



CENTRE DE RECHERCHE
REMINEX



UNIVERSITE CADI AYYAD
Faculté des Sciences et Techniques
Marrakech
Département des Sciences de la Terre

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

LICENCE ES SCIENCES ET TECHNIQUES

« **Eau et Environnement** »

Intitulé :

**OPTIMISATION DE LA FILTRATION SUR
SABLE POUR LE TRAITEMENT DES EAUX
POTABLES À LA COMPAGNIE MINIÈRE
GUEMASSA (CMG).**

- **Houda JARID**
- **Karam AMZIL**

Encadré par :

Professeur Khadija ELHARIRI : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

Mr Abdennabi ELHATTAF : Centre de recherche REMINEX - CMG

Soutenu : Le 27 /06/2012

Devant le jury composé de :

Professeur Lahcen DAOUDI: Faculté des Sciences et Techniques-Marrakech

Professeur Abdellah AIT ADDI : Faculté des Sciences et Techniques-Marrakech

2011-2012

Remerciement

Ce manuscrit constitue un rapport de fin d'études dans le cadre de la licence Eau et Environnement. La partie expérimentale a été réalisée au sein des laboratoires du Centre de Recherche REMINEX, nous remercions les responsables de ce centre et précisément **Monsieur BOUSSETA** Directeur Adjoint de l'unité analyse et caractérisation pour l'accueil qu'ils nous ont réservé et l'intérêt et l'aide qu'ils n'ont cessé de prodiguer tout au long de notre séjour parmi eux.

Nous remercions profondément **Monsieur EL HATTAF Abdennabi**, encadrant de notre stage pour les conseils et les recommandations concernant les tâches évoquées dans ce rapport ainsi pour son engagement sérieux et responsable.

Madame ELHARIRI Khadija, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech, Département des Sciences de la Terre nous a suivi de plus près et nous a fait bénéficier de son expérience sur le plan pratique et sa compétence sur le plan théorique et a toujours été disponible pour nous orienter, nous lui exprimons notre profonde gratitude.

Ce stage a nécessité, tout au long de sa période, l'aide et le soutien de plusieurs personnes. Nous exprimons ainsi notre gratitude à l'égard de l'ensemble du personnel du Laboratoire des Eaux pour leur soutien ainsi leur sympathie qui a facilité notre intégration de l'entreprise, nous tenons à exprimer notre reconnaissance précisément à **Monsieur AOUAD Moustapha** pour les efforts qui n'a cessé de multiplier pour nous faciliter le travail à effectuer.

Nous ne serions arrivés à ce stade sans l'implication directe de toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech et les intervenants pédagogiques responsables de la formation LST - Eau et Environnement, nous les remercions tous, pour leurs dévouements et ténacité pour assurer une formation de qualité.

SOMMAIRE

Sommaire.....	3
Résumé.....	6
Introduction.....	7
I. Présentation de l'organisme d'accueil.....	9
1) Groupe MANAGEM	9
2) La Mine Hajjar.....	9
2.1) Situation géographique.....	9
2.2) Historique.....	10
2.3) Structure de la mine Hajjar.....	11
3) Centre de recherche REMINEX.....	11
II. La Qualité de l'eau brute alimentant la CMG.....	13
1) Introduction.....	13
2) L'eau dans le site.....	13
2.1) L'alimentation en eau dans le site.....	13
2.1.1) L'eau d'exhaure	13
2.1.1) L'eau recyclée de la digue.....	14
2.1.2) Forage SH3.....	14
2.1.3) L'eau du barrage Lalla TAKERKOUST.....	14
2.2) Les utilisations de l'eau dans le site.....	16
2.2.1) L'eau industrielle.....	16
2.2.2) L'eau potable.....	17
3) Les analyses physico-chimiques de l'eau brute	17
4) Description de l'eau.....	21
5) Demande en eau dans le site minier Hajjar.....	21
III. Procédés de potabilisation de l'eau.....	23
1) Introduction.....	23
2) Processus de traitement de l'eau potable.....	23
2.1) Dégrillage.....	23
2.2) Préchloration.....	23
2.3) Débourbage.....	23
2.4) Décantation.....	24
2.5) Filtration.....	24
2.6) Désinfection.....	25

2.7)	Stockage.....	25
3)	Processus de traitement adoptés dans la CMG.....	25
IV.	Analyse et Caractérisation des sables.....	27
1)	Introduction.....	27
2)	La filtration.....	27
2.1)	Les différents types de filtration.....	27
2.2)	Paramètres caractéristiques de la filtration.....	28
2.3)	Matériaux filtrants.....	30
3)	Origine des matériaux étudiés	32
3.1)	Echantillon « Talamount »	32
3.2)	Echantillon « Oum Jrane »	33
3.3)	Echantillon de sable quartzeux.....	34
3.4)	Echantillons commerciaux fin et grossier.....	34
4)	Analyse et caractérisation des sables.....	35
4.1)	L'analyse granulométrique.....	35
4.1.1)	Principe.....	35
4.1.2)	Mode opératoire.....	35
4.1.3)	Les paramètres granulométriques.....	36
4.1.4)	Résultats et interprétation.....	37
4.1.6)	Conclusion.....	44
4.2)	Analyse morphoscopique	45
4.2.1)	Principe.....	45
4.2.2)	Résultats et interprétation.....	46
4.2.3)	Conclusion.....	49
4.3)	La perméabilité.....	49
4.4)	Analyse chimique par balayage ICP.....	50
4.4.1)	Principe.....	50
4.4.2)	Résultats et interprétation.....	50
4.4.3)	Conclusion.....	51
4.5)	Synthèse des caractéristiques des matériaux filtrants.....	51
V.	Les essais de filtration au laboratoire.....	53
1)	Introduction.....	53
2)	Présentation des essais au laboratoire.....	53
2.1)	Prélèvement de l'eau.....	53
2.2)	Matériel utilisé.....	53

2.3) Mode opératoire.....	54
2.4) Dimensionnement d'un filtre réel.....	54
3) Résultats des essais.....	55
3.1) Scénario 1.....	55
3.2) Scénario 2.....	57
3.3) Scénario 3.....	59
3.4) Scénario 4.....	62
3.5) Scénario 5.....	65
3.6) Les conditions extrêmes.....	67
3.7) Conclusion.....	69
Conclusion générale.....	71
Liste des tableaux.....	73
Liste des figures.....	74
Liste d'abréviation.....	75
Bibliographie.....	76
Annexe.....	77

Résumé

La station de traitement des eaux potables à la CMG, doit assurer une quantité en eau importante pour desservir les besoins du site minier en eau potable. Malheureusement, l'usine de traitement connaît un ensemble de contraintes qui contribuent à baisser la qualité de l'eau produite. Dans l'objectif de fournir à la fois la quantité et la qualité demandées, nous avons développé un projet visant à améliorer le processus de filtration sur sable et à obtenir une qualité d'eau adéquate du point de vue turbidité.

Notre travail s'est basé, au début, sur l'analyse des données physico-chimiques de l'eau brute afin de qualifier sa qualité et de déterminer les processus de traitement appropriés pour la rendre potable. Ensuite, nous avons déterminé la quantité d'eau demandée pour satisfaire les besoins du site minier. Ces deux paramètres qualité et quantité doivent être gérés au mieux dans notre étude sur la filtration afin d'obtenir des bons résultats. Par ailleurs, nous avons procédé à la caractérisation des matériaux filtrants par une étude granulométrique, morphoscopique et chimique afin d'identifier différents paramètres pouvant orienter le choix des sables à adopter. Ainsi, nous avons réalisé une série d'essais au laboratoire en proposant 5 scénarios différents. Puis nous avons analysé les résultats obtenus en nous intéressant à la qualité de l'eau à la sortie du processus et au débit de filtration correspondant qui renseigne sur la quantité d'eau à traiter par jour. Ceci nous a permis de sélectionner trois modes de filtrations dont chacune est caractérisée par un débit déterminé et une qualité précise. Bien que, les trois modes choisis présentent des résultats considérables et faisables à l'échelle réelle, nous avons effectué des tests sur ces scénarios dans des situations critiques où la turbidité est très élevée. Le comportement des colonnes filtrantes dépend des caractéristiques des sables utilisés. Ceci a permis de limiter le choix des scénarios adéquats pour la filtration des eaux potables.

Grâce à cette succession de travaux, étape par étape, nous avons réussi à proposer les matériaux filtrants, le nombre et le positionnement des filtres et les débits de filtrations optimaux pour améliorer la qualité de l'eau vis-à-vis la turbidité et répondre à la demande en eau dans la CMG.

Introduction

Au Maroc, la consommation en eau augmente considérablement et la pénurie se fait sentir dans de nombreuses régions du pays. Ceci risque d'avoir des répercussions sur le développement socio-économique ainsi que la préservation de l'environnement. Cette forte demande résulte de la croissance démographique et de l'amélioration des conditions de vie. Devant ces contraintes, le Maroc a déployé d'importants efforts de mobilisation de son potentiel hydraulique en vue faire face à ces enjeux.

Pour assurer un développement économique fort et puissant, notre pays s'est engagé dans le domaine de l'industrie minière, qui est un facteur non négligeable de développement. Il dispose de potentialités et des richesses incontestables et constitue une clé de voûte pour la résorption du problème de chômage, et contribue fortement à la création d'une valeur ajoutée nationale.

La compagnie Minière Guemassa (CMG), chargée de l'exploitation de la mine Hajjar est l'une des grandes sociétés actives dans l'exploration, l'exploitation et le traitement des ressources minières. Elle nécessite l'utilisation d'une quantité importante d'eau, pour le bon déroulement des processus industriels et la satisfaction des besoins des laboratoires et du personnel.

La CMG est muni d'une station de traitement des eaux potables destinées à répondre aux besoins des différentes unités du site minier en eau potable. L'industrie de l'eau est sous une pression croissante pour produire une eau de meilleure qualité au plus faible coût.

Avant de s'intéresser à la station dans son ensemble, il nous est apparu que l'unité de filtration sur sable représente une étape clé dans la production de l'eau potable. Elle permet d'éliminer les particules en suspension dans l'eau qui sont des sources de contamination par la suite. Or le rendement du processus de filtration adopté semble être inadéquat et contribue ainsi à la production d'une eau non conforme aux normes de potabilité (supérieure à 5 NTU), avec des valeurs minimales et maximales de 4 à 12 NTU et une moyenne de l'ordre de 5,7 NTU. Ces turbidités sont expliquées par le sous-dimensionnement des bassins de traitement, le manque et la mauvaise gestion des filtres à sables et les problèmes d'automatisation des pompes.

Nous signalons que la station de traitement enregistre des turbidités de l'eau potable les plus élevées (7 à 12 NTU) dans des périodes bien déterminées : saison pluvieuse, périodes orageuses et au cours de l'activation d'une pompe en repos.

Le centre de recherche REMINEX, a plusieurs missions entre autres, celle d'assurer une eau potable de bonne qualité, a accompli plusieurs études permettant l'optimisation des processus de traitement comme la coagulation-floculation et la désinfection. Notre projet de fin d'étude s'insère bien dans le cadre de l'optimisation de la gestion de cette eau moyennant un processus de filtration sur sable dans un objectif de cibler les matériaux filtrants adéquats, le nombre et le positionnement des filtres ainsi que les débits de filtration optimaux.

I. PRÉSENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

1) Groupe MANAGEM :

Le Groupe MANAGEM a été créé en 1928, il opère actuellement sur trois axes d'activités : Exploration, Exploitation, Valorisation-Recherche. Il a développé un réel savoir-faire en termes de maîtrise des opérations d'exploitation minière, de valorisation des minerais, d'exploration, d'innovation et de démarche de développement durable qu'il exporte aujourd'hui à d'autres pays africains. MANAGEM s'apprête à améliorer la qualité de sa production, la sécurité de ses processus d'exploitation et sa rentabilité. L'activité primordiale de MANAGEM consiste à commercialiser différents minerais, à savoir les métaux de base (cuivre, zinc, plomb), les métaux précieux (Or et argent), les métaux spéciaux (cathode de cobalt, nickel, etc...) issus du traitement hydrométallurgique et enfin des substances utiles comme la fluorine. Son excellence opérationnelle et son fort potentiel en recherche et développement (R&D) ont permis au Groupe MANAGEM de s'opérer au Maroc et à l'étranger (**voir Annexe 1**). Ceci se fait dans le cadre d'une charte environnementale et sociale pour répondre au mieux aux attentes de toutes ses parties prenantes. Suite à la fusion-absorption du Groupe ONA par le Holding SNI achevée juridiquement le 31 décembre 2010, MANAGEM est devenue filiale de SNI.

Au 30 juin 2011, le capital social de MANAGEM s'est établi à 850 772 100 Dh, entièrement libéré. Il est divisé en 8 507 721 actions d'un nominal de 100 Dh chacune. (http://www.managem-ona.com/qui_sommes/)

2) La Mine HAJJAR

2.1) Situation géographique :

Le gisement de Hajjar est situé à 35 Km au sud-ouest de Marrakech. On y accède par la route secondaire n° 507 reliant Marrakech à Amezmiz. La morphologie de la région varie de 400 à 800 m. Le secteur des Guemassa est caractérisé par un climat aride, chaud en été, froid et sec en hiver.

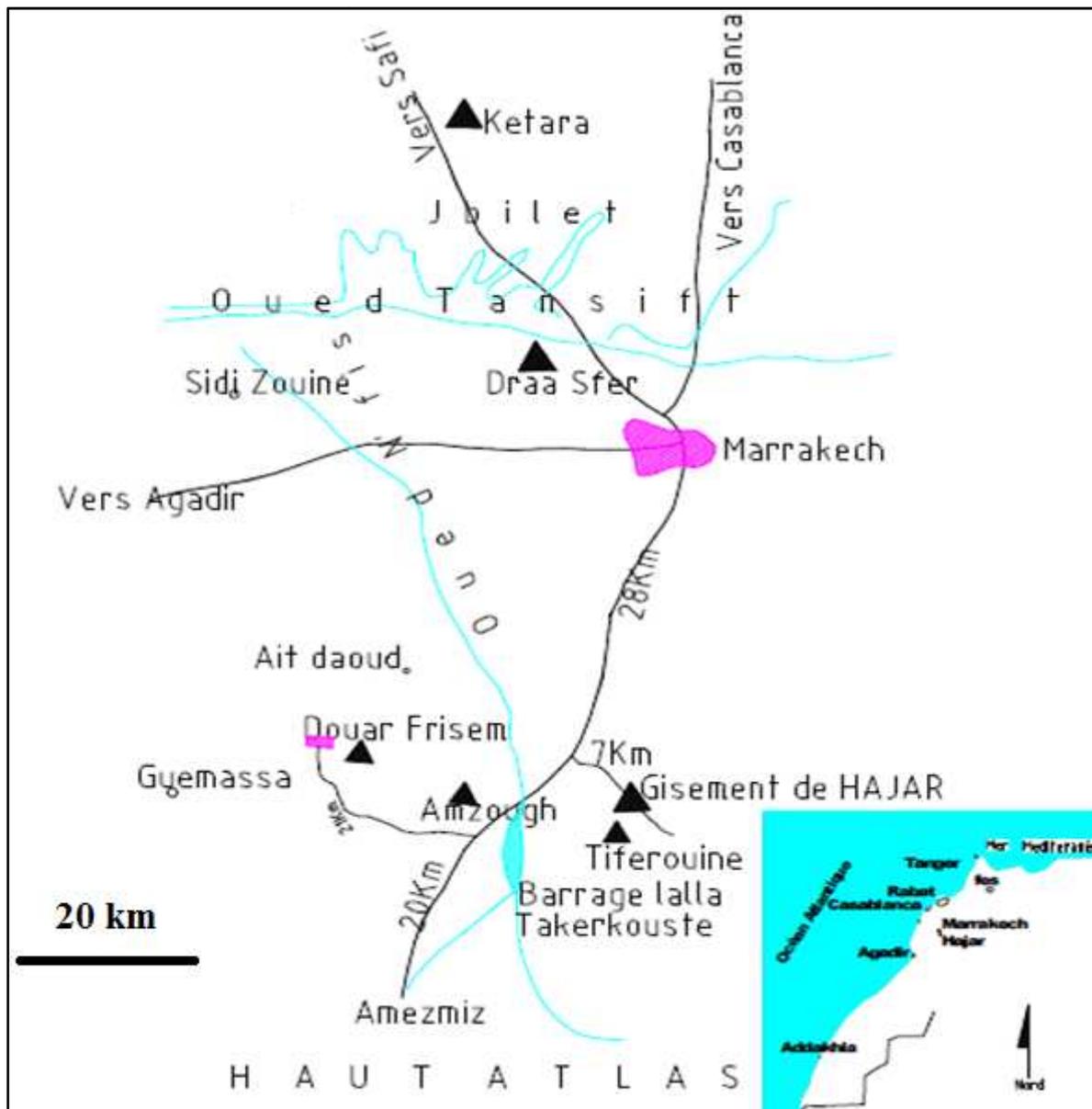


Figure 1 : Situation géographique de la mine Hajjar. (ASSIME, 2005)

2.2) Historique :

Depuis les années trente, la région de Guemassa a été le siège de plusieurs compagnes géophysiques visant la recherche d'autres gisements, après la découverte de celui de Kettara (région des Jebilet). En effet, les levés électromagnétiques réalisés en 1968 ont mis en évidence l'anomalie sur la couverture mio-pliocène. En 1971, des levés magnétiques de toute la bordure Nord-Ouest Atlasique sont réalisés. On a abouti alors à une carte aéro-magnétique ayant deux objectifs: hydrogéologique et minier. L'objectif minier se manifeste par la recherche d'amas sulfurés. Dans ce cadre, plusieurs études cartographiques, géochimiques et géophysiques ont été réalisés sur l'ensemble des chapeaux de fer dans le domaine de Guemassa. Ce qui a permis la découverte de la mine Hajjar.

Le gisement polymétallique zinc, plomb et cuivre, a été découvert en 1984 dans le cadre d'un programme d'exploitation lancé en 1982 par le ministère de l'Énergie et des Mines en collaboration avec

le Bureau de Recherche et de Participation Minière (BRPM) et le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

La création de la C.M.G a été réalisée en 1988 par convention entre BRGM et le groupe ONA, ce dernier devient l'opérateur du projet à 70%. L'exploitation débutée en 1992 permet de traiter aujourd'hui plus de 4500 tonnes de minerais par jour, et de produire 640 tonnes de concentré de zinc à 52%, 170 tonnes de concentré de plomb à 68% et 77 tonnes de concentré à 28%.

2.3) Structure de la mine Hajjar

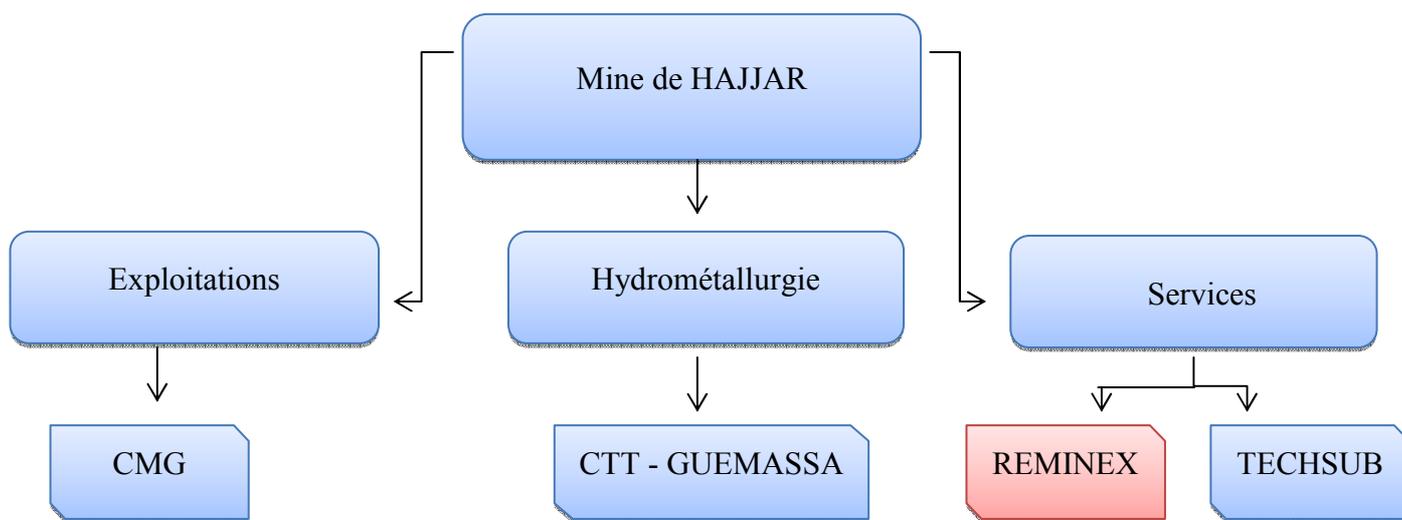


Figure 2 : Organigramme de la mine de Hajjar.

3) Centre de recherche REMINEX

Créé en 1990, c'est le centre de recherche des services filiale du groupe ONA. REMINEX a acquis un savoir-faire grâce à de nombreux projets développés au sein du pôle minier du groupe ONA. Ce savoir-faire concerne des domaines de compétences aussi variés de la géologie appliquée, l'ingénierie du sous-sol, le traitement de la matière et la mise au point des procédés d'analyses et caractérisation. Ce centre dispose de plusieurs laboratoires qui lui permettent de répondre aux besoins de ces clients en matière d'analyses (figure 3). Pour réaliser plus d'un million d'analyses par an. Les laboratoires s'appuient sur les compétences d'une équipe d'ingénieurs, de chercheurs et de techniciens qui sont derrière le développement de plusieurs procédés de traitement et de valorisation industriels.

REMINEX a également fait un grand pas en avant concernant la qualité en décrochant un diplôme d'accréditation décerné par le COFRAC, organisme français d'accréditation. Cette reconnaissance vient récompenser les efforts fournis par les laboratoires et le personnel de REMINEX concernant le respect des normes ISO 9002 et NF 45001.

