

Année Universitaire : 2016-2017



**Master Sciences et Techniques : Géoressources et Environnement**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**  
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et  
Techniques

**Conception et dimensionnement d'une station de  
déferrisation et d'un système d'adduction de la ville de  
KOLDA au Sénégal**

**Présenté par :**

**JAJIT BADR**

**Encadré par :**

- Mr. Mohamed MOUMIN, CID-Rabat
- Mr. Abdelkader EL GAROUANI, FST - Fès

**Soutenu le 15 Juin 2017 devant le jury composé de :**

<b>Mr. R. JABRANE</b>	<b>Prof. à la FST de Fès</b>
<b>Mme. N. RAIS</b>	<b>Prof. à la FST de Fès</b>
<b>Mr. A. EL GAROUANI</b>	<b>Prof. à la FST de Fès</b>

**Stage effectué à *Conseil Ingénierie et Développement (CID)***



## *Dédicace*

*Je dédie ce mémoire :*

- ❖ *A ALLAH le tout puissant pour m'avoir montré le chemin de la vérité et pour m'avoir permis d'arriver à ce résultat ;*
  
- ❖ *A mon père JAJIT Omar pour son soutien et ses bénédictions si bienfaisantes ;*
  
- ❖ *A ma mère EL KHIATI Safia, pour ses conseils et bénédictions à mon égard ;*
  
- ❖ *A tous mes frères et ma sœur ;*
  
- ❖ *A tous les membres de ma famille ;*
  
- ❖ *A mes amis et camarades de promotion.*
  
- ❖

*Après avoir rendu grâce à ALLAH Seigneur des mondes, nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Je voudrai remercier particulièrement :*

- ✚ M. MOUMIN, chef de division d'eau potable du conseil d'ingénierie et de développement (CID) qui par ses efforts de formateur, son soutien permanent, nous a encadré tout au long de cette étude. Merci pour votre présence continue, votre encadrement et votre gentillesse appréciée par tous. Et à toute l'équipe de la CID ;*
- ✚ M. EL GAROUANI, pour m'avoir guidé et orienté dans ce travail afin de parvenir à des résultats satisfaisant ;*
- ✚ Mr. JABRANE et Mme RAIS et qui trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude pour leur participation au jugement de ce travail ;*
- ✚ Les enseignants du Master GRE pour la qualité de la formation reçue ;*
- ✚ Tous les camarades de la promotion Master GRE 2016/2017 ;*
- ✚ Toutes les personnes qui ont de près ou de loin contribué à la réalisation de ce projet.*

## Résumé

La ville de KOLDA, qui fait l'objet de cette étude vit avec un déficit au niveau des infrastructures d'adduction et de traitement d'eau potable. Ce projet entre dans le cadre de la mission de renforcement de l'infrastructure existante des systèmes d'adduction en eau potable et de l'amélioration de la qualité des eaux de consommation de la ville. Ce projet consiste à :

- La réalisation d'une station de déferrisation dans la ville de Kolda, qui est justifiée par la situation particulière des eaux brutes du forage destiné à l'alimentation de la ville. En effet, ces eaux présentent une concentration en fer qui dépasse les normes proposés par l'Organisation Mondiale de la Santé. Plusieurs techniques sont proposées pour parvenir à l'élimination du Fer. Ces procédés de traitement dépendent de la teneur du fer dans l'eau. Dans notre cas ; la station de déferrisation des eaux brutes du forage se fera par un traitement par aération-filtration. Elle fonctionnera à un débit de  $587\text{m}^3/\text{h}$  avec une durée de fonctionnement de 24 heures. Enfin une étude financière est obligatoire quant à l'estimation du coût d'investissement.
- Le redimensionnement du système d'adduction de la ville. Dans cette étape du projet nous avons procédé à une analyse du réseau existant et de son mode de gestion, à une évaluation des besoins en eau présents et futurs (sur 10 ans) et enfin aux calculs du réseau. Cette étape déterminante était l'occasion de mettre au point les composantes et les paramètres de calculs du réseau en se basant parfois sur des hypothèses et dans le respect des critères de conception. Après le calcul par la méthode classique, nous avons utilisé le logiciel EPANET 2.0 adapté aux domaines de l'hydraulique pour une validation. Cette dernière a montré l'efficacité et la réussite du système proposé tout en respectant les paramètres hydrauliques tels la pression, la vitesse, le débit et les pertes de charges.

**Mots clés : Déferrisation ; système d'adduction ; KOLDA ; AEP ; Dimensionnement**

# Sommaire

Chapitre I : Contexte Général.....	10
I. Introduction générale.....	11
1. Contexte de l'étude.....	11
2. Objectif de l'étude .....	12
II. Généralité sur la ville de Kolda.....	12
1. Situation géographique .....	12
2. Milieux physiques.....	13
III. Etude d'impact sur l'environnement .....	17
1. Sources d'impacts environnementaux associés aux activités du projet .....	17
2. Impacts environnementaux et socio-économiques .....	18
Chapitre II : .....	21
Traitement du fer pour la production de l'eau potable.....	21
I. Aperçu bibliographique.....	22
1. Généralités .....	22
2. Normes.....	26
3. Procèdes courants de déferrisation .....	26
II. Le cas de la ville de KOLDA .....	35
1. Analyses physico-chimiques .....	35
2. Techniques de traitement physico-chimique proposées pour la ville du KOLDA....	37
3. L'installation proposée pour la ville du KOLDA .....	39
4. Dimensionnement de la station de déferrisation.....	41
5. Estimation du cout de la station de déferrisation.....	50
6. Conclusion .....	53
Chapitre III : .....	54
Aspect Hydraulique.....	54

