci est la valorisation optimale des eaux industrielles issues du traitement du minerai afin de contribuer concrètement à la durabilité des ressources en eau.
- Le deuxième souci est de fournir au personnel de la mine El Hammam une eau potable conforme aux normes.

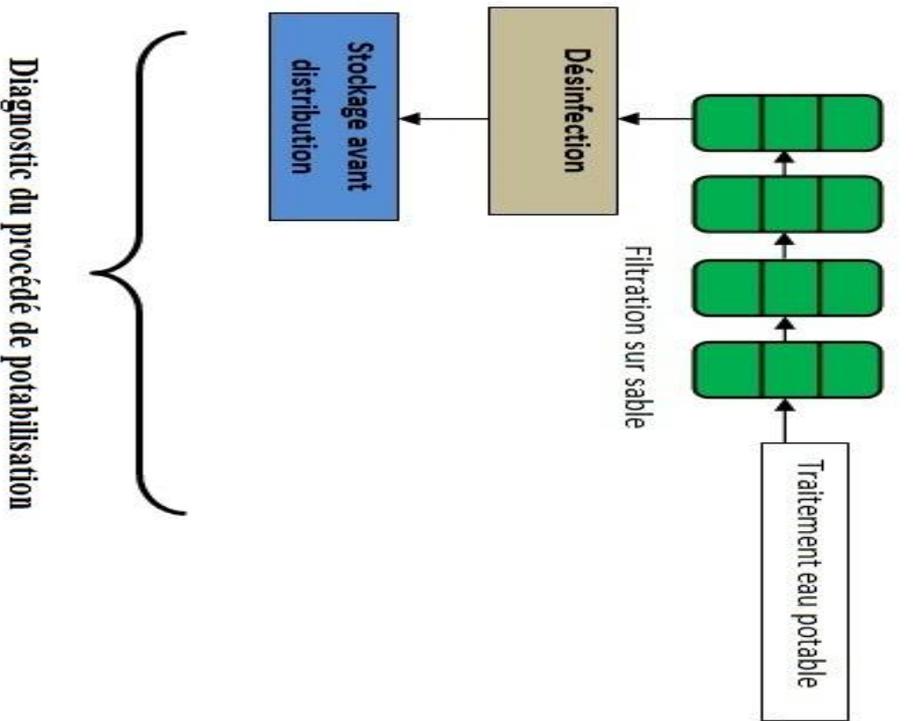
Ainsi, le présent travail a deux objectifs :

- Evaluer le taux de recyclage des eaux issues de l'usine de traitement du minerai et apprécier donc la contribution du dispositif mis en place à la réduction des quantités d'eau mobilisées.
- Evaluer la qualité des eaux potables distribuées à la mine El Hammam et mettre en évidence les éventuelles défaillances dans le procédé de traitement.

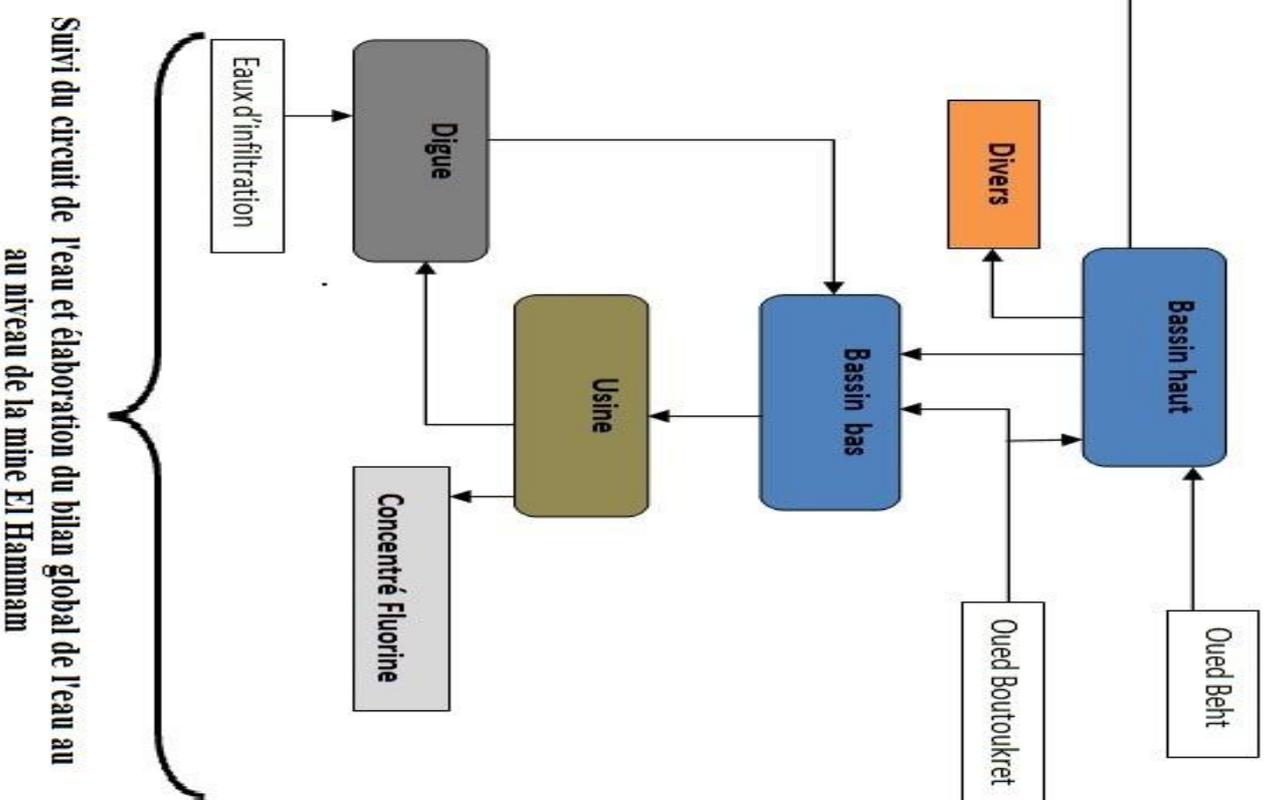
Pour atteindre ces objectifs nous avons adopté la démarche suivante :

- Calcule du bilan global du circuit d'eau au niveau de la mine El Hammam.
- Caractérisation physico-chimique de l'eau brute et de l'eau traitée et le diagnostic du procédé de potabilisation de la station de traitement.
- Identification des défaillances dans le traitement et proposition de solutions pour pallier à ces défaillances.

Cette démarche est illustrée par le schéma ci-dessous.



Diagnostic du procédé de potabilisation



Suivi du circuit de l'eau et élaboration du bilan global de l'eau au
au niveau de la mine El Hammam

Le rapport suivant comprend quatre chapitres :

- ❖ Le premier chapitre contient des généralités sur la zone d'étude ainsi que des données bibliographiques sur l'aspect réglementaire des eaux au Maroc et sur les processus de potabilisation des eaux de surface.
- ❖ Dans le deuxième chapitre nous présentons l'état des lieux de la mine. Un schéma du circuit générale d'eau de la mine est élaboré afin de mesurer les différents débits d'eau et de calculer le bilan d'eau de chaque unité de circuit.
- ❖ Le troisième chapitre est consacré au diagnostic du procédé de traitement de l'eau au niveau de la mine El Hammam. Dans ce chapitre sont discutés les résultats des analyses des eaux (brute et potable) et les défaillances dans le système de traitement sont illustrées.
- ❖ Dans le quatrième chapitre sont développées les propositions d'amélioration de la qualité d'eau potable à savoir le dimensionnement de nouveaux filtres à sable et la mise en place d'un poste de désinfection d'eau avant qu'elle soit au robinet de consommateur.

CHAPITRE I: GENERALITES

Partie I : généralités sur la mine El Hammam

I. Présentation du groupe ONA

I.1. Historique du groupe ONA

Le groupe ONA (**Omnium Nord Africain**), **Créé** en 1934. Il hérite de la Compagnie Générale de Transport et de Tourisme, était initialement centré sur les métiers du transport, des mines, de l'automobile et du matériel d'équipement. Dès le début des années 80, le Groupe entame la diversification de ses activités à travers des prises de participations majoritaires dans des secteurs industriels et de services variés notamment le lait et dérivés (Centrale Laitière, Pingouin), le sucre (Cosumar), les corps gras (Unigral Cristal, Sepo), la banque (Société de Banque et de Crédit), le transit maritime, la chimie, le textile et les mines.

A partir des années 90, l'ONA élargit ses domaines à la Communication, le Multimédia, la Grande Distribution et l'Immobilier.

En 1995, ONA SA s'introduit en bourse et ouvre son capital au public.

Entre 1995 et 1997, l'ONA recentre ses activités autour de métiers stratégiques, où le Groupe bénéficie d'atouts concurrentiels majeurs (Mines et Matériaux de Construction, Agroalimentaire, Distribution, Banque, Assurance, ...).

Entre 1999 et 2003, ayant atteint une taille critique, le Groupe consolide ses positions et tisse des liens étroits avec de nombreux partenaires internationaux avec lesquels il signe plusieurs accords (SEMAFO dans les mines, DANONE, BIMO, Leader Food et AUCHAN au niveau de la grande distribution, ...).

En 1999, l'ONA prend le contrôle de la Société Nationale d'Investissement (SNI) ; le nouvel ensemble ONA-SNI constitue un groupe doté d'une nouvelle dimension économique et financière.

En 2003, le Groupe opère une rotation de participations et SNI devient le premier actionnaire d'ONA SA.

La même année, l'ONA participe à la fusion (OPA/OPE) des actions Wafabank-BCM et crée le premier groupe bancaire marocain Attijariwafa Bank et le huitième au niveau du continent africain.

Le Groupe poursuit, par ailleurs, de nouveaux axes de développement notamment dans les secteurs des Technologies de l'Information, de l'Immobilier, de l'Environnement et de l'Energie.

Le 25 Mars 2011, le groupe annonce la fusion avec la SNI et le retrait de ses actions de la Bourse des valeurs de Casablanca.

I.2. Présentation de l'ONA-MANAGEM

MANAGEM est la filiale du groupe ONA chargée de l'industrie minière. Elle regroupe la Compagnie Minière Guemassa (CMG), la société Anonyme d'Entreprise Minière (SAMINE), la Compagnie de Tifnoute Tiranimine (CTT), AKKA Gold Mining (AGM), la Société Métallurgique d'Imiter (SMI), REMINEX, TECHSUB, CTTA, NORATRA...

Cette présentation est illustrée sur la figure suivante :

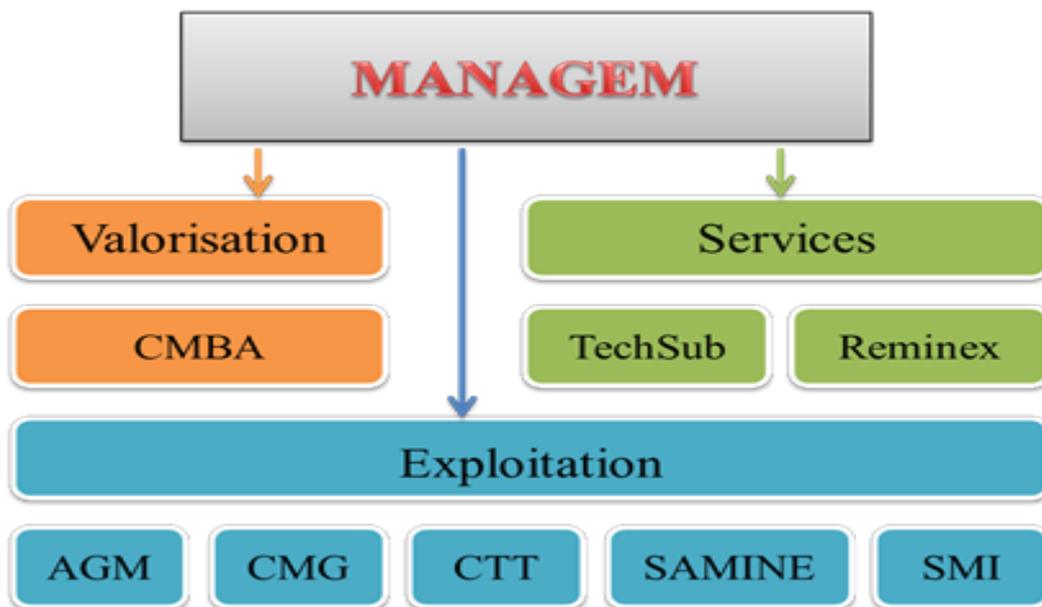


Figure 1: Les filiales de ONA-SNI MANAGEM

I.3. Sociétés d'exploitation

La Compagnie de Tifnoute Tiranimine (CTT): Parmi les plus anciennes sociétés de MANAGEM, La CTT exploite depuis 1930, un gisement de cobalt à argent et or à Bou-Azzer (sud d'Ouarzazate). Elle produit du concentré de Cobalt à 11% à 10g d'or par tonne, ainsi que des lingots d'argent.



La Compagnie Minière des Guemassa (CMG) : CMG opère trois mines polymétalliques, produisant des concentrés de zinc, de plomb et de cuivre sur les sites de Hajjar, Draa Sfar et le plus récent Tighardine. En parallèle, la filiale a élargi son activité en développant le site industriel de Guemassa pour la production d'oxyde de zinc par voie de traitement hydro métallurgique.



La Société Anonyme d'Entreprises Minières (SAMINE) : La mine d'El Hammam est située à 63 km au Sud de Meknès dans la région du moyen Atlas. Gérée par Samine, elle figure parmi les meilleurs producteurs de la fluorine de haute qualité dans la région. Avec une capacité annuelle atteignant 80 000 tonnes de concentrés de fluorine (98% CaF₂), le produit est exporté vers de nombreux pays à travers le monde.



La Société Minière de Bougaffer (SOMIFER) : Installée à Bleida, elle exploite un gisement de cuivre et d'or, situé à 80 km au Sud-Est de Ouarzazate. Ouverte en 1980, elle avait une durée de vie initiale estimée à 6 années. Ensuite, grâce à la réalisation d'un nouveau procédé, l'exploitation a pu être poursuivie jusqu'à épuisement du site. Suite à des efforts de recherche de REMINEX, de nouveaux gisements aurifère et cuivreux ont été découverts.



Akka Gold Mining (AGM) : La mine d'Akka est située à 280 km au sud-ouest d'Agadir dans la région de l'Anti Atlas Occidental. L'exploitation de la mine d'or a démarré depuis plus d'une décennie. Puis, après la découverte de nouvelles ressources cuprifères dans la région, l'opérateur a lancé en parallèle l'exploitation et le traitement du cuivre, en basculant vers une spécialisation « cuivre ».



La Société Métallurgique d'Imiter (SMI) : Opérée par la filiale SMI, la mine d'Imiter est située à 150 km à l'est de Ouarzazate. Ce site abrite des gisements de qualité présentant des teneurs élevées. La mine se positionne parmi les principaux producteurs d'argent primaire au monde.



I.4. Société de valorisation

Cobalt métallurgique Bou-Jizzer (CMBA) : Créée en 1992 dans le but de valoriser les haldescobalitifères de Bou-Azzer. Pour cela, deux usines hydrométallurgies sont construites à Bou-Azzer et à Guemassa. Cette filiale métallurgique à 100 % de la CCT a produit jusqu' à 1998 environ 250 tonnes de cathodes de cobalt. Suite à des extensions, la production a augmenté pour atteindre environ 1000 tonnes de cathodes de cobalt par an.



I.5. Sociétés de services :

TECHSUB : Créée en 1992, cette société concentre ses activités sur deux axes : les sondages et les travaux souterrains. TECHSUB dispose de tous les moyens pour réaliser les sondages nécessaires à la reconnaissance géologique et géotechnique des terrains.



REMINEX : Créée en 1985, REMINEX est une société de services chargée de l'exploration géologique, de l'ingénierie et de la recherche et du développement. Elle constitue la référence en R&D au sur des projets d'exploitation et de valorisation dans le pôle mine du groupe ONA. Pour mener à bien l'ensemble des missions qui lui sont confiées, REMINEX a constitué une équipe qui a pu capitaliser un savoir-faire réel dans le domaine minier et dont bénéficie l'ensemble des filiales de MANAGEM.



REMINEX peut fournir aux sociétés du groupe ONA, ainsi qu'à des tiers les services suivants :

La géologie appliquée

Le génie minier

La métallurgie

I.5. SAMINE D'EL HAMMAM

I.5.1. Historique

La Société Anonyme d'entreprises minières : SAMINE, est une filiale de MANAGEM. Elle exploite, depuis janvier 1974, le gisement de la fluorine (CaF₂) de la région d'EL-HAMMAM, située à 56 kilomètres au sud-ouest de Meknès et à 83 kilomètres au sud-est du Khémisset. La SAMINE assure à la fois l'extraction et le traitement du minerai. Sa capacité de production moyenne est de 100000 tonnes de concentré par an. L'existence de la fluorine a été signalée par J.Barthoux dès 1923, toutefois les premiers travaux de recherche connus dans la région visaient le plomb (1931) et révélaient un possible intérêt économique des minéralisations florifères.

En 1941, des travaux d'exploitation furent entrepris par les frères Dubois dans le secteur de Bergamou, et ont permis l'extraction de 750 tonnes de fluorine. L'extension de ces travaux ont permis alors la découverte d'un champ fluorifère important dans le secteur d'El hammam et de Gouida.

De 1951 à 1954, les travaux effectués par la société UGINE ont permis la production de 3.500 tonnes de concentré de fluorine métallurgique destinée exclusivement à des clients Allemands. Ensuite, plusieurs partenaires se succèdent pour valoriser et exploiter le gisement fluorifère d'El Hammam. Actuellement l'exploitation est faite par SAMINE du MANAGEM.

1.5.2. Organigramme

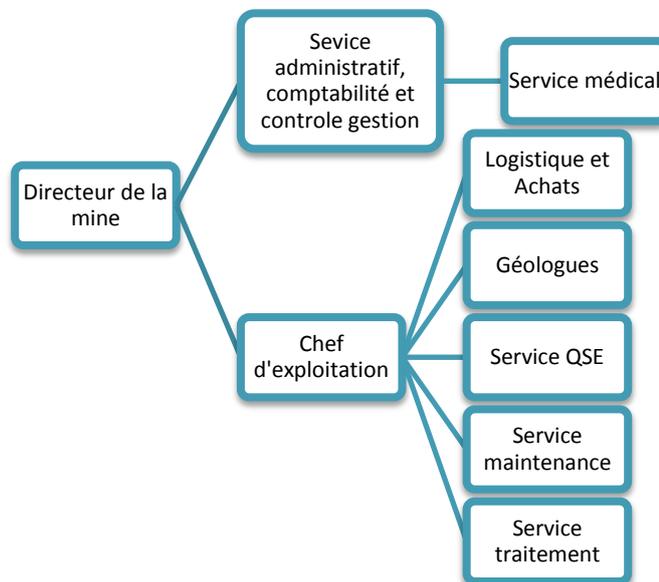


Figure 2: Organigramme de la SAMINE

I.5.3. Processus de production

La production de la fluorine passe par plusieurs étapes tout en commençant par la phase d'extraction et se terminant par une phase de filtration et de transport vers le stock du produit fini. Il existe en fait six étapes comme suit :

L'extraction : au fond, la matière première est extraite à l'aide des engins de technologie moderne qui sert à réaliser des trous, de 45 mm de diamètre et de 2 m de longueur, où on installe des explosifs pour bombarder les blocs contenant les minerais. Les blocs ainsi obtenus sont transportés, soit à l'aide des engins baptisés les MICROSCOOP ou les WAGNER, soit à l'aide des convoyeurs vers le concasseur primaire.

Le concassage primaire : les blocs arrivés au concasseur subissent des écrasements afin de réduire la taille du minerai et la rendre exploitable. Après concassage primaire, le minerai obtenu est transporté vers le concasseur secondaire, par les camions pour les zones d'extraction qui sont loin de l'usine, et par les convoyeurs pour les zones proches de l'usine.

Le concassage secondaire : les morceaux arrivés au concasseur secondaire subissent des fragmentations pour les rendre faciles à l'exploitation. Les fragments obtenus après concassage secondaire sont de dimensions inférieures à 10 mm

Le broyage : les fragments transportés du concasseur secondaire vers le broyeur via les bandes transporteuses s'écrasent davantage et acquièrent une affinité de grain inférieure à 200 µm.

La flottation : la section de flottation comporte sept cellules. A la sortie de chaque cellule, on obtient un pourcentage donné du concentré. Après avoir été introduit dans le circuit de flottation, le minerai broyé subit un conditionnement dans un ballon appelé conditionneur. Dans ce ballon, on fait mélanger le minerai, l'eau et des réactifs permettant à la fois de séparer la fluorine des impuretés et d'avoir une qualité souhaitée.

La filtration : lorsque le concentré passe par la dernière cellule de flottation où il a acquis la concentration consignée par le service qualité, il est devenu donc prêt à être stocké mais reste à séparer le concentré de la quantité d'eau qui y est contenue. C'est pour cette raison qu'une section de filtration est primordiale.

Le processus est illustré dans la figure ci-dessous :

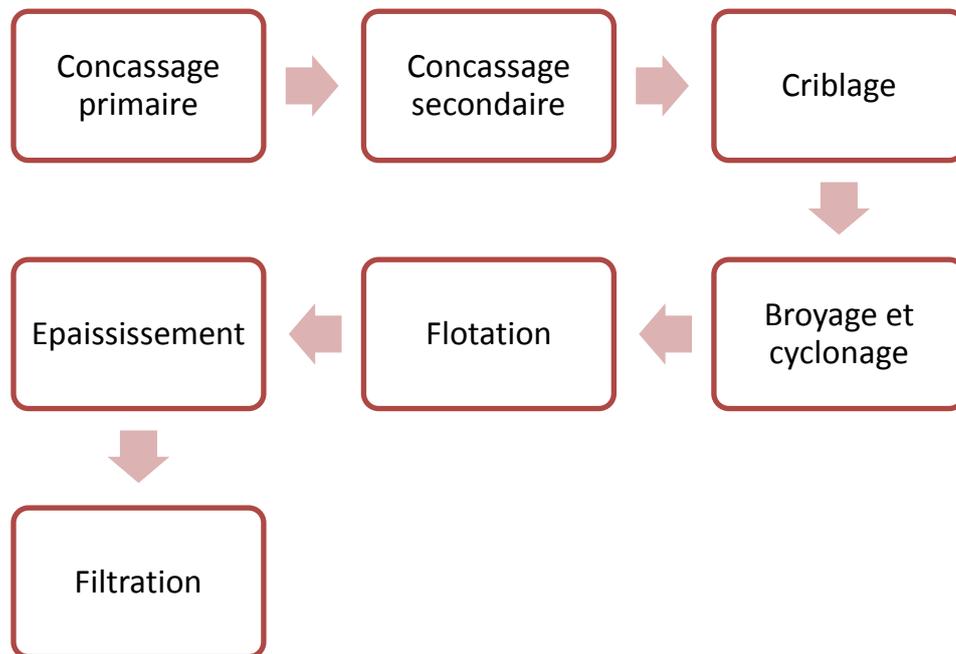


Figure 3 : Processus d'exploitation de fluorine

I.6. Domaine d'utilisation de la fluorine et qualités demandées

Les principaux domaines d'utilisation de la fluorine sont :

- La métallurgie : utilisée comme fondant pour les laitiers ;
- L'utilisation chimique : fabrication d'acide fluorhydrique et de fluorure ;
- Les industries céramiques : utilisées comme fondant.
-

A ces trois marchés correspondent des spécifications différentes :

La qualité chimique n'est pratiquement demandée que sous forme de concentrés de flottation dont la granularité doit répondre aux exigences suivantes :

Moins 800 μ m : 98% mini

Moins 300 μ m : 90% mini

Moins 160 μ m : 70% mini

Moins 80 μ m : 45% mini

II. Situation de la mine El Hammam

II.1. Situation géographique de la mine El Hammam

La mine El Hammam est Située à 50 km à vol d'oiseau au SW de Meknès (Fig.4). Les coordonnées GPS de la mine sont: Latitude : N 33° 10' 26.241", Longitude : W 5° 28' 16.4202", altitude : 700 m.

C'est une zone forestière, caractérisée par un relief accentué dont l'altitude varie entre 540m (oued Beht) et 1200m (crête de Jbel Achemeche) et un réseau hydrographique dense qui dessine des talwegs et des vallées dont les principales sont celles de l'oued Beht et l'oued Boutoukret [document interne].

L'Accès à la Mine se fait par deux voies :

- La route goudronnée reliant Meknès à la mine en passant par un village Ras Gerry.
- La piste carrossable reliant Agourai à la mine en passant par Achemeche (Fig.4).