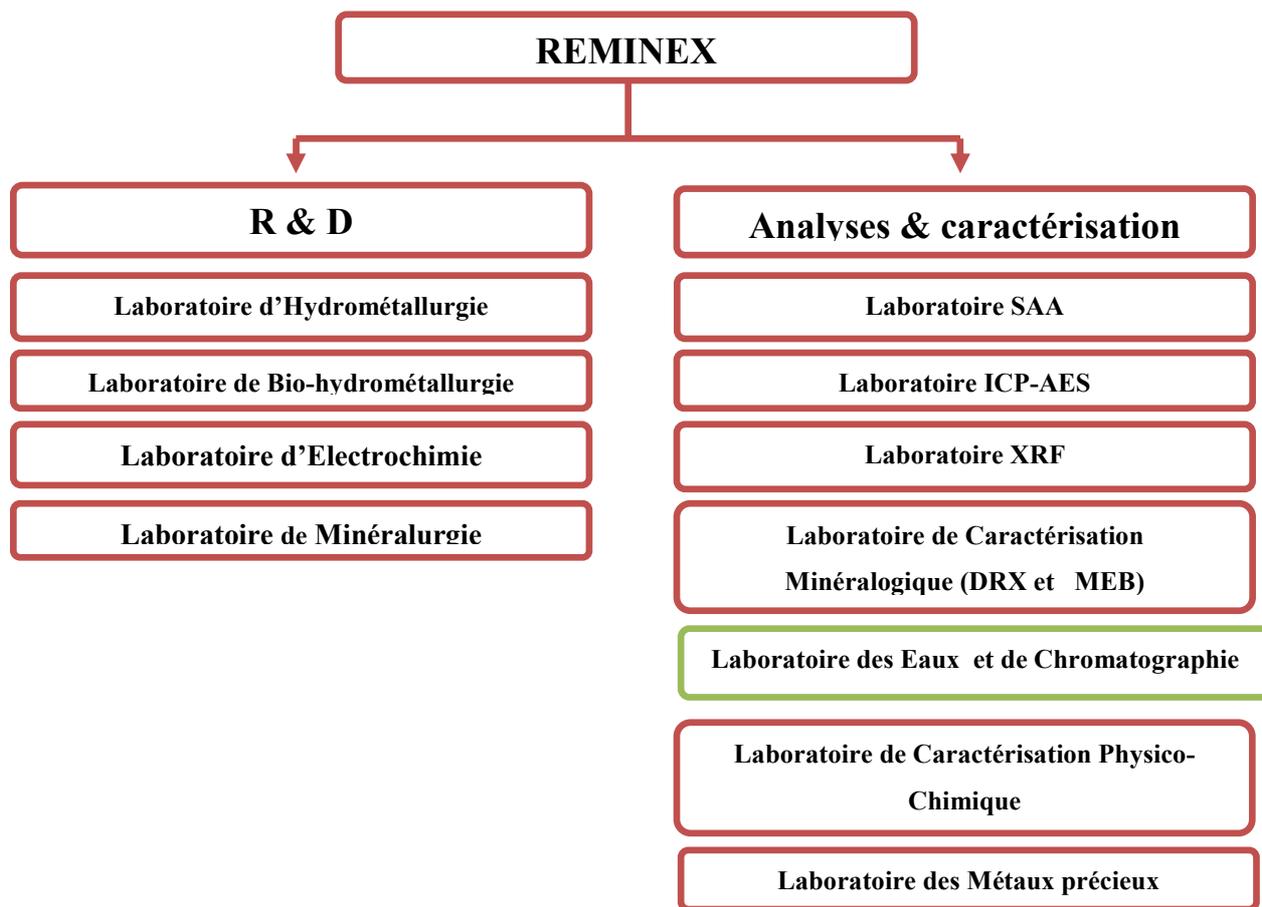


Figure 3 : Différents laboratoires du centre de recherche REMINEX (Zniber, 2010)

II. LA QUALITÉ DE L'EAU BRUTE ALIMENTANT LA CMG

1) Introduction

L'eau, une des plus importantes ressources naturelles, doit être gérée de manière à assurer de façon permanente son équilibre entre les besoins et son abondance naturelle. Notre pays connaît un développement socio-économique important, ce qui se traduit par la mise en service de plusieurs infrastructures industrielles et urbaines. Certes, le bon fonctionnement des pôles industriels provoque un accroissement de la demande en eau et suscite également une bonne qualité des eaux à utiliser.

C'est dans cette vision que nous tenons à présenter les différentes sources d'approvisionnement en eau dans la Compagnie Minière Guemassa et principalement le barrage Lalla TAKERKOUST. Etant donné que ce dernier fournit une quantité importante d'eau pour la production de l'eau potable ainsi que pour d'autres utilisations industrielles. De même, nous avons contribué à l'étude de la qualité de l'eau brute en nous basant sur les données d'analyses physico-chimiques collectées durant l'année 2011 par le laboratoire des analyses des eaux au sein de la société. Ceci nous a permis de conclure à propos de la qualité de l'eau brute destinée à la consommation humaine par le biais de l'étude de l'évolution dans le temps des paramètres physico-chimiques et biologiques de cette eau. Cette étude hydro-chimique de l'eau brute permettra de caractériser la charge polluante, minérale ou organique, pour recommander les processus et les réactifs adéquats au traitement de cette eau destinée à la consommation humaine.

2) L'eau dans le site

L'industrie minière et les activités qui lui sont associées nécessitent une consommation importante en eau. La valorisation des minerais extraits fait appel à des techniques comme la flottation, l'hydrométallurgie et le lavage des matériaux qui sollicitent des quantités d'eau importantes. Le site minier est muni d'un ensemble de sources d'alimentation permettant de satisfaire les différents besoins en eau. On cite : l'eau du forage, l'eau d'exhaure, l'eau recyclée de la digue et l'eau en provenance du barrage Lalla TAKERKOUST.

Les eaux dans la CMG se répartissent en trois grandes utilisations :

- L'eau industrielle
- L'eau potable
- L'eau d'irrigation

2.1) L'alimentation en eau dans le site

2.1.1) L'eau d'exhaure

L'eau d'exhaure est l'eau souterraine qui percole dans les niveaux les plus profonds des puits, des forages et des galeries destinées à l'exploitation minière. L'ensemble de ces infrastructures de la mine

permet de collecter et rassembler des quantités d'eaux importantes, qui gênent l'avancement des travaux. Ainsi le pompage des eaux vers la surface est indispensable. Les eaux évacuées vers la surface sont stockées dans un bassin de 5000 m³. Le bassin possède deux arrivées d'eau, celle du niveau N380 et celle du niveau N580. Plusieurs piquages sur ces circuits permettent d'irriguer les espaces verts.



Figure 4 : Photo illustrant le Bassin de stockage des eaux d'exhaures

2.1.2) L'eau recyclée de la digue

Les rejets stériles de la laverie sous forme de pulpe sont envoyés vers la digue pour subir une épuration après l'ajout des sulfates de fer (FeSO₄) à raison de 45g par tonne de tout venant. Le séjour des rejets dans la digue permet une élimination partielle du cyanure par complexation avec les sulfates de fer et par dégradation à l'aide des rayons ultra-violet du soleil. Une partie de la pulpe est récupérée à la fin du recyclage après décantation en aval de la digue pour être envoyée vers la station de traitement. (Mathieu Goldman, 2000).

2.1.3) Forage SH3

C'est une eau souterraine destinée à la production de l'eau potable. Elle est mélangée après un processus de filtration sur un lit de gravier et sable, à l'eau de barrage traitée dans un bassin de stockage de l'eau potable. Cette source est condamnée actuellement, en raison du grand risque de contamination de la nappe phréatique par les rejets industriels de la mine (Communiqué par le personnel du site).

2.1.4) L'eau du barrage Lalla TAKERKOUST

L'eau du Haut Atlas qui s'écoule dans la région à travers l'Oued N'FIS est retenue en amont de la plaine de HAOUZ par le barrage Lalla TAKERKOUST. Celui-ci correspond à la principale entrée

« d'eau neuve » du site, présentant plus de 75 % des ressources en eau. L'eau du barrage est stockée dans un bassin de 5000 m³. (Mathieu Goldman, 2000).



Figure 5 : Photo illustrant le Bassin de stockage des eaux du barrage Lalla TAKERKOUST.

a) Situation géographique

Le barrage Lalla Takerkoust, situé à environ 35 Km au Sud Ouest de Marrakech, a été construit entre 1929 et 1935 pour l'irrigation et la production d'énergie électrique. Il est construit sur l'oued N'fis qui prend sa source dans la chaîne du Haut Atlas et qui est un affluent de l'oued Tensift traversant de l'Est en Ouest l'immense plaine alluviale du Haouz de Marrakech.

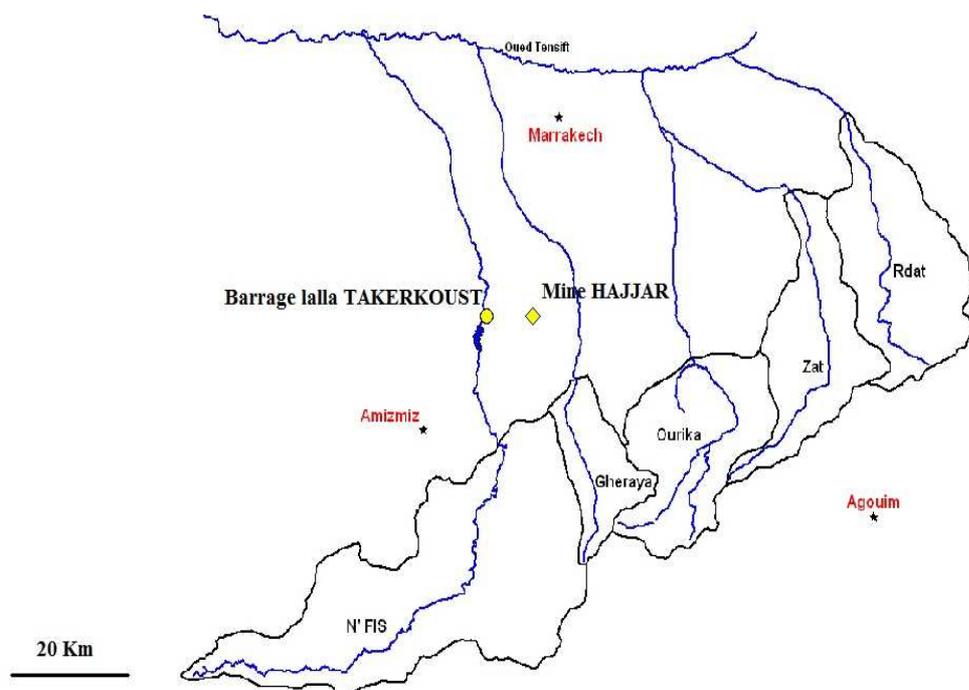


Figure 6 : Situation géographique du barrage Lalla TAKERKOUST.

b) Paramètres hydrologiques du barrage Lalla TAKERKOUST

Hydrologie	
Superficie du BV	1700 km ²
Altitude moyenne	1600 m NGM
Pluviométrie moyenne annuelle	300 mm
Débit moyen annuel	5,3 m ³ /s
Apport moyens annuels	172,4 M.m ³
Débit de crue centennale	1130 m ³ /s
Débit de crue millénaire	2060 m ³ /s

Tableau 1 : paramètres hydrologiques du barrage Lalla TAKERKOUST

c) L'utilisation des eaux du barrage

L'eau du barrage est pompée vers le bassin de stockage afin d'être utilisée pour l'alimentation du site minier en eau industrielle, le reste est envoyé à l'aide d'une pompe vers un bassin de traitement pour la rendre potable.

- 5000 m³/jour pour l'eau industrielle
- 450 m³/jour pour l'eau potable

Une petite partie non quantifiable est destinée à l'arrosage des arbres du haut de la mine. Cette quantité doit être déduite de celle qui alimente le bassin de stockage.

2.2) Les utilisations de l'eau dans le site

Les activités de la mine exigent l'utilisation de l'eau à plusieurs niveaux. D'une part pour les unités industrielles du site utilisant la flottation et autres techniques de production et de lavage, il s'agit de l'eau « industrielle » ou « process ». On note que certaines unités préfèrent l'utilisation de l'eau du barrage pour des fins industrielles, vu que cette eau présente une qualité mieux adaptée aux procédés utilisés. D'autre part pour le personnel de la mine, il faut une quantité d'eau potable devant répondre aux besoins divers comme la boisson, les douches ou les sanitaires. Enfin les espaces verts ont besoin d'eau destinée à leur irrigation de façon permanente.

2.2.1) L'eau industrielle

L'eau industrielle est obtenue par un mélange de 60% d'eau du barrage stocké dans le bassin de 5000 m³ et 40% d'eau d'exhaure contenue dans le bassin voisin. La laverie utilise cette eau pour les procédés de flottation, les ateliers pour laver les engins et les pièces mécaniques et la station de remblayage pour le béton. Cette eau peut être utilisée pour l'irrigation, mais elle présente une mauvaise qualité pour ce type d'usage, vu que l'eau d'exhaure apporte certains éléments en grande quantité, et détériore la qualité de l'eau du barrage lors du mélange. C'est pour cette raison que certaines unités

réclament l'utilisation unique de l'eau du barrage pour leurs activités industrielles. (Mathieu Goldman, 2000).

2.2.2) L'eau potable

Un traitement est effectué sur l'eau du barrage afin de produire une eau de boisson potable et conforme aux normes marocaines (**Annexe 4B**). En 2000, le site avait besoin de 288 m³/j, actuellement la quantité d'eau demandée pour desservir le personnel du site a augmenté pour atteindre une moyenne de 450 m³/j.

3) Les analyses physico-chimiques de l'eau brute

Dans le but de qualifier la qualité de l'eau brute alimentant la station de traitement des eaux potables. Nous avons choisi l'année 2011 comme période d'étude, afin d'interpréter les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau et de faire une comparaison avec les normes d'appréciations des eaux de surface. Ceci nous a permis d'affecter un classement sur l'échelle de qualité pour l'eau du barrage Lalla TAKERKOUST. Dans les tableaux 3 et 4, nous avons rassemblé les résultats de ces analyses

➤ Analyses physiques de l'eau au titre de l'année 2011.

Mois	Les paramètres physiques					
	Température (°C)	pH	MES (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	O ₂ dissous (mg/L)	Turbidité (NTU)
Janvier 11	16,7	7,45	<5.0	414	8,08	40,1
février-11	18,3	7,8	<5.0	339	7,77	8,46
mars-11	19,4	8,14	<5.0	342	8,02	11,7
avril-11	17,3	7,73	<5.0	294	8,05	46
mai-11	22,1	8,13	<5.0	302	6,97	36,5
juin-11	27,5	7,87	<5.0	336	7,99	47,3
juillet-11	23,4	7,45	<5.0	321	5,74	7,24
août-11	23,2	7,85	<5.0	324	7,2	63,7
septembre-11	17,5	8,14	<5.0	350	7,9	21,3
octobre-11	17	8,13	<5.0	374	8,02	30,8
novembre-11	18,2	7,95	<5.0	383	8,02	19,4
décembre-11	12	8,06	<5.0	404	8,15	7,05

Tableau 2: Résultats des analyses physiques de l'eau brute pendant l'année 2011.

➤ Analyses chimiques de l'eau au titre de l'année 2011.

Mois	Les paramètres chimiques																
	DCO (mg/L)	TA (deg. F)	TAC (deg. F)	TH (deg.F)	CO ₃ (mg/L)	HCO ₃ (mg/L)	SO ₄ (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)
Janvier-11	<10.0	<0.240	10,4167	16	<0.5	127,1	64,7	48,2849	15,6807	19,4461	2,7291	18,8	0,1458	2,94	0,03	<0.02	0,06
février-11	<10.0	<0.240	13,2979	15,5	<0.5	162,3	22,8	37,9121	8,9902	14,3439	1,9507	19,5	0,222	1,15	<0.01	0,06	<0.01
mars-11	<10.0	<0.240	13,2979	12,5	<0.5	162,2343	18,6	35,0554	9,1283	15,5064	1,9121	16	0,3	1,34	<0.01	<0.02	0,21
avril-11	<10.0	<0.240	12,5	14	<0.5	152,5	25,3	42,4626	10,3175	11,53	1,9312	14,2	0,2683		<0.01	<0.02	0,07
mai-11	<10.0	<0.240	12,234	13,5	<0.5	149,3	12,5	41,1034	8,6343	11,5787	1,8212	12,5	0,2931		0,02	<0.02	0,11
juin-11	<10.0	<0.240	11,4583	13,24	<0.5	139,8	22	41,42	9,34	10,63	2,23	10,3	0,3053		<0.01	0,08	0,08
juillet-11	<10.0	<0.240	11,9792	13,5	<0.5	146,2	19,1	37,4187	9,4016	11,0339	1,7745	11,2	0,2473		0,01	<0.02	0,02
août-11	<10.0	<0.240	11,4583	14	<0.5	139,8	22,3	37,2887	11,0867	13,9685	2,1801	15,8	0,2835	0,72	0,03	<0.02	0,03
septembre-11	<10.0	<0.240	12,5	15,35	<0.5	152,5	28,7	43,8827	13,6538	16,1408	2,8707	17,2	0,3058	0,16	<0.01	<0.02	0,17
octobre-11	<10.0	<0.240	13,2979	18,32	<0.5	162,2	34,1	42,9058	12,9232	18,24	<2.3277	22	0,3732	0,58	0,01	<0.02	0,04
novembre-11	<10.0	<0.240	13,8298	16,83	<0.5	168,7	32,6	45,2032	14,5402	18,62	2,528	26,4	0,4025	0,34	<0.01	<0.02	0,12
décembre-11	<10.0	<0.240	15,2174	20	<0.5	185,7	32,8	50,1889	14,1691	21,5718	<2.3277	27,1	0,3328	0,25	<0.01	<0.02	0,09

Tableau 3: Résultats des analyses chimiques de l'eau brute de l'année 2011.

- **Lecture des données :**

La température des eaux brutes du barrage Lalla TAKERKOUST, qui drainent le bassin versant de N'Fis est comprise entre 12 et 27,5°C comme valeurs minimales et maximales, et 19°C comme valeur moyenne. Le pH moyen correspondant est relativement neutre de l'ordre de 7,8. Pour la conductivité électrique les valeurs enregistrées se situent entre 294 et 414 $\mu\text{s/cm}$ avec 349 $\mu\text{s/cm}$ comme valeur moyenne. La quantité d'oxygène dissoute dans l'eau brute est entre 5,74 et 8,15 mg/L avec une moyenne de 7,55 mg/L. En ce qui concerne la turbidité, elle fluctue selon la période d'étude, les valeurs se situent entre 7,05 et 63,7 NTU avec une moyenne de 29 NTU. L'alcalinité montre que l'eau du barrage est bicarbonatée, caractérisée par une concentration moyenne en bicarbonates de l'ordre de 154 mg /L. Les analyses montrent que la teneur des sulfates est comprise entre 12.5 et 64.7 mg/L comme valeurs extrêmes minimales et maximales, et présente une teneur moyenne de 28 mg/L. La dureté de l'eau du barrage, exprimée par la concentration en calcium et en magnésium est caractérisée par des valeurs moyennes des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'ordre de 42 et 11,5 mg/L. Par ailleurs, les teneurs en sodium dans l'eau sont comprises entre 10,63 et 21,57 mg/L avec une moyenne égale à 15,21 mg/L. Les analyses chimiques du potassium montrent des valeurs maximales et minimales de 1,77 et 2,80 mg/L, avec une moyenne de 2,2 mg/L. Les concentrations en nitrates enregistrées présentent des variations considérables pendant l'année étudiée, elles varient entre 0,16 et 2,94 mg/L avec une moyenne de 0,93 mg/L. En revanche, les concentrations en nitrites ne présentent pas de variations importantes. Elles se situent entre 0,01 et 0,03 mg/L avec une moyenne de 0.02 mg/L. l'azote ammoniacal présente des teneurs comprises entre 0,02 et 0,08 mg/L avec 0,07 mg/L comme une valeur moyenne. Par ailleurs la demande chimique en oxygène représente des teneurs inférieurs à 10 mg/L. Les concentrations en phosphore dans les eaux du barrage montrent que les valeurs extrêmes minimales et maximales sont de l'ordre de 0,01 et 0,21 mg/L avec une concentration moyenne de 0,091 mg/L. La concentration en fluore se situe entre 0,14 et 0,40 mg/L avec une teneur moyenne de l'ordre 0,28 mg/L.

• Discussion

Les valeurs de la température montrent des variations importantes durant toute l'année, elles sont fortement liées aux phénomènes saisonniers et aux événements météorologiques. Concernant l'alcalinité, les analyses illustrent un pH neutre à faiblement basique ce qui explique le pouvoir tampon de l'eau naturelle, cette dernière tend à s'opposer à l'ajout des protons H^+ (La nature a toujours tendance à maintenir un pH neutre des eaux naturelles). La conductivité électrique est l'un des paramètres les plus simples et les plus importants pour le contrôle de la qualité des eaux. Elle renseigne sur la minéralisation globale. Les résultats obtenus mettent en évidence une variation plus ou moins importante de la salinité. Ces résultats pourraient être expliqués, d'une part, par la nature lithologique des terrains drainés et d'autre part, aux rejets des déchets domestiques dans le milieu naturel ; les événements météorologiques peuvent également donner une explication à ces variations de conductivité vu que la minéralisation diminue dans la saison des hautes eaux et augmente dans la saison des basses eaux. L'oxygène dissous est la quantité d'oxygène en solution dans une eau qui régit les réactions d'oxydo-réduction ; les résultats obtenus illustrent des teneurs importantes en O_2 dissous malgré certaines variations légères dues aux phénomènes saisonniers. Rappelons que le barrage est situé dans une région peu boisée où la couverture végétale est peu dense ce qui explique les faibles valeurs de turbidité. Néanmoins, on remarque une variation importante de ce paramètre tout au long de l'année, ceci est expliquée par l'influence des phénomènes climatiques étant donnée que la turbidité augmente dans les périodes pluvieuses et orageuses et diminue en périodes sèches. La concentration des carbonates (CO_3^{2-}) et des bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau dépend de la teneur en CO_2 car ce dernier est très soluble dans l'eau et sa solubilité dépend des conditions de température et de pression atmosphérique. La calcite $CaCO_3$ est peu soluble dans l'eau; cependant, la présence du CO_2 confère à l'eau une force de solvatation bien plus importante en transformant le carbonate de calcium en bicarbonate de calcium, qui sont plus solubles dans l'eau. L'alcalinité est bicarbonatée puisque le pH est inférieur à 8,3 ; les teneurs observées des bicarbonates dans l'eau sont dues à la nature géologique de la région (présence de carbonates) et au degré d'agressivité de l'eau naturelle. L'analyse des résultats montre des teneurs assez faibles en chlorures et en sulfates. Ces teneurs pourraient être expliquées par la nature lithologique de la région ou par une contamination directe de l'eau du barrage par les rejets domestiques riches en détergeant ou par l'utilisation des pesticides dans l'agriculture. Les valeurs des nitrates apparaissent négligeables mais on remarque des augmentations dans des périodes bien définies de l'année qui correspondent souvent aux périodes d'introduction des engrais dans les terrains agricoles. Dans la période des précipitations, les ions nitrates non assimilés par les plantes sont entraînés par le lessivage vers le barrage. L'azote ammoniacal est présent en très faibles quantités, il ne représente par conséquent, aucune pollution d'origine anthropique.

N.B :

L'absence des résultats de nitrates dans les analyses chimiques de l'eau brute durant les mois de Mars, Avril, Mai et Juin 2011 est expliquée par le manque de cadmium utilisée pour l'analyse des nitrates.

4) Description de l'eau brute

En comparant les analyses physico-chimiques de l'eau brute aux normes d'appréciation des eaux superficielles fournis par l'agence du bassin hydraulique de TENSIFT (Annexe 4A), on déduit que les paramètres analysés sont conformes aux normes, donc l'eau du barrage Lalla TAKERKOUST représente une qualité excellente.

Le tableau 4 représente les paramètres simplifiés permettant l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface. En se basant sur les données des analyses physico-chimiques, on distingue que tous les paramètres demandés répondent aux exigences d'une qualité excellente.

Paramètres	Classe de qualité				
	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Oxygène dissous	> 7	7-5	5-3	3-1	<1
DBO5	< 3	3-5	5-10	10-25	>25
DCO	< 20	20-50	25-40	40-80	>80
Ammonium	≤ 0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
phosphore total	≤ 0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3

Tableau 4: Critères simplifiés d'appréciation de la qualité des eaux de surface

5) Demande en eau dans le site minier Hajjar

Dans le but de quantifier la demande en eau du site minier Hajjar, nous avons collecté les données de la consommation en eau durant le mois de janvier 2012.

L'eau pompée à partir du barrage Lalla TAKERKOUST et les eaux d'exhaures amenées depuis les galeries et les forages d'exploitations, représentent la quasi-totalité des sources en eau. Durant le mois de Janvier une quantité de 225000 m³ a été pompée à partir du barrage, ce qui correspond à 88 % des eaux consommées dans le site. En revanche 30220 m³ des eaux d'exhaures a été utilisée dans les activités industrielles de l'usine 1 et 2. Soit 12 % des eaux exploitées.

	Compteur de l'eau industrielle						Compteur de l'eau potable			
	Compt. usine1 et usine 2	Compt. CTT	Compt. Pilote	compt. Espace vert	Station remblais	Compt. Villa	Quantité d'eau traitée	Compt. CTT	Compt. Laboratoire	Compt. Popote
Consommation mensuelle en m³	162539	17750	900	2085	820	31	14000	6320	1028	744

Tableau 5 : La consommation mensuelle en m3 dans le site minier Hajjar.

Le tableau 5 illustre la quantité d'eau utilisée dans le site durant le mois de janvier 2012, que sa soit sous forme d'eau de process pour les activités industrielles ou d'eau potable pour la consommation humaine. Les eaux industrielles et celles destinées à l'irrigation présentent 92 % de la consommation en eau, avec une quantité de 184125 m³ par mois. Par contre la quantité d'eau traitée ne dépasse pas les 8 % avec une quantité de 14000 m³ par mois, soit 450 m³ par jour.