I.	Introduction .....	55
II.	Description du logiciel EPANET .....	55
1.	Ce qu'est EPANET.....	55
2.	Capacités pour la Modélisation Hydraulique .....	57
3.	Capacités pour la Modélisation de la Qualité de l'Eau.....	58
4.	Les Étapes de l'Utilisation d'EPANET .....	59
III.	La situation actuelle du système d'adduction de la ville du Kolda .....	59
1.	Source d'eau du forage.....	59
2.	Caractéristiques du réseau existant.....	59
IV.	Le dimensionnement du nouveau système d'adduction de la ville du KOLDA .....	61
1.	Evaluation du besoin en eau .....	61
2.	Etude de variation des débits .....	64
3.	Besoin totale en eau .....	65
4.	Demande en eau.....	66
5.	Ressources en eau .....	67
6.	Dimensionnement du réseau.....	68
7.	Conclusion .....	76
	Conclusions et recommandations.....	76
	Bibliographie.....	78

## Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la ville de Kolda.....	13
Figure 2: Evolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans la région de KOLDA de 1993-2003.....	14
Figure 3: Etat naturel du fer .....	23
Figure 4: Diagramme potentiel-pH du fer dans l'eau à 25°C(MDDELCC, 2015).....	24
Figure 5: Cascades d'aération.....	29
Figure 6: Tour de pulvérisation.....	29
Figure 7: Domaine privilégié de la déferrisation biologique .....	34
Figure 8: Installation proposée pour la ville KOLDA.....	41
Figure 9: Schéma de principe du procédé de déferrisation .....	42
Figure 10: Cascade d'aération détaillée.....	43
Figure 11: Modèle 3D d'une cascade d'aération dessiné par Autocad .....	43
Figure 12: Schéma de la cascade d'aération.....	45
Figure 13: Design des filtres proposés pour la station de déferrisation .....	49
Figure 14: Design de la station de désinfection proposée pour la station de déferrisation .....	50
Figure 15: Les composantes du logiciel de simulation EPANET.....	57
Figure 16: Plan de situation du système d'AEP de la ville de KOLDA.....	60
Figure 17: Les systèmes d'AEP actuel de KOLDA schéma synoptique .....	60
Figure 18: Le nouveau système d'AEP de la ville de Kolda schéma synoptique.....	68
Figure 19 : Réseau d'adduction de la ville de Kolda dimensionné par le logiciel EPANET ...	73
Figure 20: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET .....	73
Figure 21: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET .....	74
Figure 22: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET .....	74
Figure 23: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET .....	74

## Liste des tableaux

Tableau 1: La pluviométrie annuelle moyenne dans la région de KOLDA de 1993-2003.....	13
Tableau 2: Projection de la population de la région de Kolda/MEFP/ANSD-Février.....	15
Tableau 3: Activités liées à la mobilisation de la ressource en eau .....	17
Tableau 4: Activités associés à l'adduction d'eau.....	18
Tableau 5: Activités associés au traitement d'eau .....	18
Tableau 6: La vitesse d'oxydation du fer en fonction du pH.....	27
Tableau 7: Caractéristiques et critères de conception pour la dispersion de l'eau dans l'air...	30
Tableau 8: Critères de conception utilisés en oxydation chimique .....	30
Tableau 9: Réactions d'oxydation de Fe <sup>2+</sup> par divers oxydants et taux de traitements théoriques .....	31
Tableau 10: Les conditions optimales du développement.....	35
Tableau 11: Synthèse des résultats faites par S.D.E à KOLDA en 2015 .....	36
Tableau 12: Résumé du choix de l'unité en fonction de la teneur en fer total.....	39
Tableau 13: Besoin de production.....	40
Tableau 14: Demande en eau .....	40
Tableau 15: Demande en eau total .....	40
Tableau 16: Dimensionnement des déversoirs .....	44
Tableau 17: Dimensionnement des cascades d'aération.....	44
Tableau 18: Les dimensions du canal de répartition .....	45
Tableau 20: les caractéristiques des filtres lents sur sable .....	46
Tableau 21: Design des médias filtrants monocouches.....	47
Tableau 22: Design des medias filtrants du bassin de filtration de la ville de Kolda .....	47
Tableau 23: Critères de conception des filtres à installer dans le bassin de filtration de la ville de Kolda .....	47
Tableau 24: Récapitulatif du dimensionnement des bassins de filtration .....	47
Tableau 19: Les dimensions du bassin de désinfection.....	50
Tableau 25: Cout de réalisation de la station de déferrisation .....	51
Tableau 26: Evaluation de la population pour différent horizon.....	62
Tableau 27: Exemple de consommation minimale d'eau - milieu urbain et rural (ZOUNGRANA, 2003).....	62
Tableau 28: Besoin de production.....	66
Tableau 29: Demande en eau .....	66
Tableau 30: Demande en eau total .....	66
Tableau 31: Fiche besoin en eau détaillée de la ville de Kolda .....	67
Tableau 32: Calcul des caractéristiques des nœuds .....	72
Tableau 33: Calcul des caractéristiques des arcs .....	72