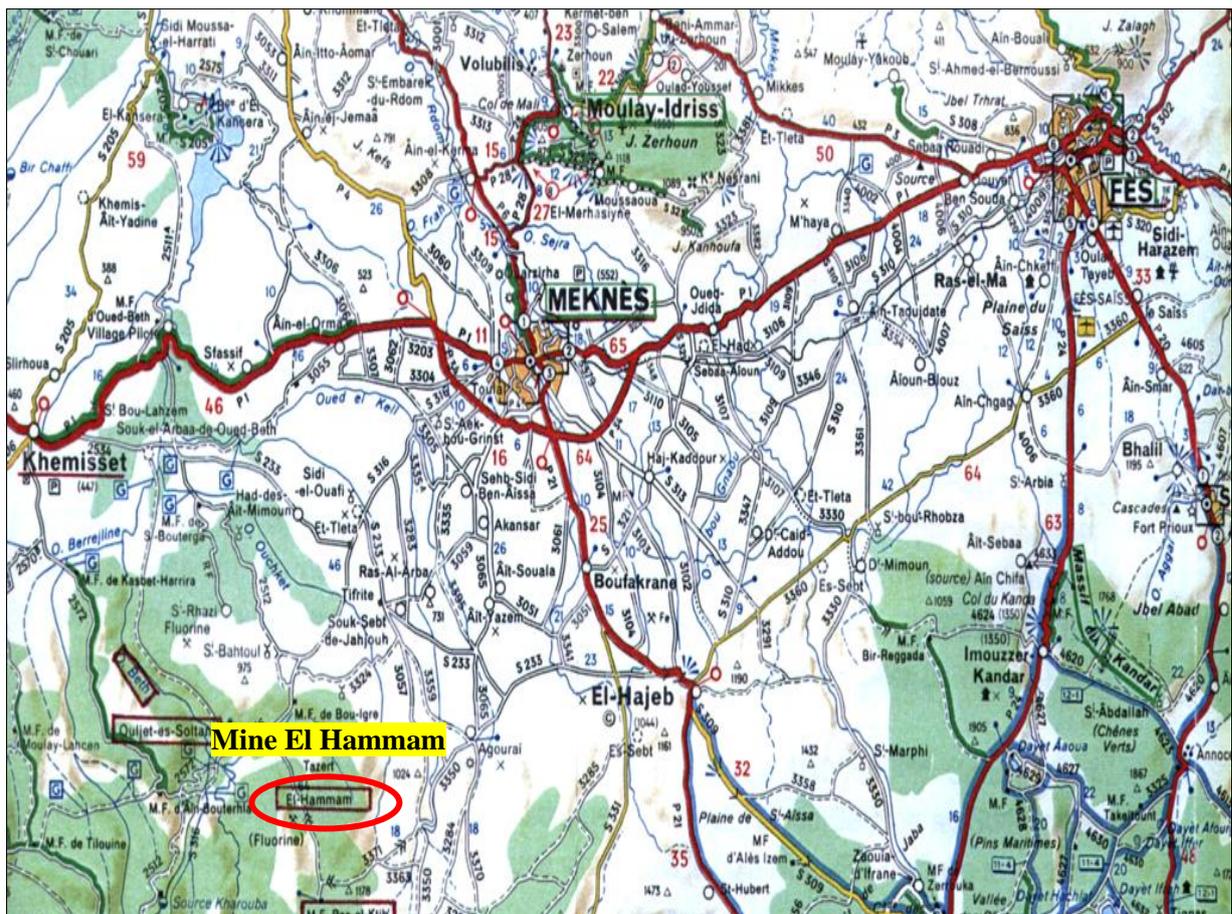


Figure 4: Carte de situation de la mine d'El Hammam (extrait de la carte topographique au 1/50000 de Meknès)

II.2. Cadre géologique

La mine El Hammam est située dans la partie septentrionale du massif paléozoïque du Maroc central, à l'extrémité Nord-est de la zone synclinal de Fouhal-Telt et la zone anticlinoriale de Khouribga- Oulmès. La région très accidentée, appartient au massif du Maroc Central (Fig. 5).

Le gisement de la mine El Hammam est encaissé dans un synclinal d'âge Viséen supérieur caractérisé par les formations schisto-gréseuses conglomératiques calcitiques [document interne]. Ces formations sont recoupées par des intrusions magmatiques ainsi que par le granite d'Achemache qui affleure au SW du district au niveau de l'Oued Beht et qui a laissé une empreinte de métamorphisme de contact de grande ampleur (Fig. 5).

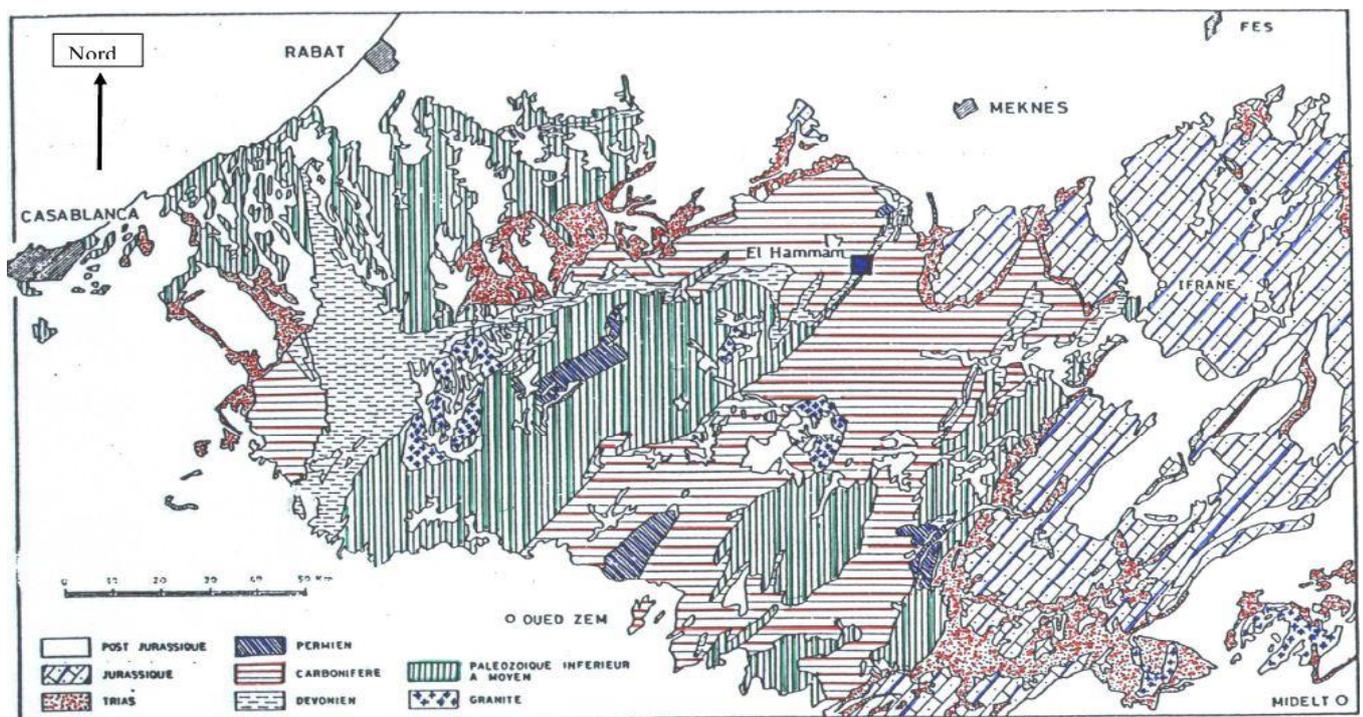


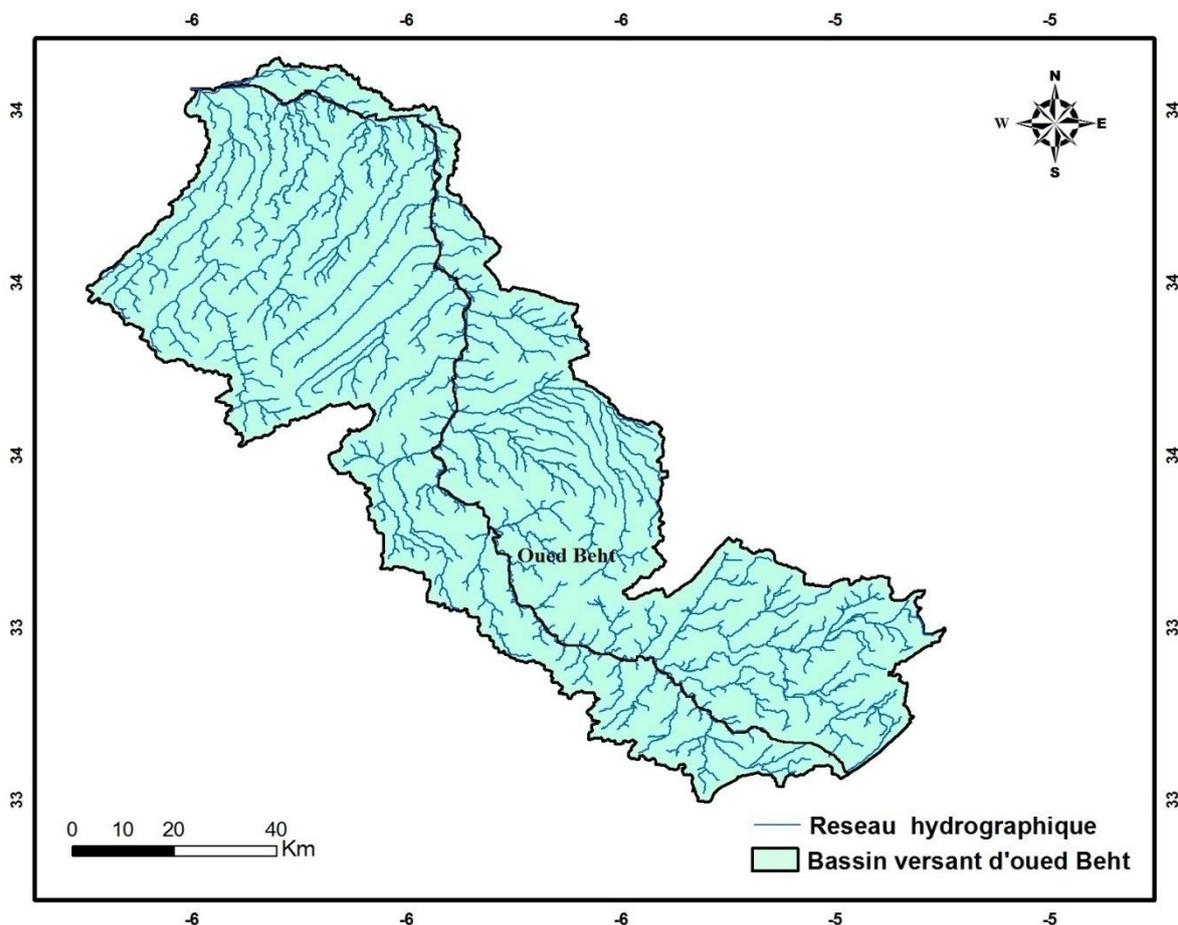
Figure 5: Carte géologique simplifiée du Maroc central

Le minéral exploité au gisement El Hammam est la Fluorine. Les principaux filons à fluorine sont encaissés au mur d'un grand accident régional : la faille d'El -Hammam, qui est de direction NE-SW. Elle se présente cartographiquement en couloir discontinu d'extension kilométrique et d'épaisseur variant de 0 à quelques dizaines de mètres et affecte longitudinalement et profondément le synclinal Viséen de la mine [document interne]. La minéralisation se présente sous forme de séries de lentilles de puissance variant de 2 à 12 m et longues de 70 à 100 m.

II.3. Données hydrologiques

L'oued Beht, affluent de la rive gauche de l'oued Sebou, est un cours d'eau pérenne et relativement puissant caractérisé par un réseau hydrographique dense qui dessine des talwegs et des vallées; il prend naissance du Moyen Atlas. Le long de sa traversée, il reçoit successivement les oueds Kharouba, Bouaachouch, El Kell, Ouchkat, Berrajline, D'kor et Chébil. Ces oueds ne sont pas en général tous pérennes et ne coulent en l'occurrence que durant les périodes pluvieuses (Sahili et Makhokhi, 1987).

Les apports moyens annuels de l'oued Beht sont de l'ordre de 410 Mm³. La variabilité importante des débits est la principale caractéristique du régime de tous les oueds du Maroc, et en l'occurrence celle de l'oued Beht où le débit varie de 0,1 m³s⁻¹ à plus de 130 m³s⁻¹ (Administration de l'Hydraulique, 1991).



Cet oued représente la seule source d'alimentation en eau destinée à la potabilisation, pour répondre aux besoins de la mine El Hammam en eau potable.

II.4. Données climatiques

Par sa position, la mine El Hammam jouit d'un climat de type méditerranéen. Le climat résulte de l'importance respective des influences atlantique, méditerranéenne et continentale saharienne. La pluviométrie moyenne ne dépasse pas 700 mm, avec des variations entre 400 mm sur les vallées encaissées du Haut Beht et 1000 mm sur le Moyen Atlas. Les pluies sont mal réparties dans l'année et très irrégulières d'une année à l'autre. Elles sont rares de mai à octobre.

Les températures moyennes annuelles dans le bassin oscillent entre 16 °C et 19. Les températures estivales sont élevées. Les mois les plus chauds sont juillet et août avec des maxima moyens de 34 à 36 °C et les mois les plus froids sont décembre, janvier et février. La moyenne des minima est de 3 à 7 °C (Administration de l'Hydraulique 1991).

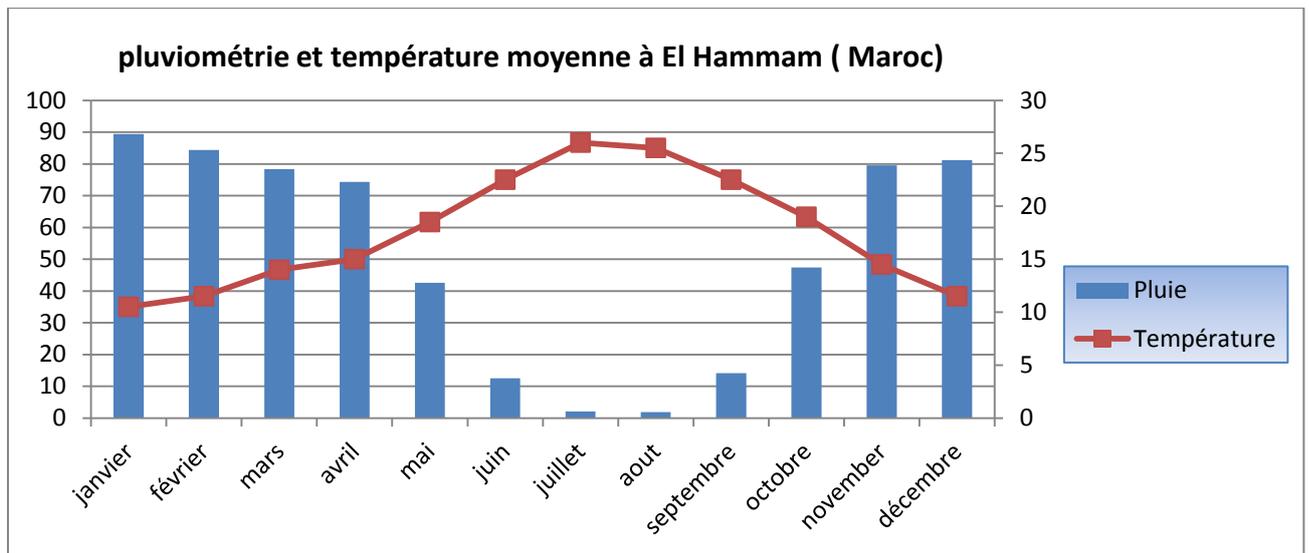


Figure 7: pluviométrie et température moyenne à El Hammam année 2013

Partie II : généralités sur la réglementation sur l'eau, qualité, méthode de potabilisation des eaux de surface

I. Aspects réglementaires

I.1. La loi N° 10-95 sur l'eau

L'eau est une ressource naturelle à la base de la vie et une denrée essentielle à la majeure partie des activités économiques de l'homme.

Elle est également rare et constitue en fait une ressource dont la disponibilité est marquée par une irrégularité prononcée dans le temps et dans l'espace. Elle est enfin fortement vulnérable aux effets négatifs des activités humaines.

Les nécessités du développement social et économique imposent de recourir à l'aménagement de l'eau pour satisfaire les besoins des populations. Ces besoins sont eux-mêmes en continuelle croissance, souvent concurrentiels, voire contradictoires, ce qui rend le processus de gestion de l'eau fort complexe et de mise en œuvre difficile.

Pour faire face à cette situation, il est indispensable de disposer notamment d'instruments juridiques efficaces, en vue d'organiser la répartition et le contrôle de l'utilisation des ressources en eau et d'en assurer également la protection et la conservation.

La loi 10-95 sur l'eau adoptée en août 1995 constitue un progrès indéniable et apporte, dans un texte unificateur, le cadre général de gestion, de conservation et de protection tant quantitative que qualitative de la ressource en eau.

La loi sur l'eau a modifié les modalités de gestion des ressources en eau et organise les instances de décision et de gestion qui ont pour mission de coordonner les actions publiques sectorielles en la matière. Elle introduit la protection de la qualité de l'eau et de nouvelles priorités stratégiques.

Les principes fondamentaux de cette Loi sont principalement :

- la domanialité publique de l'eau,
- l'adoption du principe préleveur-payeur et pollueur-payeur,
- l'unicité de la gestion de l'eau,
- la reconnaissance de la valeur sociale, économique et environnementale de l'eau, la solidarité entre usagers, entre secteurs et entre régions,
- la concertation dans la gestion de l'eau.

La loi 10-95 sur l'eau se base sur des principes en relation avec la qualité de l'eau. Elle vise les objectifs suivants :

- La protection et la conservation des ressources en eau ;
- La protection de la santé de l'Homme par la réglementation de l'exploitation, de la distribution et de la vente des eaux à usage alimentaire ;
- La réglementation des activités susceptibles de polluer les ressources en eau.

I.2. Normes de qualité des eaux

I.2.1. Normes marocaines de la qualité des eaux de surface

En application des dispositions de la loi n° 10-95 sur l'eau (article 51) et ses textes d'application notamment le décret n° 2-97-787 du 4 février 1997 relatif aux normes de qualité et à l'inventaire du degré de pollution des eaux, plusieurs normes de qualité des eaux ont été préparés fixant les exigences auxquelles un milieu doit satisfaire selon les différents usages, parmi lesquels ont élaborer des normes de qualité des eaux de superficielle utilisées pour la production de l'eau potable.

Arrêté conjoint n° 1277-01 du 17 octobre 2002 portant des normes de qualité des eaux superficielle utilisés pour la production de l'eau potable. L'objectif essentiel de cette norme est de définir la qualité des eaux superficielle destinées à la production de l'eau potable et les modes de traitements correspondant à chaque catégorie (ANNEXE1).

I.2.2. Normes marocaines de la qualité des eaux potable

Afin de définir précisément une eau potable, la loi exige des normes qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau.

Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

Selon ces normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée, il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables ou de toxiques, comme les nitrates et les

phosphates, les métaux lourds, ou encore les hydrocarbures et les pesticides pour lesquelles des " concentrations maximales admissibles " ont été définies.

À l'inverse, la présence de certaines substances peut être jugée nécessaire comme les oligo-éléments indispensables à l'organisme.

En pratique, les normes de potabilité couvrent un très grand nombre de paramètres, pour chacun d'eaux, on parle de :

- la valeur maximale admissible : qui ne doit être jamais dépassée.
- la valeur maximale recommandée : en deçà de laquelle, on considère que c'est satisfaisant.
- la valeur minimale requise : qui doit être toujours dépassée.

Les normes Marocaines sont conformes à celles arrêtées par l'OMS. (ANNEXE 1).

II. LA QUALITE ET LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

II.1. INTRODUCTION

La potabilisation des eaux est l'ensemble des techniques qui consistent à purifier l'eau afin de produire de l'eau potable à partir des eaux naturelles. Le traitement nécessaire dépend fortement de la qualité de la ressource. Il varie aussi avec le niveau d'exigence et les normes appliquées qui sont différentes suivant les pays.

Une eau est dite potable quand elle satisfait à un certain nombre de caractéristiques la rendant propre à la consommation humaine. Les standards de référence dans ce domaine diffèrent selon les époques et les pays.

- la qualité organoleptique (couleur, turbidité, odeur, saveur) ;
- certains paramètres physico-chimiques naturels (température, pH, chlorures, sulfates, etc.) ;
- des substances dites indésirables (nitrates, nitrites, pesticides, etc.) ;
- des substances toxiques (arsenic, cadmium, plomb, hydrocarbures, etc.) ;
- des paramètres microbiologiques (l'eau ne doit pas contenir d'organismes pathogènes, dont coliformes fécaux).

II.2. Les paramètres de la qualité des eaux

II.2.1. 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, peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution.

II.2.1.1. Turbidité

La turbidité de l'eau vient de la présence de diverses matières en suspension telles que les argiles, limon, matière organique et minérale en fines particules, et les planctons. Les matières en suspension sont définies comme étant l'ensemble du matériel particulaire entraîné passivement dans l'eau (vivant ou détritique, minérale ou organique). La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée.

Cette turbidité doit être éliminée pour améliorer l'aspect esthétique de l'eau de consommation mais aussi pour permettre une désinfection efficace et éviter les dépôts dans l'usine ou dans le réseau. En effet, les MES peuvent servir de support aux microorganismes qui seront ainsi partiellement protégés de l'action des désinfectants et qui pourront ensuite se développer dans les réseaux et entraîner des problèmes sanitaires (Franck, 2002).

II.2.1.2. La couleur

Les eaux naturelles sont toujours plus ou moins colorées, leur couleur varie du jaune paille à peine perceptible au brun rougeâtre, selon la nature et la concentration des matières colorantes. Ces matières sont le plus souvent d'origine naturelle et proviennent de la dégradation de matières végétales, ainsi que présence des minéraux naturels comme le fer et le manganèse. De même que les composés organiques et inorganiques provenant d'effluents industriels et des ruissèlements des terres agricoles. Le degré de couleur dépend aussi du pH et de la turbidité (Ronald, 2003).

II.2.1.3. Goût et odeur

L'odeur peut être définie comme étant l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

Le goût est défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçues lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche (Rodier, 1996).

La saveur et l'odeur anormales sont causées par la présence dans l'eau des matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales, de résidus agricoles, de rejets urbains ou industriels et les métabolites de certains microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques, et aussi certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau (Franck, 2002).

Dans le cas d'une eau potable, l'apparition ou le changement de goût et d'odeur peuvent être signe d'activité microbienne et de lacune dans le traitement ou de contamination dans le réseau de distribution. Par ailleurs, une eau traitée peut avoir un goût plus prononcé qu'une eau non potable du fait du chlore résiduel (Rodier, 1996).

II.2.2. Les paramètres en relation avec la structure de l'eau

Ce sont ceux qui font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.

II.2.2.1. La température

La température joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels etc... Pour l'eau potable, la température maximale acceptable est de 15°C.

Dans les eaux naturelles et au-dessus de 15°C, il y a risque de croissance accélérée de microorganismes, d'algues, entraînant des goûts et des odeurs désagréables ainsi qu'une augmentation de la couleur et de la turbidité (Beaudry, 1984).

La température est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux qu'elles soient souterraines ou superficielles, les eaux souterraines gardent généralement une fraîcheur constante, mais la température des eaux de surface varie selon plusieurs facteurs, saisonniers et autres (Philippo, Pommery et Thomas, 1981).

II.2.2.2. La dureté

La dureté ou titre hydrotimétrique correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium. Elle est directement liée à la nature des terrains traversés.

Ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques. Dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté:

- **dureté totale** : somme des concentrations en calcium et magnésium.
- **dureté calcique** : concentration globale en calcium.
- **dureté magnésienne** : concentration globale en magnésium.

II.2.2.3. Le pH

Le pH correspond, pour une solution diluée, à la concentration d'ions d'hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans : Les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité), Les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites des pH, L'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration), Les mécanismes de la coagulation (Rodier, 1996).

II.2.2.4. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate appelé souvent bicarbonates (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{-2}) et hydroxyde (OH^-).

Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH :

- **alcalinité au virage du rouge de méthyle** : elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{-2} et OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet TAC.

- **alcalinité au point de virage de la phénophtaléine** (alcalinité composite) : elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{-2} . Cette alcalinité composite est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8.3. L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique TA (Ronald, 2003).

II.2.2.5. La conductivité

La conductivité, caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature. Les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité. Elle varie avec la température (Rodier, 1996).

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de

1cm. La conductivité électrique s'exprime en microsiemens/cm La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée (Franck, 2002).