L'eau potable destinée à l'alimentation du CTT, du laboratoire et de la popote est d'environ 8092 m³ par mois. Au moment où la quantité d'eau traitée produite est de 14000 m³, donc l'eau nécessaire sur le site est bien inférieure à la quantité donnée. La différence entre la production et la consommation en eau potable peut être expliqué par :

- Disfonctionnement d'un compteur.
- Utilisation de l'eau par un piquage qui n'est pas pris en compte.
- Présence d'une ou de plusieurs fuites dans la tuyauterie.

III. PROCÉDÉS DE POTABILISATION DE L'EAU

1) Introduction

La sûreté et qualité de l'eau destinée à la consommation est un enjeu important qui menace la vie humaine. La mort de plusieurs million de personnes est due à l'utilisation d'une eau polluée. C'est dans cette vision que l'organisation Mondiale de la Santé et les réglementations nationales et internationales ont mis en place des normes et des recommandations, afin d'éviter la présence de micro-organismes et de substances chimiques indésirables dans l'eau potable. Les eaux brutes qu'elles soient souterraines ou superficielles ne présentent pas toujours les critères requis en termes de qualité chimique et microbiologique, ce qui nécessite un traitement adéquat avant la consommation. En se basant sur la qualité de l'eau brute à l'entrée, on définit les processus de traitement les mieux adaptés afin de débarrasser l'eau de toutes les matières en suspension et colloïdales qu'elles contiennent et les substances dissoutes indésirables, de garantir également une bonne protection vis-à-vis du risque parasitaire ce qui suppose un traitement de clarification et de désinfection optimisé.

Produire une eau garantissant le maintien d'une bonne qualité en distribution revient à fixer des objectifs plus sévères sur un certain nombre de paramètres afin de satisfaire aux exigences de qualité spécifiées dans la norme marocaine de l'eau potable.

2) Différents processus de traitement de l'eau potable

2.1) Dégrillage

L'eau est d'abord filtrée à travers une grille afin d'arrêter les plus gros déchets, puis elle passe dans des tamis à mailles fines retenant des déchets plus petits.

2.2) Préchloration

C'est un procédé de prétraitement utilisé dans le cas où l'eau est chargée en matière organique. Elle s'effectue avant le débouage, pour permettre au chlore d'agir à temps et de décomposer les matières organiques afin de faciliter leur décomposition dans les décanteurs. La Préchloration permet aussi d'oxyder les corps existants dans l'eau tels que les ions ferreux manganés, les nitrites ou nitrates, les matières organiques et les micro-organismes (algues, plancton et bactéries) qui sont susceptibles de se développer dans les différents ouvrages de traitement.

2.3) Débouage

Le débouage est une opération qui précède la clarification des eaux de surface particulièrement chargées. Il constitue en une pré-décantation dont le but est d'éliminer la majorité des matières en suspension de l'eau brute et d'en assurer l'évacuation sous forme de boues concentrées. Cette étape est

nécessaire lorsque les MES dans l'eau brute dépassent 2g/L pour éviter le risque d'engorger le décanteur par le volume excessif de boue apportée par l'eau brute.

2.4) Décantation

La décantation est un traitement essentiel pour l'obtention d'une eau de bonne qualité. Ce phénomène est assuré par voie physique, il s'opère par effet de gravité. La sédimentation permet l'élimination des matières en suspension présentes dans l'eau brute et celles formées par l'étape de coagulation floculation. Ceci provoque le dépôt des particules en suspension et la formation des boues au fond du bassin.

➤ Coagulation :

La coagulation de l'eau doit permettre l'abattement maximal de la charge organique et également de la turbidité. Elle consiste donc à l'ajout des réactifs en quantité optimale à la charge polluante de l'eau brute afin de neutraliser les matières colloïdales présentes dans l'eau. Les coagulants les plus utilisés sont les sels d'aluminium ou de fer.

Le choix du réactif dépend des caractéristiques de l'eau brute (pH, minéralisation, teneur en matière organique et turbidité). Par exemple l'utilisation des sels de fer est préférée dans le cas d'eau brute fortement chargée en MO d'origine dissoute.

➤ Floculation :

La floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs. Ce processus est assuré par l'intervention d'un réactif chimique (floculant).

➤ Contrôle :

L'efficacité de la décantation est souvent mesurée par la turbidité de l'eau décantée. La valeur de la turbidité doit atteindre 5 NTU à la sortie du décanteur. Il est important de signaler que la mesure de la turbidité n'est pas suffisante, il faut s'intéresser à l'abattement de la MO également pour juger la clarification de l'eau.

2.5) Filtration

Ce processus permet de retenir les particules en suspension dans l'eau, que celles-ci existent dans l'eau brute ou formées lors des étapes préalables de traitement (coagulation – floculation). La filtration consiste à retenir les matières en suspension à la surface et dans les pores du lit filtrant durant le passage de l'eau à travers.

L'objectif de la filtration ne se limite pas à la rétention des MES, mais participe également à plusieurs tâches au sein de la chaîne de traitement en fonction des caractéristiques du matériau filtrant utilisé et les conditions de mise en œuvre.

L'efficacité de la filtration se contrôle classiquement par des mesures de turbidité sur l'eau filtrée, on peut aujourd'hui intégrer le comptage de particules.

2.6) Désinfection

La désinfection est une étape essentielle de la filière de traitement. Elle assure la désactivation des germes pathogènes et des virus dans l'eau. La bonne qualité bactériologique des eaux distribuées est le critère principal de la notion de potabilité d'une eau.

La stérilisation consiste à ajouter une dose de chlore ou de l'eau de javel à l'eau filtrée, avant l'alimentation des réservoirs de stockage. Ceci permet la destruction des germes pathogènes et de fournir un taux de stérilisant libre pour garantir une désinfection totale de l'eau et une protection durant son stockage et son acheminement dans le réseau de distribution.

2.7) Stockage

Une station de traitement de l'eau potable doit disposer d'une réserve assurant un approvisionnement de quelques heures pour éviter une pénurie en eau en cas de problèmes techniques. Le stockage présente également un temps de contact important permettant au chlore (ou l'eau de javel) de réagir avec l'eau.

3) Processus de traitement adopté dans la CMG

La figure 7 représente les différents processus de traitement adoptés dans la CMG afin de produire une eau potable.

L'eau du barrage est envoyée à l'aide d'une pompe vers la station de traitement où elle subit une filtration primaire sur des sables et des graviers, cette étape permet de baisser la turbidité de l'eau brute. Ensuite, à l'aide des pompes doseuses, on ajoute 50 g/m^3 de sulfate d'aluminium $\text{Al}_2(\text{CO}_4)_3, 14\text{H}_2\text{O}$, ce coagulant utilisé apporte des cations dans le milieu permettant ainsi la neutralisation de la charge négative des matières colloïdes et 2 g/m^3 de flocculant qui assure la formation des floccs et contribue à la chute des particules en fonction de leur gravité. L'eau entre dans le bassin de décantation de 180 m^3 , pendant une durée de 8 heures, mais le bassin semble sous-dimensionné et avec la demande en eau importante pendant la journée l'eau ne reste que 2 heures, ce qui affecte la qualité de l'eau décantée en terme de turbidité. Le surnageant est ensuite envoyée vers un filtre à sables pour réduire les MES présentes dans l'eau. La quantité d'eau filtrée subit une désinfection par l'ajout de l'eau de javel. Ensuite elle est acheminée vers un bassin de stockage de 224 m^3 puis vers un bassin de distribution pour satisfaire les besoins en eau potable. Pour désinfecter l'eau on utilise l'eau de javel.

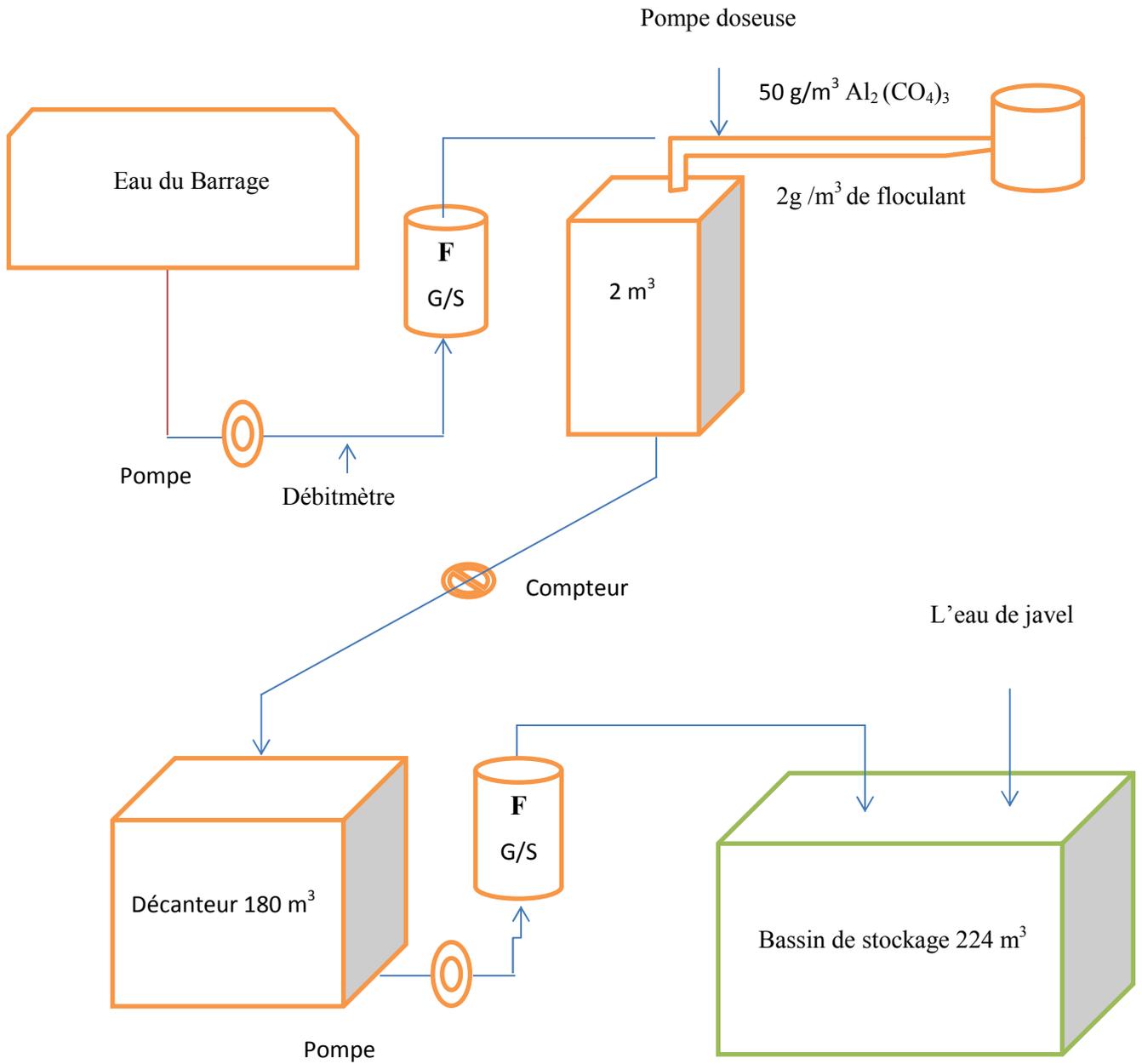


Figure 7: Schéma illustrant les processus de traitement de l'eau potable dans la CMG.

IV. ANALYSE ET CARACTÉRISATION DES SABLES

1) Introduction

Notre étude s'intéresse à l'optimisation de la filtration, à travers le sable, des eaux destinées à la consommation humaine. La filtration sur sable est un procédé indispensable pour le traitement de l'eau potable, elle permet la clarification et l'épuration de l'eau qui contient des matières solides en suspension. En utilisant la filtration sur sable, on permet à cette eau turbide de traverser un milieu poreux. Lors de ce passage, l'eau entre en contact avec les couches filtrantes ce qui contribue à la rétention des impuretés sur la surface des filtres et entre les interstices des sables également. L'efficacité de la filtration sur sable dépend de la nature des matériaux filtrants, d'où la nécessité de caractériser les sables en fonction de leur granulométrie, leur morphologie ainsi de leur composition chimique.

Dans le but de trouver la qualité et la granulométrie adéquate des sables à utiliser pour la filtration des eaux destinées à la boisson au niveau de la compagnie minière Guemassa, nous avons récupéré cinq échantillons de sables de nature différente, puis nous avons procédé par des techniques de tamisage (à sec et humide) afin de déterminer la distribution granulométrique de chacun des échantillons et extraire les paramètres permettant de guider notre choix vers le type de sable filtrant le mieux approprié. Ensuite nous avons effectué une étude morphoscopique des grains de sable dans un objectif d'identification des différentes formes de particules et leur relation avec la capacité de rétention des MES présentes dans l'eau. L'analyse morphoscopique porte également sur la détermination de toute contamination par l'observation des impuretés sur la surface des grains de sable, pouvant influencer la qualité de l'eau filtrée. Nous avons effectué également une analyse chimique par balayage ICP des différents échantillons de sable, dont l'objectif est de déterminer les éléments chimiques qui les constituent. Nous signalons que l'étude chimique des sables n'était pas réaliser dans l'objectif de déterminer la relation entre la composition chimique et la qualité de la filtration.

2) La filtration

2.1) Les différents types de filtration

Il existe plusieurs types de filtration pour le traitement des eaux potables. Chaque méthode est en fonction de l'objectif à atteindre à la fin du processus. Dans ce chapitre on s'intéresse à définir la filtration lente et rapide comme étant les techniques les plus utilisées dans le domaine de la production de l'eau potable.

a) Filtration lente

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus utilisé est le

sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro-organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit se trouve une mince couche appelée "membrane biologique" ou « bio film ». Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est grâce à elle que le processus d'épuration se déroule.

Cette méthode de filtration est souvent la plus économique dans les pays en développement et offre l'avantage d'une grande efficacité et d'une exploitation simple. Elle permet de donner une qualité d'eau satisfaisante sans rajouter d'autres étapes dans le processus de purification.

(<http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/TraitementPotable/1FiltrationLentePG1.htm>)

Paramètres de la qualité de l'eau	Effet de l'épuration par la filtration lente sur sable
Couleur	Réduction de 30 à 100 %
Turbidité	La turbidité est souvent réduite jusqu'à 1 NTU
Coliformes fécaux	Réduction de 95 à 100 %
Cercaires	Elimination presque complète des cercaires de schistosomes, kystes et les œufs
Virus	Elimination complète
Matières organiques	Réduction de 60 à 75 %
Fer et manganèse	Elimination en grande partie
Fer lourds	Réduction de 30 à 95 %

Tableau 6: Les effets de l'épuration de l'eau par la filtration lente sur sable

b) Filtration rapide

La filtration rapide est un processus physique qui consiste à filtrer l'eau sur différentes couches de sables afin d'enlever les solides en suspension dans l'eau. Cette technique est très abondante parce que les filtres de sables rapides peuvent traiter des débits assez élevés et sollicitent peu d'espace pour fonctionner. Durant la filtration, le taux d'écoulement de l'eau peut aller jusqu'à 20 mètres par heure. On distingue deux types de filtration rapide : la filtration ouverte et la filtration fermée sous pression.

(<http://www.safewater.org>)

2.2) Paramètres caractéristiques de la filtration (whqlibdoc.who.int)

a) La qualité de l'eau brute

Ce paramètre est primordial, il influence le choix des matériaux et le débit de la filtration. L'étude de l'eau brute permet de distinguer les fluctuations de sa qualité pendant les saisons de l'année et d'envisager le traitement nécessaire pour lutter contre la charge polluante contenue dans l'eau.

b) La qualité des opérations de coagulation et de décantation

L'efficacité du prétraitement de l'eau brute avant son entrée dans les filtres est un paramètre très important, parce qu'il ne faut pas compter sur l'utilisation continue des filtres à sables pour l'épuration

d'une eau médiocrement prétraitée. Une coagulation mauvaise ou retardée engendre le passage d'une eau très turbide dans les filtres, et contribue ainsi au colmatage des pores et à la réduction du rendement des filtres, ce qui nécessite plusieurs lavages par jour.

c) La nature de la couche filtrante

La couche filtrante constitue l'élément essentiel du filtre, il faut choisir le sable avec soin. Le sable du filtre doit être exempt d'argile, de poussières, de racine, de métaux toxiques et de toute autre impureté. L'efficacité de la filtration à travers le sable dépend en grande partie de la taille des grains qui le constituent et de l'épaisseur de la couche filtrante.

d) La vitesse de filtration

La vitesse doit être choisie en fonction des caractéristiques de l'eau brute et de la fréquence à laquelle on désire nettoyer les filtres. Dans le cas, d'une filtration lente les vitesses varient entre 0,1 et 0,2 m/h. En revanche la filtration rapide présente un intervalle de vitesse entre 2,40 m/h et 20 m/h. On note que les vitesses inférieures assurent plus de sécurité mais exigent évidemment des filtres plus grands.

$$\text{Vitesse de filtration (m/h)} : \text{débit (m}^3\text{/h)} / \text{surface filtrante (m}^2\text{)}$$

e) Le dimensionnement et la profondeur du filtre

Le volume du filtre joue un rôle important dans la quantité d'eau à filtrer. Plus la capacité du filtre est grande plus la quantité traitée est élevée. Pour une filtration rapide le filtre doit correspondre à une couche d'épaisseur précise de manière à ce que les matériaux filtrants soient surmontés d'au moins 1 mètre d'eau, l'équivalent d'un tiers du volume total pour éviter le colmatage par l'air et assurer une durée d'utilisation raisonnable. La profondeur totale doit être de 3 à 4 mètres.

f) Le temps de contact

C'est le temps que prend l'eau pour passer à travers le milieu poreux en fonction d'un débit bien déterminé. Plus le temps de contact est important plus la nature de la filtration est bonne, il permet la rétention maximale des MES contenues dans l'eau.

$$\text{Temps de contact (min)} = \text{volume du sable (m}^3\text{)} * 60 / \text{débit (m}^3\text{/h)}$$

g) La perte de charge

C'est l'expression qui représente l'état d'encrassement d'un filtre. Elle correspond à une différence de pression entre l'amont et l'aval du matériau filtrant. Elle est généralement exprimée en m de colonne d'eau (m CE). La perte de charge correspond aux forces de frottement qui s'opposent à l'écoulement, plus le filtre est colmaté plus la perte de charge augmente. Ce qui nécessite de procéder à un lavage. La perte de charge au sein d'un milieu poreux est proportionnelle à la vitesse de filtration (loi de darcy).

2.3) Matériaux filtrants

Les filtres à sables sont destinés à retenir les matières en suspension dans l'eau dont les dimensions dépassent celles des pores entre les grains de la couche filtrante. Cette dernière est constituée d'un empilement de couches de matériaux de nature et de granulométrie différentes. Plusieurs matériaux peuvent être adoptés selon les objectifs à atteindre, or l'utilisation des sables reste la plus fréquente en raison de son coût et de sa qualité de filtration.

Matériau	Nature	Fonction principale
Sable	Matériau naturel inerte à base de grains de quartz	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention de MES non retenues par l'étape de décantation. - Support de développement de bactéries permettant l'élimination par voie biologique de certains composés (Ammoniaque, fer, manganèse). - Protection des ouvrages situés en aval vis-à-vis du passage de microorganismes déjà évolués.
Pierre ponce	Silicate d'alumine d'origine volcanique (matériau très poreux).	<ul style="list-style-type: none"> - Idem sable - Utilisé le plus souvent en bicouche en association avec le sable.
Anthracite	Matériau inerte (charbon d'origine minéral) grains durs et anguleux.	<ul style="list-style-type: none"> - Idem sable mais surtout la rétention des MES. - Utilisé le plus souvent en bicouche en association avec le sable
Charbon actif en grains (CAG)	Matériau à base de carbone obtenu par calcination et activation de bois, houille, tourbe ou noix de coco	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des qualités organoleptiques de l'eau traitée (adsorption de composés sapides liés à la présence d'hydrocarbures, phénols, algues). - Support de développement de bactéries permettant l'élimination par voie biologique de certains composés (Ammoniaque, fer, manganèse). - Barrière de protection vis-à-vis de pollutions accidentelles (pesticides par exemple). - Action déchlorante si le taux de chlore est élevé en amont de la filtration. - Utilisé seul ou en bicouche avec le sable.
Neutralite	Matériaux à base de carbonates de calcium	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation spécifique pour mise à l'équilibre d'eaux agressives. - Barrière physique médiocre.
Dioxyde de manganèse	Matériau minéral naturel (pyrolusite + dioxyde de fer et de silice)	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation spécifique pour l'élimination du fer et du manganèse (adsorption + oxydation catalytique). - Utilisé le plus souvent en bicouche avec le sable

Tableau 7: les matériaux filtrants les plus couramment utilisés

Les sables ayant une petite taille effective et une faible masse volumique se positionnent à la surface du filtre, au-dessous desquels se trouvent des sables de granulométrie croissante. Cette combinaison permet la rétention des solides en suspension dans l'eau sur la couche de sable fin, ce qui facilite le captage des impuretés par cette couche et par le sable sous-jacent.

L'utilisation des graviers au fond des filtres est nécessaire, parce que les graviers adoptés sont calibrés de manière à s'opposer à la pénétration du sable, tout en assurant à l'eau l'écoulement libre vers les drains inférieurs.

3) Origine des matériaux étudiés

3.1) Echantillon « Talamount »

Cet échantillon a été prélevé au niveau du ravin « TALAMOUNT » à proximité de la station de traitement des eaux potables. Nous avons effectué un tamisage in situ afin en ciblant une granulométrie bien précise entre 1 mm et 1,4 mm.

Notre objectif était de trouver un matériau capable d'optimiser le processus de filtration, de telle façon qu'il soit situé au voisinage de la station de traitement afin de réduire les frais d'achat et de transport.



Figure 8: La photo illustrant la phase de tamisage et l'échantillon de sable obtenu «Cas de Talamount ».



Figure 9 : Photo illustrant Situation géographique du point d'échantillonnage.

3.2) Echantillon « Oum Jrane »

Ce sable a été prélevé dans la région d'Oum Jrane, située à environ 80 km à l'est de la ville de ZAGORA. L'échantillon nous a été livré par le magasin de stockage du centre de recherche REMINEX, dont le but est de le caractériser et de qualifier son utilisation dans les filtres à sables.



Figure 10: Photo illustrant un échantillon de sable Oum Jrane.



Figure 11: Situation géographique de la région d'Oum Jrane.

3.3) Echantillon de sable quartzeux

Cet échantillon de sable quartzeux, nous a été livré par une entreprise de matériau et de sables à EL MOHAMMEDIA, dans l'objectif de le caractériser et de déterminer son influence sur la qualité de la filtration. Si ce sable s'avère satisfaire nos objectifs, nous allons suggérer son achat en quantités suffisantes.



Figure 12: Photo illustrant un échantillon de sable quartzeux.

3.4) Echantillons commerciaux fin et grossier

Pour répondre à l'appel d'offre envoyé par le centre de recherche REMINEX sur les sables dédiées à la filtration de l'eau potable, une société des sables à EL MOHAMMEDIA nous a livré deux échantillons de sables de granulométrie différentes afin de les étudier et de déterminer leur qualité de filtration, dans l'objectif de prendre la décision d'accepter ou de renoncer à leur commande.



Figure 13: Photo illustrant des échantillons de sable commerciaux grossier et fin.

4) Analyse et caractérisation des sables

4.1) L'analyse granulométrique

4.1.1) Principe

L'analyse granulométrique est une opération qui permet la détermination de la répartition des particules d'un échantillon en fonction de leur dimension. Celle-ci peut s'effectuer par voie sèche ou humide.

L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas.

Chaque tamis donne deux produits : un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus. L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique.

L'efficacité de tamisage dépend de plusieurs facteurs tels que :

- La masse de l'échantillon.
- La qualité de mouvement (amplitude de vibrations) ou brassage.
- Le temps de tamisage.
- Le débit d'eau d'arrosage.