## *Liste des Abréviations*

ADAF : Aération, Décantation, Adsorption et la Filtration

AEP : Approvisionnement en Eau Potable

AF : Aération-filtration

Bmj : Besoin moyen journalier

Ca: Calcium

CHW : Coefficient de Hazen William

Cl : Chlore

ClO<sub>2</sub> : Bioxyde de chlore

Cpj : Coefficient de pointe journalier

Cond : Conductivité

Conc. MES : Concentration de la matière en suspension

Conso spécif : Consommation spécifique

Cr: Chrome

CR : Conseil Rural

Eh : Potentiel d'oxydoréduction

Fe : Fer

HMT : Hauteur Manométrique totale

H<sub>2</sub>O: Molécule d'eau

KMnO<sub>4</sub> : Permanganate de potassium

Mn: Manganèse

M. Org : Matière organique

OMS: Organisation Mondiale de la Santé

Pb : Plomb

pH: Potentiel Hydrogène

Pop : Population

Ppm : partie par million

PVC : Poly Chlorure Vinyle

Q : Débit

Qmh: Débit moyen horaire

TAC: Titre Alcalimétrique Complet

TH: Titre Hydrotimétrique

TUR : Turbidité

# Chapitre I : Contexte Général

# I. Introduction générale

## 1. Contexte de l'étude

Au cours des deux dernières décennies marquées par la sécheresse, la maîtrise de l'eau et son traitement est devenue, pour la majorité des pays africains au sud du Sahara, une composante essentielle de la politique de développement économique et social (TINE FAYE, 2007). Cela s'est traduit entre autres, par un essor considérable de l'hydraulique urbain et rural aboutissant à la réalisation de milliers de forages afin de satisfaire les besoins vitaux des populations. Mais pour de nombreux pays, ces efforts n'ont pas toujours abouti aux résultats escomptés à cause de l'apparition d'un phénomène nouveau : l'abandon des forages par les bénéficiaires (CREPA, 1996). Les principales causes de cet abandon massif de ces ouvrages sont : la mise en place des ouvrages sans tenir compte des aspects culturels et socioéconomiques, le non implication des populations bénéficiaires dans les différentes phases des projets, le manque d'entretien et de maintenance des ouvrages, et les concentrations en fer élevées des eaux souterraines. Pour ce dernier point, la solution qui consiste à remplacer des colonnes de refoulement et des tringles de pompes en acier galvanisé inoxydable serait très coûteuse pour les pays sud-africain. Mais cette solution proposée ne résout-elle pas totalement le problème au cas où la présence du fer est d'origine géologique comme le cas de la ville de Kolda (IDEE, 2015). Les eaux souterraines peuvent être plus ou moins chargées en fer suivant la nature des terrains qui entourent les nappes. La dissolution du fer dans les eaux souterraines ou les eaux à caractère réducteur peut être effectuée soit à partir des roches et des sols profonds, soit à partir des horizons superficiels du sol, des litières végétales, des sédiments lacustres ou fluviaux ; soit, quelquefois, à partir de pollutions diverses, de certains dépôts industriels (équipements de forages par exemple). Les activités de l'Homme contribuent largement à l'apparition du caractère réducteur des eaux souterraines. Dans certains cas, la cause initiale est la pollution d'une rivière, l'infiltration d'effluents urbains après lagunage, la modification du régime d'un cours d'eau (barrages, canaux). Tous ces phénomènes peuvent entraîner des répercussions ultérieures sur les eaux sous-jacentes et les polluer en fer. La présence du fer dans les eaux souterraines entraîne de nombreux désagréments comme la dégradation de la qualité organoleptique et de la couleur des eaux (en présence de fer, coloration brunâtre), la dégradation des ouvrages de distribution et de stockage de l'eau (corrosion, colmatage) ou encore la diminution de l'efficacité de la désinfection par consommation de l'oxydant. Il est donc nécessaire de traiter cet élément. Il existe

actuellement deux procédés conventionnels pour les éliminer : les procédés biologiques et les procédés physico-chimiques (BRGM, 1992). Pourtant, l'élimination du fer par ces procédés et avoir une eau saine, en quantité suffisante sans avoir à parcourir une longue distance, a toujours été une priorité absolue pour l'homme, en raison de l'utilité de cette ressource dans la plupart des secteurs d'activités humaine. Pour cela, diverses actions sont entreprises dans le but, non seulement d'assurer l'accès à l'eau aux populations, mais surtout d'œuvrer à faire en sorte que cette eau soit potable. C'est alors au niveau de ces deux aspects que réside le véritable problème hydraulique au KOLDA. Ce problème se décline donc en termes de qualité de l'eau, mais aussi d'insuffisance de système d'adduction et de distribution d'eau.

## *2. Objectif de l'étude*

Cette étude entre dans le cadre de renforcement de l'infrastructure existante des systèmes d'adduction en eau potable et de l'amélioration de la qualité des eaux de consommation de la ville de KOLDA par :

- ✓ L'étude de faisabilité d'une station de déferrisation dans la ville de KOLDA qui a pour but de diminuer les fortes concentrations du fer dans l'eau qui leur confèrent une coloration rouge jaunâtre ;
- ✓ Une étude du système d'adduction d'eau potable dans cette ville afin de satisfaire les besoins de la population concernée ;
- ✓ Évaluation du coût de réalisation du projet de déferrisation.

## **II. Généralité sur la ville de Kolda**

### *1. Situation géographique*

La ville du KOLDA appartient à la région De KOLDA qui s'étend sur plus de 21.011 km<sup>2</sup>, soit 10,68 % du territoire national (KOLDA M.C.A, 2009). La région de KOLDA a une position excentrée par rapport aux grands centres urbains du pays. Elle se situe à l'extrême sud du pays et une grande partie de ses limites constitue aussi des frontières internationales.

Elle est limitée :

- ✓ au Nord la République de Gambie,
- ✓ au Sud les Républiques de Guinée et Guinée Bissau,
- ✓ à l'Est la région de Tambacounda,
- ✓ à l'Ouest la région de Ziguinchor.