II.2.2.6. Sodium et potassium

Le sodium et le potassium les 6^{ème} et 7^{ème} éléments les plus abondants à l'état naturel est en proportions très variables. Aucune norme ne limite la concentration en sodium (ou en potassium) dans les eaux potables (Potelon et Zyman, 1998).

Le potassium, beaucoup moins abondant que le sodium, et rarement présent dans l'eau à des teneurs supérieures à 20 mg/l. Il ne représente aucun inconvénient particulier bien que le potassium soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau (Tardat, Beaury, 1984).

II.2.2.7. Les chlorures

L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. Ainsi, les eaux provenant des régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent d'avantage (Valiron, 1989).

D'ailleurs, la teneur en chlorures augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau (Rodier, 1996).

II.2.2.8. Les sulfates

Les eaux naturelles contiennent pratiquement des sulfates, en proportion très variables. Leur présence résulte de la solubilité des sulfates de calcium des roches gypseuses et de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches (les pyrites par exemple) (Philippo, Pommery et Thomas, 1981).

II.2.3. Les paramètres indésirables

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en

ammonium, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer (Tardat , Beaury, 1984).

Le fer (Fe) et le manganèse (Mn) sont des éléments métalliques présents dans des nombreux types de roche. Ces deux éléments sont également fréquents dans l'eau et sont indispensables, en petites quantités, à tous les organismes vivants.

Le fer et le manganèse sont souvent présents à l'état naturel ensemble. Les sources les plus fréquentes de fer et de manganèse dans l'eau sont naturelles, il peut s'agir par exemple de l'altération météorique des minéraux et des roches qui en contiennent, comme les amphiboles, les micas ferromagnésiennes, les sulfures de fer, les magnétites, les oxydes, les carbonates, ainsi que les minéraux d'argile ferrugineuse (Rodier,1996).

Le fer et le manganèse sont souvent présents à l'état naturel dans les régions où l'eau coule à travers des sols riches en matières organiques. Les sources artificielles sont les suivantes : cuvelage des puits, canalisations, pompes, réservoirs, et autres objets faits en fonte ou en acier pouvant être en contact avec de l'eau (Potelon,1998).

Le Cu ou le Zn présentent peu d'inconvénients, du moins lorsque les concentrations sont faibles. D'autres comme le cadmium, le chrome, le mercure, le plomb ou le sélénium ont un caractère toxique marqué et leurs concentrations maximales acceptables dans l'eau potable sont très faibles (Valiron, 1989).

II.2.4. Les paramètres toxiques

Une pollution industrielle du captage, ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds : chrome, cadmium, nickel...) ainsi que de substances telles que les cyanures, ou des molécules organiques présentant une action d'inhibition des mécanismes biologiques.

II.2.5. Les caractéristiques biologiques

L'eau potable ne doit contenir aucun microorganisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution par excréments. Le principal indicateur bactérien recommandé pour suivre la pollution humaine est constitué par l'ensemble des

microorganismes du groupe coliformes. Une eau qui est porteuse d'un seul *Escherichia Coli* par 100ml devient potentiellement dangereuse. Ce point est important, car le critère de potabilité de l'eau se fixe à partir de la présence ou de l'absence de ces germes témoins. Le tableau ci-dessous présente les différentes maladies transmises par l'eau pour chaque micro-organisme (bactéries, virus et protozoaires) (Kettab 1992, meghzili, 2002).

ORGANISMES	MALADIES	PRINCIPAL SITE ATTEINT
1. Bactéries		
Shigella	Shigelloses (dysenterie bacillaire)	Système gastro-intestinal
Salmonella typhi	Fièvre typhoïde	Intestin
Salmonella cholera	Fièvre entérique	Système gastro-intestinal
Salmonella enteritica	Gastro entérite	Système gastro-intestinal
Escherichia coli	Gastro entérite	Système gastro-intestinal
Vibrio cholerae	Choléra	Intestinal
Francisella tularensis	Tularémie	Système respiratoire foie –rate, ganglions lymphatiques
Leptospirose ictérohaemorrhagiae	Leptospirose	Foie
2. VIRUS		
Poliovirus	Poliomyélite méningite aseptique	Moelle épinière Méningite
Coxsackievirus	Myocardite méningite aseptique – épidémie myalgia	Coeur -muscle
Echovirus	Méningite aseptique gastro-entérite	Méningites- intestin
Adénovirus	Pharyngite	Pharynx
Réovirus	Maladies respiratoires diarrhées	Appareil respiratoire et digestif
Virus A de l'hépatite	Hépatite infectieuse	Foie
Virus gastro-entérique	Gastro-entérite	Système gastro intestinal
3. Protozoaires		
Entamoeba histolytica	Ambiase	Système gastro-intestinal
Naegleria gruberia	Méningite encéphalitique	Système nerveux central
Giardia lamblia		Intestin

Tableau 1: Principales maladies transmises par l'eau (Association Française pour l'étude des eaux : A.F.E.E.1985).

II.3. Processus de potabilisation des eaux de surface

Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement composé de cinq grandes étapes :

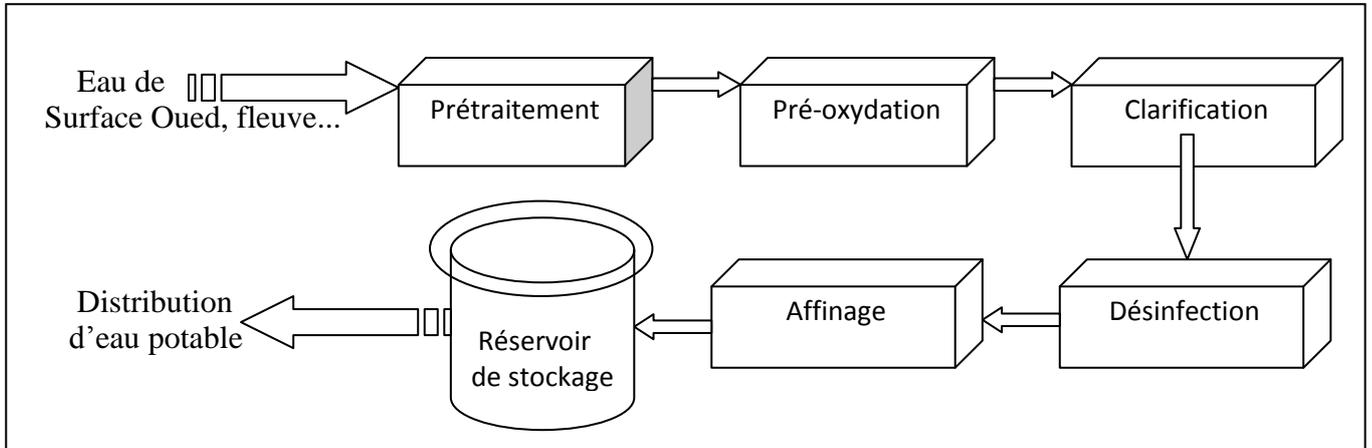


Figure 8: Chaîne de traitement classique d'une station de potabilisation d'eau de surface

II.3.1. Prétraitement

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface (Masson, Canu, Grandvalet, et Lyngaard, 1999). Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de deux types:

- le dégrillage.
- le tamisage.

Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement. Ceci permet également de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution. Le dégrillage est avant tout destiné à l'élimination de gros objets : morceaux de bois, bouteilles, etc.

Le tamisage, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique par exemple.

II.3.2. Pré-oxydation

La pré-chloration, effectuée avant le procédé de clarification, consiste à oxyder la charge organique et surtout l'ammoniaque, fer, et manganèse en solution cette étape peut se faire avec du chlore, dioxyde de chlore, l'ozone ou le permanganate de potassium.

Le chlore est le réactif le plus économique, mais il a comme inconvénient, la formation avec certains micropolluants des composés organochlorés du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables (Masson, Canu, Grandvalet, et Lyngaard, 1999).

le dioxyde de chlore qui coûte plus cher mais n'a pas les inconvénients de l'oxydation par le chlore cités ci-dessus. Ce type de traitement est cependant réservé à des cas spécifiques. En effet, l'utilisation du dioxyde de chlore présente, lui aussi, des inconvénients non négligeables. Premièrement, il est sans effet sur l'ammonium. Deuxièmement, le dioxyde de chlore dans l'eau se décompose à la lumière, ce qui entraîne une augmentation importante du taux de traitement à appliquer en période d'ensoleillement.

L'utilisation de l'ozone comme pré-oxydant a l'avantage de détruire les matières organiques en cassant les chaînes moléculaires existantes. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulation) dans le procédé de clarification.

Le permanganate de potassium est utilisé fréquemment pour oxyder le fer et le manganèse dans les usines de traitement d'eau de consommation. Après dosage, l'eau traitée est passée dans des filtres.

II.3.3. Clarification

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organiques. La clarification comprend les opérations de coagulation-floculation, de décantation et de filtration.

II.3.3.1. Coagulation-Floculation

L'opération de coagulation-floculation a donc pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de flocons par absorption et agrégation (Valiron, 1998). Les flocons ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent donc en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution.

La coagulation consiste en la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants. Le procédé nécessite une agitation importante.

Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût (Fiessinger, 1976).

La floculation est le phénomène de formation de flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes déchargés dans un réseau tridimensionnel). On utilise, pour ce faire, des floculants ou adjuvants de floculation. Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente (VIigouret, 1985).

Les floculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique de synthèse (Valiron,1998).

Le pH est un des paramètres qui affecte beaucoup plus la coagulation-floculation. Son contrôle est donc conseillé. Selon les caractéristiques d'une eau, il existe un pH optimal permettant la meilleure coagulation Ce pH se situe souvent dans la plage où la solubilité du coagulant utilisé est minimale, ce qui donne une meilleure précipitation. Le contrôle du pH permet aussi d'améliorer la coagulation lorsque la température de l'eau est faible. En cas d'utilisation de sulfate d'alumine comme coagulant le pH optimum est situé entre 6 et 7,4 (Hubert, 2011).

II.3.3.2. Décantation

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des 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 impérieuse du phénomène de coagulation-floculation (Degremont, 1989).

Une fois le flocculant est injecté et mélangé à l'eau, cette dernière est dirigée vers les bassins de sédimentation aussi appelés décanteurs. Ce sont de gros bassins avec un temps de rétention assez élevé pour permettre aux flocons qui formaient la turbidité et la couleur de couler au fond du bassin et de s'accumuler pour former de la boue qui devra être régulièrement extraite pour prévenir les accumulations. L'eau sera ensuite acheminée vers les filtres qui enlèveront les plus petites particules qui n'auront pas sédimenté ou décanté lors de l'étape précédente.

II.3.3.4. Filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée) au fur à mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elle se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement (Degremont, 1989).

Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique. Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage (Kemmer, 1984).

Il existe divers types de filtration :

- Filtration sur sable
- Filtration sur charbon actif (affinage)
- Filtration sur membrane
 - Microfiltration
 - Ultrafiltration
 - Nano-filtration

A. Filtration sur sable

La filtration est employée dans le traitement de l'eau et le traitement des eaux résiduaires comme procédé de séparation, qui enlève très bien les particules inorganiques et organiques de l'eau. Les filtres de sable sont employés souvent dans le traitement de l'eau pour enlever les particules fines, qui ne peuvent pas être économiquement enlevées par sédimentation. La filtration de sable est une forme de filtration moyenne granulaire, dans laquelle le milieu de filtrage se compose du matériel granulaire tel que le sable, l'antracite, le charbon actif ou d'autres grains. Les applications principales dans le traitement de l'eau sont filtration rapide sur sable et filtration lente (Adin, Baumann, et Cleasby, 1979).

L'espace intergranulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent

fortement. Il faut alors déclencher le rétrolavage. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité (Adin, Baumann, et Cleasby, 1979).

Tout filtre est composé de trois parties. On retrouve le fond, le gravier support et le matériau filtrant. Le premier élément doit être solide pour supporter le poids de l'eau, du sable et du gravier. Il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée.

Le gravier a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre.

Le lavage des filtres est réalisé en inversant le sens d'écoulement de l'eau. C'est pourquoi cette opération est souvent appelée : rétrolavage. Le sable est mis en expansion et les impuretés, moins denses que les grains de sable, sont décollés par les phénomènes de frottement intergranulaires. La vitesse de l'eau de lavage à contre-courant est limitée du fait des pertes possibles de matériau. On injecte donc de l'air pour augmenter les turbulences afin de décoller efficacement les particules de flocs fixées sur les grains (Huisman et Wood, 1974).

La figure suivante résume l'action de la filtration sur la qualité de l'eau livrée aux Consommateurs (Fig.9).

<i>PARAMETRES DE LA QUALITE DE L'EAU</i>	<i>EFFET D'EPURATION DE LA LFILTRATION LENTE SUR SABLE</i>
Couleur	Réduction de 30 à 100%
Turbidité	La turbidité est généralement réduite jusqu'à moins 1 UNT
Coliformes fécaux	Réduction de 95 à 100% et souvent de 99 à 100%
Cercaires	Elimination presque complète des cercaires de schistosomes, cystes et oeufs
Virus	Elimination complète
Matières organiques	Réduction de 60 à 75%
Fer et manganèse	Elimination en grande partie
Fers lourds	Réduction de 30 à 95%

Figure 9: Rendement de filtres lents sur sable (Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement / IRC, 1991, La filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau potable, document technique n°24, La Hague)

Il existe plusieurs types des filtres à sable a savoir :

- Les filtres à sable rapides : conçus à recevoir l'eau après coagulation et décantation, leur vitesse de filtration varie de 2 à 15 m/h.
- Les filtres à sable semi-rapides
- Les filtres à sable lents : basées sur des phénomènes biologiques permettant la transformation de la matière organique, ces filtres fonctionnent avec une vitesse de filtration de l'ordre de 0,5 à 15 m/j (Charles, 1967).

Ainsi les mécanismes qui interviennent lors du déplacement des particules de l'eau pendant la filtration dans le sable sont discutés ci-dessous, (Adin, Baumann, et Cleasby, 1979).

✓ **Tension mécanique**

Les filtres granulaires enlèvent les particules qui sont beaucoup plus petites que les dimensions des interstices entre leurs grains. Bien qu'il doive y avoir un certain effet mécanique, il explique seulement une partie mineure de l'action d'un filtre. Un filtre granulaire est capable de capturer les particules très fines, même en l'absence des particules assez grandes pour jeter un pont sur les interstices.

✓ **Adsorption**

L'adsorption des particules des impuretés sur le lit fixe (c'est-à-dire, les particules fines collent à un grain de matériel de filtre ou aux impuretés précédemment déposées et adsorbées) est un facteur important dans la filtration réussie par des médias poreux. L'adsorption est un processus dont l'efficacité dépend des propriétés extérieures de la matrice adsorbante et des petites particules qui sont adsorbées.

La méthode d'attachement des particules est semblable au processus de la floculation. Une petite particule dans la grande proximité à une surface pleine est sujet à l'attraction électrique ou à la répulsion et à l'attraction provoquée par des forces de van der Waals.

✓ **Transport**

Il y a trois mécanismes principaux par lesquels des particules sont transportées en contact avec la matrice de filtre : interception, sédimentation et la diffusion.

B. Filtration sur membrane

Afin de répondre à la sévérité croissante des normes, aux volumes toujours plus grands d'eau à traiter, et à la pollution grandissante des réserves, d'importants efforts de recherche ont été consentis au cours des dernières décennies. Les études portent notamment sur les procédés de traitement des eaux ainsi que sur les techniques d'analyse et la mise au point d'instruments de surveillance automatique.

De nouvelles techniques, très performantes ont ainsi pu voir récemment le jour. Ces techniques dites de séparation par membranes constituent une mini-révolution dans le domaine du traitement de l'eau. Leur principe consiste non plus à éliminer chimiquement les micropolluants mais à les extraire physiquement. Elles présentent en effet le très gros avantage de n'utiliser aucun réactif chimique, sauf pour leur entretien. Très fiables, elles permettent de traiter des eaux très polluées et de produire une eau très pure, sans goût désagréables ni mauvaises odeurs, et de qualité constante, quelles que soient les variations de qualité de l'eau à traiter. Le seul inconvénient de ces nouveaux traitements est leur coût élevé (Degremon, 1989) Le principe d'action de ces membranes est simple puisqu'il consiste ni plus ni moins en un filtrage mécanique on distingue :

✓ Microfiltration

C'est une technique de séparation sur membrane dans laquelle les particules ou autres matières en suspension, dont la dimension particulaire est comprise entre 0,1 et 0,5 microns, sont séparées du liquide. Elle permet d'éliminer la matière en suspension, les bactéries ou d'autres impuretés. La taille nominale des pores d'une membrane micro filtrant est de 0,2 microns.

Les membranes de microfiltration sont fabriquées selon plusieurs principes. Plusieurs couches de membranes sont enroulées en spirale autour d'un tuyau central amenant l'eau à traiter. Les configurations comptent quelques milliers de fibres fines et creuses, elles-mêmes faites du matériau de la membrane.

✓ Ultrafiltration

L'eau à traiter passe à travers une membrane constituée de milliers de très fines fibres percées d'une multitude de pores microscopiques 0,01µm. l'eau circule sous pression à travers les pores de la membrane et élimine les particules en suspension (molécules organiques, bactéries, virus).

✓ Nano-filtration

La nano-filtration à le même principe que l'ultrafiltration, mais cette technique diffère par la dimension des pores qui sont encore plus petites, de l'ordre de 0,001µm. le passage par les pores sous pression permet la rétention des polluants dissous (biologiques, organiques, minéraux). Le seul inconvénient de cette technique c'est que l'eau produite est tellement pure qu'il est nécessaire de la reminéraliser.

II.3.4. Désinfection

Le but de la désinfection est d'éliminer tous micro-organismes pathogènes présents dans l'eau et maintenir le chlore résiduel dans les conduites afin d'empêcher le développement de maladies hydriques. Divers agents désinfectants peuvent être utilisés tels que le chlore et ses dérivées, l'ozone, peroxyde (eau oxygénée), les rayons ultra-violets. Mais le chlore est l'agent le plus utilisé comme désinfectant (biocides) final, avant refoulement de l'eau dans le réseau ; il permet d'achever la désinfection de l'eau et de protéger le réseau contre les développements bactériens vu son effet rémanent (Desjardins, 1997).

Le Dioxyde de chlore peut être aussi utilisé, c'est un biocide efficace à partir de concentrations faible: 0,1ppm et pour une large gamme de pH. Le ClO_2 pénètre à l'intérieure de la bactérie et réagit avec les acides aminés essentiels dans le cytoplasme de la cellule pour tuer l'organisation. Le sous-produit de cette réaction est le chlorite. Les études toxicologiques ont montré que ce sous-produit ne présente pas de risque significatif pour la santé (Mouchet, 1991).

II.3.5. Affinage

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation-floculation.

Cet affinage est réalisé par le phénomène d'adsorption, généralement sur du charbon actif. Celui-ci est mis en œuvre soit en poudre au cours de la floculation et sera par la suite évacué avec la boue, soit sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable (Degremon, 1989).

CHAPITRE II : Circuit et bilan global de l'eau industrielle de la mine El Hammam

II.1. Circuit d'eau industrielle de la mine El Hammam

Au niveau de la mine El Hammam, il existe deux types d'eaux :

- Eau destinée à usage industrielle. (issue du bassin bas)
- Eau destinée à la consommation humaine. (issue du bassin haut)

Et pour pouvoir en bénéficier au maximum et éviter tout type de perte et de gaspillage, la construction des deux bassins réservoirs d'eau a été nécessaire.

II.1.1. Bassin bas

Le bassin bas est situé exactement en amont de l'usine de traitement du minerai. Il contient un mélange d'eau composée d'eau d'oued Boutoukret, d'eau de la digue recyclée riche en produits chimiques utilisés lors du traitement de la fluorine et une partie d'eau du bassin haut.

Le bassin bas assure l'alimentation de l'usine de traitement du minerai en eau.

II.1.2. Circuit d'eau de l'usine de traitement

Les eaux utilisées dans le traitement de la fluorine proviennent du bassin bas par écoulement gravitaire, directement par les conduites reliant ce dernier à l'usine. Ces eaux se mélangent avec les eaux du quatrième épaisseur (Épaisseur de stockage de l'eau situé au niveau de l'usine du minerai qui collecte les eaux issues des autres épaisseurs) qui sont pompées pour augmenter le débit et la pression des eaux pour qu'elles puissent arriver au niveau des différentes cellules de traitement (broyage, flottation, relevage).

Chaque étape de traitement libère des écumes et des rejets formés des eaux et de la charge solide. Ces résidus sont drainés vers la digue où un flocculant est ajouté afin d'accélérer la décantation et libérer le maximum d'eau que possible. Une goulotte placée au pied de la digue est alimenté par les eaux d'infiltration, sert à combler le besoin de la digue en eau, elle sert aussi à diluer les eaux des rejets de l'usine.

Les eaux récupérées au niveau de la digue s'évacuent à travers des capteurs visant l'infiltration des eaux de la surface qui ne contiennent presque pas de matière en suspension. Les conduites des capteurs se regroupent dans une conduite qui alimente une grande goulotte. Une fois la goulotte est pleine, l'eau est pompée vers le bassin bas.

II .1.3. Bassin haut

Le bassin haut est situé en amont du bassin bas, est alimenté en grande partie par les eaux qui proviennent d'oued Beht, et les eaux d'oued Boutoukret en faible quantité. Il est divisé en deux parties, une partie où sont stockées les eaux destinées à la potabilisation, et une partie qui constitue le réservoir des eaux destinées au bassin bas et aux autres divers usages. Généralement Les eaux stockées au niveau du bassin haut servent à :

- Fournir de l'eau qui sera traitée et destinée à la consommation humaine.
- L'alimentation du bassin bas en cas de surcharge (trop plein).
- L'alimentation de la filière de concassage et l'ensemble des ateliers jour et l'usine.
- Fournir une réserve d'eau qui sera utilisée en cas d'incendie.

Le flow-sheet des bassins et de la digue est présenté ci-dessous (Fig.10).

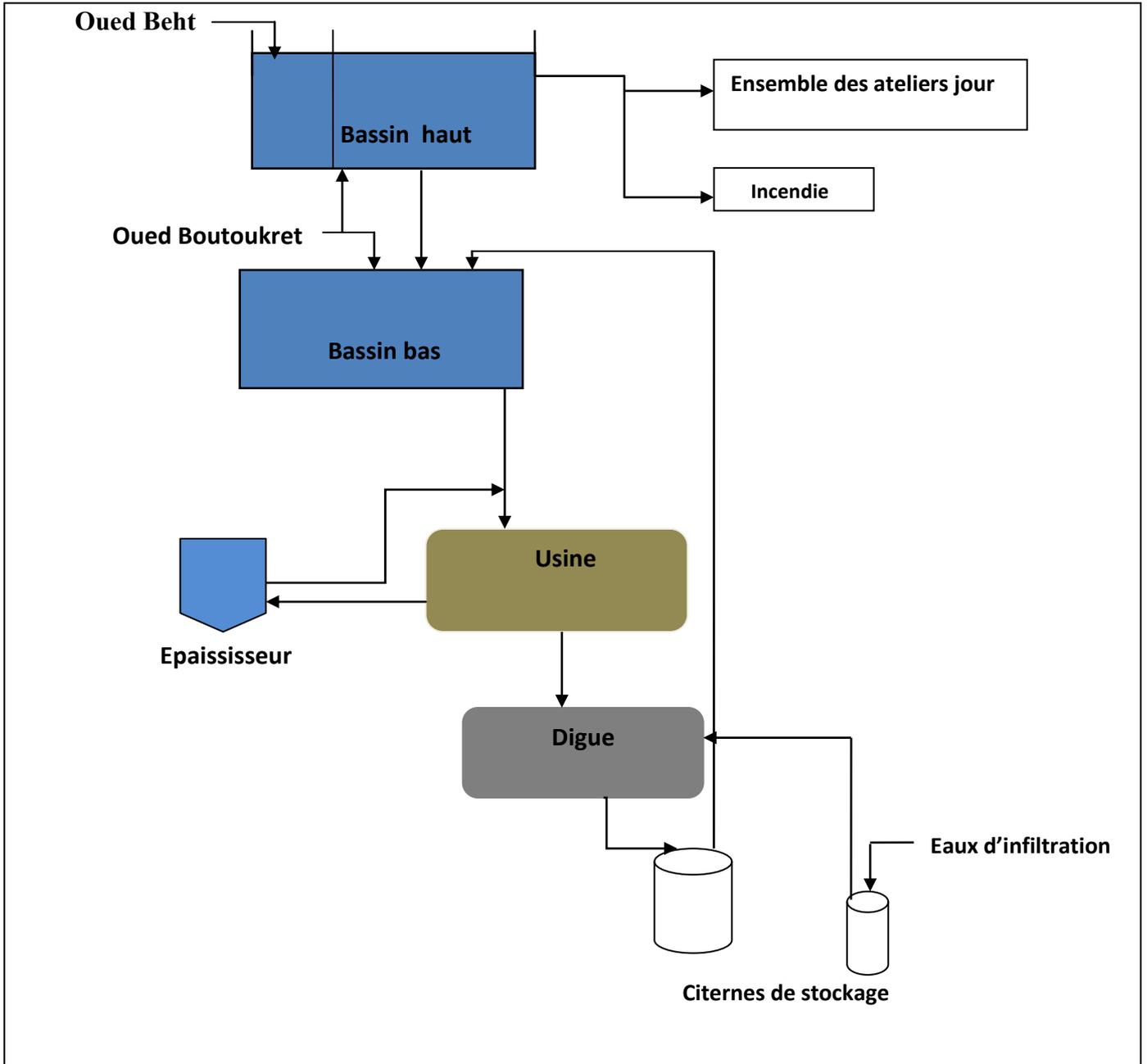


Figure 10: Flow-sheet du circuit des bassins et de la digue

II.2. Bilan global de l'eau au niveau de la mine El Hammam

La détermination du bilan global de l'eau au niveau de la mine, nécessite la mesure des divers débits entrants et sortants au niveau des différentes unités de la mine.