4.1.2) Mode opératoire

➤ Tamisage à sec :

Les différentes tailles des grains de sable d'un échantillon se déterminent en faisant passer un certain poids de sable à travers des tamis gradués à mailles de plus en plus petites, et en pesant ensuite les fractions de l'échantillon qui sont passées à travers chacun des tamis. On utilise à cet effet des séries de tamis spéciaux dont la forme permet de les poser les uns au-dessus des autres, de façon à constituer un unique récipient clos. L'échantillon de sable est placé dans le compartiment supérieur sur le tamis à plus grandes mailles, ensuite le tout est secoué mécaniquement ou manuellement jusqu'à ce que les grains de sable aient traversé tous les tamis de maille supérieure à leur taille. Le poids de chaque fraction de l'échantillon traversant un tamis donné est calculé en pourcentage du poids total de l'échantillon utilisé.

➤ Tamisage humide :

On procède aux mêmes étapes indiquées précédemment pour le tamisage à sec mais en ajoutant l'eau. Cette méthode est utilisée pour les sables très fins.

4.1.3) Les paramètres granulométriques

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur des graphiques spéciaux et les courbes ainsi tracées fournissent des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques, on distingue :

- **La taille effective (TE) :**

C'est la dimension de grain au-dessous de laquelle se classent en poids 10 % des grains du sable considéré. La taille effective est fonction de la perméabilité, elle entre dans la définition de la perméabilité intrinsèque d'un matériau donné. Donc la détermination de ce paramètre est importante pour le choix du sable à utiliser.

- **Le coefficient d'uniformité (Cu):**

Le degré d'uniformité de la taille des grains, est le quotient de la dimension de grain au-dessous de laquelle se classent en poids 60 % des grains du sable (d_{60}), par la dimension de grain au-dessous de laquelle se classent 10 % des grains (taille effective : d_{10}).

$$Cu = d_{60} / d_{10}$$

- **Indice de classement (S_0):**

L'indice de classement ou l'indice de TRASK, permet de juger le classement des grains de sables en calculant le coefficient suivant :

$$S_0 = \sqrt{q_3} / \sqrt{q_1}$$

Avec q_3 est le quartile à 75 % et q_1 est le quartile à 25 %.

S_0 permet de renseigner sur le transport des grains et leur maturité.

On distingue si :

S_0 est inférieur à 2,5 ---» le sable est bien classé

S_0 est compris entre 2,5 et 4,5 ---» le sable est moyennement classé

S_0 est supérieur à 4,5 ---» le sable est mal classé

- **Indice d'asymétrie (A) :**

Ce paramètre permet de renseigner sur l'agitation du milieu en interprétant l'allure de la distribution des grains.

$$A = (q_1 * q_3) / (q_2)^2$$

Avec q_2 est le quartile à 50 %.

Si $A = 1$, la distribution des grains est symétrique

Si A est différent de 1, la distribution des grains est asymétrique. Dans ce cas, si A est supérieur à 1, il ya un excès de grossier dans l'échantillon étudié. Si A est inférieur à 1, donc il ya un excès de fin.

4.1.4) Résultats et interprétation

a) Echantillon de sable « Talamount »

➤ Résultats de l'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique de l'échantillon « Talamount » a été effectuée par un tamisage à sec d'une masse de 472,6 g.

Maille (µm)	Masse (g)	Refus (%)	% Refus Cumulé	% passant cumulé
2000	0	0	0	100
1400	123,4	26,11	26,11	73,89
1000	333	70,46	96,57	3,43
800	15,4	3,26	99,83	0,17
< 800	0,8	0,17	100	0
Total	472,6	100		

Tableau 8: résultats de l'analyse granulométrique du sable « Talamount »

➤ La courbe de fréquence :

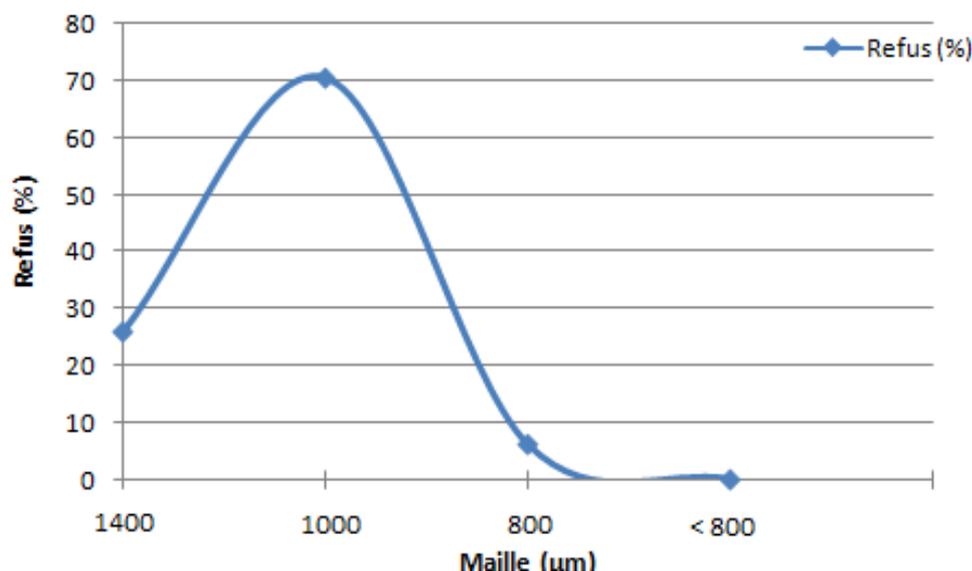


Figure 14: La courbe de fréquence du sable « Talamount ».

La distribution de fréquence de l'échantillon du sable « Talamount » représente la taille granulométrique la plus fréquente avec une dominance de 70,46 %. La granulométrie dominante est de 1000 µm.

Une fraction de 26,11 % des grains a une granulométrie de 1400 µm, le reste est représenté par une taille de 800 µm avec une fréquence de 3,26 %.

➤ **La courbe cumulative :**

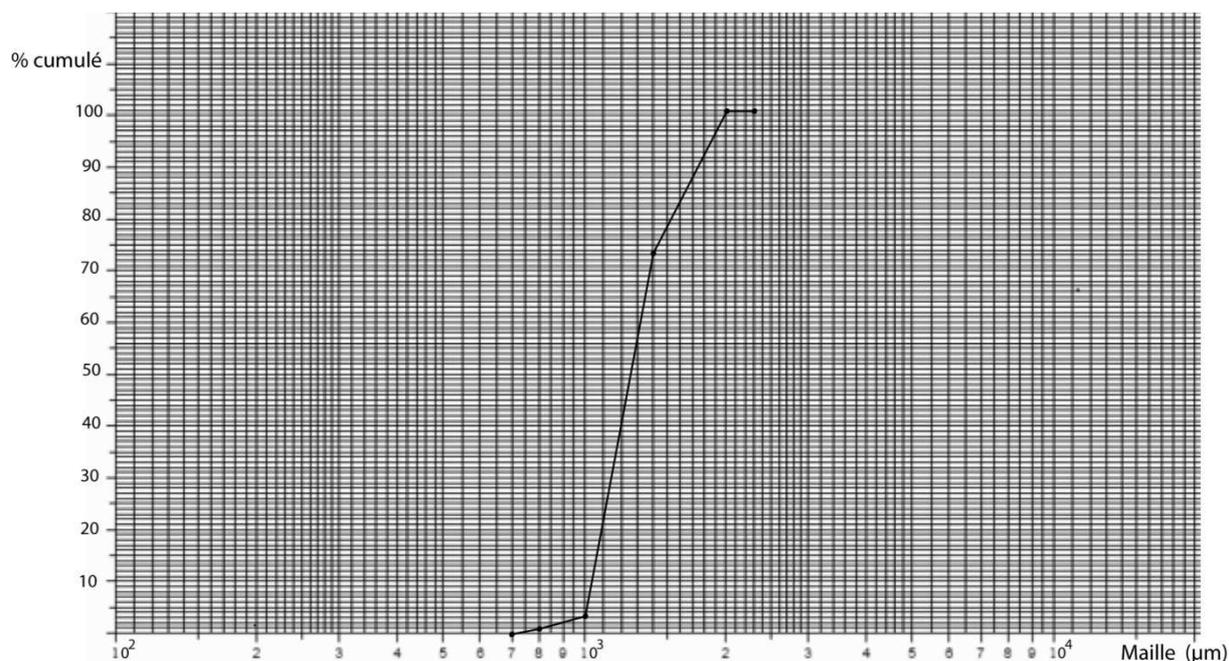


Figure 15: La courbe cumulative du sable « Talamount ».

La courbe cumulative semi-logarithmique du sable de Talamount a une forme en S. La granulométrie est entre 800 et 1400 µm, avec une taille moyenne de 1250 µm. On remarque que la courbe traverse la verticale d'abscisse 10 % en un point correspondant à un tamis à vide de maille de 1,05 mm, c'est donc la taille effective de l'échantillon de sable. Le coefficient d'uniformité calculé est de 1,24. L'indice de classement présente une valeur de 1,13 (< 2,5), ce qui explique l'aspect vertical de la courbe granulométrique. Donc le sable est bien classé et les grains ont des tailles homogènes. L'indice d'asymétrie est inférieur à 1 avec une valeur de 0,98, en conséquence l'échantillon présente une abondance de grains fins, ce qui reflète un milieu de dépôt plus ou moins calme.

b) Echantillon de sable « Oum Jrane »

➤ **Résultats de l'analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique de l'échantillon Oum Jrane a été effectuée par un tamisage humide d'une masse de 431,8 g.

Maille (µm)	Masse (g)	Refus (%)	% Refus Cumulé	% passant cumulé
500	0	0	0	100
300	63,8	14,78	14,78	85,22
212	127,4	29,5	44,28	55,72
180	89	20,61	64,89	35,11
80	148,2	34,32	99,21	0,79
< 80	3,4	0,79	100	0
Total	431,8	100		

Tableau 9: Résultats de l'analyse granulométrique du sable Oum Jrane.

➤ La courbe de fréquence :

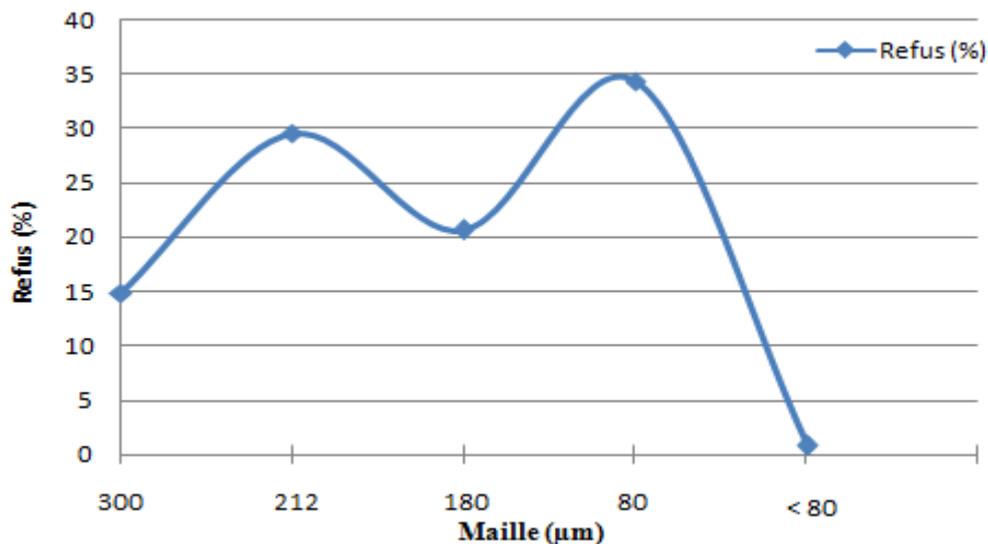


Figure 16: la courbe de fréquence du sable « Oum Jrane».

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable Oum Jrane représente la taille granulométrique dominante avec 34,32 %. La granulométrie abondante est de 80 µm. On remarque également la présence de d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égale à 212 µm représentent 29,5 %, celles de 180 µm se trouvent avec 20,61 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 300 µm présente une fraction de 14,78 %.

➤ La courbe cumulative :

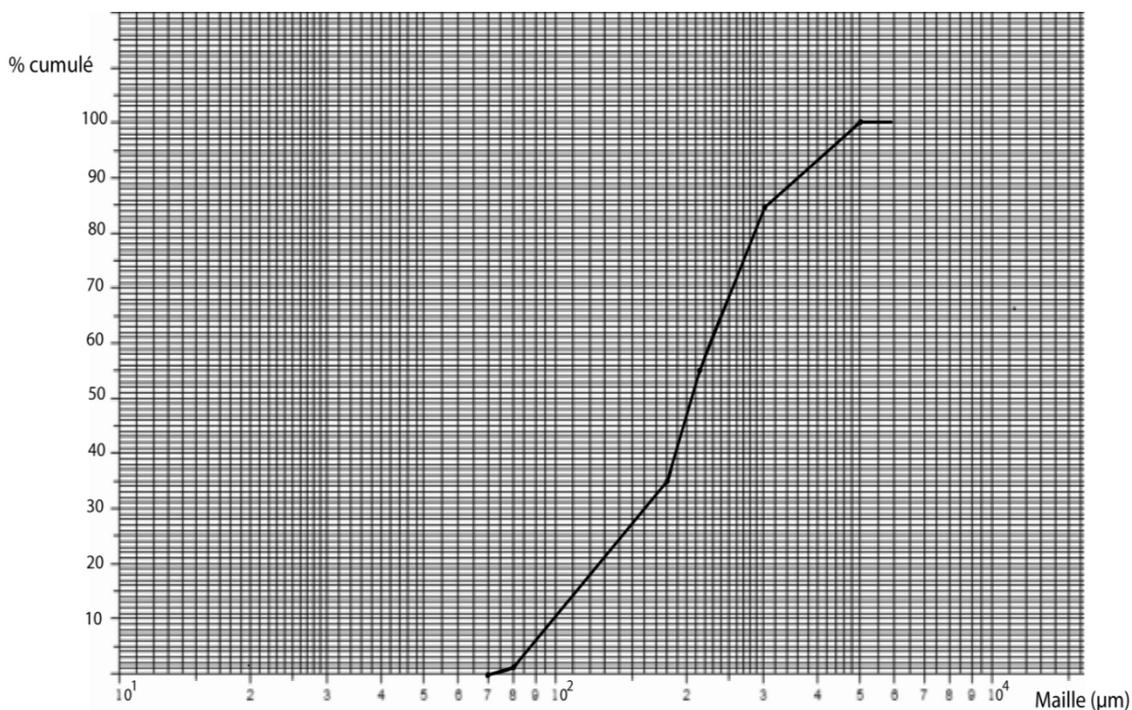


Figure 17: La courbe cumulative du sable Oum Jrane.

La courbe cumulative du sable d'Oum Jrane présente une granulométrie est entre 80 et 300 μm , avec une taille moyenne de 200 μm . L'échantillon représente une taille effective de 0,1 mm, et un coefficient d'uniformité égale à 2,4.

L'allure générale de la courbe présente une forme en S plus ou moins allongée. L'indice de classement est de 1,4 ce qui explique un bon classement des grains du sable. L'indice d'asymétrie correspond à une valeur de 0.94, ce qui traduit un excès de grains fins et renseigne également sur un milieu de dépôt calme.

c) Echantillon de sable quartzeux

➤ Résultats de l'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique de l'échantillon de sable quartzeux a été effectuée par un tamisage humide d'une masse de 410,2 g.

Maille (μm)	Masse (g)	Refus (%)	% Refus Cumulé	% passant cumulé
500	0	0	0	100
300	115,4	28,13	28,13	71,87
212	281	68,5	96,64	3,36
180	8,8	2,15	98,78	1,22
-180	5	1,22	100	0
Total	410,2	100		

Tableau 10: Résultats de l'analyse granulométrique du sable quartzeux

➤ La courbe de fréquence :

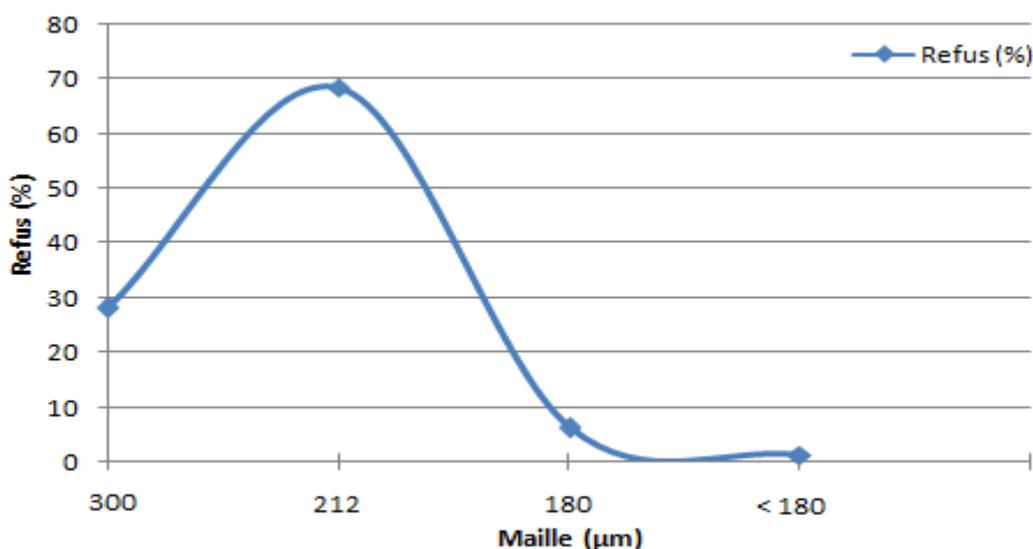


Figure 18: La courbe de fréquence du sable quartzeux.

L'échantillon de sable quartzeux présente une taille abondante de 212 μm avec une fraction de 68,5 %. On remarque la présence d'autres tailles de grains, caractérisée par deux granulométries de 300 μm avec une fraction de 28,13 % et 180 μm présentée par 2,15 %.

➤ **La courbe cumulative:**

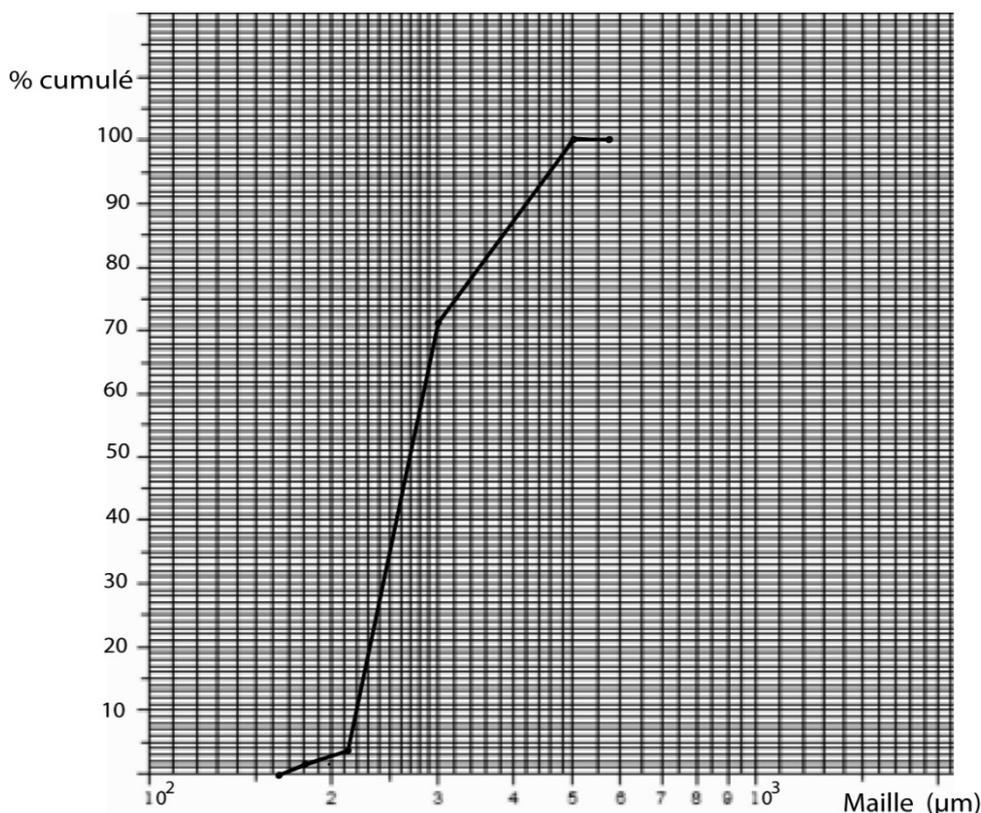


Figure 19: La cumulative du sable quartzueux.

La courbe granulométrique du sable quartzueux illustre une granulométrie entre 180 et 300 µm, avec une taille moyenne de 270 µm. Le sable quartzueux étudié est caractérisé par une taille effective de 0,22 mm, et un coefficient d'uniformité égale à 1,3.

La courbe a une forme en S avec une allure vertical, elle présente un indice de classement de 1,15, ce qui s'explique par la présence de grains mûrs et bien classés. L'indice d'asymétrie est supérieur à 1, donc il ya un excès de grossier ce qui traduit un milieu de dépôt plus ou moins agité.

d) Echantillon de sable commercial fin

➤ **Résultats de l'analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique du sable commercial fin a été effectuée par un tamisage à sec d'une masse de 547.4 g.

Maille (µm)	Masse (g)	Refus (%)	% Refus Cumulé	% passant cumulé
3150	0	0	0	100
2000	1,8	0,33	0,33	99,67
1400	535,6	97,84	98,17	1,83
1000	9,8	1,79	99,96	0,04
< 1000	0,2	0,04	100	0
Total	547,4	100		

Tableau 11: Résultats de l'analyse granulométrique du sable commercial fin

➤ **La courbe de fréquence :**

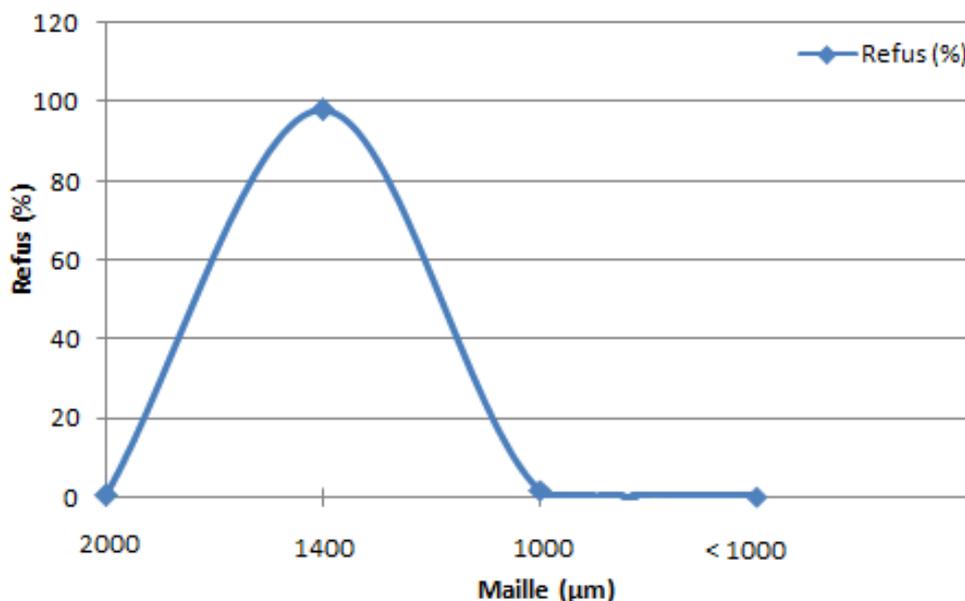


Figure 20: La courbe de fréquence du sable commercial fin.

La courbe de fréquence du sable commercial fin présente la granulométrie de 1400 µm comme étant la taille de grain dominante par une fraction de 97.84 %.