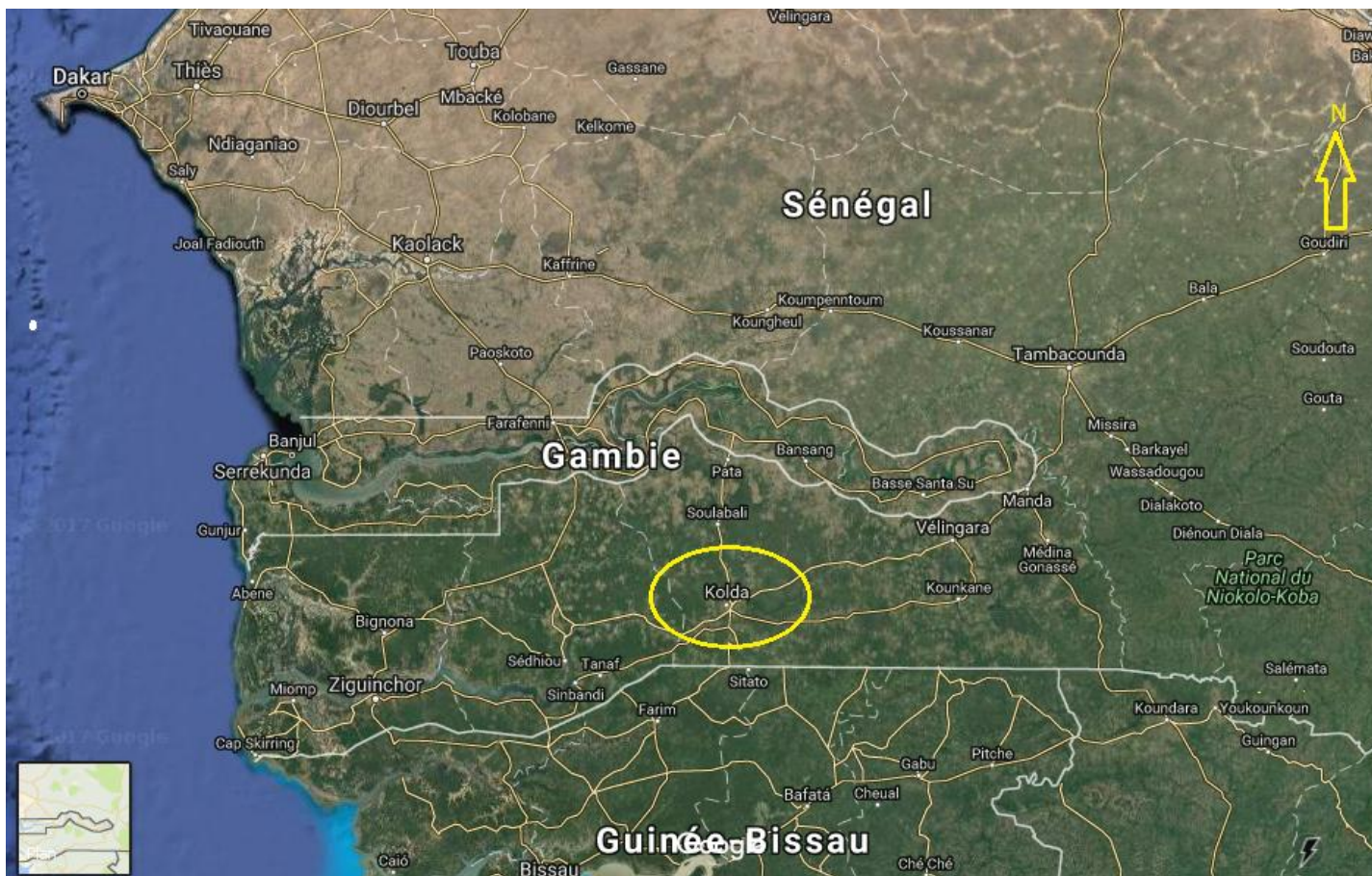


Figure 1: Situation géographique de la ville de Kolda

## 2. Milieux physiques

### 2.1. Climat et végétation

Le climat de la région de KOLDA est caractérisé par l’alternance d’une saison sèche et d’une saison pluvieuse qui s’étend de mai à octobre. La région de KOLDA est très bien arrosée. Les moyennes pluviométriques régionales annuelles varient entre 700 et 1300 mm (KOLDA M.C.A, 2009).

Les températures évoluent en fonction de la saison. En effet, elles sont relativement basses entre les mois de novembre et février correspondant à la saison fraîche. Elles sont élevées du mois de mars au mois de mai, période durant laquelle la région est soumise à l’harmattan chaud et sec. Du mois de juin au mois d’octobre, les températures redescendent, période durant laquelle elles sont influencées par les pluies.

Tableau 1: La pluviométrie annuelle moyenne dans la région de KOLDA de 1993-2003.

Années	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003

Précipitation	1194	1171	953	1080	1117	1215	1221	989	845	755	1489
---------------	------	------	-----	------	------	------	------	-----	-----	-----	------