Pour faire ce suivi, on a entrepris par dessiner des flow-sheets qui illustrent le circuit d'eau, les différentes entrées et sorties des eaux. Ensuite, on a mesuré manuellement les différents débits des pompes de la manière suivante :

- Pour calculer le débit entrant, on ferme les différentes sorties, puis on mesure le volume d'eau ajoutée pour une période déterminée.

- Pour calculer le débit refoulé, on ferme les différentes entrées, puis on mesure le volume d'eau refoulé pour une période choisie.

Certains débits sont déterminés à partir des données enregistrés sur les compteurs des pompes.

Le débit est calculé selon la relation suivante: $Q = \frac{V}{t}$

Avec :

Q : le débit volumique moyen en m³/h
 V : le volume ajouté ou refoulé en m³
 t : la durée de la mesure en h

Les mesures des débits ont pour objectif d'établir le bilan de chaque unité afin de calculer le taux de recyclage des eaux de la digue et la composition des eaux entrantes à l'usine et de l'eau de la digue.

Le tableau ci-dessous résume les différents débits mesurés manuellement :

les points de mesures	Le débit (m ³ /h)
Débit d'Oued Beht	48
Débit d'oued boutoukret	25
Débit d'eau alimentant le bassin bas à partir du bassin haut	9
Débit de la pompe à vide	6
débit d'eau de la digue vers le bassin bas	131
Débit d'eau à l'entrée de l'usine	165
Débit d'eau à la sortie de l'usine	144
Débit d'eau d'infiltration	38
Débit d'eau destinée à la potabilisation	30m ³ /h pendant 8h → débit effectif de 10 m ³ /h
Divers (atelier, incendie, concassage)	28

Tableau 2: les différents débits mesurés au niveau de la mine El Hammam

Toutes les valeurs utilisées dans les calculs qui vont suivre sont des débits moyens en (m³/h).

II.2.1. Bilan du bassin haut

Le bassin haut reçoit un mélange d'eaux venant d'oued Beht, et d'oued Boutoukret, ces deux sources constituent les eaux entrées au bassin haut.

- Entrée = débit d'oued Beht + débit d'oued Boutoukret (discontinue)
= 48+25
= 73 m³/h

Le bassin haut assure l'alimentation en eaux des diverses unités, chacune avec un débit différent comme suit :

- Sortie = débit de traitement Eau Potable + débit du Bassin Bas + débit pompe à vide + divers
= 30+9+6+28
= 73 m³/h

Divers : concassage + ateliers + incendie

II.2.2. Bilan du bassin bas

Le bassin bas reçoit un mélange d'eaux venant du bassin haut, de la digue après décantation et d'Oued Boutoukret

- Entrée = débit du Bassin Haut + débit de la Digue + débit d'Oued Boutoukret (discontinue)
= 9+131+25
= 165 m³/h

Le bassin bas est le réservoir principal d'eau industrielle recyclée utilisée pour le traitement de la fluorine.

- Sortie = Usine
= 165 m³/h

II.2.3. Bilan global de l'usine

L'eau de l'usine utilisée dans le traitement du minerai provient exclusivement du Bassin Bas, ainsi :

- Entrée = débit du Bassin Bas
= 165 m³/h

Une partie de l'eau qui sort de l'usine se trouve dans le Concentré Fluorine et l'autre partie (chargé de produit chimique) va vers la Digue pour le recyclage. Ainsi :

- Sortie = débit d'eau dans le Concentré Fluorine + débit Digue

II.2.3.1. Calcul du débit d'eau dans le concentré fluorine

La formule suivante permette de calculer le débit d'eau dans le Concentré Fluorine :

Le débit d'eau dans le Concentré Fluorine = [Quantité produite/h*son taux d'humidité en %]

Sachant que :

- Le taux d'humidité du Concentré Fluorine est de 9%.
- Le débit massique du concentré produit est de 12 t/h.

Alors :

$$\text{Débit d'eau dans le Concentré Fluorine} = \frac{12 * 9}{100} = 1,08 \text{ m}^3/\text{h}$$

II.2.3.2. Calcul du débit digue

Le débit de la digue correspond au rejet de l'usine, il est calculé à partir de la formule suivante :

$$m_{\text{pulpe}} = m_{\text{solide}} + m_{\text{eau}}$$

$$C_s = \frac{m_{\text{solide}}}{m_{\text{pulpe}}}$$

$$C_s = \frac{[d_s * (d_p - 1)]}{[d_p * (d_s - 1)]}$$

m_{solide} : débit massique du solide (t/h).

m_{pulpe} : débit massique de la pulpe (t/h).

m_{eau} : débit massique de l'eau (t/h).

C_s : concentration de solide dans la pulpe.

d_s : densité du solide.

d_p : densité de la pulpe.

Q_{eau} : débit volumique (m^3/h).

Données :

$$d_{p \text{ rejet}} = 1,13 \quad d_{s \text{ rejet}} = 2,7$$

pour déterminer le débit du rejet de l'usine, on commence par le calcul de la concentration solide dans la pulpe C_s ce qui donne une valeur de :

$$C_s = 0,181$$

Après il est indispensable de calculer le débit massique du rejet solide ce qui nous sera par la suite utile pour le calcul du débit massique de la pulpe. La valeur du débit massique du solide est :

$$\begin{aligned}
m_{\text{solide}} &= \text{Tout Venant} - \text{Concentré Fluorine} \\
&= 44 - 12 \\
m_{\text{solide}} &= 32 \text{ t/h}
\end{aligned}$$

le débit massique de la pulpe est :

$$m_{\text{pulpe}} = \frac{m_{\text{solide}}}{C_s} = 176,07 \text{ t/h}$$

donc le débit d'eau de la digue est :

$$m_{\text{pulpe}} = m_{\text{solide}} + m_{\text{eau}}$$

$$m_{\text{eau}} = m_{\text{pulpe}} - m_{\text{solide}}$$

$$m_{\text{eau}} = Q_{\text{eau}} = 176,07 - 32 = 144,07 \text{ m}^3/\text{h}$$

donc la sortie du bilan de l'usine est :

$$\begin{aligned}
* \text{ Sortie} &= \text{débit d'eau dans le Concentré Fluorine} + \text{débit Digue} \\
&= 1,08 + 144,07 \\
&= 145,15 \text{ m}^3/\text{h}
\end{aligned}$$

La différence entre l'entrée et la sortie au niveau de l'usine est expliquée par le manque de quelques débits qu'on ne peut pas mesurer ces débits sont : la quantité d'eau stockée dans l'épaisseur, la quantité d'eau utilisée pour la préparation des réactifs utilisés lors de la flottation et la quantité l'eau utilisée pour le lavage des filtres (filtration finale de la fluorine).

II.2.4. Bilan de la digue

Les eaux qui rentrent dans la digue correspondent aux eaux d'infiltration et à celles provenant de l'usine :

- Entrée = débit des eaux d'infiltrations + débit de l'usine
 $= 38 + 145,15$
 $= 183,15 \text{ m}^3/\text{h}$

La quantité d'eau refoulée vers le bassin bas constitue la seule sortie des eaux de la digue

- Sortie = débit du Bassin Bas
 $= 131 \text{ m}^3/\text{h}$

Ces différents calculs nous à permet d'illustré flow-sheet générale de la circulation de l'eau au niveau de la mine El Hammam (Fig. 11).

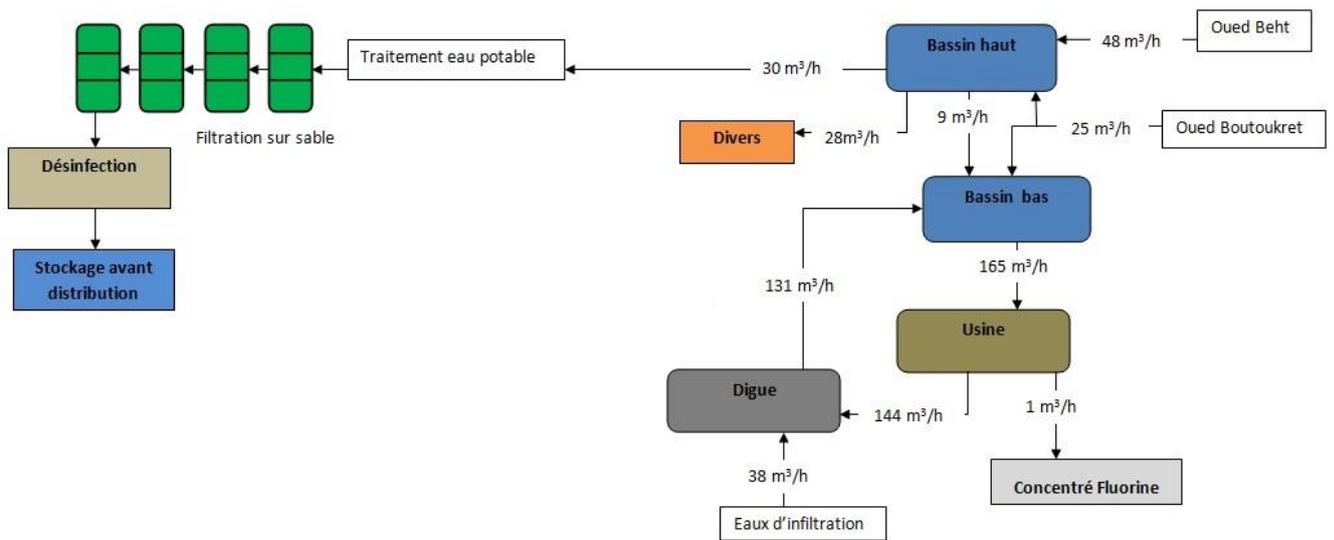


Figure 11: Flow-Sheet générale de la circulation d'eau au niveau de la mine El Hammam (Ayt Ougougdal, 2014)

Le tableau présent résume les bilans d'entrées et des sorties calculés :

Unité	Le débit entrant (m ³ /h)	Le débit sortant (m ³ /h)
Bassin haut	73	73
Bassin bas	165	165
L'usine	165	144,15
La digue	182,15	131

Tableau 3: tableau récapitulatif des bilans des unités

L'élaboration du bilan de global de la mine, nous a permis de calculer le taux de recyclage des eaux de la digue de la manière suivante :

Rendement des recyclages des eaux de la digue :

$$R = \frac{\text{Sortie}}{\text{Entrée}} * 100$$

$$R = \frac{131}{182,15} * 100$$

$$R = 72\%$$

Le rendement des recyclages des eaux de la digue calculé est de 72%.

II.2.5. Composition de l'eau

L'eau de l'usine est composée de plusieurs flux :

- Digue : 79%
- Oued Boutoukret : 15%
- Bassin haut : 6%

En d'autres termes, 79% des eaux utilisées pour le traitement de minerai sont des eaux recyclées au niveau de la digue, et 21% des eaux sont des eaux naturelle provenant d'oued Beht 15% et du bassin haut 6%.

L'eau de la digue est composée des pourcentages suivants:

- Eaux des rejets de l'usine : 79%
- Eaux d'infiltrations : 21%

Donc le suivi du circuit d'eau de la mine El Hammam nous a permis de déterminer les différents débits d'eau industrielle entrants et sortants dont la société en a besoin au niveau de chaque unité de la mine.

En plus, le suivi du circuit d'eau industrielle nous a permis de déterminer le taux du recyclage des eaux de la digue, qui est de l'ordre de 72%. C'est une contribution importante dans la réduction de l'utilisation des eaux fraîches dans l'industrie qui a un impact considérable dans la préservation des ressources hydriques.

CHAPITRE III : Analyses des eaux potables et diagnostic du procédé de traitement

III.1. Description et fonctionnement des ouvrages de la station

III.1.1. Introduction

La station du pré- traitement d'eau de la mine El Hammam a été construite le 22/02/1992 par la société SAMINE pour mettre de l'eau potable à la disposition des personnels pour lesquels l'entreprise a bâti des cites pour le logement et d'autre infrastructures (garderies, popote, mosquée, infirmerie, piscine, etc.), ont été aménagés pour subvenir aux besoins des personnels.

L'eau brute est captée au niveau d'oued Beht par une pompe de refoulement émergée, avec une capacité de pompage estimée à 50 m³/h. Le prétraitement se fait au niveau d'oued Beht, et le traitement final au niveau de la mine El Hammam.

III.1.2. Prétraitement au niveau de la source (Oued Beht)

III.1.2.1. Dessablage

L'eau pompée à partir d'oued Beht, est refoulée en premier lieu vers l'ouvrage d'arrivée appelé « dessableur».

L'opération de dessablage a pour fonction d'enlever les matières abrasives, (sables et autres particules lourds) qui pourraient endommager les équipements mécaniques de traitement et embourber les canaux et les bassins. La séparation est obtenue par décantation.

Le bas du dessableur est muni d'une purge qui permet l'extraction du sable décanté afin d'éviter son accumulation (Fig.12).

III.1.2.2. Coagulation-floculation

Après le dessablage, la coagulation et la floculation est faite à ce niveau par l'ajout des réactifs chimiques, les réactifs ajoutés sont :

- Le Chlore (auparavant)
- Sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$
- Flocculant

Les réactifs sont préparés au sein d'une salle de préparation, dans des bassins de préparation (1 seul bassin pour chaque réactif), la quantité des réactifs injectée dépend de la qualité d'eau pompée de la source. (Quantité plus élevée lors des périodes des crues).

Le mélange d'eau et les réactifs ajoutés sont réalisés au niveau d'un bassin divisé en deux parties, dont la première partie est le lieu de contact d'eau arrivée du dessableur et le

coagulant ajouté, sulfate d'alumine. Le mélange est agité de manière à favoriser la déstabilisation des particules colloïdales.

Après l'eau passe au niveau de la deuxième partie du bassin où le flocculant est injecté pour favoriser la formation et le grossissement des floccs, sous l'effet d'une agitation lente. Les floccs seront ensuite décantés et éliminés à l'aide d'une purge (Fig.12).

III.1.2.3. Décantation

La station est pourvue d'un seul décanteur de type lamellaire, formé par des plaques juxtaposées et inclinées par rapport au plan horizontal et disposées parallèlement afin d'augmenter la surface de décantation. Les lamelles sont disposées de manière oblique de sorte à permettre le glissement des matières sédimentées vers le fond du décanteur. Son principe de fonctionnement est la séparation solide-liquide à contre-courant (l'eau remonte le long des lames du bas vers le haut tandis que les particules plus denses que l'eau descendent vers le bas).

Ultérieurement l'eau est récupérée à la surface du bassin par des conduites percées de petits trous assurant le passage d'eau limpide. L'eau est ensuite acheminée vers un bassin de stockage avant d'être refoulée à l'aide d'une pompe vers le bassin haut près de l'usine (Fig.12).

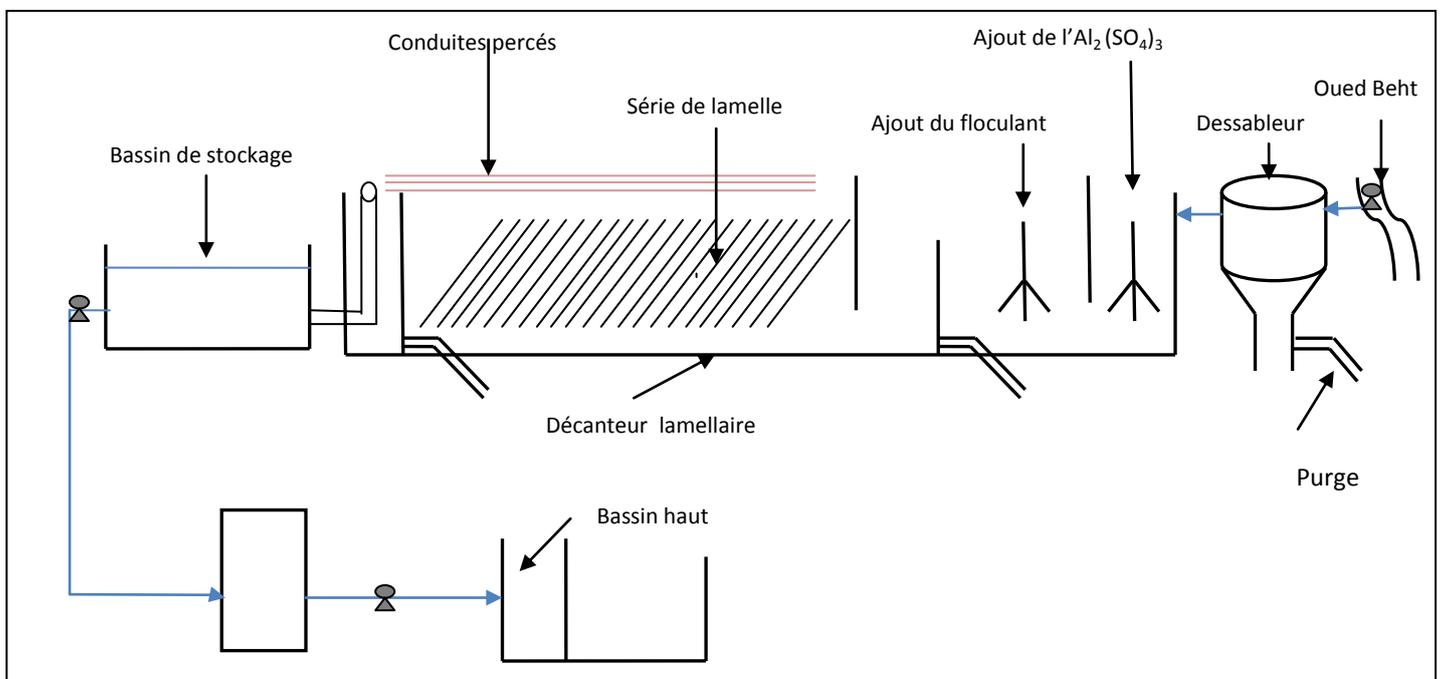


Figure 12: schéma du circuit de prétraitement d'eau potable au niveau d'Oued Beht

III.1.3. Traitement au niveau de la mine EL Hammam

III.1.3.1. Filtration sur sable

Après le prétraitement, l'eau est refoulée vers le bassin haut, ensuite elle est acheminée par gravité vers un réservoir.

Ce dernier alimente directement les filtres à sables mises en place, ces filtres sont de type sous pression avec un lit filtrant monocouche composé de sable disposé sur une couche de gravier qui joue le rôle d'un support.

Afin d'éviter le colmatage des filtres, le lavage de sable s'effectue selon les étapes suivantes :

- L'arrêt de la filtration.
- L'injection de l'eau dans le sens contraire de la filtration.

La filtration sur sable a été adaptée depuis 1970 au niveau de la mine El Hammam pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine, même avant la création de la station de prétraitement.

III.1.3.2. Désinfection

La désinfection de l'eau est réalisée juste après sa sortie des filtres, par l'ajout d'eau de javel (hypochlorite de sodium) 18 degrés diluée à 5%, à l'aide d'une pompe doseuse. La mesure de taux de chlore dans l'eau se fait par un réactif qui permet une détermination rapide de la concentration du désinfectant, par comparaison de la couleur obtenue par rapport aux autres couleurs référentielles.(Fig13)

III.1.3.3. Stockage d'eau potable

Une citerne de stockage d'eau primaire est située exactement sous les filtres. La citerne a le rôle d'alimenter les infrastructures les plus proches (direction, usine, les sociétés sous-traitantes) en eau potable destinée à la consommation humaine, et en même temps pomper l'eau potable à l'aide de deux pompes vers deux bassins de stockage. Un bassin alimente la mine El Hammam et l'autre alimente la mosquée le village Bergamo situé d'environ 3 km de la mine EL Hammam. Ces bassins sont liés avec des conduites qui permettent le passage de l'eau de l'un à l'autre selon les nécessités et les conditions. (Fig13)

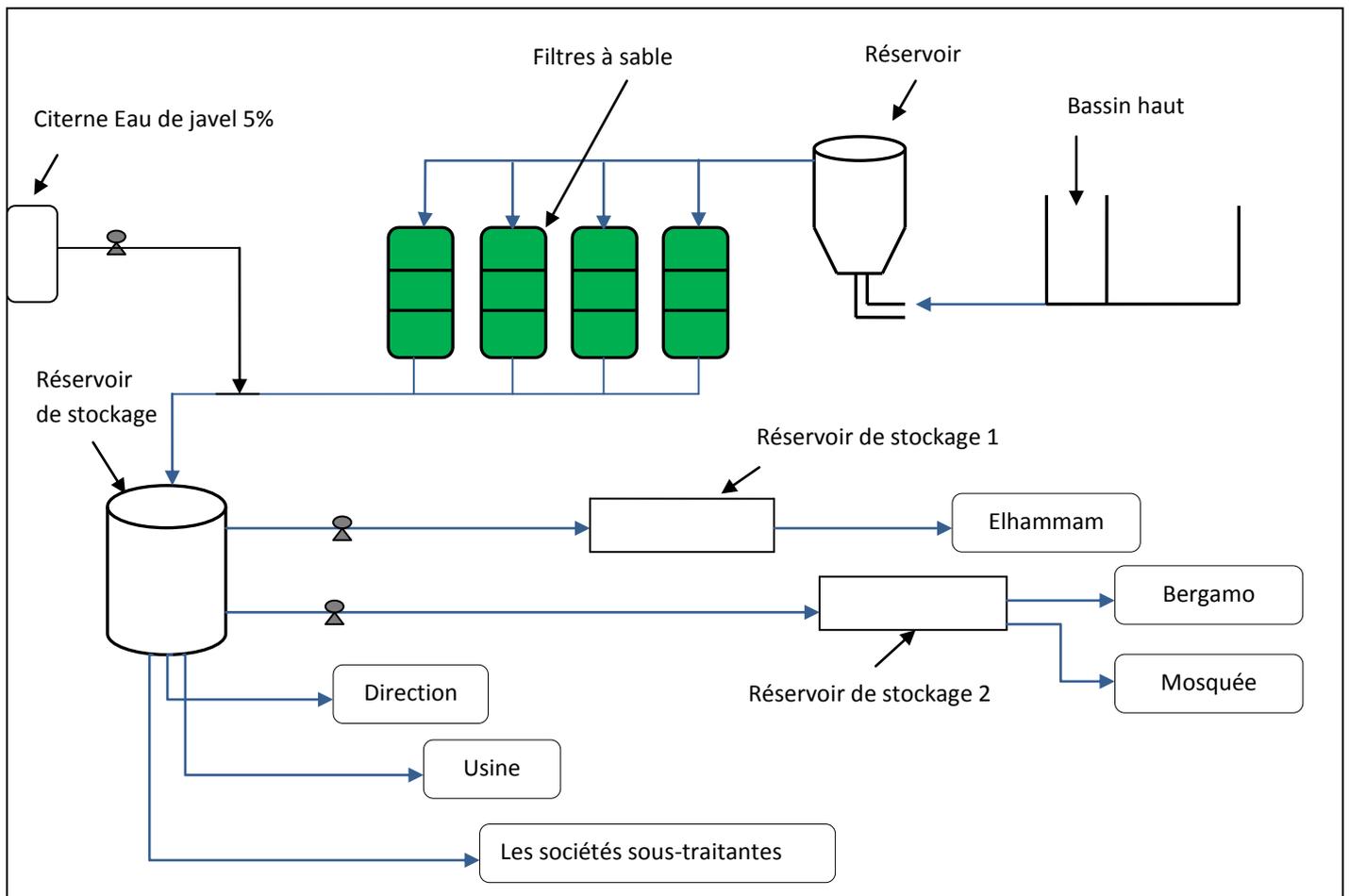


Figure 13: Schéma du circuit de traitement d'eau potable au niveau du bassin haut

Les dimensions des ouvrages de traitement de l'eau de la station de la mine El Hammam sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Nature	nombre	Hauteur (m)	Longueur (m)	Largeur (m)
Bassin de coagulation	1	5,3	3,5	3
Bassin de floculation	1	5,3	1,5	1,5
Bassin de décantation	1	5,3	9	3,5
Filtre à sable	4	1,60	Diamètre 1,11	
Réservoir de stockage - Réservoir de stockage1 - Réservoir de stockage2	2	2 2	13 15	10 10

Tableau 4: Dimensions des ouvrages de la station

Les photos des ouvrages de la station de traitement d'eau sont regroupées dans l'ANNEXE 2.