➤ **La courbe cumulative:**

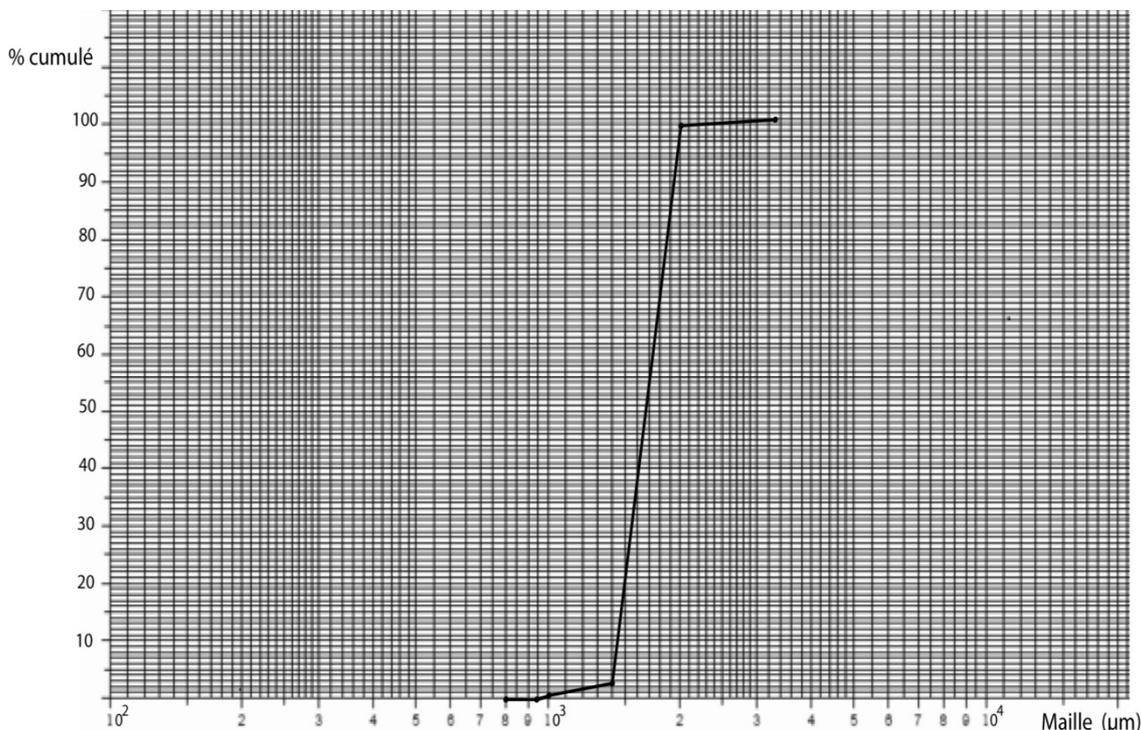


Figure 21: La courbe cumulative du sable commercial fin.

La courbe cumulative du sable commercial fin représente une forte pente, bien redressée et bien régulière. Ce qui traduit un très bon classement des grains expliqué par un indice de classement de 1,10. Par ailleurs l'indice d'asymétrie est égale à 0,93 donc le sable expose un excès de grains fins et par

conséquence un milieu de dépôt calme. La granulométrie est entre 1000 et 2000 μm , avec une taille moyenne de 1700 μm . L'échantillon présente un coefficient d'uniformité de 1,21 et une taille effective de 1,4 mm.

h) Echantillon de sable grossier

L'analyse granulométrique du sable commercial grossier a été effectuée par un tamisage à sec d'une masse de 437 g.

Maille (μm)	Masse (g)	Refus (%)	% Refus Cumulé	% passant cumulé
3150	0	0	0	100
2000	396,60	90,76	90,76	9,24
1400	31,80	7,28	98,03	1,97
< 1400	8,60	1,97	100	0
Total	437	100		

Tableau 12: Résultats de l'analyse granulométrique du sable commercial grossier

➤ Courbe de fréquence

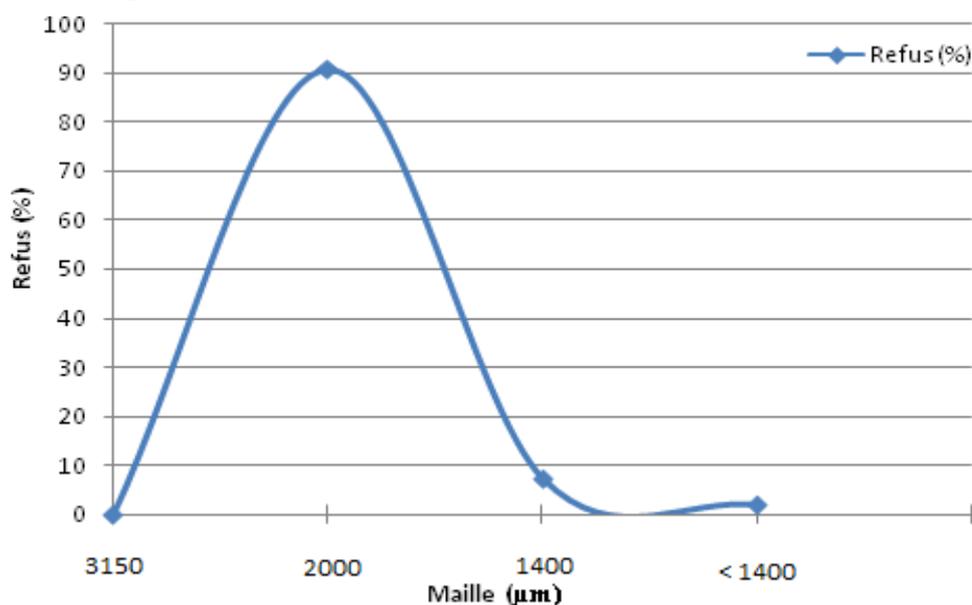


Figure 22: La courbe de fréquence du sable commercial grossier.

La courbe de fréquence du sable commercial grossier présente une dominance des grains ayant un diamètre de 2000 μm avec une proportion de 90,76 %. On remarque également un faible pourcentage d'une granulométrie de 1400 μm avec 7,28 %. La fraction de sable représentant une granulométrie inférieure à 1400 μm est négligeable avec une valeur de 1,97 %.

➤ La courbe cumulative

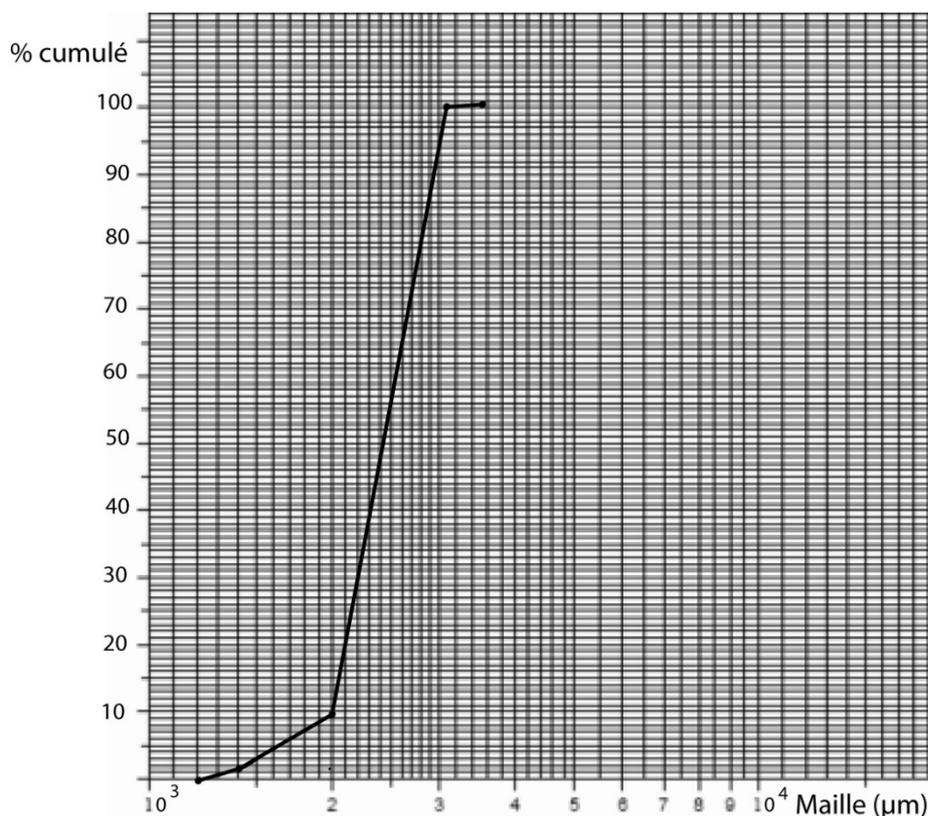


Figure 23: La courbe cumulative du sable commercial grossier.

La courbe cumulative du sable commercial fin illustre un très bon classement des grains expliqué par un indice de classement de 1,12. L'indice d'asymétrie calculée est de 1 donc la distribution des grains est symétrique. La granulométrie est entre 1400 et 3150 µm, avec une taille moyenne de 2400 µm. L'échantillon présente un coefficient d'uniformité de 1,27 et une taille effective de 2 mm.

4.1.5) Conclusion

La caractérisation des sables par l'étude granulométrique a permis de définir un ensemble de paramètres jouant un rôle important dans le choix des matériaux filtrants. D'après une étude américaine (Qasim et al., 2000) qui s'intéresse à la filtration sur les sables dans les stations de traitement des eaux, les résultats de cette recherche montrent :

- **Pour un sable de taille effective entre 0,1 et 0,5 mm :**

On adopte ce matériau dans une filtration très rapide sous pression, pour traiter une quantité entre 600 et 1200 m³ par jour. Mais ce type de sable se colmate rapidement et nécessite plusieurs lavages par jour.

- **Pour un sable de taille effective entre 0,6 et 0,8 mm :**

On utilise ce type de sable pour une filtration sans décantation préalable, généralement dans le cas d'une eau peu chargée vis-à-vis les MES.

- **Pour un sable de taille effective entre 0,9 et 1,35 mm :**

On choisit ce sable pour des systèmes utilisant des couches à grains homogènes. Cette granulométrie est couramment utilisée dans les stations de traitement européennes, elle présente des bons résultats.

- **Pour un sable de taille effective entre 1,35 et 2,5 mm :**

Ce sable est fréquemment employé dans le dégrossissage des eaux industrielles ou dans le traitement tertiaire des eaux usées.

En se basant sur ces informations, on s'intéresse aux échantillons suivants : Talamount et le sable commercial fin qui présentent des tailles effectives entre 0.9 et 1.35 mm. L'échantillon de sable commercial grossier avec une taille effective de 2 mm peut jouer un rôle important dans la rétention des couches de sables plus fines.

4.2) Analyse morphoscopique

4.2.1) Principe

Les sables sont examinés à la loupe binoculaire, sous l'éclairage intense produit par une lampe, dont on fait converger la lumière en un faisceau lumineux ponctuel. On peut ainsi observer les caractères de la forme et l'aspect de la surface, et déceler des renseignements sur le sable. Nous avons effectué une analyse morphoscopique des échantillons de sables, de 100 grains de sable pour chacun à l'aide d'une loupe binoculaire, puis nous avons procédé à un comptage des grains en fonction de leur forme. On distingue 4 types de formes : Rond, Sub-Rond, Emoussé et Anguleux.

Nous tenons à signaler que l'étude de la morphologie des grains de sable sera utile dans le choix du matériau filtrant, parce que plus les grains sont émoussés et anguleux plus la perméabilité du matériau est faible. La juxtaposition des grains non usés permet de réduire la taille des vides dans le matériau et garantit une rétention des MES les plus petites.

On peut distinguer la relation de la forme des grains avec la perméabilité par la relation suivante :

$$K = \frac{Cd^2\rho g}{\mu}$$

K : la perméabilité

C : facteur de proportionnalité fonction de la distribution et de la sphéricité des grains

d : le diamètre des grains (taille effective)

ρ : la densité du fluide

μ : la viscosité du fluide

g : la gravité

4.2.2) Résultats et interprétation

a) Echantillon de sable « Talamount »



Figure 24: Photo illustrant la morphologie des grains du sable Talamount $\times 20$.

Le résultat du comptage des grains de sable a donné les valeurs suivantes :

2 % des ronds, 15 % des sub-ronds, 28 % des émoussés et 55 % des grains anguleux. Comme le montre le comptage, les grains ont une proportion assez importante des grains émoussés et anguleux. Cela explique un pouvoir assez important de rétention des MES dans l'eau. L'aspect de surface est généralement luisant mais on remarque également une couche d'impuretés qui enveloppent les grains de cet échantillon. Ceci peut influencer la filtration par ce sable. La figure 25 permet de mettre en évidence les saletés qui enrobent les grains de l'échantillon « Talamount ».



Figure 25 : Photo illustrant la surface polluée d'un grain de sable Talamount $\times 40$.

b) Echantillon de sable « Oum Jrane »



Figure 26: Photo illustrant la morphologie des grains du sable Oum Jrane × 40.

L'étude morphoscopique du sable Oum Jrane présence 48% des grains émoussés, 30 % de sub-ronds, 18 % d'anguleux et 4% des ronds. Les grains de sable représentent un aspect luisant. Le sable d'Oum Jrane présente un pourcentage moyen des grains émoussés et anguleux. Ceci pourra influencer sa capacité à stopper les solides en suspension lors du phénomène de filtration.

c) Echantillon de sable quartzeux

L'échantillon de sable quartzeux représente 90 % des grains émoussés et 10 % d'anguleux, avec un aspect de surface très luisant. Le sable quartzeux illustre un transport aquatique. En raison de l'abondance des grains émoussés et anguleux, cet échantillon permettra retenir une grande quantité des solides en suspension et contribuer ainsi à la réduction de la turbidité.

d) Echantillon de sable commercial fin



Figure 27: Photo illustrant la morphologie des grains du sable commercial fin $\times 20$.

Le sable commercial fin représente une abondance des grains émoussés avec une fraction de 60 %, on remarque également 27 % des anguleux et 13 % des sub-ronds. Par ailleurs l'aspect des grains de sable est luisant. La répartition des grains et leur aspect peut être expliqué par un transport assuré par l'action de l'eau à faible distance.

Cet échantillon présente une proportion importante de grains émoussés et anguleux, par rapport aux autres échantillons. Ce qui renseigne sur un pouvoir de rétention de MES important.

e) Echantillon de sable commercial grossier



Figure 28: Photo illustrant la morphologie des grains de sable commercial grossier $\times 20$.

L'échantillon de sable commercial grossier expose une abondance de grains en forme émoussé. Le comptage des grains donne les résultats suivant : 63 % de grains émoussés, 18 % d'anguleux, 19 % de sub-ronds. La présence de grains émoussés et anguleux en quantité importantes, ainsi l'aspect luisant de la surface des particules de sables illustrent un phénomène de transport aquatique. L'étude morphoscopique montre que cet échantillon sera efficace pour le captage des impuretés présentes dans l'eau.

4.2.4) Conclusion

Grâce à l'analyse morphoscopique des grains de sables, nous avons pu déterminer les proportions des grains ayant des formes émoussées et anguleuses pour chaque échantillon de sable analysé. Ces résultats permettent de sélectionner les sables suivants : le sable quartzeux, le sable commercial fin et le sable commercial grossier, qui présentent des fractions importantes de grains émoussés et anguleux. On soupçonne que ces échantillons nous permettront d'obtenir une bonne qualité de filtration, grâce à leur pouvoir important dans la rétention des particules solides en suspension. Par ailleurs, l'étude des aspects des grains a permis d'identifier une couche d'impuretés entourant les grains de l'échantillon Talamount. Cette pollution à la surface des grains pourra détériorer la qualité de l'eau filtrée.

Malgré l'importance des conclusions extraites de l'étude morphoscopique des sables, les examens au laboratoire seront les plus fiables à juger le rendement de chaque échantillon de sable dans la filtration des eaux potables.

4.3) La perméabilité.

La perméabilité est une caractéristique physique qui représente l'aptitude d'un matériau à se laisser traverser par un fluide au travers d'un réseau connecté. La Loi de Darcy permet de relier un débit à un gradient de pression appliqué au fluide grâce à un paramètre caractéristique du milieu traversé (la perméabilité k).

$$Q = K.I.S$$

Q : le débit du fluide

K : la perméabilité

S : la surface offerte à l'écoulement

I : le gradient hydraulique ou la perte de charge

La perméabilité est un paramètre très important pour la caractérisation des sables, sa mesure est assurée par un dispositif appelé : permeamètre. Malheureusement, nous n'avons pas eu la possibilité de réaliser cette mesure pour les cinq échantillons de sable étudiés, vu que le centre de recherche REMINEX et le département des sciences de la terre au niveau de la Faculté des Sciences et Techniques ne possèdent pas de permeamètre.

4.4) Analyse chimique par balayage ICP

4.4.1) Principe

Il ya un siècle d'aujourd'hui, la seule technique analytique possible pour la caractérisation des éléments chimiques d'une roche, était celle des éléments majeurs. Elle est utilisée pour la définition et le classement des différents types de roches. Ensuite, le développement technologique a permis l'utilisation d'une méthode d'analyse par spectrométrie d'émission atomique, afin de mettre en évidence les éléments en traces présents dans la roche.

Dans l'objectif de caractériser les différents échantillons de sable étudiés, nous avons procédé à une analyse chimique par balayage ICP AES (Inductively Coupled Plasma / Atomic Emission Spectrometry). Afin de mettre en évidence les éléments majeurs et en trace de chaque type de sable.

4.4.2) Résultats et interprétation

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	Eléments en trace (%)
Talamount	63,643	14,768	8,487	6,747	1,485	2,765	0,245	1,04	0,215	0,605
Oum Jrane	83,502	7,052	3,830	1,492	0,848	2,07	0,042	0,778	0,112	0,274
Silice	99,391	0,422	<0.100	<0.100	<0.100	<0.010	<0.010	0,077	0,03	0,080
Sable com. fin	84,000	9,080	0,746	0,513	0,1	5,003	0,016	0,09	0,146	0,312
Sable com. grossier	82,795	9,530	0,98	0,87	0,11	5,11	0,02	0,09	0,1	0,395

Tableau 13: Résultats de l'analyse chimique des sables par balayage ICP AES.

Le tableau 13 représente les teneurs en pourcentage des éléments chimiques constitutifs de chaque sable. Il nous a permis de mettre en évidence la fraction de silice pour chaque échantillon. On remarque que l'échantillon de sable quartzueux est le plus riche en silice qui représente 99,39 % de la masse totale. Ensuite, nous distinguons un ordre décroissant d'enrichissement en silice dans le sens : le sable commercial fin, le sable d'Oum Jrane, le sable commercial grossier et le sable Talamount.

L'échantillon Talamount est riche en alumine, en oxyde de fer et en mono-oxyde de calcium. Il présente la teneur la plus élevée des éléments en traces par rapport aux autres matériaux étudiés. Le sable d'Oum Jrane est moyennement riche en alumine et en oxyde de fer, il présente une teneur assez faible des métaux lourds. En raison de l'abondance de la silice dans sa composition totale, le sable quartzueux présente de très faibles teneurs dans les autres éléments majeurs. On remarque également que les éléments en trace sont presque négligeables. Par ailleurs, le sable commercial fin exhibe une proportion moyenne d'alumine de 9,08 % et une teneur assez élevée en dioxyde de potassium par rapport aux sables précédents. Il présente également un pourcentage des éléments en trace de l'ordre de 0,312 %. Cependant, le sable commercial grossier présente une composition chimique générale proche à celle du sable commercial fin, on peut dire qu'ils ont la même nature chimique.

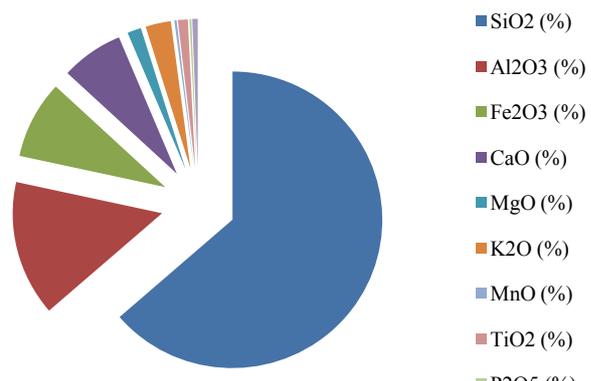
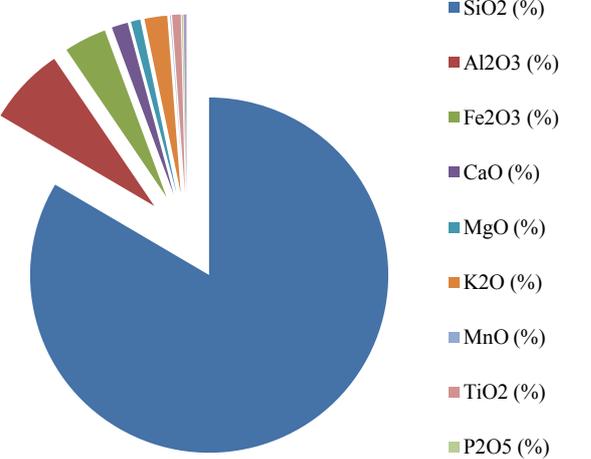
Cette analyse n'était pas réalisée dans l'objectif de déterminer l'impact de la qualité chimique des sables sur l'eau filtrée étant donné que le sable est un matériau chimiquement inerte avec l'eau à pH neutre qui le traverse.

4.4.3) Conclusion

Sans nous préoccuper de l'activité chimique des sables traversés par l'eau à pH neutre, l'analyse chimique par balayage ICP AES, nous a permis de caractériser les cinq échantillons de sable du point de vue chimique afin d'identifier les différentes proportions des éléments majeurs et en traces constitutifs de chaque matériau.

4.5) Synthèse des caractéristiques des matériaux filtrants

Le tableau ci-dessous représente les données chimiques, granulométriques et morphoscopiques propres à chaque échantillon de sable étudiés.

Caractéristiques chimiques	Caractéristiques granulométriques	Caractéristiques morphoscopique
Echantillon Talamout		
 <ul style="list-style-type: none"> ■ SiO₂ (%) ■ Al₂O₃ (%) ■ Fe₂O₃ (%) ■ CaO (%) ■ MgO (%) ■ K₂O (%) ■ MnO (%) ■ TiO₂ (%) ■ P₂O₅ (%) 	Granulométrie : 800 - 1400 µm Taille effective : 1,05 mm Indice de classement : 1,13 Coefficient d'uniformité : 1,24	En se basant sur la forme de 100 grains de quartz : Ronds : 2 % Sub-ronds : 15 % Emoussés : 28 % Anguleux : 55 %
Echantillon Oum Jrane		
 <ul style="list-style-type: none"> ■ SiO₂ (%) ■ Al₂O₃ (%) ■ Fe₂O₃ (%) ■ CaO (%) ■ MgO (%) ■ K₂O (%) ■ MnO (%) ■ TiO₂ (%) ■ P₂O₅ (%) ■ Eléments en trace (%) 	Granulométrie : 80 – 300 µm Taille effective : 0,1 mm Indice de classement : 1,4 Coefficient d'uniformité : 2,4	Ronds : 4 % Sub-ronds : 30 % Emoussés : 48 % Anguleux : 18 %

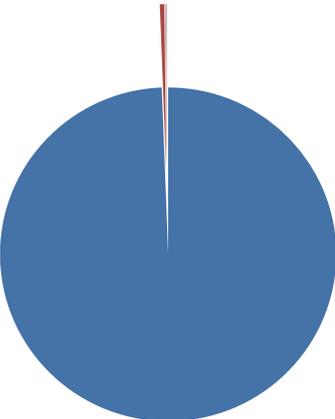
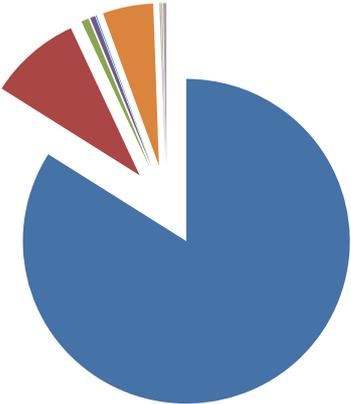
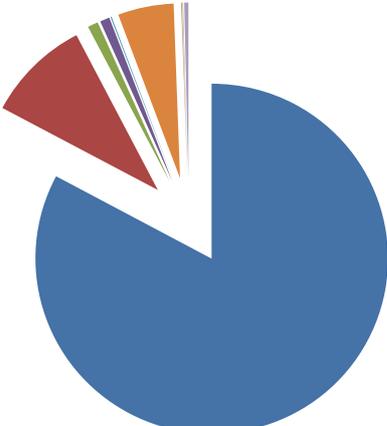
Echantillon de sable quartzux		
 <ul style="list-style-type: none"> ■ SiO2 (%) ■ Al2O3 (%) ■ Fe2O3 (%) ■ CaO (%) ■ MgO (%) ■ K2O (%) ■ MnO (%) ■ TiO2 (%) ■ P2O5 (%) ■ Eléments en trace (%) 	<p>Granulométrie : 180 – 300 µm</p> <p>Taille effective : 0,22 mm</p> <p>Indice de classement : 1,15</p> <p>Coefficient d'uniformité : 1,3</p>	<p>Ronds : --</p> <p>Sub-ronds : --</p> <p>Emoussés : 90 %</p> <p>Anguleux : 10 %</p>
Echantillon de sable commercial fin		
 <ul style="list-style-type: none"> ■ SiO2 (%) ■ Al2O3 (%) ■ Fe2O3 (%) ■ CaO (%) ■ MgO (%) ■ K2O (%) ■ MnO (%) ■ TiO2 (%) ■ P2O5 (%) ■ Eléments en trace (%) 	<p>Granulométrie : 1000 – 2000 µm</p> <p>Taille effective : 1,4 mm</p> <p>Indice de classement : 1,1</p> <p>Coefficient d'uniformité : 1,12</p>	<p>Ronds : --</p> <p>Sub-ronds : 12 %</p> <p>Emoussés : 27%</p> <p>Anguleux : 60 %</p>
Echantillon de sable commercial grossier		
 <ul style="list-style-type: none"> ■ SiO2 (%) ■ Al2O3 (%) ■ Fe2O3 (%) ■ CaO (%) ■ MgO (%) ■ K2O (%) ■ MnO (%) ■ TiO2 (%) ■ P2O5 (%) ■ Eléments en trace (%) 	<p>Granulométrie : 1400 – 3150 µm</p> <p>Taille effective : 2 mm</p> <p>Indice de classement : 1,12</p> <p>Coefficient d'uniformité : 1,27</p>	<p>Ronds : --</p> <p>Sub-ronds : 19 %</p> <p>Emoussés : 63 %</p> <p>Anguleux : 18 %</p>

Tableau 14: Caractéristiques chimiques, granulométriques et morphoscopiques des sables.