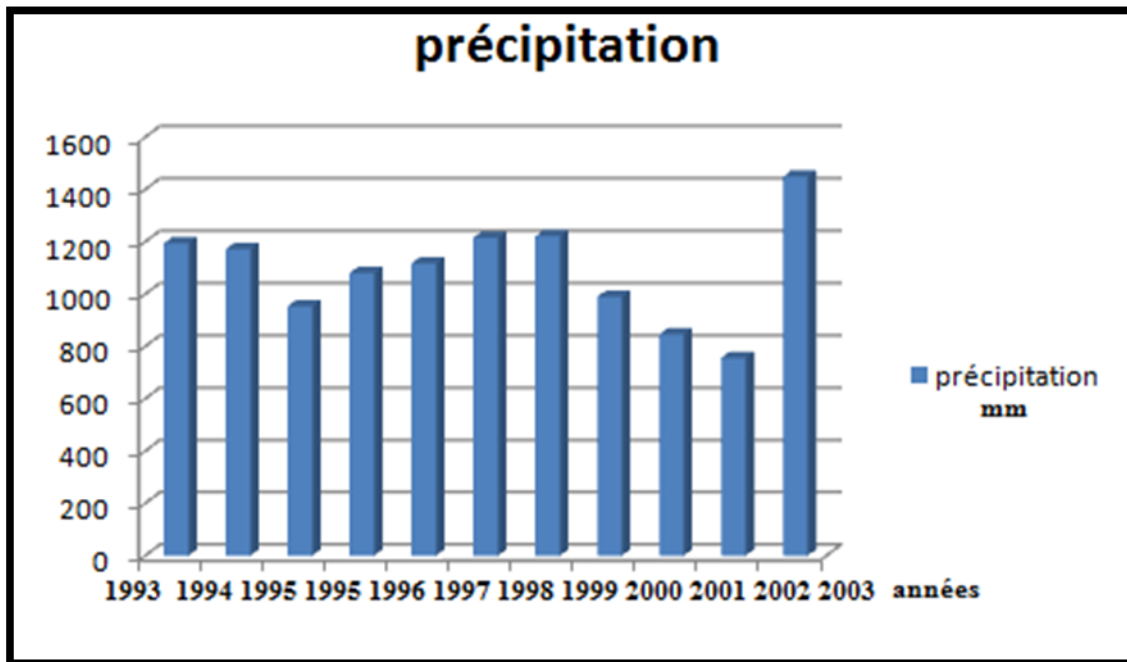


Figure 2: Evolution de la pluviométrie annuelle moyenne dans la région de KOLDA de 1993-2003.

### 2.1.1. Relief et types de sols

Trois types de relief se succèdent dans l'espace régional : les plateaux, les versants et les bas-fonds. Toutefois les plateaux de grès issus des formations du secondaire et du tertiaire dominant largement.

Chaque niveau de relief correspondant à un type de sol déterminé. Au niveau des plateaux, les sols ferrugineux tropicaux, plus ou moins lessivés, sont localisés dans le département de Vélingara. A l'ouest notamment dans les départements de Kolda et Sédhiou les plateaux sont moins étendus et les vallées, aux sols hydromorphes et des limons argilo-sableux, plus fréquentes. D'après le Schéma Régional d'Aménagement du Territoire ces vallées couvrent environ 250.000 hectares, soit 12,5% de la superficie régionale.

### 2.1.2. Ressources en eau

Les ressources en eau de la région sont constituées des écoulements superficiels et des eaux souterraines.



- Le réseau hydrographique est essentiellement composé des fleuves Casamance et Gambie, ainsi que de nombreux cours d’eaux temporaires. Ces eaux de surface ont une influence non négligeable dans l’alimentation des nappes superficielles, contenues dans les sables et les grès du continental terminal. La profondeur des puits se situe à moins de 40 mètres en général.
- La nappe Maestrichienne, d'une profondeur voisine de 400 mètres à l'Ouest de l’axe Sénoba-Bafata, est accessible à moins de 160 mètres au Centre Sud et au Sud- Est de la région. La nappe lutétienne est exploitable à moins de 60 mètres à l'ouest avec des débits pouvant varier entre 200 et 300 m<sup>3</sup>/heure.

## 2.2. Situation démographique

La population de la région de KOLDA connaît une évolution continue depuis sa création. Elle est passée de 493.050 à 591.833 habitants entre les recensements de 1976 et de 1988, soit un taux d’accroissement inter censitaire de 2,4%. D’après ANSD 2013, la région comptait 748 451habitants dont 277 923habitants pour le département de Kolda, 156 009pour le département de Medina Yoro Foulahet314 520 pour le département de Vélingara.

**Tableau 2: Projection de la population de la région de Kolda/MEFP/ANSD-Février**

Nom de la localité	2024			2025		
	Homme	Femme	Ensemble	Homme	Femme	ensemble
Région de KOLDA	471 155	462 132	933 287	486 452	477 183	963 635
Pop. Urbaine	147 000	144 185	291 185	154 205	151 267	305 472
Pop. Rurale	324 155	317 947	642 102	332 246	325 916	658 162
Département KOLDA	174 905	171 653	346 558	180 592	177 235	357 827
Com. KOLDA	57 554	56 700	114 255	59 426	58 544	117 970
Com.DABO	4 593	3 958	8 550	4 742	4 086	8 828
Com.SALIKEGNE	2 628	2 551	5 179	2 714	2 634	5 347
Com. SARE YOBADIEGA	3 066	1 938	5 004	3 166	2 001	5 167

## 2.3. Activités économiques

Les principales activités économiques menées sont: l’agriculture, l’élevage, la pêche, la chasse, l’artisanat, le commerce et le tourisme.

### **2.3.1. Agriculture et élevage**

L'économie de la région repose essentiellement sur les activités rurales du fait de la grande disponibilité des ressources naturelles : environ 2 millions d'hectares de terres cultivables presque à 90%. L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités et procurent aux populations l'essentiel de leurs revenus.

### **2.3.2. L'exploitation forestière**

Elle concerne essentiellement l'exploitation du bois de chauffe, du bois d'œuvre, du bois de service ainsi que les produits de cueillette.

En raison de la bonne pluviométrie, l'exploitation forestière dispose d'un potentiel important. La région de KOLDA est la première productrice de charbon de bois du pays avec une production de 256 670 quintaux représentant 51,33% du volume de la production nationale.

### **2.3.3. La pêche continentale**

La pêche continentale est pratiquée dans le fleuve Casamance, le Soungrougrou, l'Anambé et la Kayanga. Ces cours d'eau se caractérisent par leur grande diversité biologique. Ils regorgent en effet d'un important stock de poissons, de crustacés et de mollusques.