III.2. Analyse de la qualité des eaux brutes et potables

III.2 .1. Introduction

La qualité chimique de l'eau est l'ensemble des caractéristiques générales de l'eau et des concentrations de minéraux dissous dans l'eau. Elle dépend des types de matériaux présents dans le sol et du temps de contact de l'eau avec ces matériaux. Le terme technique qui désigne les éléments à analyser est « paramètres ».

Faire le diagnostic du procédé de potabilisation de l'eau à la mine El Hammam revient à déterminer les qualités physico-chimiques et bactériologiques des eaux traitées par ce procédé et à vérifier leur conformité avec les normes.

Des caractéristiques non conformes vont permettre de révéler les points de défaillance du procédé.

Deux échantillons d'eau ont été retenus pour les analyses physico-chimiques. Le premier échantillon est une eau d'oued Beht (eau non traitée), le deuxième est une eau potable prélevée à la sortie de la station (eau traitée).

Les analyses bactériologiques traitées sont fournies par la SAMINE.

III.2.2 Méthodologies des analyses

Les analyses ont été effectuées au sein de deux laboratoires :

- Laboratoire de la société WATERLEAU de la station d'épuration des eaux usées de Marrakech.
- Laboratoire de chimie des matériaux et de l'environnement situé au sein de la faculté des sciences et techniques de Marrakech.

Ces analyses ont été élaborées suivant différentes méthodes :

- Analyses par spectrophotomètre des sulfates.
- Analyses par titrage pour l'alcalinité.
- Les paramètres physico-chimiques et certains métaux lourds sont analysés on utilisant des kits LCK. Chaque kit contient des réactifs permettant de déterminer la valeur d'un seul paramètre par spectrophotomètre Modèle DR/3900 commercialisée par Hach Lange (ANNEXE3).

III.2.2.1. Analyse par spectrophotomètre des sulfates

A. Principe du spectrophotomètre

Un spectrophotomètre (colorimètre) est un appareil qui permet de faire passer de la lumière blanche (toutes les longueurs d'onde) à travers une solution et de mesurer l'intensité de lumière transmise en fonction de la longueur d'onde.

B. Mode opératoire et résultats

Les solutions utilisées pour tracer la courbe d'étalonnage sont :

- Solution de HCl (1/10)
- Solution de toluène 20 à 25%
- Solution de chlorure de Baryum stabilisée $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Solution étalon de sulfates de Sodium NaSO_4

Pour élaborer la courbe d'étalonnage on prépare dans sept fioles jaugées un essai témoin dont les volumes en NaSO_4 (solution d'étalon), sont : 0, 1, 3, 5, 7, 9 et 10. Et on complète avec de l'eau distillée jusqu'au 50 ml, Puis on ajoute 1 ml de HCl, 5 ml de BaCl_2 stabilisé, une agitation de la solution est nécessaire. Les concentrations calculées par les dilutions successives sont 0, 3, 9, 15, 21, 27, 30 (mg/l), par la suite on mesure pour chaque solution préparée son absorbance à une longueur d'onde : $\lambda = 650\text{nm}$. Le tableau 5 indique les volumes utilisés pour préparer la solution étalon. Ainsi le tableau 6 représente les résultats d'absorbance obtenues par spectrophotomètre.

Numéro de fioles	T	I	II	III	IV	V	VI
Solution étalon de NaSO_4 (ml)	0	1	3	5	7	9	10
Eau distillée (ml)	50	49	47	45	43	41	40
HCl 10% (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Chlorure de baryum stabilisé (ml)	5	5	5	5	5	5	5
concentration (mg/l) de SO_4	0	3	9	15	21	27	30

Tableau 5: Les volumes utilisés pour préparer la solution étalon

Etalonnage		
Echantillon	concentration SO ₄ mg/l	Absorbance
T	0	0
I	3	0,003
II	9	0,015
III	15	0,032
IV	21	0,043
V	27	0,056
VI	30	0,061

Tableau 6: Absorbance de la solution étalonne

La courbe $A = f(c)$ tracée montre qu'elle s'agit d'une droite passant par l'origine avec une pente de 472,6. À partir de la pente de la droite représentée par l'équation : $y = 472.6x + 0.906$ on déduit la concentration 'y' des échantillons dilués.

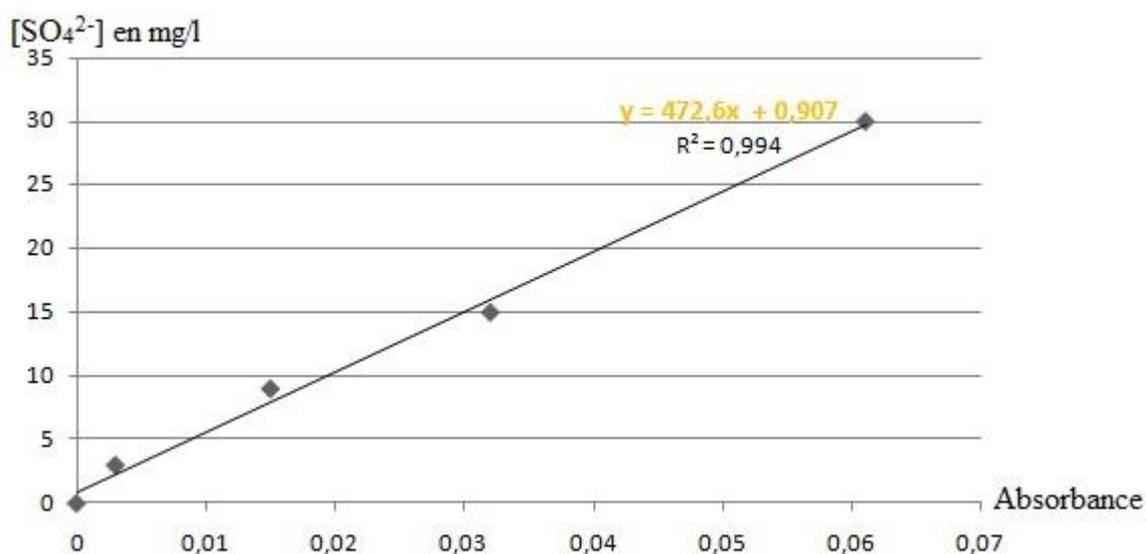


Figure 14: la courbe d'étalonnage obtenue de la solution du sulfate

Pour mesurer les concentrations des deux échantillons étudiés, on prend un volume V_0 de chaque échantillon et en suivant la même norme (NFT 90- 040 Sep 1986) on mesure l'absorbance par spectrophotomètre à la même longueur d'onde utilisé pour l'étalonnage. Ainsi en utilisant la courbe d'étalonnage, on déduit la concentration C_1 pour chaque échantillon dilué et puis on détermine leur concentration en ions sulfates (C_0). Le tableau ci-dessous regroupe les concentrations réelles des échantillons (Tab.7).

Echantillon	V ₁ (ml)	V ₀ (ml)	Absorbance (°A)	C ₁ (mg/l)= Y	C ₀ (mg/l)
Eau potable	50	10	0,007	4,2142	21,0789
Eau d'oued Beht	50	3	0,007	4,2142	70.23

Tableau 7: calcul des concentrations en sulfate

III.2.2.2. Analyse de l'alcalinité par dosage

A. Principe

L'alcalinité se mesure par la neutralisation d'un certain volume d'eau par une solution diluée d'un acide minéral. Le point d'équivalence étant déterminé par des indicateurs colorés ou par la connaissance du pH correspondant au point de virage.

B. Mode opératoire et résultats

L'alcalinité est mesurée en utilisant de l'acide sulfurique. L'acide sulfurique est ajouté à l'échantillon en quantité mesurée jusqu'à ce que les 3 principales formes d'alcalinité (bicarbonate, carbonate et hydroxyde) soient converties en acide carbonique. À un pH de 10, les hydroxydes présents réagissent pour former de l'eau. À un pH de 8,3, les carbonates se transforment en bicarbonates. À un pH de 4,5, il est certain que tous les carbonates et bicarbonates sont convertis en acide carbonique.

La démarche suivie pour l'analyse de nos échantillons est la suivante :

- 1) on prélève 100 ml d'eau à analyser.
- 2) Tout en agitant le récipient, on ajoute des gouttes de l'acide sulfurique 0,4 N.
- 3) Le titrage continu jusqu'à un pH de 4,5.

Pour calculer l'alcalinité, on utilise la formule de la méthode EPA (Environmental Protection Agency, USA) :

$$\text{HCO}_3^- \text{ en mg/l} = \frac{\text{Va} * \text{N} * 61000}{\text{Ve}}$$

Signification:

Va : Volume d'acide sulfurique consommé en ml pour atteindre le pH de 4.5.

N : La concentration de l'acide (normalité) dans notre cas.

Ve : Le volume de l'échantillon.

Echantillon	Concentration en HCO ₃ ⁻ (mg/l)
Eau potable	195
Eau d'oued Beht	244

Tableau 8 : Calcul des concentrations en bicarbonates

III.3. Résultats et interprétation

III.3.1. Eau d'oued Beht

A. Paramètres physico-chimiques

Le tableau suivant résume les résultats des analyses physico-chimiques obtenus pour l'eau d'oued Beht :

Paramètre	Unité	Eau d'oued Beht
pH	-	8,36
Conductivité	µs/cm à 20°	826
Dureté totale (titre hydrotimétrique)	°F	28
Oxygène dissous	Mg O ₂ /l	8,43
Demande chimique en oxygène	Mg O ₂ /l	25
Calcium	mg/l	112
Magnésium	mg/l	67,2
Alcalinité	°F	244
Chlorures	mg/l	72
Sulfates	mg/l	70,23
Nitrates	mg/l	1,16
Nitrites	mg/l	0,2
Ammonium	mg/l	0,4
Bicarbonate	mg/l	244
Potassium	mg/l	23
Sodium	mg/l	60,6
Fer total	mg/l	1,11
Manganèse	mg/l	4,4
Cuivre	mg/l	0,1
Zinc	mg/l	0,23
Arsenic	Mg/l	0,008

Tableau 9: résultats des analyses physico-chimiques d'eau d'oued Beht

B. Paramètres bactériologique

Les résultats des analyses bactériologiques sont collectés au sein de la SAMINE, ils sont regroupés dans l'ANNEXE 4. Les eaux de l'oued sont de bonne qualité du cotés bactériologique, ce qui est révélé par la comparaison des résultats avec la grille des normes nationales des eaux de surface.

C. Interprétation des résultats

L'eau d'oued Beht constitue la seule ressource pour l'approvisionnement en eau potable de la mine El Hammam.

L'eau d'oued Beht montre une alcalinité élevée due essentiellement aux bicarbonates, ainsi qu'une dureté importante peut être expliquée par Le Faciès chimique bicarbonaté calcique magnésienne qui reflète le contexte lithologique du lit de l'oued constitué essentiellement des calcaires et des calcaires dolomitiques (Fig.15).

Les concentrations en éléments chimiques : carbonates, bicarbonates, calcium et magnésium, sont étroitement liées aux processus précipitation/dissolution caractérisant le système calco-carbonique. Le diagramme de piper ci-dessous représente le faciès bicarbonaté calcique magnésienne de l'oued.

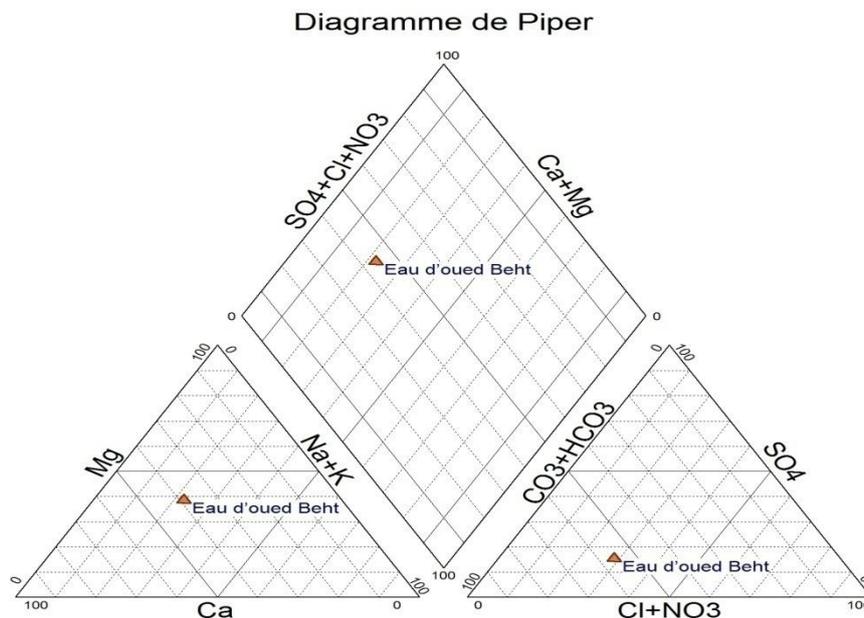


Figure 15: Projection sur le diagramme de piper des analyses d'eau d'oued Beht

On se référant à la grille des normes nationales des eaux de surface posée par la Direction générale de l'hydraulique (ANNEXE 1), les analyses d'eau d'oued Beht montre que cette eau est de bonne qualité pour la plupart des paramètres physico-chimique, substances indésirables, substances toxiques et bactériologique, et de moyenne à mauvaise qualité pour le cuivre, le fer et le manganèse.

Paramètre de qualité	pH	O ₂ dissous (mgO ₂ /l)	DCO (mgO ₂ /l)	NH ⁴⁺ (mg/l)	Cu ²⁺ (mg/l)	Fer total (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)
Excellente	6,5-8,5	>7	<20	<0,1	< 0.02	<0.5	< 0.1
Bonne	6,5-8,5	7-5	20-25	0,1-0,5	0.02-0.05	0.5-1	0.1-0.5
Moyenne	6,5-9,2	5-3	25-40	0,5-2	0.05-1	1-2	0.5-1
Mauvaise	<6,5 ou >9,2	3-1	25-40	2-8	>1	2-5	>1
Très mauvaise	-	<1	>80	>8	-	>5	-

Tableau 10: projection des paramètres physico-chimiques d'oued Beht sur une grille simplifié des eaux des Oueds

D'après l'article 51 de loi n° 10-95 cette eau est classée dans la catégorie A2 (ANNEXE 1), qui nécessite un traitement normal physique, chimique et une désinfection notamment par pré chloration, coagulation. Floculation, décantation, filtration et désinfection (chloration finale) pour qu'elle devienne potable, et c'est la méthode adapter par la SAMINE avant de mettre fin à la préchloration.

III.3.2 Eau traitée

A. Paramètres physico-chimiques

Le tableau suivant résume les résultats des analyses physico-chimiques effectuées pour l'eau traitée :

Paramètre	Unité	Eau traitée	Normes marocaines
pH	-	8,09	6,5-8,5
Conductivité	$\mu\text{s/cm}$ à 20°	782	< 2700
Turbidité	NTU	3,45	< 2
Oxygène dissous	Mg O ₂ /l	7,87	5<O ₂ <8
Dureté totale (titre hydrotimétrique)	°F	27	< 35
Calcium	mg/l	108	-
Magnésium	mg/l	64,8	< 100
Alcalinité	°F	195	-
Chlorures	mg/l	61,1	< 750
Sulfates	mg/l	21,07	< 400
Nitrates	mg/l	0,51	< 50
Nitrites	mg/l	0,02	< 0,5
Ammonium	mg/l	0,11	< 0,5
Bicarbonate	mg/l	195	-
Potassium	mg/l	2,9	< 200
Sodium	mg/l	53,2	-
Fer	mg/l	0,73	< 0,3
Manganèse	mg/l	2,8	< 0,5
Cuivre	mg/l	0,09	< 2
Zinc	mg/l	0,17	< 3
Arsenic	Mg/l	0,002	< 0,01

Tableau 11: résultats des analyses physico-chimiques d'eau traitée

B. Interprétation des résultats

- Paramètres physico-chimiques

Une eau destinée à la consommation humaine doit forcément répondre aux normes de qualité exigées. Les paramètres physico-chimiques de l'eau traitée au niveau de la mine El

Hamмам montre une conformité avec les normes exigées pour la plupart des paramètres physico-chimique.

L'eau de boisson est une eau alcaline avec un pH de l'ordre de 8,09, une telle alcalinité ne présente aucun risque pour la santé de l'homme.

La valeur de la turbidité enregistrée est de l'ordre de 3,45. Cette valeur dépasse la valeur mise par l'organisation mondiale de la santé.

La comparaison des résultats obtenus pour les paramètres indésirables avec les normes marocaines montre une non-conformité d'eau distribuée pour le fer et le manganèse.

Le manganèse et le fer sont des métaux qui se trouvent naturellement dans la roche et dans les eaux naturelles. La présence d'un ou l'autre peut modifier le goût, l'odeur et la couleur de l'eau.

Le manganèse tache les éléments de plomberie et les tissus, il donne mauvais goût aux boissons. Ainsi des récentes études ont observé que le manganèse dissout dans l'eau potable pourrait avoir un impact sur le développement neurologique de l'homme comme une baisse du quotient intellectuel (Bouchard.2011).

le fer peut causer des problèmes dans les réseaux de distribution en y favorisant la croissance de microorganismes.

• Paramètres bactériologiques

Les analyses bactériologiques de l'eau, sont basées sur la recherche des indicateurs de pollution microbiologique. La présence de coliformes fécaux et de coliformes totaux dans l'eau met en évidence une pollution d'origine fécale humaine ou animale, et la présence possible de pathogènes entériques.

Le suivi des prélèvements effectués par la SAMINE sur les unités de distribution de la mine El Hammam met en évidence de façon ponctuelle une non-conformité des eaux distribuées sur les plans bactériologiques (ANNEXE 4). Cette non-conformité est due à la présence des coliformes fécaux et totaux ainsi qu'à la présence des germes aérobies, anaérobies facultatifs qui présentent des variations qui dépasse un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle. Ces différents dépassements mettent en évidence des lacunes au niveau de l'unité de traitement, qu'il convient donc de combler.

III.4. Analyse critique et mise en évidence des problèmes

Les visites effectuées sur le site de traitement a permis de constater l'état avancé de dégradation de la station dans son ensemble et la détermination des deux grands point de défaillance qui sont à l'origine de la non-conformité des paramètres indésirables et bactériologiques.

Le procédé de traitement par la filtration sur sable est utilisé pour remédier aux problèmes relatifs à la qualité de l'eau notamment l'enlèvement de fer, manganèse, métaux lourds et de minimiser la turbidité de l'eau pour quelle puisse répondre aux normes de la qualité envisagées, Ces problèmes sont essentiellement liés à :

- L'ancienneté du procédé de filtration adapté qui date de 1970.
- L'extrême corrosion de la totalité des canalisations des quatre filtres.

Le deuxième point du mal fonctionnement à été enregistrés au niveau de la filière de désinfection, ces problèmes réside dans :

- L'éloignement de la pompe doseuse par rapport au point d'injection augmente le risque de formation de dépôts et de colmatage de la canule d'injection.
- le bac de préparation de la solution du chlore ne possède pas d'agitateur, le mélange de l'eau de javel avec l'eau n'est donc pas homogène.
- Défaillance de la pompe doseuse.
- Absence de temps de contact entre l'eau et le chlore.
- Absence de bassin de contact de l'eau et le chlore.

Compte tenu de toutes ces anomalies, le dimensionnement de nouveaux filtres à sable et la conception d'un poste de désinfection s'avère nécessaire pour améliorer la qualité de l'eau, c'est dans ce cadre que s'inscrit la prochaine partie du sujet.

CHAPITRE IV : Solutions proposées pour l'amélioration de la qualité de l'eau

IV.1. Introduction

Pour pouvoir mettre en place des nouveaux procédés du traitement qui seront convenables, avec une capacité de traitement optimum et afin d'assurer la réponse aux différents besoins de la mine El Hammam en eau potable, il été nécessaire de collecter le maximum des données disponibles pour avoir des idées sur :

- les différents types de consommation de l'eau potable.
- Le ratio de consommation par unité consommatrice.
- L'évolution de la consommation dans le temps.

IV.2. Consommation de l'eau potable au niveau de la mine El Hammam

La mine El Hammam n'accueille qu'un faible nombre de personnels (mineurs) et ne présente que peu de variations. Les données statistiques de consommation d'eau potable durant les douze mois de l'année 2013 recueillies auprès de la SAMINE sont présentées dans le tableau suivant :

Service \ Mois	Janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre	consommation annuelle en m ³
LABO D'ANALYSE	15	17	18	16	8	3	21	18	40	34	13	30	233,00
SURVEILLANCE FOND	1246	1497	1547	881	286	236	1003	926	1557	2138	1448	1492	14 257,00
SURVEILLANCE LAVERIE	2 537	1 791	2 092	686	246	313	784	794	1 258	1 497	1 148	1 226	14 372,00
INFIRMERE	2	9	8	6	1	1	5	4	8	8	7	7	66,00
POPOTE	139	213	273	121	41	38	139	274	317	261	187	218	2 221,00
MOSQUE	16	2	4	9	4	10	34	44	33	32	10	2	200,00
ECOLE	20	24	16	27	10	7	45	52	66	100	35	25	427,00
ATELIERS	47	53	65	52	21	17	104	113	233	234	99	62	1 100,00
CITE CADRE	115	151	143	181	55	273	618	444	568	553	348	112	3 561,00
CITE personnels	586	792	706	367	120	79	360	360	698	897	625	634	6 224,00
TECH SUB	233	391	367	284	90	62	442	659	494	360	602	246	4 230,00
PUIT II REVERIN	147	88	82	71	26	31	152	198	250	282	165	114	1 606,00
PUIT II FORATION BERGAMOU KEST	49	0	0	31	0	0	0	0	0	75	0	0	155,00
MAISON PERMANENCE OPERATEURS	0	4	0	1	0	0	0	22	14	17	24	0	82,00
ECC (sous traitant)	358	215	251	182	101	64	316	251	591	301	409	209	3 248,00
AGAZOUMI sous traitant)	139	185	187	105	34	27	105	102	223	174	173	172	1 626,00
ADMINISTRATION	95	93	45	29	10	7	49	32	39	174	59	72	704,00
Confédération démocratique travail	0	0	0	0	13	10	43	54	76	37	139	100	472,00
Total	5 744	5 525	5 804	3 049	1 066	1 178	4 220	4 347	6 465	7 174	5 491	4 721	54 7845,00

Tableau 12: consommation d'eau potable en m³ au niveau de la mine El Hammam par unité consommatrice en 2013

La consommation d'eau est la partie où le volume d'eau réellement utilisé, c'est un paramètre qu'il faut également cerner à partir de la production.

A côté des consommations moyennes, on définit les consommations de pointe. (Périodes de forte ou de faible demande).