V. LES ESSAIS DE FILTRATION AU LABORATOIRE

1) Introduction

Dans le but de choisir les matériaux filtrants adéquats et leur empilement idéal pour la filtration de l'eau potable dans le site minier Guemassa, nous avons déterminé cinq scénarios d'essais. Chacun est caractérisé par une succession et un volume de matériaux bien définis. Le choix des scénarios respecte une certaine logique, ainsi les graviers doivent être mis en bas de la colonne pour stopper l'infiltration des sables dans le bécher, suivi d'un empilement de couches de sables de plus en plus fines du point de vue granulométrique. Il est important de signaler qu'une dizaine d'expériences peuvent être proposées, mais le manque de temps ne nous a pas permis de tout tester.

Pour chaque scénario, nous avons procédé par plusieurs essais, soit en variant le débit de filtration et dans certains cas, en utilisant l'eau ayant subi une première filtration. Les résultats obtenus en laboratoire ont été reproduits au moyens des filtres réels sous pression avec une capacité totale d'un mètre cube afin de déterminer la quantité d'eau pouvant être traitée par jour, et préciser la quantité des matériaux à utiliser.

2) Présentation des essais au laboratoire

2.1) Prélèvement de l'eau

Un prélèvement d'eau est effectué chaque jour à la même heure au niveau du décanteur de la station de traitement des eaux potables. On s'intéresse à prélever le surnageant ayant subi les processus de coagulation-floculation pour mettre en évidence la capacité des filtres qui serviront pour diminuer la charge en MES dans l'eau. Après la collecte des échantillons d'eau décantée, on procède par une mesure de turbidité à l'aide d'un turbidimètre. Nous signalons que la turbidité de l'eau à filtrer est entre 12 à 13 NTU.

2.2) Matériel utilisé

- Une colonne de verre d'un volume de 500 mL et d'un diamètre de 7 cm.
- 2 béchers de 500 mL
- Les 5 échantillons de matériaux filtrants
- Le gravier
- La laine de verre (permet de renforcer le rôle joué par les graviers)
- Une spatule (c'est une cuillère permettant d'introduire les sables dans la colonne)
- L'eau déminéralisée (pour le lavage du matériel et des matériaux)
- L'eau à filtrer
- Un turbidimètre (exemple : Turbi-Direct)

2.3) Mode opératoire

- On mesure la turbidité de l'eau à l'entrée.
- On lave les matériaux filtrants à mainte reprise, avec de l'eau déminéralisée afin d'enlever toute impureté (pour s'assurer de l'efficacité du lavage, on mesure la turbidité de l'eau déminéralisée à l'entrée et à la sortie de chaque rinçage. On parle d'un bon lavage si la turbidité de sortie est inférieure ou égale à celle de l'entrée).
- On remplit la colonne de verre par les graviers et les sables à l'aide d'une cuillère, on verse de l'eau déminéralisée au fur et à mesure que l'on ajoute les matériaux pour stabiliser la surface de la colonne de sable.
- On règle le débit d'écoulement à l'aide de la vanne en utilisant l'eau déminéralisée.
- On laisse passer 500 mL de l'eau à filtrer à travers les différentes couches de sables.
- On mesure le temps de contact entre l'eau et les matériaux filtrants.
- On récupère l'eau filtrée dans un bécher et on mesure sa turbidité.
- L'eau filtrée va subir une deuxième filtration pour améliorer sa qualité du point de vue turbidité.

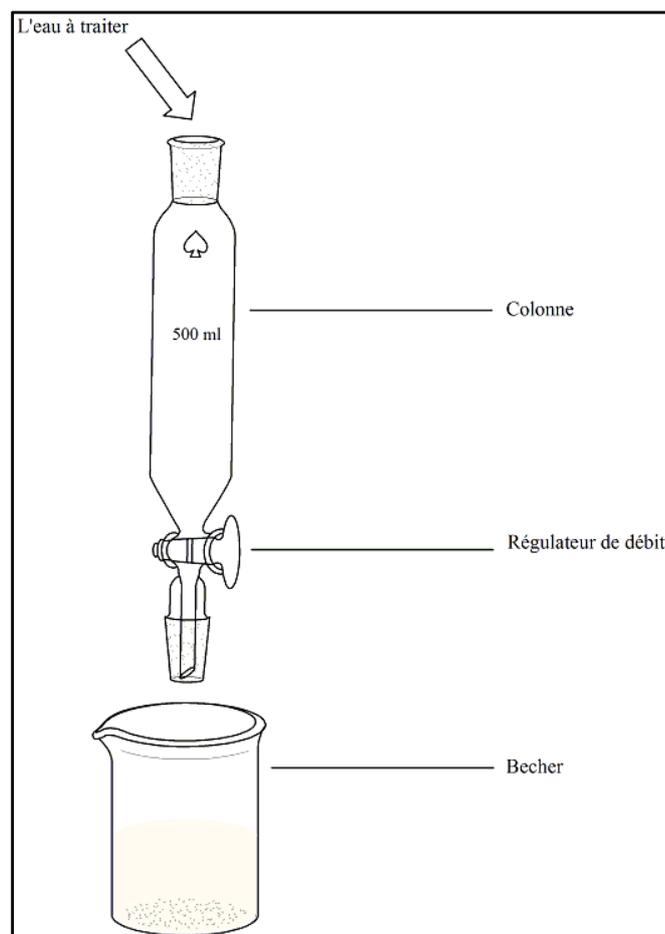


Figure 29: Schéma du dispositif de filtration au laboratoire.

Remarque :

La deuxième filtration se fait d'une façon indépendante de la première. Elle est considérée comme une filtration en série, c'est pour cette raison qu'on change la colonne de sable pour ne pas influencer la qualité de la filtration.

2.4) Dimensionnement du filtre réel

Le filtre adopté dans la CMG est d'une forme cylindrique de hauteur de 3,6 m, de capacité de 1 m³ dont 667 L sont occupés par les matériaux filtrants et 333 L pour y verser l'eau à filtrer et d'une section offerte à l'écoulement de 2827 cm².

3) Résultats des Essais

3.1) Scénario 1

a) Présentation de l'expérience

La figure 30 illustre la combinaison des matériaux filtrants choisis pour ce scénario. Nous avons réalisé une série de couches filtrantes de 13 cm d'épaisseur et 500 mL de volume à l'aide de matériaux filtrants dont 100 mL de gravier, 200 mL de sable commercial grossier et 200 mL de sable commercial fin. Nous avons réservé un volume de 7 cm de hauteur pour recevoir l'eau à filtrer.

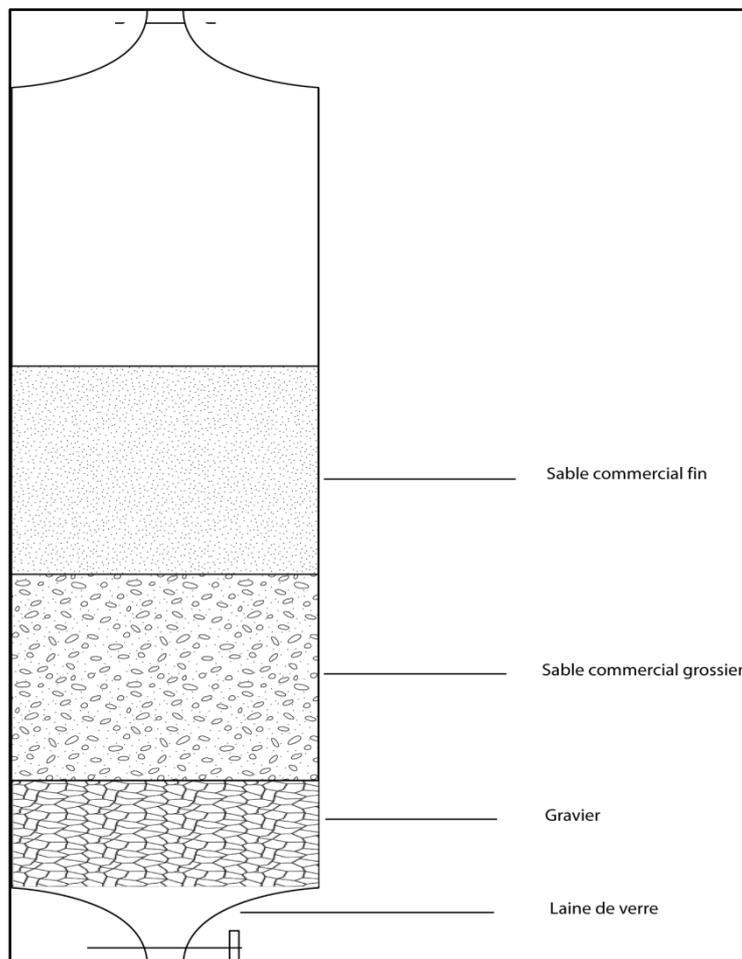


Figure 30: Schéma représentatif du scénario 1.

Le tableau ci-dessous représente les volumes, les épaisseurs et les pourcentages des matériaux filtrants utilisés dans le scénario 1. Ces données permettront de déterminer les dimensionnements d'un filtre réel.

Matériaux filtrants	Volume (mL)	Epaisseur (cm)	Pourcentage (%)
Sable commercial fin	200	5,2	40
Sable commercial grossier	200	5,2	40
Gravier	100	2,6	20

Tableau 15: Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 1.

b) Résultats des essais au laboratoire

Le tableau 15 représente les résultats des essais réalisés pour le scénario 1. Nous avons effectué différents débits de filtration, du plus fort au plus faible, c'est-à-dire la quantité d'eau à traiter dans un intervalle de temps afin de déterminer le rendement de filtration correspondant à la meilleure limpidité. Pour chaque essai, on fixe un débit et on réalise une première filtration, puis une seconde.

Débit (L/h)	10	7,5	3	1,2	0,75
Temps de contact (min)	3	4	10	25	40
Première filtration (NTU)	9,24	8	5,95	5,32	1,7
Deuxième filtration (NTU)	8,3	6,5	5	3,7	1,54

Tableau 16: Résultats des essais du scénario 1.

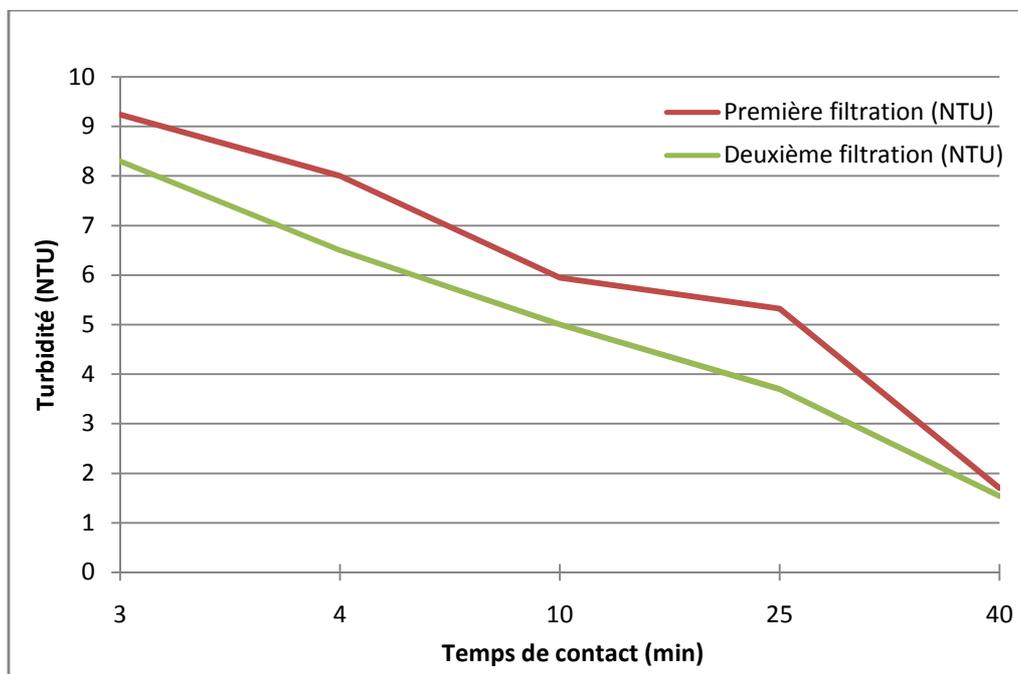


Figure 31: Evolution de la turbidité de l'eau en fonction du temps de contact dans le scénario 1.

La figure 31 représente l'évolution de la turbidité en fonction du temps de contact (débit). La courbe en rouge illustre la première filtration, on note une diminution de la turbidité au fur et à mesure que le temps de filtration augmente, ainsi plus l'eau est en contact avec les matériaux filtrants plus la

qualité s'améliore. La courbe en vert représente la deuxième filtration, cette dernière met en évidence des valeurs de turbidité inférieures à celles de la première filtration. Nous pouvons conclure que les filtrations en série pour le scénario 1 permettent d'améliorer la qualité de l'eau. De même, nous remarquons que les temps de contact de 25 et 40 minutes, sont les seuls à donner après deux filtrations des turbidités conformes aux normes de potabilité. Cependant, bien que les résultats obtenus pour ces deux périodes de filtration soient acceptables, les débits de filtration représentent un inconvénient important étant donné que la quantité d'eau traitée demeure insuffisante.

c) Cas d'un filtre réel

Le tableau 17 représente les volumes, les épaisseurs et les pourcentages des couches de matériaux destinées à la filtration au niveau d'un filtre réel.

Matériaux filtrants	Volume (L)	Epaisseur (m)	Pourcentage (%)
Sable commercial fin	266,8	0,95	40
Sable commercial grossier	266,8	0,95	40
Gravier	133,4	0,48	20

Tableau 17: Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 1 dans un filtre réel d'un m³.

Pour mieux visualiser les résultats des expériences du laboratoire, nous avons fait une interpolation des résultats dans le cas d'un filtre réel d'un m³.

Débit horaire (m³/h)	13,34	10	4	1,6	1
Débit filtré par jour (m³/j)	324	240	96	38,5	24
Première filtration (NTU)	9,24	8	5,95	5,32	1,7
Deuxième filtration (NTU)	8,3	6,5	5	3,7	1,54

Tableau 18: Résultats du scénario 1 pour un filtre réel d'un m³.

Le tableau ci-dessus met en évidence la quantité d'eau traitée par jour et la qualité qui lui correspond. Nous remarquons, pour des débits journaliers importants (exemple : 96, 240 et 324 m³/j) la qualité de l'eau vis-à-vis la turbidité est supérieure à 5 NTU. La bonne qualité de filtration est donnée par de faibles débits de l'ordre de : 38,5 et 24 m³/j. Ces quantités d'eau traitées par jour sont insuffisantes pour satisfaire la demande en eau du site minier Guemassa.

3.2) Scénario 2

La figure 32 illustre la combinaison des matériaux filtrants choisis pour ce scénario. Nous avons réalisé une série de couches filtrantes de 13 cm d'épaisseur et 500 mL de volume à l'aide de matériaux filtrants dont 100 mL de gravier, 100 mL de sable commercial grossier, 200 mL de sable commercial fin et 100 mL du sable Talamount. Nous avons réservé un volume de 7 cm de hauteur pour y verser l'eau à filtrer.

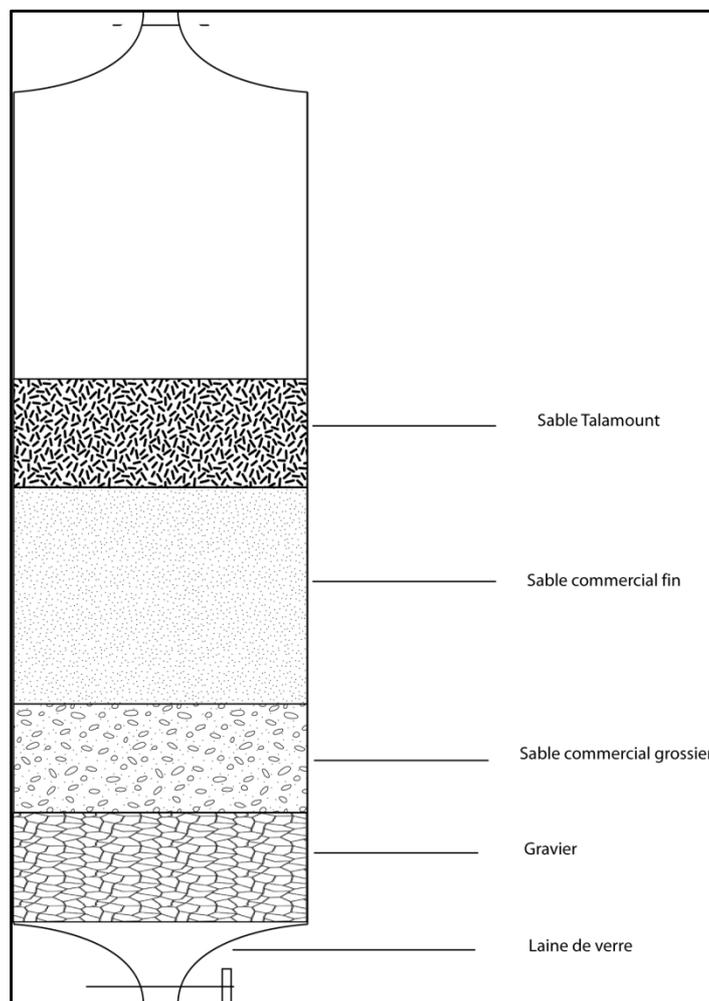


Figure 32: Schéma représentatif du scénario 2.

Le tableau 19 représente les volumes, les épaisseurs et les pourcentages de différentes couches de matériaux filtrants utilisés dans l'expérience.

Matériaux filtrants	Volume (mL)	Epaisseur (cm)	Pourcentage (%)
Sable Talamount	100	2,6	20
Sable commercial fin	200	5,2	40
Sable commercial grossier	100	2,6	20
Gravier	100	2,6	20

Tableau 19: Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 2.

Au cours de la préparation du scénario 2, nous avons procédé comme d'habitude au lavage des matériaux filtrants, ainsi nous avons remarqué que l'échantillon de sable Talamount génère de la turbidité même après 40 lavages à l'eau déminéralisée. A chaque rinçage, on note que l'eau devient grise et sa turbidité dépasse 30 NTU. Cette pollution observée au niveau du sable Talamount peut être due à la couche d'impuretés signalées dans l'étude morphoscopique. Ce type de sable est par conséquent, à éviter pour une utilisation comme matériau filtrant.

3.3) Scénario 3

a) Présentation de l'expérience

Dans ce scénario, nous avons utilisé trois couches de sables avec des volumes bien définis. On distingue : 100 mL de gravier, 100 mL de sable commercial grossier, 250 mL de sable commercial fin et 50 mL du sable Oum Jrane. Nous avons réservé un volume de 7 cm de hauteur pour y verser l'eau à filtrer. La figure 33 illustre la colonne de sable adoptée dans le scénario 3.

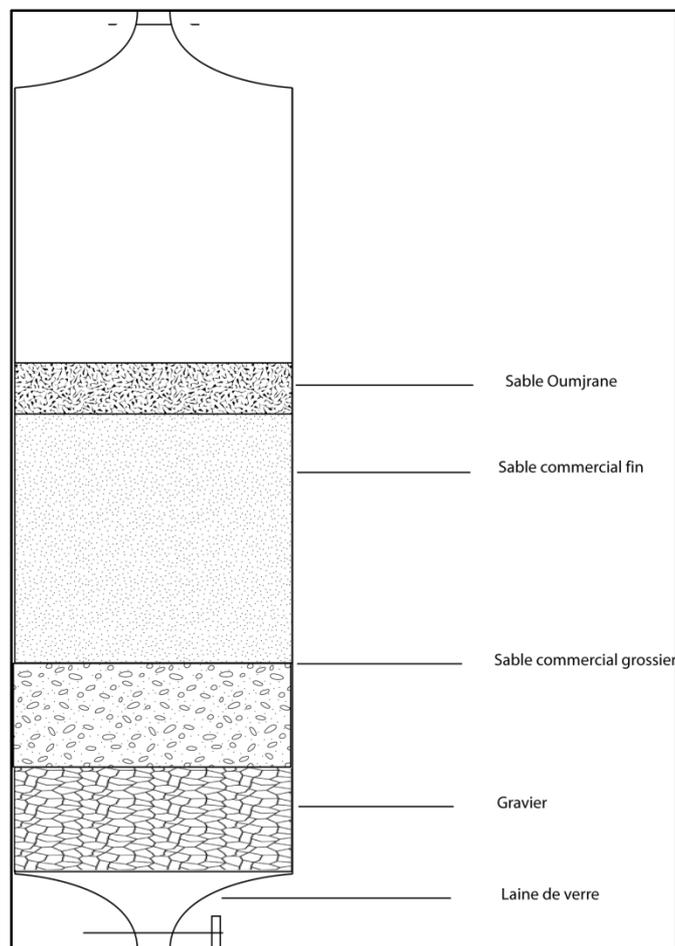


Figure 33: Schéma représentatif du scénario 3.

Au cours de la réalisation de nos essais, nous avons remarqué que le sable Oum Jrane contribue à la rétention de 20 à 30 % du volume d'eau à filtrer. Ce qui nécessite un écoulement de l'eau sous pression.

Le tableau 20 présente les caractéristiques des matériaux filtrants dans la préparation du scénario 3.

Matériaux filtrants	Volume (mL)	Epaisseur (cm)	Pourcentage (%)
Sable Oum Jrane	50	1,3	10
Sable commercial fin	250	6,5	50
Sable commercial grossier	100	2,6	20
Gravier	100	2,6	20

Tableau 20: Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 3.

b) Résultats des essais au laboratoire

Les résultats des essais réalisés pour le scénario 3 sont représentés dans le tableau 21.

Débit (L/h)	15	4,28	3	2,3	0,5
temps de contact (min)	2	7	10	15	60
Première filtration (NTU)	22	5,67	5,5	4,13	4,5
Deuxième filtration (NTU)	25	7,3	6	8,5	5,5

Tableau 21: Résultats des essais du scénario 3.