### **2.3.4. Industrie**

Le secteur industriel est encore à l'état embryonnaire. Kolda est en effet la région la moins industrialisée du pays avec seulement 0,8% des entreprises installées sur le territoire national. Les unités industrielles installées dans la région ne fonctionnent pratiquement que de façon saisonnière et ne proposent par conséquent que des emplois temporaires. Parmi les plus importantes on peut citer :

- 2 usines d'égrenage de coton de la SODEFITEX ;
- 1 unité de décorticage de riz de la SODAGRI.

### **2.3.5. Artisanat**

Le dynamisme de l'artisanat dans la région s'appuie surtout sur l'importance et la diversité des produits forestiers. La production de bois d'œuvre et service assure une bonne disponibilité de la matière première. D'ailleurs la production est principalement constituée de



meubles en bois, de divers articles et objets à base de produits forestiers et différents types de matériaux utilisés dans l'habitat, les réalisations hydrauliques et agropastorales.

### 2.3.6. Tourisme

C'est un secteur pas très dynamique dans la région de Kolda. Cette situation se perçoit à travers le nombre peu important de réceptifs. Le tourisme existant est surtout lié à la chasse en raison des potentialités fauniques et forestières.

## III. Etude d'impact sur l'environnement

### 1. Sources d'impacts environnementaux associés aux activités du projet

La réalisation du projet d'alimentation en eau potable comporte plusieurs activités pouvant constituer des sources d'impacts environnementaux (D'après CP3 2005):

#### 1.1. Activités liées à la mobilisation de la ressource en eau

Le présent projet comporte l'exploitation de trois forages dont les impacts prévisibles seraient associés à des activités à entreprendre lors des phases de construction et exploitation comme suit :

**Tableau 3: Activité liées à la mobilisation de la ressource en eau**

Activité source d'impact à la construction	Activité source d'impact à l'exploitation et entretien
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ l'ouverture d'un chemin d'accès pour la foreuse;</li> <li>✓ l'acquisition du terrain site du forage;</li> <li>✓ l'opération de forage;</li> <li>✓ le rinçage et la désinfection du forage;</li> <li>✓ l'électrification du forage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ la mise en service du projet;</li> <li>✓ la présence des ouvrages et équipements (forage, station de pompes etc.);</li> <li>✓ le prélèvement excessif d'eau.</li> </ul>

#### 1.2. Activités associés à l'adduction d'eau

A cet effet le projet prévoit la réalisation d'ouvrages (des stations de pompes, des conduites, des réservoirs et baches d'eau) pouvant générer des impacts environnementaux :

**Tableau 4: Activités associés à l'adduction d'eau**

Activité source d'impact à la construction	Activité source d'impact à l'exploitation et entretien
✓ l'acquisition de terrain pour les ouvrages en béton et l'emprise des conduites;	✓ la mise en service de l'adduction d'eau;
✓ la construction des ouvrages en béton;	✓ la présence d'ouvrage et d'équipements d'adduction d'eau;
✓ l'exécution de tranchées pour la pose des conduites;	✓ la présence des conduites d'adduction;
✓ le rinçage et la désinfection des conduites.	✓ le fonctionnement des équipements de pompage.

### 1.3. Activités associés au traitement d'eau

Le projet prévoit la construction d'une station de traitement de l'eau du type déferrisation et filtration sur lit de sable. Les impacts environnementaux seront associés aux activités suivantes :

**Tableau 5: Activités associés au traitement d'eau**

Activité source d'impact à la construction	Activité source d'impact à l'exploitation et entretien
✓ les travaux de terrassement;	✓ mise en service de la station de déferrisation;
✓ le transport des matériaux de construction et d'autres fournitures requises par la station de traitement ;	✓ stockage des rejets;
✓ la construction de la station de déferrisation .	✓ fonctionnement des équipements de pompage;
	✓ rejet de la station de déferrisation.

## 2. Impacts environnementaux et socio-économiques

La réalisation du projet d'eau potable dans toutes ses composantes aura principalement des impacts positifs mais aussi quelques impacts environnementaux négatifs émailleront son cycle de vie, à savoir, lors des étapes de sa construction et de son exploitation.

Il convient de prime abord de souligner que pour ce type de projet, l'aspect environnemental est au cœur du processus de conception du projet qui consiste en l'exploitation d'une ressource naturelle à travers les étapes de son traitement et la distribution pour les différents usages sociaux et économiques.

Sur le plan social, La population bénéficiaire projetée est estimée à 132 822

## 2.1. Impacts environnementaux

Les impacts positifs les plus notables porteront sur :

- la promotion de l'accès à l'eau potable aux ménages à faible revenu ;
- l'optimisation des bénéfices sanitaires associés à la fourniture d'eau potable à la population ;
- l'amélioration de la qualité de vie des citoyens qui auront accès à l'eau potable ;
- l'augmentation du volume d'eau de bonne qualité ;
- le maintien des services d'alimentation en eau potable qualitativement et quantitativement satisfaisants dans la ville de KOLDA.

Ainsi plusieurs milliers d'habitants (**132 822**) vont bénéficier directement du projet. Cet aspect social de taille plaide avec force en faveur de ce projet. Il est anticipé que l'accès à l'eau potable contribuera à l'amélioration de la santé des citoyens desservis et la création de nouvelles opportunités contribuant à la réduction de la pauvreté.

Toutefois la réalisation de projet d'eau potable s'accompagnerait probablement d'impacts négatifs sur l'environnement, quoique pour la plupart, ils seraient d'importance et de portée mineure. Certains impacts négatifs seraient « temporaires » et apparaîtront lors de la phase de construction et d'autres impacts continueraient à se produire pendant la phase d'exploitation.