À partir des consommations mensuelles du tableau, on va calculer les consommations suivantes :

- Consommation annuelle.
 - Consommation mensuelle moyenne.
 - Consommation journalière moyenne, maximale et minimale.
 - Consommation horaire moyenne, maximale et minimale.
- **Consommation annuelle :**

La consommation annuelle calculée est obtenue par l'addition du total des consommations mensuelles de l'année 2013, elle est de l'ordre de: $54785 \text{ m}^3/\text{an}$

- **Consommation mensuelle moyenne :**

Une moyenne est relative à un paramètre et à une période, la consommation moyenne mensuelle est calculée par la division de la consommation annuelle sur le nombre des mois de l'année :

$$Q_{M \text{ moy}} = \frac{\text{consommation annuelle}}{\text{nombre des mois}} = \frac{54785}{12} = 4565,33 \text{ m}^3/\text{mois}$$

- **Consommation journalière moyenne :**

Consommation journalière moyenne est l'estimation de la quantité quotidienne moyennement consommée :

$$Q_{J \text{ moy}} = \frac{\text{consommation annuelle}}{\text{nombre des jours de l'année}} = \frac{54784}{365} = 150,1 \text{ m}^3/\text{jour}$$

- **consommation journalière maximale :**

On a $Q_{j \text{ max}} = C_{J \text{ max}} * Q_{J \text{ moy}}$

Avec $C_{J \text{ max}} =$ coefficient de pointe journalier maximal

$Q_{J \text{ moy}} =$ consommation journalière moyenne

$C_{J \text{ max}}$ varie de 1,35 à 1,80. Prenons $C_{J \text{ max}} = 1,60$ pour notre cas

Donc $Q_{J \text{ max}} = 1,60 * 150,1 = 240 \text{ m}^3/\text{jour}$

- **consommation journalière minimale :**

Elle peut être exprimée en fonction de la consommation journalière moyenne par la formule ci-dessous:

$$Q_{J \min} = C_{J \min} * Q_{J \text{ moy}}$$

$C_{J \min}$ = coefficient de pointe journalier minimal. Il varie de 0,5 à 0,75, On prendra $C_{J \min} = 0,6$ dans notre réseau.

$$Q_{J \min} = 0,6 * 150,1 = 90 \text{ m}^3/\text{jour}$$

- **Consommation horaire moyenne:**

$$Q_{h \text{ moy}} = \frac{\text{consommation annuelle}}{\text{nombre des heures de l'année}} = \frac{54784}{365*24} = 6,25 \text{ m}^3/\text{heure}$$

- **Consommation horaire maximale :**

$$Q_{h \max} = C_{h \max} * Q_{h \text{ moy}}$$

Le coefficient de pointe horaire maximal varie entre 2 et 3, nous le prenons égale à 2,50.

$$Q_{h \max} = 2,5 * 6,25 = 15,63 \text{ m}^3/\text{heure}$$

- **Consommation horaire minimale :**

$$Q_{h \min} = C_{h \min} * Q_{h \text{ moy}}$$

Le coefficient de pointe horaire minimal varie entre 0,25 et 0,50, nous le prenons égale à $C_{h \min} = 0,4$.

$$Q_{h \min} = 0,5 * 6,25 = 3,13 \text{ m}^3/\text{heure}$$

Les différentes consommations des eaux potables calculées sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Consommation annuelle	54785 m ³ /h
Consommation mensuelle moyenne	4565,33 m ³ /h
Consommation journalière moyenne	150,1 m ³ /h
Consommation journalière maximale	240 m ³ /h
Consommation journalière minimale	90 m ³ /h
Consommation horaire moyenne	6,25 m ³ /h
Consommation horaire maximale	15,63 m ³ /h
Consommation horaire minimale	3,13 m ³ /h

Tableau 13: tableau Récapitulatif des différentes consommations calculées

IV.4. Evolution de la consommation de l'eau potable dans le temps

La consommation en eau potable peut varier dans le temps et dans l'espace, elle dépende aussi des conditions de vie, la disponibilité de l'eau et du climat. La figure suivante illustre l'évolution de la consommation en eau potable durant les cinq dernières années au niveau de la mine El Hammam.

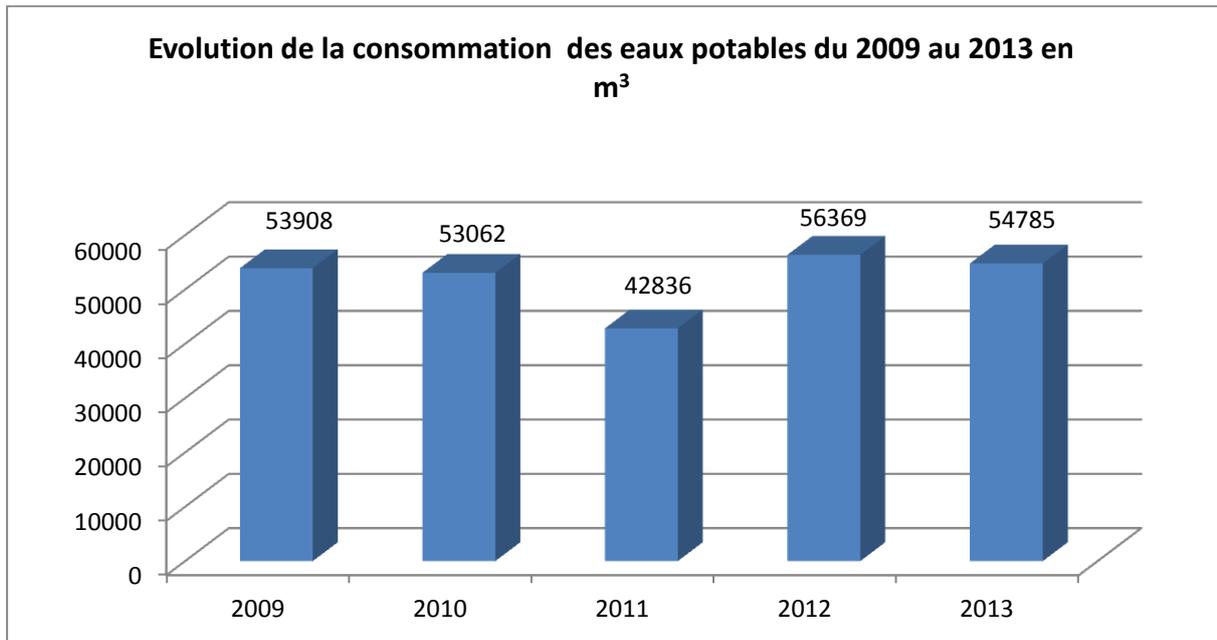


Figure 17: Evolution de la consommation des eaux potables du 2009 au 2013 en m³ à l'échelle de la mine El Hammam

L'interprétation de la figure de l'évolution de la consommation durant les cinq dernières années nous à permet d'extraire les remarques suivantes :

- La consommation d'eau varie d'une façon irrégulière d'une année à l'autre.
- La consommation maximale a été enregistrée dans l'année 2012.
- La consommation minimale a été enregistrée dans l'année 2011.
- Une faible augmentation de la consommation d'eau dans les deux dernières années par rapport aux années précédentes.
- Un faible facteur de variation de la consommation d'eau d'une année à l'autre.

IV.5. Dimensionnement des nouveaux filtres à sables

IV.5.1. Introduction

Dans le traitement de l'eau potable et depuis 200 années, la filtration sur sable trouve une place de plus en plus importante. Ses avantages pratiques ont été démontrés sur une longue période, et elle est encore la méthode privilégiée pour la purification de l'eau dans certaines parties du monde. Les types de filtration diffèrent selon le volume d'eau à filtrer dans le temps et dans l'espace. Dans le cas actuel on va s'intéresser aux filtres à sable rapides qui sont conçus de fonctionner beaucoup plus rapidement que les filtres lents, ils sont de deux type à savoir :

- **Les filtres gravitaires** : sont généralement à ciel ouvert, l'eau traverse le sable par gravité.
- **Les filtres sous pression** : leur principe de fonctionnement est le même que les filtres gravitaires sauf que la couche filtrante est enfermée dans un récipient clos en acier qui fonctionne sous pression.

IV.5.2. motivation du choix de type de filtre

Le tableau ci-dessous montre les avantages et les inconvénients des deux types de filtration rapides (Charles, 1967) :

Type de filtre	avantages	Inconvénients
Filtres gravitaire	<ul style="list-style-type: none">- Traitement efficace- Coût inférieur d'installation et d'opération- La filtration en continu	<ul style="list-style-type: none">- Nécessite de grande surface et de grande quantité de media filtrant- Nécessite un personnel qualifié pour l'exploitation et la maintenance.
Filtres sous pression	<ul style="list-style-type: none">- Petites installations- Bonne qualité d'eau traitée- Coût inférieur d'installation et d'opération- La filtration en continu	<ul style="list-style-type: none">- Impossible d'observer l'aspect de l'eau en cours de filtration- Il est difficile d'examiner, de nettoyer, et de remplacer le sable et le gravier

Tableau 14 : avantages et inconvénients des filtres à sable rapides

Lorsqu'il s'agit de choisir un modèle de filtration il faut nécessairement tenir compte non seulement des avantages et des inconvénients de chacun mais aussi des conditions locales (Charles, 1967), dont la surface prévue pour l'installation est le facteur le plus important à tenir en considération, dans notre cas l'espace réservé à cette installation est celui occupé par les filtres actuels.

L'étroitement de l'espace favorise le choix des filtres à sable sous pression verticaux. Ces filtres verticaux sont par nature plus satisfaisants que les filtres horizontaux et sont les plus répondus.

IV.5.3. Dimensionnement des filtres à sable

Le dimensionnement sera conçu afin de respecter les objectifs suivants:

- Fer : $\leq 0,3$ mg/l
- Mn : $\leq 0,05$ mg/l
- Couleur : ≤ 15 UCV
- turbidité : ≤ 1 UTN

IV.5.3.1. Débit de conception

Dans l'absence de la possibilité de faire des prévisions concernant la consommation future en eau potable au niveau de la mine El Hammam , le débit de conception sera conçu sur la base de la valeur maximum du débit horaire prévu au terme de la période de la conception en tenant compte du volume des pertes d'eau (Dupont, 1974) , dans notre cas le débit de conception sera calculé à partir des données enregistrées en 2012, cette année où la consommation a été maximum. Ce débit de dimensionnement permettra de répondre à tous incidents imprévus.

$$Q_{h \max} = Q_{h \text{ moy}} * C_1 * C_2$$

$Q_{h \max}$: le débit horaire maximum

$Q_{h \text{ moy}}$: le débit horaire moyen

C_1 : coefficient de pointe horaire varie entre 2 et 3

C_2 : coefficient de perte en eau varie entre 1,2 et 1,5 (Dupont, 1974)

$$Q_{h \max} = Q_{h \text{ moy}} * C_1 * C_2$$

$$Q_{h \max} = 6,43 * 2,5 * 1,2 = 19,29 \text{ m}^3/\text{h}$$

IV.5.3.2. Critères de départ et Motivation du choix de la couche filtrante

- **La vitesse de filtration**

La vitesse de filtration varie de 2,40 m/h et 15 m/h, les vitesses inférieures assurent plus de sécurité mais exigent évidemment des filtres plus grands.

Les inconvénients propres à ces filtres exigent qu'on les utilise avec les précautions voulues et notamment à la vitesse de 4,8 m/h (Charles, 1967).

- **Le nombre des filtres**

Au minimum, dans les petites installations le nombre des filtres utilisés est deux.

Il est favorable d'utiliser quatre petits filtres en parallèles ce qui facilite l'expédition et réduit le volume d'eau de lavage par chacun de petits appareils (Charles, 1967).

- **Motivation du choix de la couche filtrante**

La couche filtrante est la partie la plus importante dans la filtration, il faut la choisir avec soin, en tenant compte de la qualité d'eau brute prétraitée, de la vitesse de filtration et de l'épaisseur de la couche filtrante. Le média filtrant bicouche permet d'améliorer le temps de filtration et la qualité de l'eau.

Lorsque la vitesse adaptée est de 4,80 m/h, on peut obtenir une bonne filtration et une durée raisonnable d'utilisation continue du filtre en employant un sable de taille effective comprise entre 0,4 et 0,5 mm (Charles, 1967).

Le sable de silice a été le premier matériau utilisé et reste encore le matériau de base de la majorité des filtres (Hubert, 2011).

Ainsi on souhaite mettre au-dessus du sable une couche d'anthracite et au-dessous une couche de gravier qui sert comme support, la taille effective de la couche d'anthracite sera calculée par la suite.

L'anthracite se charge de l'enlèvement des particules grossières ou préalablement oxydées. En raison de sa faible densité relative, l'anthracite est redéposé sur la couche supérieure du filtre par le détassage de celui-ci produit lors du lavage à contre-courant (Modèle, 2003).

IV.5.3.3. Données de départ

Volume à traiter = 19,29m³/h en pointe

Vitesse de passage sur filtre ≈ 4,8 m/h

IV.5.3.4. Calculs de la configuration normale de filtration

- **Calcul de La surface totale de filtration:**

La surface de la filtration totale est calculée de la façon suivante (Huisman, 1974) :

$$ST = \frac{Q}{V_f}$$

$$S_T = 19,29/4,8$$

$$S_T = 4 \text{ m}^2$$

Avec

S_f: surface totale (m²)

V_f: vitesse de filtration (m/h)

- **Calcul du volume unitaire à traiter par chaque filtre**

Le volume unitaire correspond au volume d'eau qui doit être traitée par un seul filtre (Bourke, Garty, Crow et Lambert, 1995):

$$V_u = \frac{Q}{\text{Nombre de filtres}}$$

$$V_u = 19,29/4$$

$$V_u = 4,83 \text{ m}^3/\text{h}/\text{filtre}$$

Avec

Q : le débit d'eau à traiter (m³/h)

V_u : volume d'eau traiter par filtre

○ **Calcul de la surface de chaque filtre**

La surface unitaire est la surface de chaque filtre, elle est calculée par la division du volume unitaire à traiter sur la vitesse de filtration (Huisman, 1974) :

$$S_f = \frac{V_u}{V_f}$$

$$S_f = 4,83/4,8$$

$$S_f = 1\text{m}^2$$

○ **Calcul du rayon de chaque filtre**

Le calcul de la surface unitaire à permet de calculer le rayon du filtre afin de déterminer son diamètre (Huisman, 1974) :

$$S_f = R_f^2 * \Pi$$

$$R_f = \left(\frac{S_f}{\Pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$R_f = \left(\frac{1}{\Pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$R_f = 0,56\text{ m}$$

○ **Calcul du diamètre de chaque filtre**

Donc le diamètre du filtre à mettre en place est :

$$D_f = R * 2$$

$$D_f = 1,13\text{m}$$

○ **Calcul de la vitesse de passage réelle sur filtre**

La vitesse réelle de passage de l'eau à travers les filtres est obtenue par la formule suivante (Zerhun, 2012) :

$$V_r = \frac{V_u}{S_f}$$

$$V_r = 4,83/1$$

$$V_r = 4,83\text{ m/h}$$

- **Calcul de la vitesse de filtration lors du lavage d'un filtre**

Lors des contrelavages le débit à traiter ne passera plus sur quatre filtres mais sur trois, il faut donc vérifier que les vitesses de passage n'excèdent pas 15 m/h. Volume unitaire à traiter = $19,29/3 = 6,43\text{m}^3/\text{h}/\text{filtre}$

$$V_L = \frac{Q_f}{S_f}$$

$$V_L = 6,43 / 1$$

$$V_L = 6,43 \text{ m/h}$$

Avec

Q_f : volume unitaire à traiter filtre (m^3/h)

IV.5.3.5. Calculs de la configuration du média filtrante

- **Calcul du diamètre de l'antracite à utiliser** (Hubert, 2011)

Pour obtenir des résultats de filtration optimum, les spécifications du lit filtrant doivent être déterminées avec soin, d'où le calcul du diamètre de la couche d'antracite à mettre en place est nécessaire pour que l'ensemble soit en harmonie.

$$d_{10,2} = d_{10,1} \left(\frac{\rho_1 \text{ relative} - 1}{\rho_2 \text{ relative} - 1} \right)^{2/3}$$

$$d_{10,2} = 0,5 \left(\frac{2,5-1}{1,6-1} \right)^{2/3}$$

$$d_{10,2} = 0,97 \text{ mm}$$

Avec

$d_{10,1}$: taille effective du sable (mm)

$d_{10,2}$: taille effective d'antracite (mm)

ρ_1 : densité relative du sable (g/ml)

ρ_2 : densité relative d'antracite (g/ml)

Le calcul de diamètre de la seconde couche antracite, a donné une valeur de taille effective de 0,97mm, par la suite nous avons déterminé la hauteur de chaque couche à adaptée à partir du tableau [18] (Annexe 5).

○ **Calcul de la masse des couches de filtre**

La masse des couches de filtre est calculée à partir de la relation suivante :

$$m = \rho * V_c$$

$$m = \rho * \frac{\pi h D_f^2}{4}$$

Avec

ρ_1 : Densité relative du matériau (g/ml)

V_c : Volume de la couche (m³)

h : Hauteur de la couche (m)

D_f : Diamètre de filtre (m)

	Densité (g/ml)	Densité (kg/m ³)	Hauteur(h)	Diamètre (m)	Volume (m ³)	Masse (KG)
ANTHRACITE	1,6	1600	0,45	1,13	0,451064925	722
SABLE	2,65	2650	0,35	1,13	0,350828275	930
Gravier	1,6	1600	0,3	1,13	0,3220133224	515

Tableau 15: résultat de calcul de la masse des couches de filtre

IV.5.3.6. Calcul de la perte de charge

La perte de charge dans filtre ne doit pas dépasser 1 m.

Plusieurs équations permettent de calculer la perte de charge dans un filtre sous pression, équation de Weisbach, Kozeny Carman, Rose (Hubert, 2011):

Dans notre cas, le calcul sera réalisé à l'aide de l'équation de Rose (Zerhun, 2012) :

$$h_L = \frac{1,067 (D) (V_r)^2}{(\phi) (g) (\epsilon)^4} \sum_i^n \frac{(C_D) (f)}{d}$$

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{R^2} + 0,34$$

$$R = \frac{L V_r}{v} = \frac{(\phi)(d)(V_r)}{v}$$

$$R_s = 0,45$$

$$C_{Ds} = 58,14$$

$$R_A = 0,5 \quad C_{DA} = 52$$

$$h_L = \frac{1,067 (0,77 m)(0,0013m/s)^2}{(0,65)(9,81m/s^2) (0,145)^4} \sum_1^3 60248,1 m^{-1}$$

$$h_L = 0,32 m < 1 m$$

Avec

D : profondeur du média filtrant (m)

d : diamètre du sable (m)

V_r : vitesse réelle de filtration (m/h)

C_D : coefficient de traînée

φ : facteur de la sphéricité

f : masse fractionnelle de la particule de sable

G : accélération de la pesanteur (m/s⁻²)

ε : porosité

ν : viscosité du fluide

Les valeurs utilisées dans les calculs sont prises à partir des tableaux de l'annexe 5.

La valeur obtenue est bien inférieure à la valeur critique, donc il n'y aura pas d'apparition du phénomène du colmatage qu'après le colmatage total d'une hauteur de 0,32 m du media filtrant.

IV.5.3.7. Calcul de la configuration du contre lavage

○ Calcul de la quantité d'eau de lavage

La quantité d'eau de lavage représente 4 à 5% d'eau traitée (Hubert, 2011).

$$Q_{eL} = Q * 0,045$$

Donc la quantité d'eau de lavage après 24h de filtration est :

$$\begin{aligned} Q_{eL} &= Q * 0,045 \\ &= (19,29 * 24) * 0,045 \\ &= 20,8 m^3 \\ &= 5,2 m^3/filtre \end{aligned}$$

○ La vitesse d'eau de lavage

La vitesse d'eau optimum est celle qui permet l'expansion du sable de 20%, elle est déterminée à l'aide d'un figure qui indique les rapports entre l'expansion du sable, sa taille et la vitesse de montée d'eau de lavage, dans notre cas la vitesse de lavage est d'environ 36 m/h Charles, 1967) (annexe 6).

IV.5.4. Etablissement des spécifications de construction de l'unité

- Epaisseur de l'acier :

En cas d'utilisation des filtres sous pression, ils doivent être réalisés en acier et avoir une épaisseur de l'ordre de 6 mm. Ils seront traités par une peinture anti-corrosion (ONEP, 2003).

- Dimensionnement des tubulures

La colonne contient plusieurs types de tubulures :

- La tubulure d'entrée de l'eau à traiter
- La tubulure de sortie de l'eau traitée
- La tubulure d'entrée de l'eau de lavage
- La tubulure de sortie de l'eau de lavage

La forme cylindrique de ces tubulures d'entrée et de sortie fait que les calculs soient les mêmes, d'où on a :

	Débit	Diamètre
Tubulure d'entrée de l'eau	$M_e = V_r \frac{\pi d_i^2}{4}$	$d_i = \sqrt{\frac{4 M_e}{\pi V_r}}$
Tubulure de sortie de l'eau	$M_s = V_r \frac{\pi d_i^2}{4}$	$d_i = \sqrt{\frac{4 M_s}{\pi V_r}}$
Tubulure d'entrée de lavage	$M_L = V_L \frac{\pi d_i^2}{4}$	$d_i = \sqrt{\frac{4 M_{eL}}{\pi V_r}}$
Tubulure de sortie de lavage	$M_L = V_L \frac{\pi d_i^2}{4}$	$d_i = \sqrt{\frac{4 M_{sL}}{\pi V_r}}$

Tableau 16: formule de calcul des tubulures d'entrée et de sortie d'eau

Les tableaux suivants montrent la variation des diamètres des tubulures de l'unité de filtration :

Tubulure eau traitée	
$M_e=M_s=V_u= 4,83\text{m}^3/\text{h} \rightarrow$	$0,0013 (\text{m}^3/\text{s})$
V (m/s)	D (mm)
0,5	60
1	40
1,5	30
2	30
2,5	30
3	20

Tableau 17 : Tubulures d'entrée et de sortie de l'eau à traiter

Tubulure eau de lavage	
$V_L (\text{m}^3/\text{s})$	0,08
V (m/s)	D (mm)
0,5	110
1	80
1,5	70
2	60
2,5	50
3	50

Tableau 18: Tubulures d'entrée et de sortie de l'eau de lavage

V_L est le débit volumique d'eau de lavage de filtre dans une durée de lavage de 10 minutes.

En ce qui concerne les tubulures et en respectant les vitesses d'écoulement citées dans les normes de la mécanique de fluide on trouve :

- Tubulures d'entrée et de sortie de l'eau à traiter :
 - L'eau entre et sort avec un débit volumique $M_e = 4,83 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow 0,0013\text{m}^3/\text{s}$
 - Pour une vitesse de 0,5 m/s on obtient un diamètre de = 60 mm

Tubulures d'entrée et de sortie de l'eau de lavage:

- L'eau entre et sort avec un débit volumique $Me = 5,2 \text{ m}^3/10\text{min} \rightarrow 0,008 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pour une vitesse de 2,5 m/s on obtient un $di = 50\text{mm}$

IV.5 .5. Résultat de calcul de dimensionnement

Le tableau suivant résume les résultats de calculs et les spécifications du lit filtrant :

Surface totale m^2	4
Surface de filtre m^2	1
Diamètre de filtre m	1,13
Longueur de filtre m	2,70
Epaisseur de l'acier mm (atome6)	6
hauteur du Franc-bord au-dessus du niveau de l'eau surnageante(m)	0,3
hauteur Eau surnageante(m)	1
Epaisseur du Milieu filtrant : (m) anthracite sable	0,45 0,35
Epaisseur Gravier support (m)	0,6
La masse d'anthracite en kg	722
La masse de sable en Kg	930
Débit d'eau traitée par filtre m^3/h	4,83
Vitesse de passage réelle sur filtre m/h	4,83
Vitesse de passage sur filtre lors d'un contre lavage m/h	6,43
La perte de charge en m	0,32
Quantité d'eau de lavage par filtre après 24h de filtration m^3/f	5,2

Tableau 19: tableau récapitulatif des critères de filtre

Certains critères de dimensionnement sont vérifiés à l'aide des deux nomogrammes (ANNEXE7)

- nomogramme pour le calcul des dimensions des filtres à sable rapides à partir de la période de filtration continue et le débit traiter.
- Nomogramme pour le calcul de la consommation en eau de lavage des filtres à sables rapides (Charles, 1967).

IV.5.6. Accessoires du filtre:

- Tubulures

La fonction de la colonne de filtration exige la présence de plusieurs tubulures : une tubulure d'alimentation placée dans la partie supérieure de la colonne, une tubulure de sortie de l'eau traitée placée au fond de la colonne, une tubulure d'entrée de l'eau de lavage placée aussi au fond de la colonne et une autre de sortie de la même eau de lavage placée dans la partie supérieure de la colonne (modèle, 2003) .

- Purgeur d'air

Un purgeur d'air doit être installé au-dessus de chacun des filtres afin d'évacuer l'air en excès.

- Accessoires d'accès

La colonne est dotée d'un tête amovible fixée par des systèmes vis- écrous permet d'introduire le média filtrant.

- Collecteur des eaux

Au fond du filtre, un collecteur des eaux filtrées en forme d'étoile, construit en acier inoxydable doit être installé dans la couche de gravier de 12-19 mm. Ce collecteur permet de recueillir les eaux filtrées afin qu'elles soient dirigées vers les réserves d'eaux traitées. Ce même collecteur permet la distribution uniforme de l'eau lors des lavages à contre-courant.

- Insuffleur d'air

Une tuyauterie en forme de quadrillée et construite en acier inoxydable doit être installée dans la couche de gravier de 6-12 mm pour insuffler l'air. Elle permet la distribution de l'air de lavage à contre-courant. Cet air permet le détassage du sable et de l'antracite et le détachement des particules de saletés par la friction des grains des matériaux filtrants.

- Accessoires de mesure

Les équipements suivants sont exigés pour chaque filtre:

- Un débitmètre avec totalisateur du débit.
- Un manomètre de mesure de perte de charge.

- Un système de contrôle de débit à la sortie de chaque filtre pour assurer une répartition égale entre Les filtres.
- Des robinets d'échantillonnage pour l'eau brute et l'eau filtrée.
- Un turbidimètre en continu sur chaque filtre avec enregistreur et alarme.