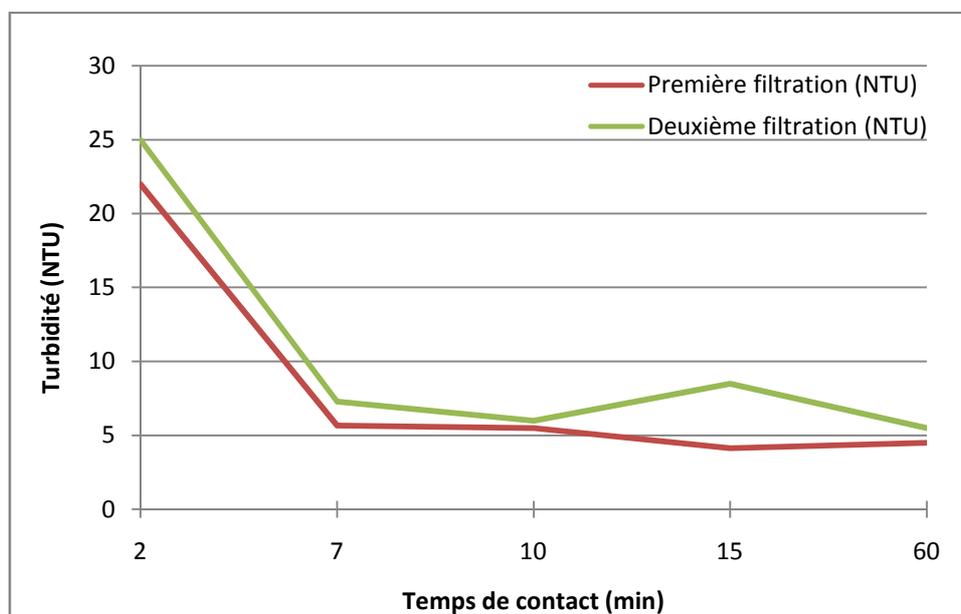


Figure 34: Evolution de la turbidité en fonction du temps de contact dans le scénario 3.

Dans le but de mieux expliquer les résultats des essais dans le tableau 21, nous avons représenté dans la figure 34 l'évolution de la turbidité en fonction du temps de contact. Nous remarquons que l'allure générale des courbes illustre une baisse de la turbidité quand le temps de contact augmente. La courbe rouge de la première filtration met en évidence une baisse de la turbidité en faisant varier le temps de filtration de 2 à 60 min. La courbe verte correspond à la deuxième filtration. Elle présente une hausse de la turbidité par rapport à la première filtration. Ceci explique que la filtration en série pour le scénario 3 produit une eau plus turbide.

Nous remarquons pour la majorité des essais que la première filtration permet de donner une réduction assez bonne de la teneur en MES dans l'eau. Or si la qualité de l'eau filtrée atteint des valeurs faibles de 4,13 à 5,67, une deuxième filtration causera une hausse de la turbidité. Nous constatons alors que l'utilisation de ce scénario ne permet pas de réduire la turbidité de l'eau à des valeurs inférieures à 4 NTU. De plus, elle provoque une détérioration de la qualité de l'eau.

Remarque : Chaque essai de filtration a été réalisé en trois reprises. Les résultats rassemblés dans le tableau correspondent aux moyennes des manipulations. Nous avons procédé ainsi afin de nous assurer de la fiabilité des résultats obtenus.

c) Cas d'un filtre réel

Le tableau 22 présente les caractéristiques de la colonne filtrante pour le scénario 3 dans le cas d'un filtre d'un m³.

Matériaux filtrants	Volume (L)	Epaisseur (m)	Pourcentage (%)
Sable Oum Jrane	66,7	0,24	10
Sable commercial fin	333,5	1,2	50
Sable commercial grossier	133,4	0,47	20
Gravier	133,4	0,47	20

Tableau 22: Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 3 dans un filtre réel d'un m³.

Dans le but de nous rassurer de la fiabilité de nos résultats, nous avons tenté de reproduire nos essais à l'échelle d'un filtre de 1 m³ en respectant les proportions des essais au laboratoire. Dans le tableau 23 sont rassemblées les données concernant les débits journaliers de filtration et la qualité de l'eau filtrée correspondante.

Débit horaire (m³/h)	20,3	5,7	4	3	0,67
Débit filtré par jour (m³/j)	487	137	96	74	16
Première filtration (NTU)	22	5,67	5,5	4,13	4,5
Deuxième filtration (NTU)	25	7,3	6	8,5	5,5

Tableau 23: Résultats du scénario 3 pour un filtre réel d'un m³.

Pour le scénario 3, le problème de la qualité de filtration se pose. Compte tenu des valeurs de turbidité enregistrées dans la deuxième filtration, nous jugeons que le scénario 3 n'est pas adéquat pour une filtration respectant les normes.

3.4) Scénario 4 :

a) Présentation de l'expérience

En se basant sur les résultats du scénario 1, nous avons pensé à réaliser un scénario avec les mêmes couches filtrantes mais avec des proportions différentes des sous-couches de sables. Dans le but d'obtenir une filtration de qualité meilleure, nous avons décidé d'augmenter le volume du sable commercial fin. En effet ce dernier présente une taille effective adéquate pour la filtration et des formes de grains ayant un grand pouvoir de rétention ainsi un aspect clair et propre qui ne nécessite pas beaucoup de lavage. Dans cette vision, nous avons réalisé une série de couches filtrantes de 13 cm d'épaisseur et 500 mL de volume à l'aide de matériaux filtrants dont 100 mL de gravier, 100 mL de sable commercial grossier et 300 mL de sable commercial fin. Là également, Nous avons réservé un volume de 7 cm de hauteur pour recevoir l'eau à filtrer. La figure 35 illustre le scénario 4.

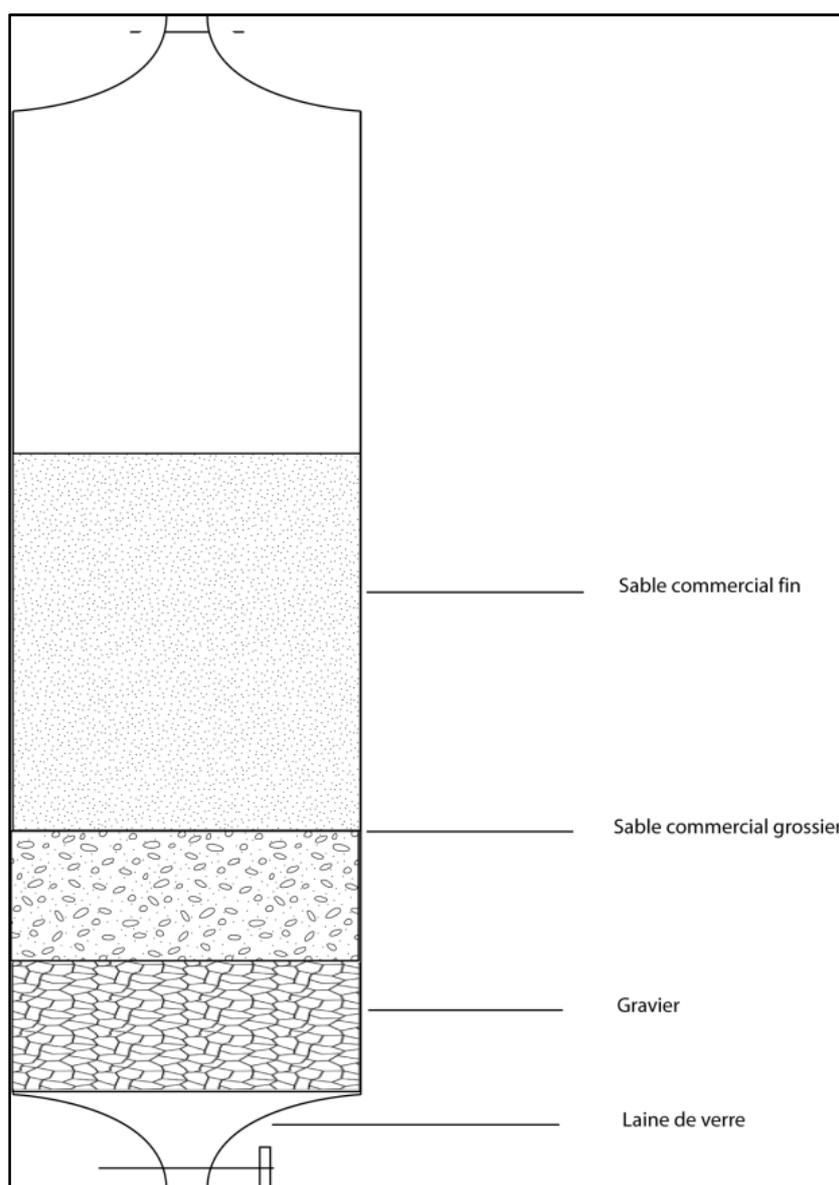


Figure 35: Schéma représentatif du scénario 4.

Le tableau 24 présente les caractéristiques des couches filtrantes utilisées dans les essais du scénario 4.

Matériaux filtrants	Volume (mL)	Epaisseur (cm)	Pourcentage (%)
Sable commercial fin	300	7,8	60
Sable commercial grossier	100	2,6	20
Gravier	100	2,6	20

Tableau 24: Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 4.

b) Résultats des essais au laboratoire

Le tableau 25 présente les résultats des essais au laboratoire du scénario 4.

Débit (L/h)	15	6	3,75	3	2,3	0,86
temps de contact (min)	2	5	8	10	15	35
Première filtration (NTU)	5,77	4,37	4,13	4,05	4	2,6
Deuxième filtration (NTU)	4,8	3,65	3,3	3,28	2,2	2

Tableau 25: Résultats des essais du scénario 4.

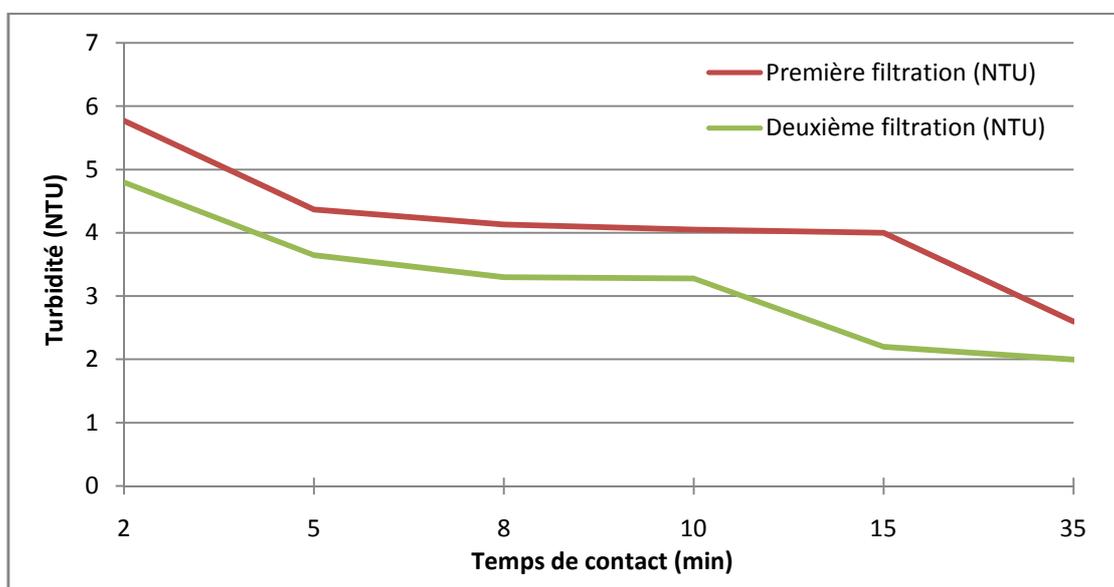


Figure 36: Evolution de la turbidité en fonction du temps de contact dans le scénario 4.

La figure 36 représente l'évolution de la turbidité en fonction du temps de contact pour le scénario 4. Nous remarquons que la turbidité décroît au fur et à mesure que le temps de filtration augmente. Ainsi, plus le débit d'écoulement de l'eau est lent plus sa qualité est meilleure. La courbe en rouge correspond à la première filtration. Elle met en évidence un aspect général décroissant de la turbidité en fonction du temps de contact. Notons que, que la majorité des valeurs de la turbidité sont inférieures à 5 NTU dès les deux premières minutes. La courbe verte correspond à la deuxième filtration. Elle montre que la turbidité prend des valeurs inférieures à celles respectives de la première filtration. Nous constatons, pour toutes les périodes de filtration expérimentées, des valeurs de turbidité conformes aux normes. De plus, nous avons pu atteindre d'excellentes valeurs, de l'ordre de 2 à 3,3 NTU au niveau des périodes de filtration suivant : 8, 10, 15 et 35 minutes.

c) Cas d'un filtre réel

Le tableau 26 présente les volumes, les épaisseurs et les pourcentages des couches de matériaux de filtration au niveau d'un filtre réel dans le cadre du scénario 4.

Matériaux filtrants	Volume (L)	Epaisseur (m)	Pourcentage (%)
Sable commercial fin	400,2	1,42	60
Sable commercial grossier	133,4	0,47	20
Gravier	133,4	0,47	20

Tableau 26: Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 4 dans un filtre réel d'un m³.

Les essais réalisés pour le scénario 4 présentent des résultats appréciables du point de vue qualité. Dans l'objectif de choisir l'essai le mieux adapté à la filtration dans la CMG, nous nous sommes intéressés à l'étude de la quantité de l'eau à traiter.

Le tableau ci-dessous représente les résultats des essais adoptés à l'échelle d'un filtre réel sous pression.

Débit horaire (m ³ /h)	20	8	5	4	3	1,15
Débit filtré par jour (m ³ /j)	480	192	120	96	73,6	27,5
Première filtration (NTU)	5,77	4,37	4,13	4,05	4	2,6
Deuxième filtration (NTU)	4,8	3,65	3,3	3,28	2,2	2

Tableau 27: Résultats du scénario 4 pour un filtre réel d'un m³.

La meilleure qualité obtenue est de 2 NTU, elle correspond à un débit d'eau filtrée de 27,5 m³/j. ce débit semble être extrêmement faible pour desservir les besoins en eau potable dans le site minier. Le choix de ce débit demande l'installation d'une dizaine de filtre sous pression, ce qui présente un coût énorme du point de vue financement et maintenance. Par ailleurs, une quantité de 73,6 m³ par jour avec une qualité de 2,2 NTU serait intéressante, et sa réalisation est possible. On remarque également que les débits permettant de traiter 96 et 120 m³/j représentent des qualités d'eau filtrée impressionnante. Du point de vue turbidité final, les deux débits donnent des qualités de filtration très proches. Il serait donc avantageux d'adopter le débit à 120 m³/j. D'un autre côté, si nous comparons le débit à 73,6 (colonne 6 du tableau 27), la turbidité finale est encore meilleure (2,2 NTU). Bien qu'il soit inférieur aux deux premiers, nous proposons, par conséquent, le choix de ce débit pour sa meilleure turbidité.

3.5) Scénario 5

a) Présentation de l'expérience

Le scénario 5 est caractérisé par l'utilisation d'une couche de sable quartzeux à la surface de la colonne filtrante. La figure 37 présente la combinaison des matériaux filtrants et leur empilement. On distingue du bas vers le haut: 100 mL de gravier, 100 mL de sable commercial grossier, 250 mL de sable commercial fin et 50 mL de sable quartzeux. Nous avons gardé 7 cm de la colonne vide, pour l'arrivée de l'eau à filtrer.

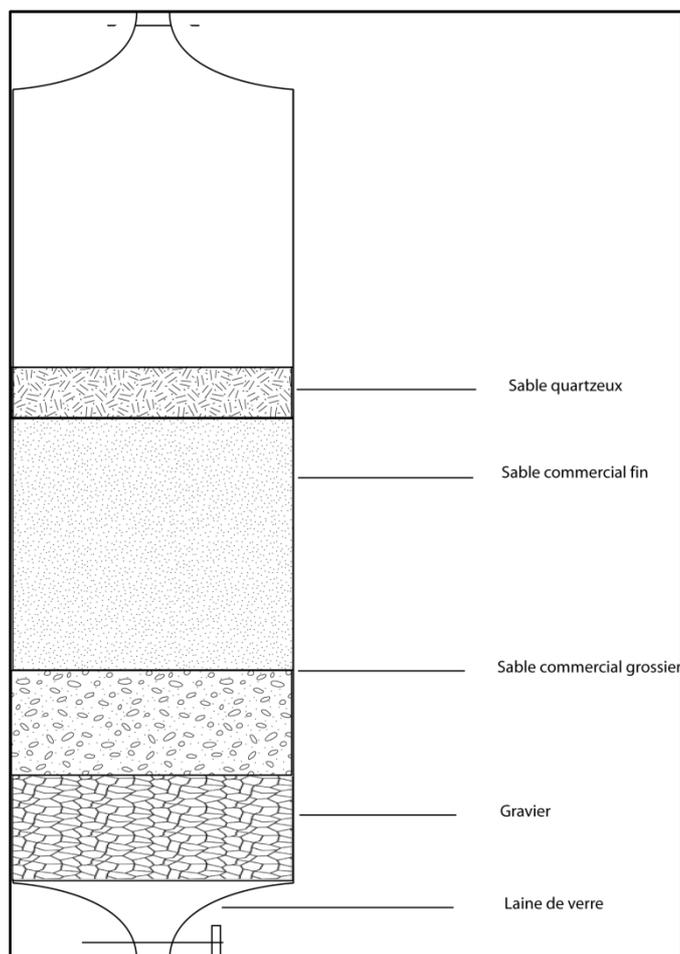


Figure 37: Schéma représentatif du scénario 5.

Au cours des essais, nous avons remarqué que l'ajout du sable quartzeux retient 10 % du volume d'eau à traiter. D'où la nécessité d'exercer une pression à l'intérieur de la colonne pour libérer la quantité d'eau retenue. Nous concluons ainsi que le facteur pression devrait faire partie de ce scénario.

Le tableau 28 présente les volumes des matériaux filtrants et leurs épaisseurs adoptés lors de la réalisation du scénario 5.

Matériaux filtrants	Volume (mL)	Epaisseur (cm)	Pourcentage (%)
Sable quartzeux	50	1,3	10
Sable commercial fin	250	6,5	50
Sable commercial grossier	100	2,6	20
Gravier	100	2,6	20

Tableau 28: Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 5.

b) Résultats des essais au laboratoire

Les résultats des essais du scénario 5 sont présentés dans le tableau 29 pour juger l'impact de son utilisation sur la qualité de la filtration en fonction des différents débits.

Débit (L/h)	15	6	3,75	2,3	0,86
temps de contact (min)	2	5	10	15	35
Première filtration (NTU)	5	4,5	3,5	4,5	3,14
Deuxième filtration (NTU)	4,5	4	3,14	3,7	3

Tableau 29: Résultats des essais du scénario 5.

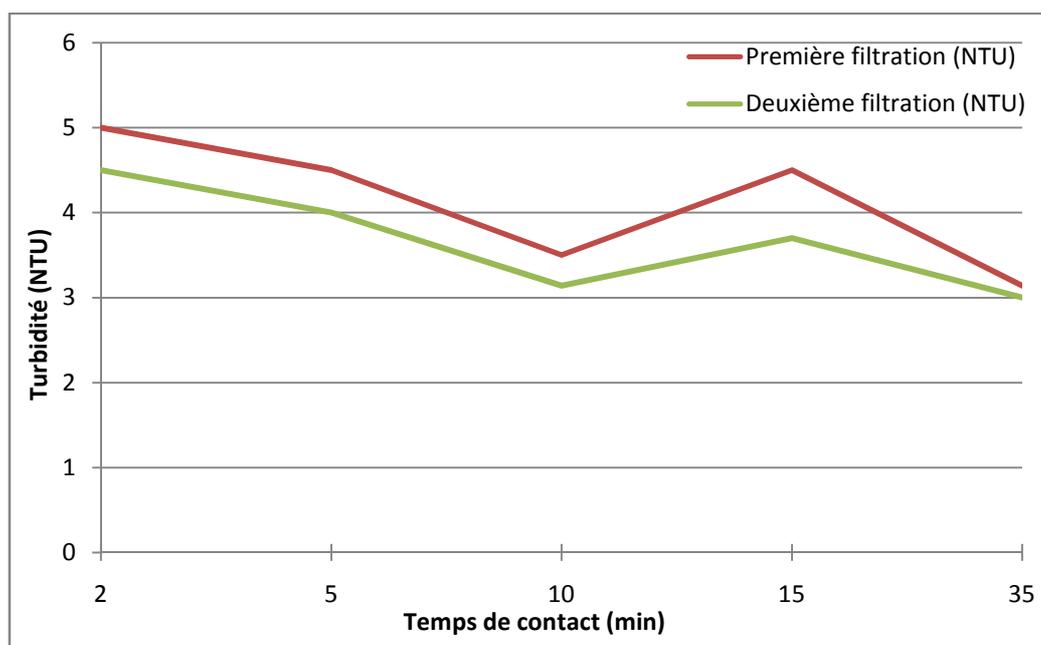


Figure 38: Evolution de la turbidité en fonction du temps de contact dans le scénario 5.

La figure 38 représente l'évolution de la qualité de l'eau filtrée (turbidité) en fonction du temps de contact. Nous remarquons que la turbidité décroît dans les trois premiers essais de 2, 5 et 10 min alors que l'essai de 15 min manifeste une qualité inattendue. De même le résultat correspondant au temps de contact de 35 min semble être en dessus de la valeur logique de l'évolution de la turbidité. Une question se pose à propos des résultats de ces deux derniers essais : A quoi est-elle due l'anomalie enregistrée par la turbidité à 15 min ? Nous ne disposons pas d'éléments nécessaires pour formuler une réponse convaincante. Toute fois, nous soupçonnons qu'un phénomène physique ne se produit qu'au-delà de 15min ayant une influence sur la clarté de l'eau filtrée après cette période de contact.

En ce qui concerne la conformité, dès la première filtration, l'eau filtrée présente une qualité conforme aux normes de potabilité, ceci est expliqué par la courbe rouge de la première filtration. La deuxième filtration représentée par la courbe verte améliore davantage la qualité de l'eau par rapport à la première filtration. Elle illustre des valeurs plus appréciables.

Les temps de contact de 10 et 35 minutes correspondent aux meilleures qualités dans ce scénario avec des turbidités respectivement de 3,14 et 3 NTU.

c) Cas d'un filtre réel

Dans le tableau 30, nous avons rassemblé les données caractérisant les matériaux filtrants dans le scénario 5 pour un filtre réel d'une capacité de 1 m³ sous pression.

Matériaux filtrants	Volume (L)	Epaisseur (m)	Pourcentage (%)
Sable quartzeux	66,7	0,24	10
Sable commercial fin	333,5	1,2	50
Sable commercial grossier	133,4	0,47	20
Gravier	133,4	0,47	20

Tableau 30: Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 4 dans un filtre réel d'un m³.

Dans le but de guider notre choix vers le cas qui permet à la fois de traiter une quantité considérable d'eau et de fournir une bonne qualité. Nous présentons le tableau ci-dessous, qui représente les débits d'eau filtrée par jour au niveau du filtre réel.

Débit horaire (m³/h)	20	8	5	3	1,15
Débit filtré par jour (m³/j)	480	192	120	73,6	27,5
Première filtration (NTU)	5,05	4,5	3,5	4,5	3,14
Deuxième filtration (NTU)	4,5	4	3,14	3,7	3

Tableau 31: Résultats du scénario 5 pour un filtre réel d'un m³.

Le tableau 31 met en évidence l'essai permettant de donner la meilleure qualité de l'eau traitée du point de vue turbidité. Une valeur de 3 NTU est enregistrée au niveau du tableau pour un débit de filtration de 27,5 m³/j. Ce dernier semble insuffisant pour répondre aux besoins du site minier en eau potable, donc son choix est défavorable.

Nous s'intéressons à la filtration permettant l'obtention d'une eau avec 3,14 NTU et un débit de 120 m³/j. Ce processus semble le mieux adaptée dans le cadre du scénario 5, par raison de sa bonne qualité et sa quantité importante à filtrer.