Les impacts négatifs les plus notables porteront sur les aspects environnementaux suivants:

- Emission de la pollution atmosphérique (poussières) ;
- Nuisances sonores (Bruit et vibration) ;
- Perturbation de la circulation routière ;
- Impact visuel ;
- Impact social ;
- Acquisition de terrain ;
- Epuisement de la ressource en eau ;
- Augmentation des quantités d'eaux usées non traités ;

## 2.2. Impacts socio-économiques

En général, le projet aura des avantages très positifs sur la qualité de la vie et les conditions socio-économiques des populations dans la ville de KOLDA. Il contribuera notamment à :

- l'amélioration de la qualité et l'accès aux services d'eau potable dans la zone du projet;
- l'amélioration de la qualité d'eau potable et la protection de la santé des populations contre les maladies d'origine hydrique;
- la réduction des pertes d'eau et l'économie de la ressource en eau ;
- la continuité de la desserte ;
- le renforcement des activités dans plusieurs secteurs économiques.

Toutefois quelques impacts sociaux plutôt négatifs seront associés à l'expropriation de quelques parcelles de terrains appartenant à des tiers, ainsi que des effets économiques sur le pouvoir d'achat des citoyens qui doivent payer le prix de l'eau.

# **Chapitre II :**

# **Traitement du fer**

# **pour la production de**

# **l'eau potable**

# I. Aperçu bibliographique

## 1. Généralités

Le fer est souvent présent dans les eaux souterraines (Dégremont, 1989). Leur présence dans l'eau de boisson a été retenue dans la grille de qualité des eaux potables en raison des inconvénients qu'il entraîne au niveau de la distribution. Le fer est souvent à l'origine, indirectement, de certaines maladies hydriques. En effet, sa présence excessive explique aussi l'abandon des sources d'eau par les populations au profit des eaux de surface souvent polluées et contenant des germes pathogènes. Aux pH qui sont généralement égaux à ceux des eaux de boisson, les sels ferreux sont instables et précipitent sous forme d'hydroxyde ferrique qui forme un limon de couleur rouille. Souvent désagréable au goût, une eau ainsi polluée tâche le linge et les accessoires de plomberie. Dans les canalisations, ces microorganismes déposent un revêtement visqueux qui neutralise les désinfectant et perturbe la qualité de l'eau. Le fer est l'un des éléments les plus abondants dans le sol. (Dégremont, 1989).

### 1.1. Etats naturels du fer

Comme nous l'avons vu, le fer est un des éléments majeurs de l'écorce terrestre, avec une teneur allant de 5 à 10%. On le trouve surtout dans les roches plutoniques, volcaniques et sédimentaires. Son passage en milieu aqueux se fait par dissolution de la roche ou des minéraux, par voie ionique et réaction d'oxydoréduction. Ainsi près du substratum d'un lac par exemple, le milieu réducteur facilite la mise en solution du fer sous forme de  $Fe^{2+}$ .

De la même façon, certaines eaux souterraines anaérobies peuvent contenir en solution jusqu'à 10 mg/l de  $Fe^{2+}$ .