IV.5.7. Description générale

La nouvelle station de filtration à mise en place pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine au niveau de la mine El Hammam sera composée de quatre filtres avec une surface filtrante totale de 4m^2 , chaque filtre possède une surface de 1m^2 et un diamètre de 1,13m.

Ce nouveau dimensionnement permet de traiter un débit d'eau de $19,29\text{ m}^3/\text{h}$, soit un volume unitaire de $4,8\text{ m}^3/\text{h}$ avec un taux de filtration optimum de $4,83\text{ m}^3/\text{h}$.

Le media filtrant sera composé de deux couches : l'antracite et le sable.

La couche d'antracite est disposée au-dessus de sable et possède une épaisseur de 450 mm, sa taille effective calculée est de 0,97mm et son coefficient d'uniformité est d'environ 1,6.

La couche inférieure du milieu filtrant sera composée de sable avec une épaisseur de 350 mm, la taille effective des grains de sable est d'environ 0,5 mm et son coefficient d'uniformité est d'environ 1,6.

Le gravier support est composé de trois couches à granulométrie croissante (3-6mm, 6-12mm, 12-19mm) qui seront disposés dans la partie inférieure des filtres. La hauteur du gravier est de 600mm, ils permettent de supporter le sable et recouvrent complètement les collecteurs des eaux filtrées et les insuffleurs d'air.

En présence de matériau filtrant léger tel que l'antracite, on doit utiliser le mode de lavage à contre-courant à l'air et à l'eau. Dans la première phase du lavage, après avoir abaissé le niveau d'eau jusqu'au sommet de la couche supérieure d'antracite, l'air est utilisé pour détacher du matériau filtrant les impuretés retenues. Dans la seconde phase, un retour d'eau à fort débit assurant une expansion théorique du média de 20 %, permet d'extraire du lit et d'évacuer les impuretés détachées lors de la première phase.

La vitesse de l'eau optimum est celle qui permet l'expansion du sable de 20%, elle est déterminée à l'aide d'un figure qui indique les rapports entre l'expansion du sable, sa taille et

la vitesse de montée d'eau de lavage, dans notre cas la vitesse de lavage est d'environ 36 m/h et le taux d'air à injecter varie entre 55-91 m/h.

La quantité d'eau de lavage des filtres après 24h de fonctionnement est d'environ 20,8 m³ → 5,2 m²/filtre. Cette eau de lavage sera récupérée et refoulée vers le bassin bas.

IV.5.8. Dessin de spécification de l'appareil

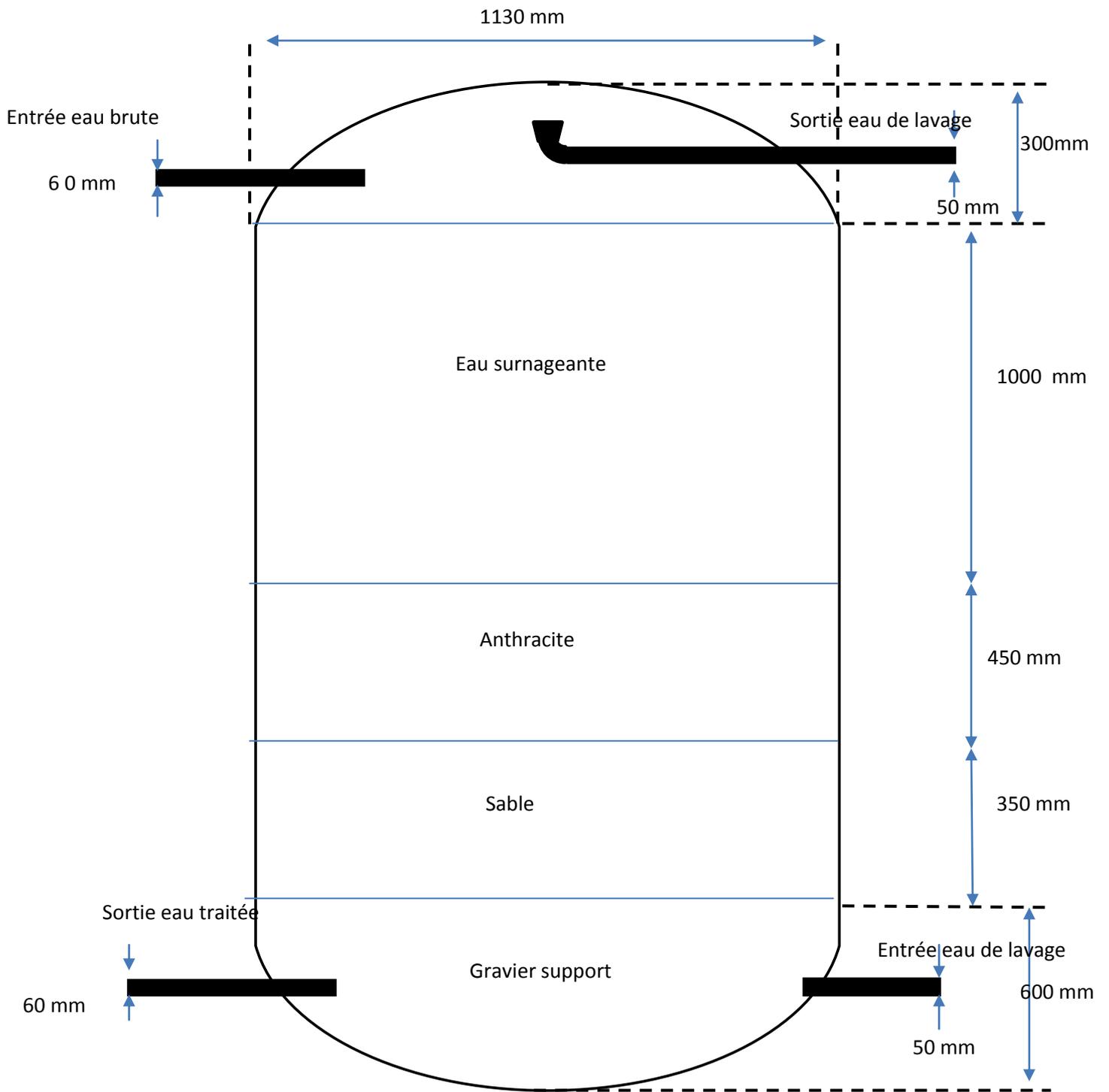


Figure 18 : Dessin de spécification d'un filtre à sable

IV.5.9. Recyclage d'eau de lavage

Le lavage du media filtrant après une durée de fonctionnement, demande une quantité d'eau importante, qui est souvent perdue dans les égouts.

Afin de minimiser la perte d'eau au niveau de cette filière de traitement nous proposons une installation pour la récupération des eaux de lavage, par la mise en place d'une bache avec un volume de 25m³ (Fig.19).

L'eau de lavage contient une quantité élevée des impuretés piégées lors de la filtration, d'où il est nécessaire d'injecter un polymère au niveau de la bache, pour accélérer la décantation.

On ne peut pas remettre l'eau récupérée à la tête de la station de traitement, du faite de l'éloignement de cette dernière par apport aux filtres, c'est pour cette raison nous proposons de pomper l'eau récupérée dans le bassin bas.

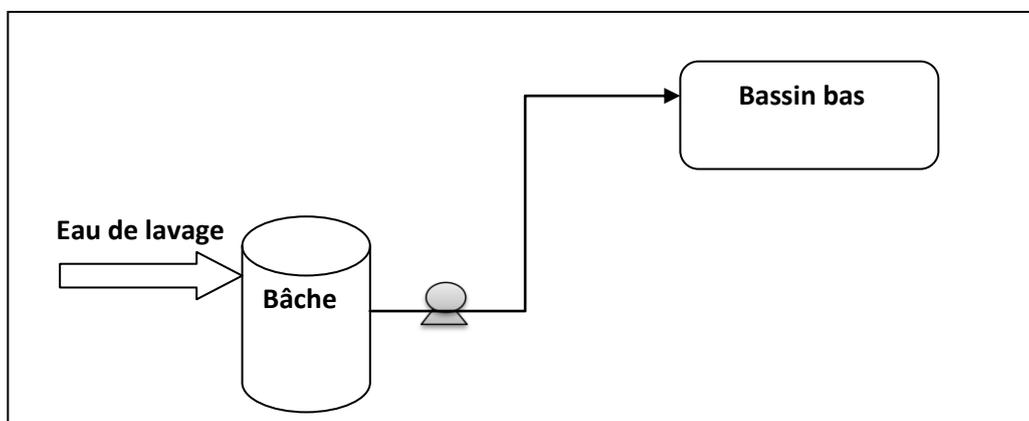


Figure 19: flow-sheet de récupération d'eau de lavage

IV.6. Conception d'un poste de désinfection

IV.6.1. Introduction

La désinfection est depuis longtemps l'objectif premier de la production d'eau potable. Même après une filtration efficace, l'eau contient toujours des microorganismes nocifs à la santé humaine et au bien-être de l'homme, d'où la nécessité d'une étape de désinfection puissante pour avoir des résultats fiables.

La désinfection est l'étape du traitement qui élimine de l'eau à distribuer les germes pathogènes et certains éléments indésirables tels que :

- Des bactéries
- Virus bio indicateurs (coliformes fécaux, etc....)
- De certains parasites animaux (kystes d'amibes, de Giardia ou de Cryptosporidium, œufs d'helminthes ...)

Le dimensionnement de poste d'hypochloration comporte les étapes suivantes :

- Calcul de la capacité de la pompe doseuse
- Calcul du temps de contact requis entre l'eau et le chlore;
- Calcul du volume du bassin de contact entre l'eau et l'hypochlorite de sodium ;

IV.6.2. Calcul de la capacité de la pompe doseuse

Avant de commencer le calcul de la pompe doseuse, et pour s'assurer du bon fonctionnement de toutes composantes de la désinfection et maintenir les équipements d'une durée de vie le plus longue possible, il est indispensable de muni le bac de mélange d'hypochlorite de sodium avec l'eau pour la dilution d'un agitateur, qui permet d'homogénéiser la solution.

Le calcul de la capacité de la pompe doseuse est effectué en tenant compte de la dose du chlore à injecter et du débit d'eau à traiter.

Le débit d'eau à traiter correspond au débit d'eau filtrée, il y a lieu de procéder à une dilution de la solution originale d'hypochlorite de sodium à 5 %. Les facteurs de dilution et les formules correspondants pour le calcul des débits d'hypochlorite de sodium à doser sont donnés par le tableau en (ANNEXE 8), (Desjardins, 1997).

Pour un débit de $Q = 19,29 \text{ m}^3/\text{h} = 5,36 \text{ l/s}$

Facteur de dilution = 5%

Formule: Débit de la pompe doseuse :

$$Q_p = Q * \text{facteur (ANNEXE8)}$$

Q_p : débit en l/j de la pompe doseuse de la solution d'hypochlorite de sodium

Q : débit d'eau à traiter

- Calcul de la capacité minimale de la pompe doseuse

$$\begin{aligned} Q_{p_{\min}} &= 5,36 * 4,25 \\ &= 22,8 \text{ l/j} \end{aligned}$$

$Q_{p_{\min}}$: débit minimal en l/j de la pompe doseuse de la solution d'hypochlorite de sodium à doser.

- Calcul de la capacité maximale de la pompe doseuse

$$Q_{pmax} = 5,36 * 42,5$$

$$= 228 \text{ l/j}$$

Q_{pmax} : débit maximal en l/j de la pompe doseuse de la solution d'hypochlorite de sodium à doser.

La nouvelle pompe doseuse de la solution d'hypochlorite de sodium à mettre en place doit être capable de fournir un débit maximal de la solution d'hypochlorite de sodium de l'ordre de 228 l/j → 9.5 l/h

IV.6.3. Calcul du temps de contact requis entre l'eau et le chlore

Le temps de contact réel du chlore avec l'eau à traiter est un paramètre important qui oblige à une bonne conception des bassins des contacts.

La variation du temps de contact nécessaire dépend du pH d'eau à traiter et de sa température.

Pour calculer le temps de contact entre l'eau et le chlore, il nous faudrait connaître :

- la température de l'eau à traiter qui est de 16 °C dans notre cas ;
- le pH de l'eau qui est de 8,09 ;
- on doit tenir compte d'une concentration résiduelle de chlore pour permettre d'atteindre l'objectif de la désinfection, la concentration résiduelle du chlore retenue pour ce projet est de 0,5 mg/l.

La valeur du coefficient K (Desjardins, 1997) donné par le tableau pour déterminer le temps de contact en (ANNEXE 9).

Dans notre cas et pour les conditions actuelles : la valeur de k est de l'ordre de 16.

Donc le temps de contact sera :

$$T_c = \frac{K}{\text{chlore résiduel en mg/l}}$$

$$T_c = \frac{16}{0,5} = 32 \text{ min}$$

Le temps de contact d'eau et le chlore nécessaire pour avoir une désinfection efficace est de 32 min.

Un autre objectif est de maintenir une concentration résiduelle de 0,5 mg/l à la sortie, à moins qu'une valeur plus élevée soit requise pour respecter le Règlement sur la qualité de l'eau potable. L'eau chlorée s'écoule ensuite par gravité vers le réservoir d'opération de contact dont le volume sera calculé.

IV.6.4. Calcul du volume du bassin de contact

Le calcul de volume du bassin a pour objectif d'offrir un temps de contact approprié entre l'eau et le produit de désinfection.

Dans les stations où le débit d'eau à traiter dépasse 0,012 m³/h, la construction d'un bassin de mise en contact est nécessaire (Desjardins, 1997).

Donc le volume du bassin est :

$$\begin{aligned} V_b &= \text{temps de contacts d'eau et le chlore} * \text{le débit d'eau à traiter} \\ &= 32 \text{ min} * \frac{19,29 \text{ m}^3/\text{h}}{60} \\ &= 10,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Le volume calculé du bassin de contact d'eau et le chlore est de 10,3 m³, de préférence, on peut majorer cette valeur pour s'assurer d'un contact assez fiable, pour cela nous prenons un volume de 13m³.

A. Géométrie du bassin

Le bassin de contact doit avoir une forme rectangulaire, et construit en béton, sa hauteur est de 2,5 m (Fig.20).

Afin de bien mélanger l'eau avec le chlore et de minimiser le court-circuitage hydraulique nous proposons d'installer trois chicanes formées de murs de béton à l'intérieur du bassin de 2 m de hauteur avec différentes longueurs (Modèle, 2003).

B. Les dimensions de bassin de contact d'eau et le chlore

Le tableau ci-dessous résume les dimensions choisies du bassin de contact de l'eau et le chlore :

Hauteur (m)	2,5
Longueur (m)	3
Largeur (m)	1,8
Volume (m ³)	13

Tableau 20: dimensions proposés pour le bassin de contact d'eau et le chlore

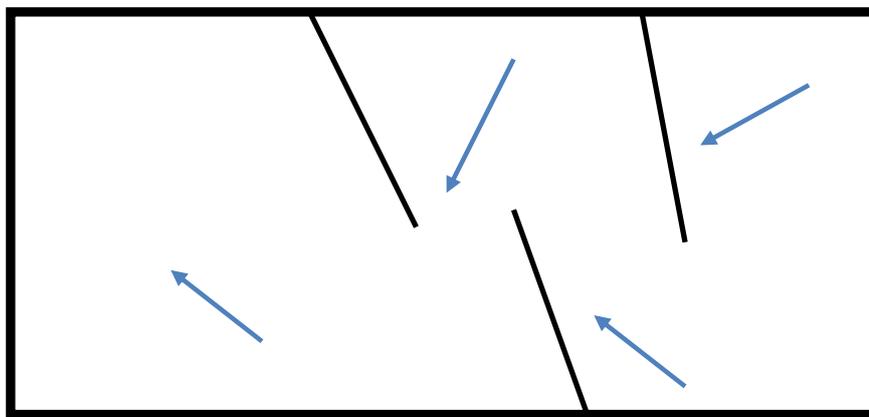


Figure 20: Bassin de la chloration avec des chicanes

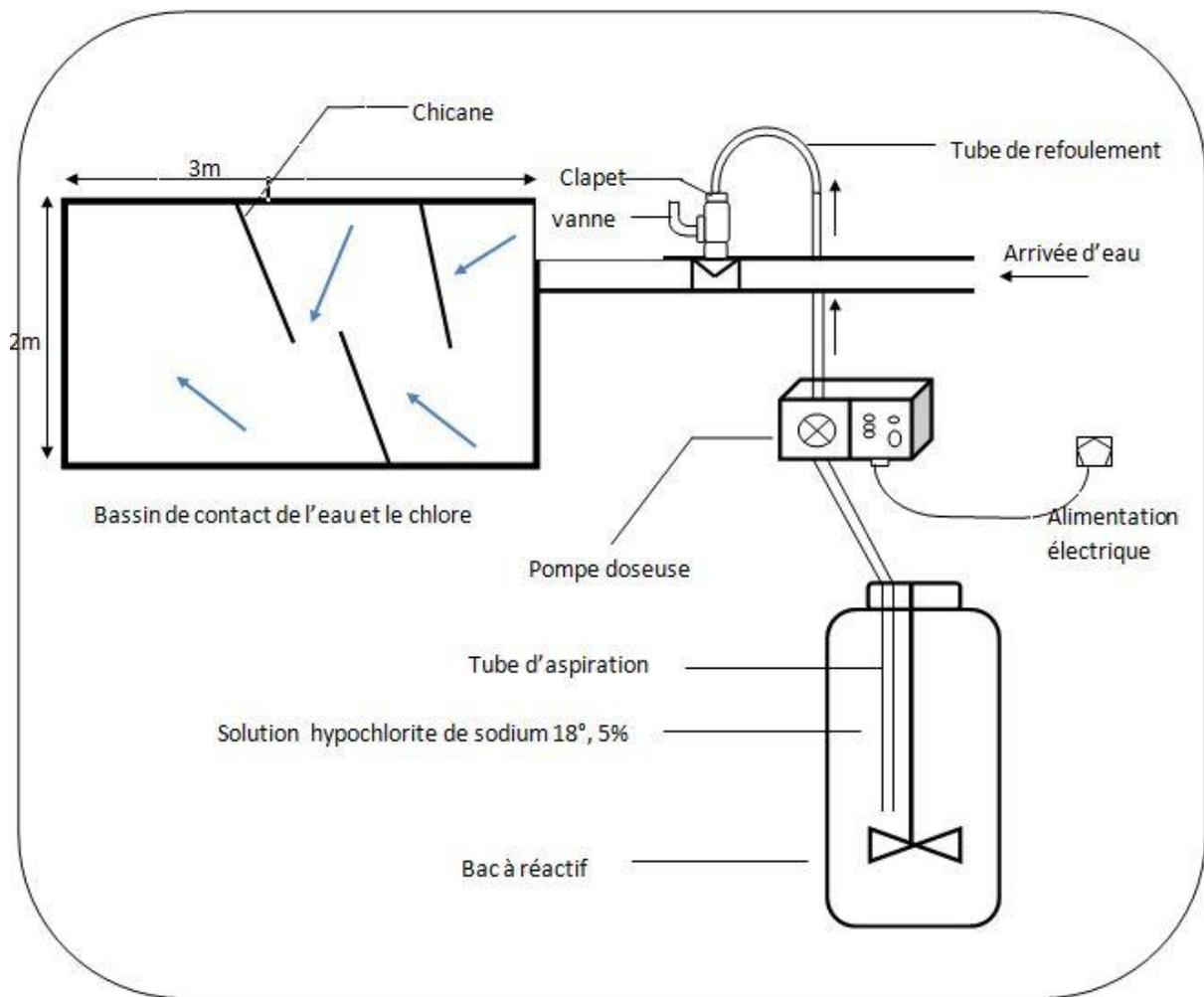


Figure 21: poste de désinfection complet

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

A la mine El Hammam, Le suivi du circuit d'eau et l'établissement du bilan global de l'eau a montré que 72% des eaux industrielles utilisées dans la valorisation du minerai de fluorine sont des eaux recyclées. Ce taux optimal est important pour la préservation des ressources hydriques de la région.

Les résultats des analyses chimiques d'eau destinée à l'usage humaine à révéler l'existence de certaines substances indésirables dégradant la qualité de cette eau. A leurs tours les analyses bactériologiques ne sont pas conformes. D'ou nous avons proposé de mettre en place de nouveaux filtres à sables et un poste de désinfection pour remédiera à la problématique posée.

Les nouveaux filtres à mettre en place avec les spécifications précise permettront une filtration radicale d'eau à traiter, afin d'aboutir à une qualité d'eau correcte et conforme concernant les différents paramètres de l'eau qui peuvent être analysés. A sa sortie des filtres l'eau n'est pas encore potable, ce qui nécessite impérativement une désinfection utile, dont la station a été dimensionnée.

Nous ne pouvons pas finir ce projet sans énumérer quelques recommandations pour mettre les éléments de traitement en harmonie, et augmenter l'efficacité de traitement et la qualité de l'eau :

- Nouveaux filtre à sable choisis grâce aux avantages qu'ils présentent :
 - Petites installations
 - Bonne qualité d'eau filtrée
 - Coût faible d'installation et d'opération
- Conception d'un poste de désinfection avec :
 - un volume adéquat du bassin de contact
 - un temps de contact de l'eau avec le chlore suffisant.

Références bibliographiques

ADMINISTRATION DE L'HYDRAULIQUE (1991), Ressources en eau dans le bassin de l'oued Beht (Province de Khémisset). Publication de l'Administration de l'Hydraulique, Ministère des Travaux Publics de la Formation Professionnelle et de la Formation des Cadres, Février 1991.

Adin, A., Baumann, E., R., and Cleasby, J.L., (1979). The application of filtration theory to pilot plant design, 87p..

BEAUDRY J-P., (1984). Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada.

Bouchard MF., Sauvé S., Barbeau B., Legrand M., Brodeur M-È, Bouffard T, et al., (2011). Intellectual Impairment in School-Age Children Exposed to Manganese from Drinking Water. Environment Health Perspectives.

BOURKE N., GARTY G., CROW M., LAMBERT M., (1995). Water treatment manuals. Environmental protection agency, 121p..

ONEP., (2010). Cahier clauses techniques générales relatives aux marches de travaux d'eau potable ONEP, tome 6, traitement version 3 octobre 2010, 26p.

CHARLES R. COX., (1967). Technique et contrôle du traitement des eaux. Organisation mondiale de la santé GENEVE,106 ,112,114,115p.

DEGREMONT ., (1989). Mémento technique de l'eau, Technique et documentation, Tome 1 67,98p.

DESJARDINS R., (1997). Le traitement des eaux, 2ème édition, Ed. de l'école polytechnique de Montréal.

DUPONT A., (1974). Hydraulique urbaine –édition Eyrolles, tome 1: Hydrologie-captage et traitement des eaux 1974 . 116p.

FIESSINGER F., (1976). La coagulation : errements anciennes et nouveaux, TSM. 147, 162p.

FRANCK Rejsek., (2002). Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, lycée de borda.

HUBERT C., (2011). GCI 720-conception: usine de traitement des eaux potables, 2009. 45,69, 80p.

HUISMAN L., WOOD W E., (1974). Slow Sand Filtration, Geneva, World Health Organization. 139p.

KEMMER F-N., (1984). Manuel de l'eau, Ed. NALCO, 1984. 169,171p.

KETTAB A., (1992). Traitement des eaux "les eaux potable", O.P.U, Alger.55p.

Modèle., (2003). Manuelle d'exploitation des installations de production d'eau potable ministre des affaires municipal du sport et de loisirs/ MENV- octobre 2003, Canada.

Masson, M. H., Canu, S., Grandvalet, Y., Lyngaard-Jensen, A., Software sensor design based on empirical data, Ecological Modeling, 120, 131-139,

MEGHZILI B., (1999). Suivi de la qualité des eaux de la station de traitement Hamadi- Krouma (Skikda).Essais d'optimisation. Thèse de magister Université de Biskra.77, 89p.

MOUCHET P., (1991). Les modalités de traitement des eaux brutes. STP. Pratiques.136, 148p.

PHILIPPO P, POMMERY J, THOMAS P., (1981). Evolution d'une eau de surface au cours des traitements de potabilisation ; comportement des espèces métalliques au contact des matières humiques.

POTELON J-L, ZYMAN K., (1998). Le guide des analyses d'eau potable, la lettre du cadre territorial.

RODIER J., (1996). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7ème édition

RONALAD V., (2003). Eau, Environnement et Santé Publique, 2ème édition, Ed TEC&DOC, PARIS.

SAHILI, MAKHOKH ., (1987). Essais de modélisation de la retenue El Kansera, Eau et Développement, N° 4, Avril, 89-105p.

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

VALIRON F., (1989). Gestion des Eaux : alimentation en eau - assainissement, Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris.