3.6) Les conditions extrêmes

Dans le but de remédier aux valeurs de turbidité importantes enregistrées dans les conditions extrêmes, comme : les périodes des hautes eaux, les périodes orageuses et le redémarrage d'une pompe en repos. Nous avons procédé à des essais au laboratoire avec des eaux turbides de l'ordre de 410 NTU et en se basant sur les scénarios 4 et 5 sélectionnés en raison de leur bonne qualité de filtration et leur quantité d'eau traitée. Nous avons réalisé l'expérience pour le scénario 4 à deux débits de filtration, celui permettant de traiter 73,6 m³/j et l'autre traitant 120 m³/j. Par ailleurs, pour le scénario 5 nous avons utilisé le débit de filtration traitant 120 m³/j et donnant la meilleure qualité du point de vue turbidité.

Dans l'ensemble de notre étude sur la filtration à travers les sables des eaux potables, nous nous sommes intéressés à l'optimisation de la filtration après le prétraitement dans le bassin de décantation. Le schéma des processus de traitement de l'eau potable dans la CMG (figure 5), illustre la présence d'un filtre à l'amont de la station de traitement, ce filtre assure une pré-filtration qui permet de diminuer la

charge en MES dans l'eau avant le processus de décantation. Dans les essais réalisés pour lutter contre la turbidité importante enregistrée dans des conditions extrêmes, nous avons pris en considération le filtre à l'amont de l'usine de traitement, afin de mettre en évidence sa capacité à réduire les solides en suspension dans l'eau. Nous avons choisit de faire passer l'eau turbide à partir du premier filtre par un débit de 20 m³/h, qui permettra le traitement de 480 m³/j. Le choix de ce débit n'est pas aléatoire, vu que les scénarios 4 et 5 ont enregistrées une qualité d'eau assez bonne pour un débit important de 20 m³/h. Ainsi, l'utilisation d'une seule filtration par ce débit au niveau du filtre installé à l'amont de la chaîne de traitement pourra aider à baisser la turbidité d'entrée.

a) Filtration par le scénario 4

➤ Cas n°1

On rappelle que la turbidité de l'eau à l'entrée est de 410 NTU.

Processus	Turbidité (NTU)	Débit de filtration (m ³ /h)
Pré-filtration	94	20
Première filtration	8,5	3
Deuxième filtration	2,8	3

Tableau 32 : Résultats des essais de filtration avec un débit de 3 m³/h.

Le tableau 32 illustre les résultats des essais dans le cas de la filtration avec un débit horaire de 3 m³/h (soit 73,6 m³/j). Après la pré-filtration avec un débit de 20 m³/h, l'eau à traiter passe d'une turbidité de 410 NTU à 94 NTU. Cette eau ainsi filtrée doit subir une décantation. Or pour mieux examiner la capacité des scénarios de filtration expérimentés précédemment, nous avons choisit de traiter l'eau directement par filtration. Donc, l'eau de 94 NTU subi deux filtrations en série pour obtenir 2,8 NTU comme résultats final.

On distingue que la filtration avec un débit et une qualité pareil est adéquate pour remédier à une grande charge de MES dans l'eau.

➤ Cas n°2

Processus	Turbidité (NTU)	Débit de filtration (m ³ /h)
Pré-filtration	94	20
Première filtration	20	5
Deuxième filtration	3,6	5

Tableau 33 : Résultats des essais de filtration avec un débit de 5 m³/h (Scénario 4).

Le tableau 33 permet de représenter la capacité de filtration avec un débit de 5 m³/h, après une pré-filtration avec un débit de 20 m³/h. cette manipulation montre la diminution de la turbidité de 420 NTU à 3,6 NTU comme résultats final. Cette expérience permet de donner une bonne qualité ainsi une quantité importante d'eau à traiter donc le choix de ce débit est appréciable.

b) Filtration par le scénario 5

En se basant sur la colonne filtrante du scénario 5 et un débit de 5 m³/h, nous avons procédé à ces essais afin de qualifier le pouvoir de cette combinaison à éliminer une charge importante en MES.

Processus	Turbidité (NTU)	Débit de filtration (m ³ /h)
Pré-filtration	15	20
Première filtration	6,7	5
Deuxième filtration	3,4	5

Tableau 34 : Résultats des essais de filtration avec un débit de 5 m³/h (Scénario 5).

Le tableau 34 représente les résultats des essais de filtration, en respectant la colonne filtrante du scénario 2 et en adoptant un débit horaire de 5m³/h. les résultats obtenus sont bons, vu que cette filtration a pu réduire la turbidité de 410 NTU à 15 NTU avec un débit rapide de 20 m³/h et puis de minimiser la turbidité jusqu'à 3,4 NTU. Malheureusement ce scénario représente un problème du point de vue colmatage des pores de sables. Nous avons observé pendant les essais que le passage d'une eau très turbide contribue à un colmatage important et nécessite un changement total de la première couche filtrante (sable quartzeux).

3.7) Conclusion

L'analyse des résultats des essais effectués au laboratoire a permis de choisir trois filtrations, chacune est caractérisée par une qualité et une quantité d'eau à traiter. Mais l'examen des filtrations sélectionnées dans les conditions les plus critiques où la turbidité est élevée a permis de prendre la décision et de donner des suggestions aux responsables du centre de recherche REMINEX. Ainsi les solutions proposées sont l'utilisation de la couche filtrante du scénario 4 avec un débit de filtration de 73,6 ou 120 m³/j. le nombre des filtres requis sont en fonction du débit de filtration et du dimensionnement du filtre choisit. Nous avons suggérer l'installation de 3 filtres en parallèle d'une capacité de 2 m³ chacun au lieu d'un m³, ainsi l'installation d'une deuxième chaîne en série composée de 3 filtres pour assurer une bonne qualité de filtration dans le cas d'un traitement avec un débit de 73,6 m³/j. Dans le cas d'un débit plus grand, celui de 120 m³/h, nous avons proposé d'aménager 2 filtres en parallèle de 2 m³ chacun pour répondre aux besoins en eaux potables et une deuxième série composée de 2 autres filtres permettant l'amélioration de la qualité de l'eau produite.

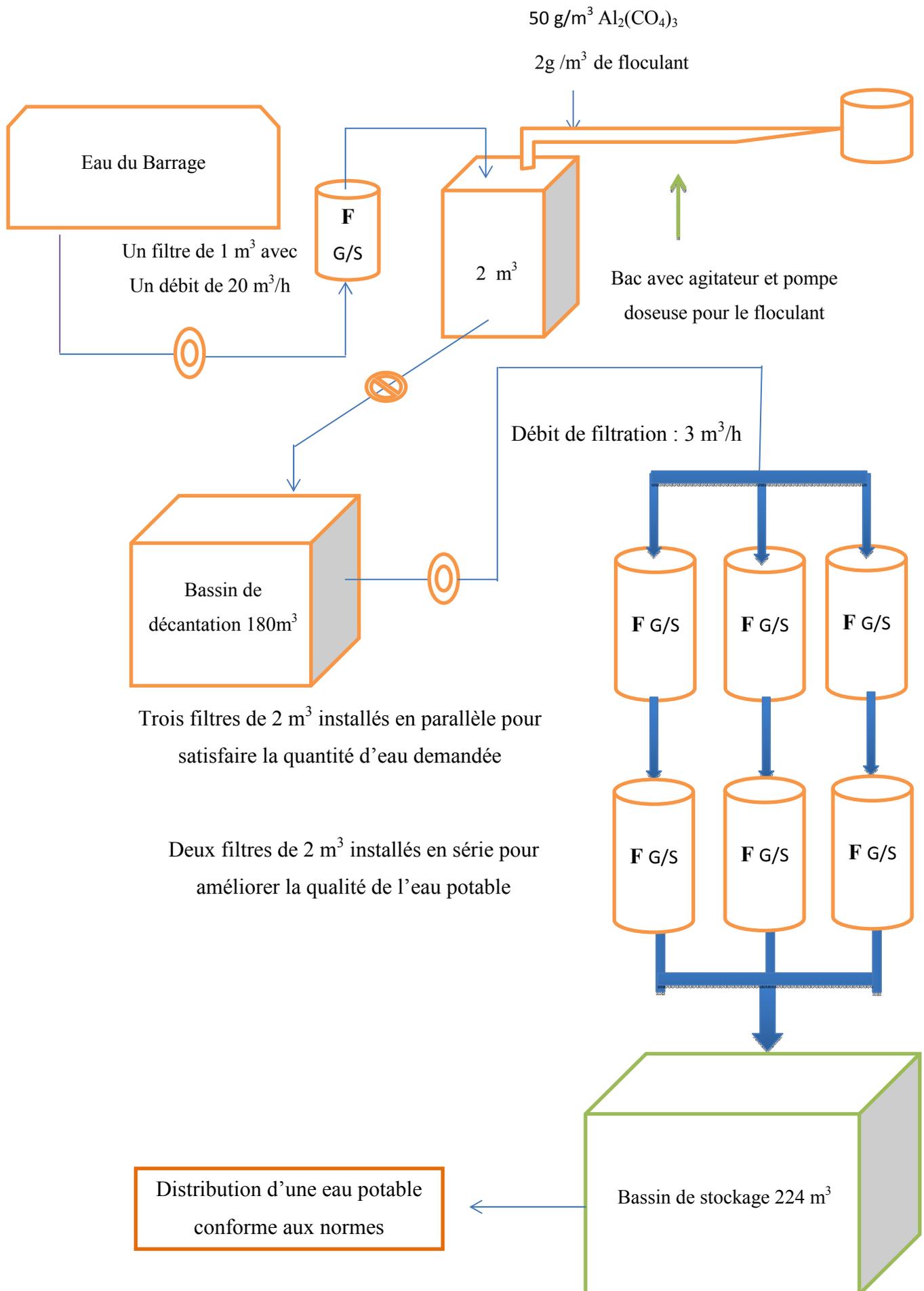
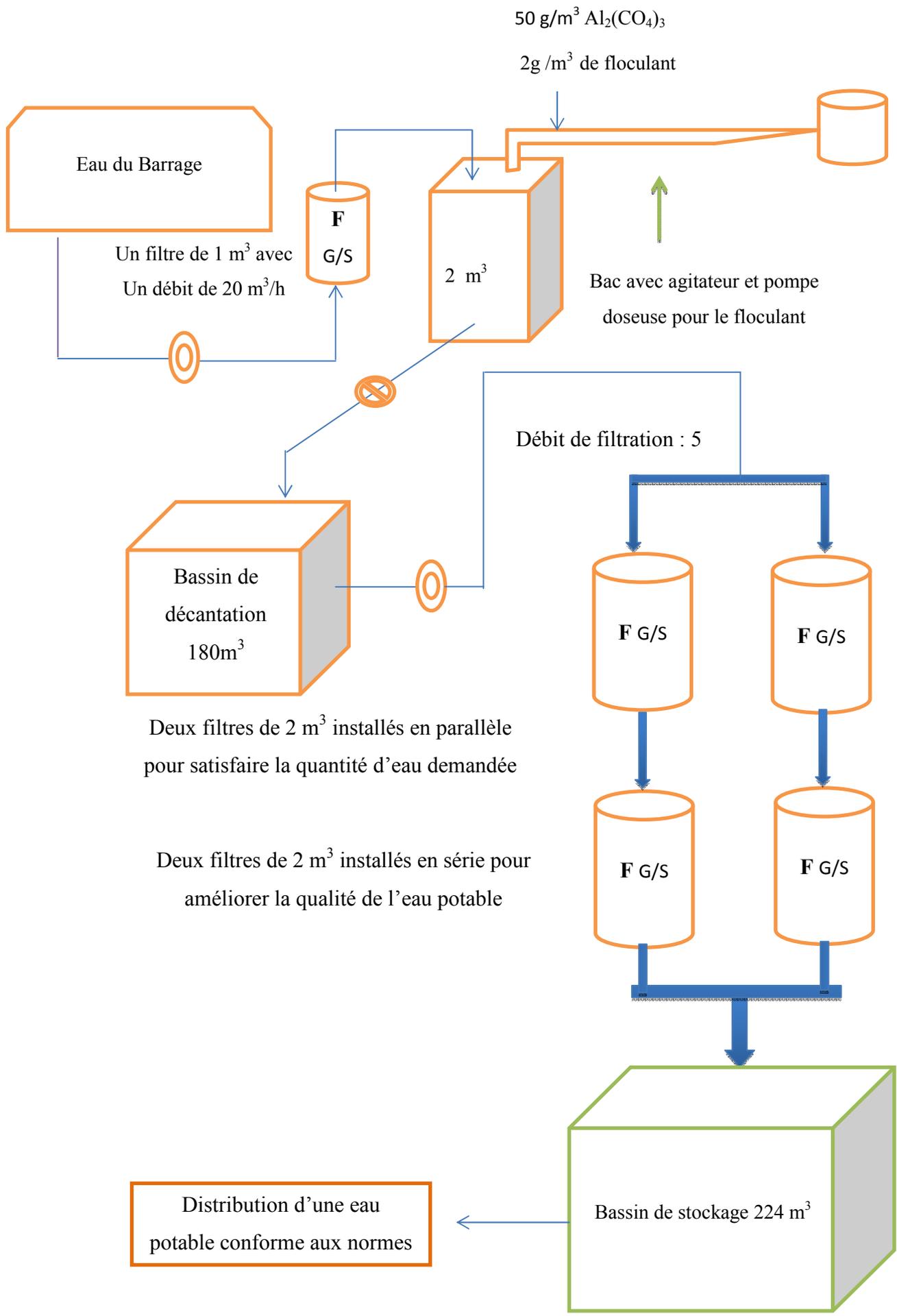


Figure 39: Schéma de la première solution proposée pour l'optimisation de la filtration.



Deux filtres de 2 m³ installés en parallèle pour satisfaire la quantité d'eau demandée

Deux filtres de 2 m³ installés en série pour améliorer la qualité de l'eau potable

Figure 40: Schéma de la deuxième solution proposée pour l'optimisation de la filtration.

Conclusion générale

Au cours de notre période de stage, nous avons étudié le processus de filtration sur sable adopté pour le traitement des eaux potables à la CMG, dans l'objectif de produire une eau de bonne qualité et de quantité satisfaisante à la demande en eau dans le site minier ($450 \text{ m}^3/\text{j}$). En se basant sur l'ensemble des missions effectuées dans ce projet, Nous avons constaté que :

- L'eau du barrage Lalla TAKERKOUST présente une qualité excellente et ne nécessite pas un traitement spécifique pour la rendre potable.
- L'usine de traitement des eaux potables dans la CMG, connaît un ensemble de difficultés en terme de dimensionnement du bassin de décantation et dans la gestion des filtres à sables, ce qui provoque la production d'une eau turbide au robinet.
- L'analyse granulométrique et morphoscopique permettent de déceler des paramètres importants pour le choix des échantillons de sables les mieux adoptés au processus de filtration. En se basant sur la taille effective, la granulométrie et l'indice de classement nous avons pu retirer les différents comportements des échantillons de sable au cours de la filtration. L'analyse morphoscopique est complémentaire à la granulométrie, elle donne une idée sur le pouvoir de rétention des MES manifesté par chaque type de sable.
- Les essais au laboratoire constituent le contrôle de l'efficacité des colonnes filtrantes proposées.
- Les scénarios 1, 2 et 3 sont éliminés, vu qu'ils produisent une médiocre qualité d'eau filtrée. Les essais montrant une bonne qualité de filtration présentent malheureusement une quantité d'eau produite insuffisante pour satisfaire les besoins en eau.
- Le scénario 4 présente une bonne qualité de filtration avec des débits journaliers de $73,6$ et $120 \text{ m}^3/\text{j}$. Par ailleurs, le scénario 5 exprime une turbidité finale adéquate avec un débit journalier de $120 \text{ m}^3/\text{j}$.
- La filtration dans les conditions où la turbidité est très élevée montre que : le scénario 5 produit une eau de qualité excellente mais présente un colmatage total de la colonne filtrante dès la première filtration. Le scénario 4 présente une qualité et une quantité d'eau satisfaisante sans manifester un colmatage du filtre.
- L'adoption du scénario 4 avec des débits de $73,6$ et $120 \text{ m}^3/\text{j}$ permet de donner la meilleure filtration possible. Par conséquent :
 - **Pour un débit de $73.6 \text{ m}^3/\text{j}$** : l'installation de 3 filtres en parallèle avec une capacité de 2 m^3 et d'une deuxième chaîne en série composé de 3 filtres permettra de satisfaire la qualité et la quantité demandée.
 - **Pour un débit de $120 \text{ m}^3/\text{j}$** : l'installation de 2 filtres en parallèle avec une capacité de 2 m^3 et de 2 autres filtres en série permettra de satisfaire la qualité et la quantité demandée.

Liste des Tableaux

- Tableau 1 : Paramètres hydrologiques du barrage Lalla TAKERKOUST.
- Tableau 2: Résultats des analyses physiques de l'eau brute pendant l'année 2011.
- Tableau 3: Résultats des analyses chimiques de l'eau brute de l'année 2011.
- Tableau 4: Critères simplifiés d'appréciation de la qualité des eaux de surface.
- Tableau 5 : La consommation mensuelle en m³ dans le site minier HAJJAR.
- Tableau 6: Les effets de l'épuration de l'eau par la filtration lente sur sable.
- Tableau 7: Les matériaux filtrants les plus couramment utilisés.
- Tableau 8: Résultats de l'analyse granulométrique du sable Talamount.
- Tableau 9: Résultats de l'analyse granulométrique du sable Oum Jrane.
- Tableau 10: Résultats de l'analyse granulométrique du sable quartzeux.
- Tableau 11: Résultats de l'analyse granulométrique du sable commercial fin.
- Tableau 12: Résultats de l'analyse granulométrique du sable commercial grossier.
- Tableau 13 : Résultats de l'analyse chimique des sables par balayage ICP AES.
- Tableau 14: Caractéristiques chimiques, granulométriques et morphoscopiques des sables
- Tableau 15: Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 1.
- Tableau 16 : Résultats des essais du scénario 1.
- Tableau 17: Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 1 dans un filtre réel d'un m³.
- Tableau 18 : Résultats du scénario 1 pour un filtre réel d'un m³.
- Tableau 19 : Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 2.
- Tableau 20: Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 3.
- Tableau 21 : Résultats des essais du scénario 3.
- Tableau 22 : Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 3 dans un filtre réel d'un m³.
- Tableau 23 : Résultats du scénario 3 pour un filtre réel d'un m³.
- Tableau 24 : Caractéristiques des matériaux filtrants dans le scénario 4.
- Tableau 25 : Résultats des essais du scénario 4.
- Tableau 26 : Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 4 dans un filtre réel d'un m³.
- Tableau 27 : Résultats du scénario 4 pour un filtre réel d'un m³.
- Tableau 28 : Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 5.
- Tableau 29 : Résultats des essais du scénario 5.
- Tableau 30 : Caractéristiques des matériaux filtrants du scénario 4 dans un filtre réel d'un m³.
- Tableau 31 : Résultats du scénario 5 pour un filtre réel d'un m³.
- Tableau 32 : Résultats des essais de filtration avec un débit de 3 m³/h.
- Tableau 33 : Résultats des essais de filtration avec un débit de 5 m³/h (Scénario 4).
- Tableau 34 : Résultats des essais de filtration avec un débit de 5 m³/h (Scénario 5).

Liste des figures

- Figure 1 : Situation géographique de la mine Hajjar.
- Figure 2 : Organigramme de la mine de Hajjar.
- Figure 3 : Différents laboratoires du centre de recherche REMINEX.
- Figure 4 : Photo illustrant le Bassin de stockage des eaux d'exhaures.
- Figure 5 : Photo illustrant le Bassin de stockage des eaux du barrage Lalla TAKERKOUST.
- Figure 6 : Situation géographique du barrage Lalla TAKERKOUST.
- Figure 7: Schéma illustrant les processus de traitement de l'eau potable dans la CMG.
- Figure 8: La photo illustrant la phase de tamisage et l'échantillon de sable obtenu «Cas de Talamount ».
- Figure 9 : Photo illustrant Situation géographique du point d'échantillonnage.
- Figure 10: Photo illustrant un échantillon de sable Oum Jrane.
- Figure 11: Situation géographique de la région d'Oum Jrane.
- Figure 12: Photo illustrant un échantillon de sable quartzeux.
- Figure 13: Photo illustrant des échantillons de sable commercial grossier et un sable commercial fin.
- Figure 14: La courbe de fréquence du sable « Talamount ».
- Figure 15: La courbe granulométrie du sable « Talamount ».
- Figure 16: la courbe de fréquence du sable « Oum Jrane».
- Figure 17: La courbe granulométrique du sable Oum Jrane.
- Figure 18: La courbe de fréquence du sable quartzeux.
- Figure 19: La courbe granulométrique du sable quartzeux.
- Figure 20: La courbe de fréquence du sable commercial fin.
- Figure 21: La courbe granulométrique du sable commercial fin.
- Figure 22: La courbe de fréquence du sable commercial grossier.
- Figure 23: La courbe granulométrique du sable commercial grossier.
- Figure 24: Photo illustrant la morphologie des grains du sable Talamount $\times 20$.
- Figure 25 : Photo illustrant la surface polluée d'un grain de sable Talamount $\times 40$.
- Figure 26: Photo illustrant la morphologie des grains du sable Oum Jrane $\times 40$.
- Figure 27: Photo illustrant la morphologie des grains du sable commercial fin $\times 20$.
- Figure 28: Photo illustrant la morphologie des grains de sable commercial grossier $\times 20$.
- Figure 29: Schéma du dispositif de filtration au laboratoire.
- Figure 30: Schéma représentatif du scénario 1.
- Figure 31: Evolution de la turbidité de l'eau en fonction du temps de contact dans le scénario 1.
- Figure 32: Schéma représentatif du scénario 2.
- Figure 33: Schéma représentatif du scénario 3.
- Figure 34: Evolution de la turbidité en fonction du temps de contact dans le scénario 3.

Figure 35: Schéma représentatif du scénario 4.

Figure 36: Evolution de la turbidité en fonction du temps de contact dans le scénario 4.

Figure 37: Schéma représentatif du scénario 5.

Figure 38: Evolution de la turbidité en fonction du temps de contact dans le scénario 5.

Figure 39: Schéma de la première solution proposée pour l'optimisation de la filtration.

Figure 40: Schéma de la deuxième solution proposée pour l'optimisation de la filtration.

Liste des abréviations

ONA : Omnium Nord Africain.

SNI : Société nationale d'investissement.

BRPM : Bureau de Recherche et de Participation Minière.

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

CMG : Compagnie Minière Guemassa.

CTT : Compagnie de Tifnout Tighanimine.

R&D : Recherche et développement.

ICP AES: Inductively Coupled Plasma / Atomic Emission Spectrometry.

XRF : X Ray Fluorescence

MES : Matières en suspension.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

pH : Potentiel d'hydrogène.

TA : Titre alcalimétrique.

TAC : Titre alcalimétrique complet.

TH : Hydrotimétrique.

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène en 5 jours.

MO : Matière Organique.

F : Filtre.

G/S : Gravier et Sable.

Bibliographie

- Assime Abdellatif (2003). Valorisation de la matière première & synthèse de produits à usage industriel. Page 7. (Mémoire de fin d'études de Diplôme d'Étude Supérieur Spécialisé).
- Matthieu GOLDMAN (2000). Bilan en eau du site Hajjar, page 9,11 ,13 ,15 et 16. (Mémoire de fin étude de maitrise).
- Qasim, Edward et Zhu, (2000). Water Works Engineering. Planning, Design & Operation. Chapitre 10. (Ouvrage)
- Zniber (2010). Optimisation des conditions du processus analytique de l'argent dans le concentré de cuivre. Page 5 et 6. (Mémoire de fin d'études de licence).
- http://www.managem-ona.com/qui_sommes/.
- <http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/TraitementPotable/1FiltrationLentePG1.htm>.
- [whqlibdoc.who.int/monograph/WHO_MONO_49_\(chp7\)_fre.pdf](http://whqlibdoc.who.int/monograph/WHO_MONO_49_(chp7)_fre.pdf).
- <http://www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/frenchfactsheets/TraitementdeseauxconventionnelCoagulationetFiltration.pdf>.