VIGOURET J., (1985). Le potentiel Zêta et son application dans le domaine de l'eau potable, TSM, 1985, 91,95p.

Zerhun A., (2012). Water treatment course, filtration, Addis Ababa institute of technology.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Principales maladies transmises par l'eau (Association Française pour l'étude des eaux : A.F.E.E.1985).....	25
Tableau 2: les différents débits mesurés au niveau de la mine El Hammam.....	37
Tableau 3: tableau récapitulatif des bilans des unités	42
Tableau 4: Dimensions des ouvrages de la station.....	48
Tableau 5: Les volumes utilisés pour préparer la solution étalonne.....	50
Tableau 6: Absorbance de la solution étalonne.....	51
Tableau 7: Calcul des concentrations en sulfate.....	52
Tableau 8: Calcul des concentrations en bicarbonates.....	52
Tableau 9: Résultats des analyses physico-chimiques d'eau d'oued Beht.....	53
Tableau 10: Projection des paramètres physico-chimiques d'oued Beht sur une grille simplifié des eaux des Oueds.....	55
Tableau 11: Résultats des analyses physico-chimiques d'eau traitée.....	56
Tableau 12: Consommation d'eau potable en m ³ au niveau de la mine El Hammam par unité consommatrice en 2013.....	60
Tableau 13: Tableau Récapitulatif des différentes consommations calculées.....	62
Tableau 14 : avantages et inconvénients des filtres à sable rapides.....	65
Tableau 15: résultat de calcul de la masse des couches de filtre.....	71
Tableau 16: formule de calcul des tubulures d'entrée et de sortie d'eau	73
Tableau 17: Tubulures d'entrée et de sortie de l'eau à traiter.....	74
Tableau 18 : Tubulures d'entrée et de sortie de l'eau de lavage.....	74
Tableau 19 : tableau récapitulatif des critères de filtre.....	75
Tableau 20: dimensions proposés pour le bassin de contact d'eau et le chlore.....	85

Liste des Figures

Figure 1: Les filiales d'ONA-SNIMANAGEM.....	7
Figure 2: Organigramme de la SAMINE.....	10
Figure 3: Processus d'exploitation de fluorine.....	12
Figure 4: Carte de situation de la mine d'El Hammam (extrait de la carte topographique au 1/50000 de Meknès)	13
Figure 5: Carte géologique simplifiée du Maroc central.....	14
Figure 6: carte hydrographique du sous bassin versant d'oued Beht.....	15
Figure 7: pluviométrie et température moyenne à El Hammam.....	16
Figure 8 : Chaîne de traitement classique d'une station de potabilisation d'eau de surface.....	26
Figure 9: Rendement de filtres lents sur sable (Source : Centre International de l'Eau et de L'Assainissement / IRC, 1991, La filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau potable, document technique n°24, La Hague)	30
Figure 10 : Flow-sheet du circuit des bassins et de la digue.....	37
Figure 11 : Flow-Sheet générale de la circulation d'eau au niveau de la mine El Hammam.....	42
Figure 12 : schéma du circuit de prétraitement d'eau potable au niveau d'Oued Beht	46
Figure 13 : Schéma du circuit de traitement d'eau potable au niveau du bassin haut	48
Figure 14 : la courbe d'étalonnage obtenue de la solution du sulfate	51
Figure 15 : Projection sur le diagramme de piper des analyses d'eau d'oued Beht.....	54
Figure 16: Répartition en % des volumes d'eau consommée (en m ³) par unité consommatrice.....	63
Figure 17: Evolution de la consommation des eaux potables du 2009 au 2013 en m ³	64
Figure 18: Dessin de spécification d'un filtre à sable.....	79
Figure 19 : flow-sheet de récupération d'eau de lavage.....	80
Figure 20 : Bassin de la chloration avec des chicanes.....	85
Figure 21: poste de désinfection complet.....	86

ANNEXES

ANNEXE 1

Norme de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production d'eau potable

Catégories		A1		A2		A3	
		G	I	G	I	G	I
Paramètres organoleptiques							
couleur	mg pt/l	<10	20	50	100	50	200
odeur à 25°C		<3	-	10	-	20	-
Paramètres physico-chimiques							
température	°C	20	30	20	30	20	30
pH		6,5-8,5	-	6,5-9,2	-	6,5-9,2	-
conductivité à 20°C	µS/cm	1300	2700	1300	2700	1300	2700
Chlorures	mg/l	300	750	300	750	300	750
sulfates	mg/l	200	-	200	-	200	-
matières en suspension	mg/l	50	-	1000	-	2000	-
O ₂ dissous	mg/l	7 (90%)	-	5 (70%)	-	3 (50%)	-
DBO ₅	mg/l	3	-	7	-	10	-
DCO	mg/l	-	-	25	-	40	-
oxydabilité	mg/l	2	-	5	-	10	-
Substances indésirables							
bore	mg/l	-	1	-	1	-	1
ammonium	mg/l	0,05	0,5	1	1,5	2	4
NTK	mg/l	1	-	2	-	3	-
nitrate	mg/l	-	5	-	50	-	50
phosphore	mg/l	0,4	-	0,7	-	0,7	-
baryum	mg/l	-	1	-	1	-	1
cuivre	mg/l	-	1	-	2	-	2
zinc	mg/l	-	50	-	5	-	5
manganèse	mg/l	-	0,1	0,1	0,1	1	-
fer dissous	mg/l	-	0,3	1	2	1	3
fluorures	mg/l	0,7	1,5	0,7	1,5	0,7	1,5
hydrocarbures dissous	mg/l	-	0,05	-	0,2	0,5	1
phénols	mg/l	-	0,01	-	0,05	-	0,1
détergents anioniques	mg/l	-	0,5	-	0,5	-	0,5
Substances toxiques							
arsenic	µg/l	-	50	-	50	-	100
cadmium	µg/l	1	5	1	5	-	5
chrome total	µg/l	-	50	-	50	-	50
plomb	µg/l	-	50	-	50	-	50
mercure	µg/l	-	1	-	1	-	1
sélénium	µg/l	-	10	-	10	-	10
nickel	µg/l	-	50	-	50	-	50
cyanures	µg/l	-	50	-	50	-	50
pesticides par substance	µg/l	-	0,1	-	0,1	-	0,1
pesticides au total	µg/l	-	0,5	-	0,5	-	0,5
HPA	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	0,2
Paramètres bactériologiques							
coliformes fécaux	/100ml	20	-	2000	-	2000	-
coliformes totaux	/100ml	50	-	5000	-	5000	-
streptocoques fécaux	/100ml	20	-	1000	-	1000	-

La grille fixant les normes de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable distingue les trois catégories d'eau suivantes selon les procédés de traitement appropriés :

- La catégorie A1 pour les eaux nécessitant, pour être potables, un traitement physique simple et une désinfection notamment par filtration et désinfection.
- La catégorie A2 pour les eaux nécessitant, pour être potables, un traitement normal physique, chimique et une désinfection notamment par pré chloration, coagulation. Floculation, décantation, filtration et désinfection (chloration finale).
- La catégorie A3 pour les eaux nécessitant, pour être potables, un traitement physique, chimique poussé, un affinage et une désinfection notamment par chloration au « break-point », coagulation, floculation, décantation, filtration, affinage (charbon actif), et désinfection (ozone, chloration finale).

La grille de qualité des eaux de surface

CLASSE DE QUALITE		Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
PARAMETRE	UNITE					
ORGANOLEPTIQUES						
Couleur	mgPt/l	<20	20- 50	50-100	100-200	>200
Odeur à 25°C		<3	3-10	10-20	>20	-
PHYSICO-CHIMIQUES						
Température	°C	<20	20-25	25-30	30-35	>35
pH	ph	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.2	<6.5ou >9.2	-
Conductivité à 20°C	µs/cm	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
Sulfates (SO ₄)	mg/l	<100	100-200	200-250	250-400	>400
Matière en suspension	mg/l	<50	50-200	200-1000	1000-2000	>2000
O ₂ dissous	mg/l	>7	7-5	5-3	3-1	<1
DBO ₅	mgO ₂ /l	<3	3-5	5-10	10-25	>25
DCO	mgO ₂ /l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
Oxydabilité KMnO ₄	mg/l	<=2	2-5	5-10	>10	-
SUBSTANCES INDESIRABLES						
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mgNH ₄ ⁺ /l	<=0.1	0.1-0.5	0.5-2	2-8	>8
NTK	mgN/l	<=1	1-2	2-3	>3	-
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	<=10	10-25	25-50	>50	-
Orthophosphate(PO ₄ ³⁻)	mgPO ₄ ³⁻ /l	<=0.2	0.2-0.5	0.5-1	1-5	>5
P.total (PT)	mgP/l	<=0.1	0.1-0.3	0.3-0.5	0.5-3	>3
Baryum	mg/l	<=0.1	0.1-0.7	0.7-1	>1	-
Cuivre (Cu)	mg/l	<=0.02	0.02-0.05	0.05-1	>1	-
Zinc (Zn)	mg/l	<0.5	0.5-1	1-5	>5	-
Manganèse (Mn)	mg/l	<=0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1	-
Fer total (Fe)	mg/l	<0.5	0.5-1	1-2	2-5	>5
Fluorures (F ⁻)	mg/l	<=0.7	0.7-1	1-1.7	>1.7	-
Hydrocarbures dissous	mg/l	<0.05	0.05-0.2	0.2-1	>1	-
Phénols	mg/l	<0.001	0.001-0.005	0.005-0.01	>0.01	-
Détergents anioniques	mg/l	<=0.2	<=0.2	0.2-0.5	0.5-5	>5
SUBSTANCES TOXIQUES						
Arsenic (As)	µg/l	<=10	<=10	10-50	>50	-
Cadmium (Cd)	µg/l	<=3	<=3	3-5	>5	-
Chrome total (Cr)	µg/l	<=50	<=50	<=50	>50	-
Plomb (Pb)	µg/l	<=10	<=10	10-50	>50	-
Mercuré(Hg)	µg/l	<=1	<=1	<=1	>1	-
Sélénium(Se)	µg/l	<=10	<=10	<=10	>10	-
Nickel (Ni)	µg/l	<=20	<=20	20-50	>50	-
Cyanures(CN ⁻)	µg/l	<=10	<=10	10-50	>50	-
Pesticides par subst	µg/l	<=0.1	<=0.1	<=0.1	>0.1	-
Pesticides au total	µg/l	<=0.5	<=0.5	<=0.5	>0.5	-
HPA	µg/l	<=0.2	<=0.2	<=0.2	>0.2	-
BACTERIOLOGIQUES						
C. fécaux	/100ml	<=20	20-2000	2000-20000	>20000	-
C.totaux	/100ml	<=50	50-5000	5000-50000	>50000	-
S. fécaux	/100ml	<=20	20-1000	1000-10000	>10000	-
BIOLOGIQUES						
Chlorophylle a	µg/l	<2.5	2.5-10	10-30	30-110	>110

Normes Marocaines pour les eaux d'alimentation humaine

paramètres	Expression des résultats	Valeur maximum admissible
Paramètres physico-chimiques		
Odeur	Seuil de perception à 25 °C	3
Saveur	Seuil de perception à 25 °C	3
Couleur réelle	Unité Pt mg/l	20
Turbidité	Unité de turbidité néphélométrique (NTU)	2
Température	°C	Acceptable
Potentiel hydrogène	Unités pH	6,5<pH<8,5
Conductivité	µS/cm à 20°C	2700
Chlorures	Cl mg/l	750
Sulfates	SO ₄ mg/l	400
Aluminium	Al mg/l	0,2
Fer	Fe mg/l	0,3
zinc	Zn mg/l	3
Oxygène dissous	O ₂ mg O ₂ /l	5 <O ₂ <8
ammonium	NH ₄ mg/l	0,5
Substance indésirables et substance minérales toxiques		
Nitrates	NO ₂ mg/l	0,5
Nitrite	NO ₃ mg/l	50
Manganèse	Mn mg/l	0,5
Fer	Fe mg/l	0,3
Arsenic	As µg/l	10
Baryum	Ba mg/l	0,7
Cadmium	Cd µg/l	3
Cyanures	CN µg/l	70
Chrome	Cr µg/l	50
Fluorure	F mg/l	1,5
Mercure	Hg µg/l	1
Plomb	Pb µg/l	10
Sélénium	Se µg/l	10
Bore	B mg/l	0,3
Nickel	Ni µg/l	20
Paramètres bactériologiques		
Coliformes fécaux	UFC/ 100 ml	0
Coliformes totaux	UFC/ 100 ml	0
Micro-organismes revivifiables à 22 °C et 37 °C	20/ 100 ml à 37 °C 100/100 ml 22 °C	Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle

ANNEXE 2

Photos des ouvrages de potabilisation au niveau de la mine El Hamma



Photo1 : pompe de pompage



Photo2 : déssableur



Photo3 : Bassin de coagulation-floculation



Photo4 : décanteur lamellaire vide (lavage)



Photo5 : Bassin haut



photo5 : filtres à sables peints, corrosion intense

ANNEXE 3

Les kits LCK et le spectrophotomètre :



Les kits LCK



Spectrophotomètres Hach Lange

ANNEXE 4

Résultats des analyses bactériologiques :

EAU (22/01/2013)	UFC	Brute	Traitée
coliformes fécaux	/100ml	0	0
coliformes totaux	/100ml	350	2
spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices	/100ml	13	0
stréptoques fécaux	/100ml	5	0
germes aérobies, anaérobies facultatifs à 22 °C	/1ml	>300	93
germes aérobies, anaérobies facultatifs à 37 °C	/1ml	>300	30

EAU (19/06/2013)	UFC	Brute	Traitée
coliformes fécaux	/100ml	10	1
coliformes totaux	/100ml	300	3
spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices	/100ml	0	-
streptoques fécaux	/100ml	0	-
germes aérobies, anaérobies facultatifs à 22 °C	/1ml	320	70
germes aérobies, anaérobies facultatifs à 37 °C	/1ml	120	20

EAU (25/12/2013)	UFC	Brute	Traitée
coliformes fécaux	/100ml	60	0
coliformes totaux	/100ml	600	2
spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices	/100ml	<10	-
streptoques fécaux	/100ml	100	-
germes aérobies, anaérobies facultatifs à 22 °C	/1ml	720	84
germes aérobies, anaérobies facultatifs à 37 °C	/1ml	172	10
chlore résiduel libre (sur place)	en mg/l	-	0,5

ANNEXE 5

Tableaux des caractéristiques du media filtrant bicouche

Design des médias filtrants Bicouche

- Typiquement

Matériau	Taille effective (mm)	Coefficient d'uniformité	Profondeur (cm)
Sable	0.45 – 0.6	1.2 – 1.7	20 – 40
Anthracite	0.7 – 2.0	1.3 – 1.8	30 - 60

RSF FILTER MEDIA TYPICAL PROPERTIES

PROPERTY	UNIT	GARNET	LMENITE	SAND	ANTHRACITE	GAC
Effective Size, ES	mm	0.2 - 0.4	0.2 - 0.4	0.4 - 0.8	0.8 - 2.0	0.8 - 2.0
Uniformity Coefficient, UC	UC	1.3 - 1.7	1.3 - 1.7	1.3 - 1.7	1.3 - 1.7	1.3 - 2.4
Density, ρ_p	g/mL	3.6 - 4.2	4.5 - 5.0	2.65	1.4 - 1.8	1.3 - 1.7
Porosity, ϵ	%	45 - 58	Not available	40 - 43	47 - 52	Not available
Hardness	Moh	6.5 - 7.5	5.6	7	2 - 3	Low



TABLE 8.2 Typical Properties of Common Filter Media for Granular-Bed Filters (Cleasby and Fan, 1981; Dharmarajah and Cleasby, 1986; Cleasby and Woods, 1975)

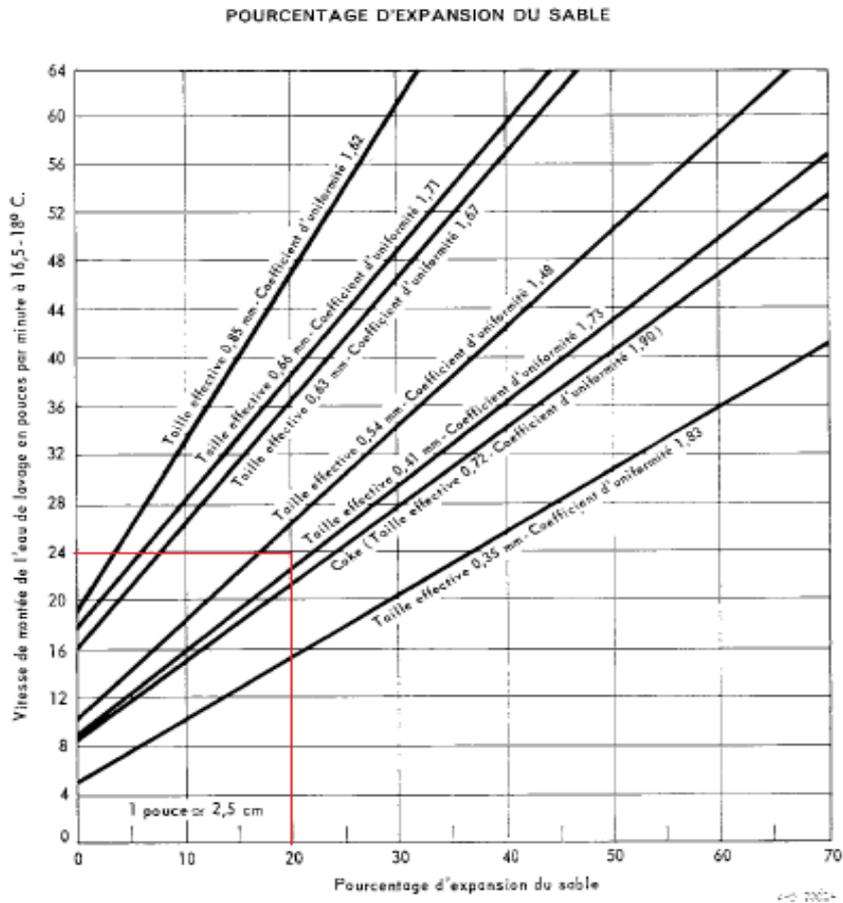
	Silica sand	Anthracite coal	Granular activated carbon	Garnet	Ilmenite
Grain density, ρ_s , Kg/m ³	2650	1450–1730	1300–1500*	3600–4200	4200–4600
Loose-bed porosity ϵ_0	0.42–0.47	0.56–0.60	0.50	0.45–0.55	**
Sphericity ψ	0.7–0.8	0.46–0.60	0.75	0.60	**

* For virgin carbon, pores filled with water, density increase when organics are adsorbed.
 ** Not available.

Ref: American Water Works Association. Water Quality and Treatment: A handbook of community water supplies. 5th ed. McGraw Hill, 1999

ANNEXE 6

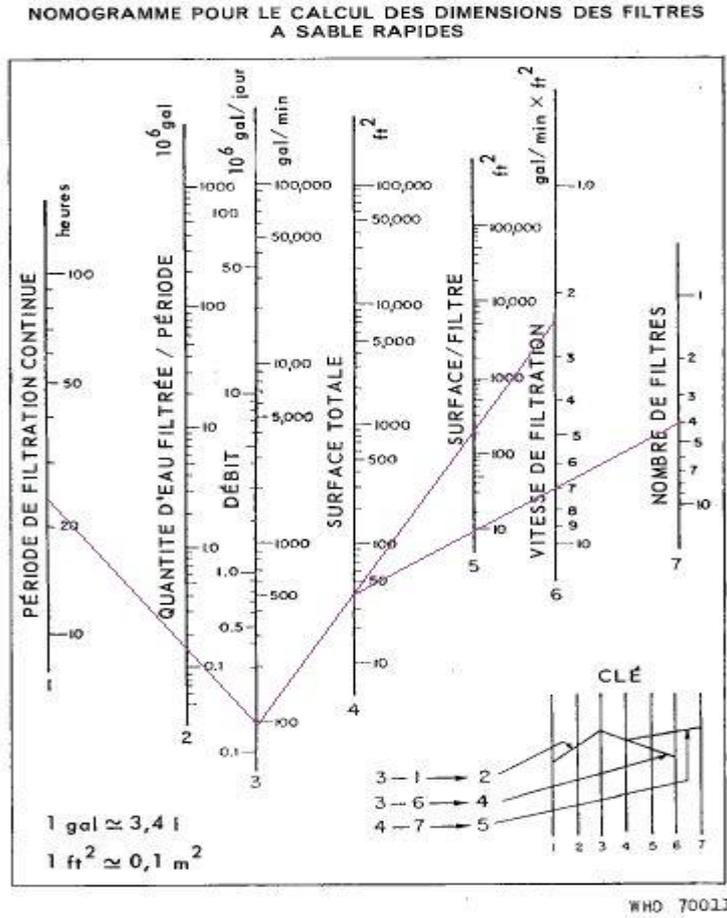
Figure pour la détermination de la vitesse du contre lavage des filtres à sable en fonction de l'expansion de sable



D'après Cox (1960), p. 29, grâce à l'obligeance de l'US Agency for International Development, Washington, D.C.

ANNEXE 7

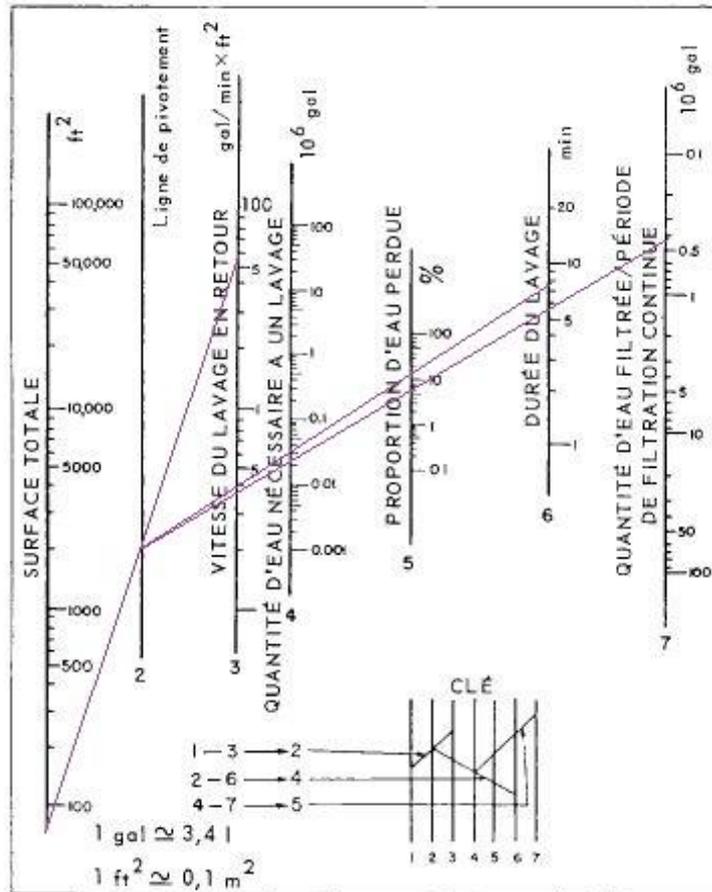
Nomogramme pour le calcul des dimensions des filtres à sable rapides



D'après Cox (1960), p. 33, grâce à l'obligeance de l'US Agency for International Development, Washington, D.C.

Nomogramme pour le calcul de la consommation en eau de lavage des filtres à sables rapides

NOMOGRAMME POUR LE CALCUL DE LA CONSOMMATION EN EAU DE LAVAGE DES FILTRES A SABLE RAPIDES



WHO 70012

D'après Cox (1960), p. 35, grâce à l'obligeance de l'US Agency for International Development, Washington, D.C.

ANNEXE 8

Tableau de Calcul de débit de la solution d'hypochlorite à pomper selon le Facteur de dilution :

Débits de la pompe d'alimentation (l/s)	Facteur de dilution pour la solution d'hypochlorite de sodium %	Débits de la pompe doseuse d'hypochlorite en (l/j)
< 0.1	20	$Q_{\min} = 17 * Q$
		$Q_{\max} = 170 * Q$
0.1 – 0.3	10	$Q_{\min} = 8.5 * Q$
		$Q_{\max} = 85 * Q$
> 0.3	5	$Q_{\min} = 4.25 * Q$
		$Q_{\max} = 42.5 * Q$

Réf : traitement des eaux
 auteur: Raymond Dejardins

ANNEXE 9

Tableau donne la valeur de **K** pour la détermination du temps de contact de l'eau et le chlore :

Valeurs du pH	Température de l'eau		
	10°C ou plus chaud	7°C	4°C ou plus froid
6.5	K = 4	K = 5	K = 6
7	8	10	12
7.5	12	15	18
8	16	20	24
8.5	20	25	30
9	24	30	36

Réf: traitement des eaux
auteur: Raymond Desjardins