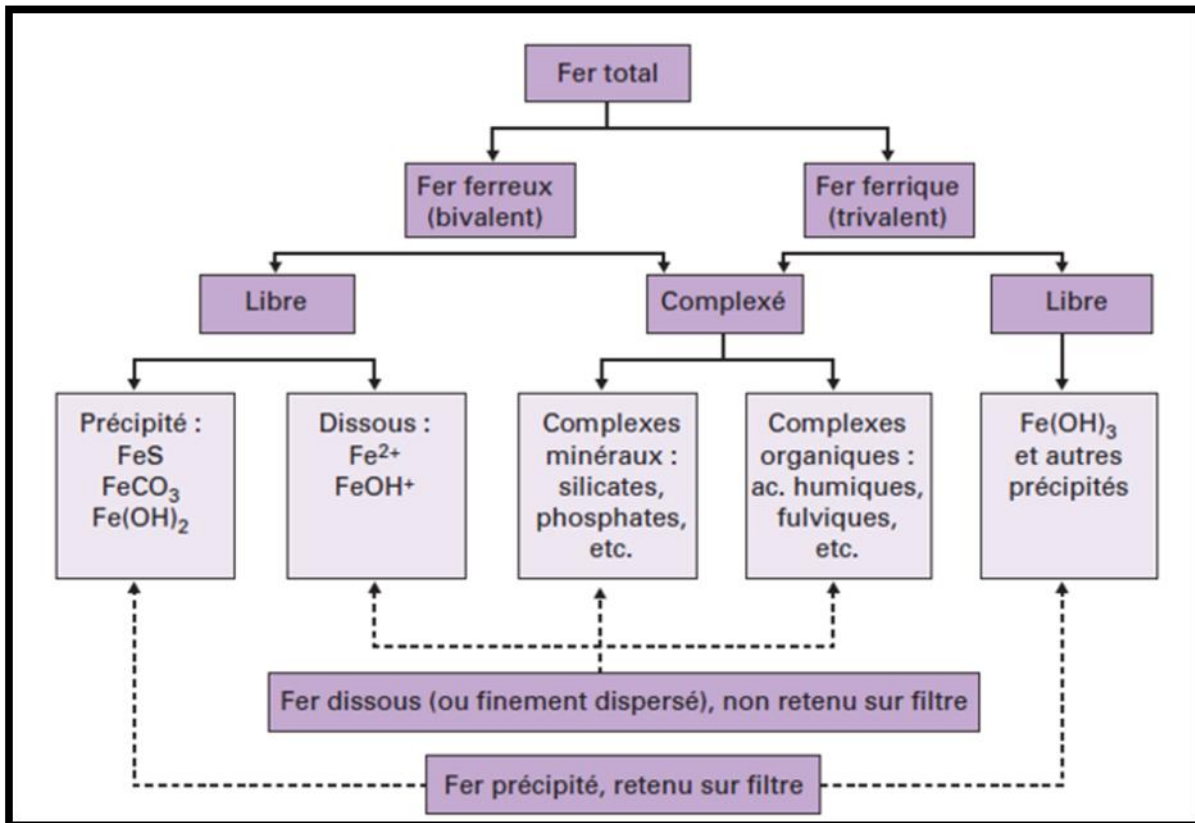


Figure 3: Etat naturel du fer

## 1.2. Chimie du fer

Dans les eaux naturelles, la présence de  $\text{Fe}^{2+}$  se retrouve dans des conditions plus réductrices que le  $\text{Fe}^{3+}$ . Lorsque du  $\text{Fe}^{2+}$  est présent dans une eau, il est nécessaire de l'oxyder en  $\text{Fe}^{3+}$  grâce à divers oxydant tels que l'oxygène, le chlore ou le permanganate de potassium pour ensuite l'éliminer facilement par précipitation et filtration.

## 1.3. Stabilité du fer dans l'eau

La stabilité du fer dans l'eau dépend du pH et du potentiel redox de l'eau. Le diagramme du fer (figure 4) montre qu'aux pH des eaux souterraines (la partie avec de la couleur foncée), il faut transformer le fer bivalent en fer trivalent par un traitement d'oxydation (aération généralement suffisante) afin de se trouver dans le domaine de stabilité de  $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$  qu'il sera aisé d'éliminer par filtration (MDDELCC, 2015).

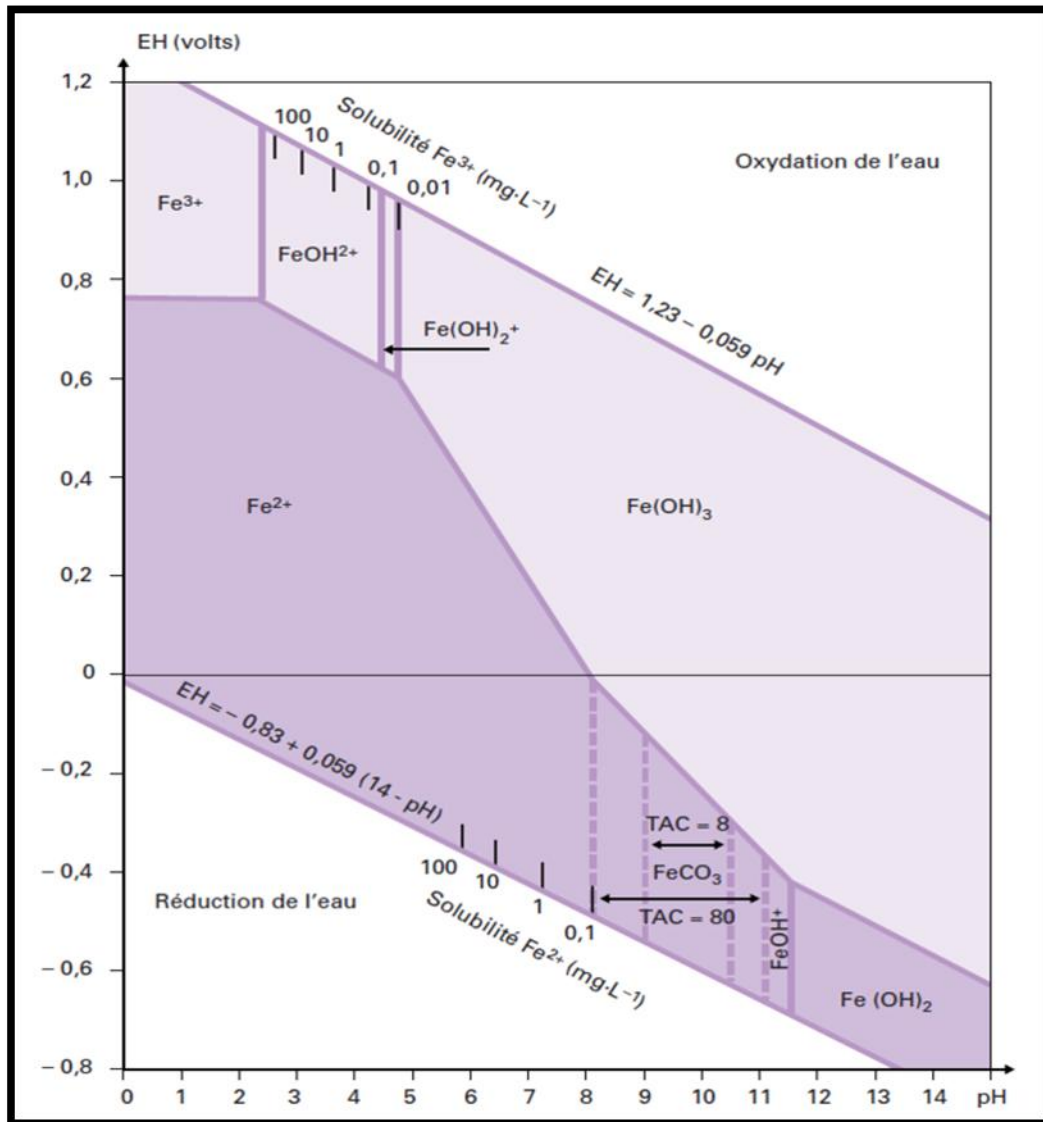


Figure 4: Diagramme potentiel-pH du fer dans l'eau à 25°C(MDDELCC, 2015).

#### 1.4. Effets et nuisances

Le fer est un élément indispensable dans la nutrition humaine et sa teneur dans l'eau de boisson n'est en général, qu'une fraction insignifiante de la demande de l'organisme.

Toutefois, leur teneur dans l'eau est limitée, surtout pour des raisons esthétiques et économiques.

Ce paragraphe donne les effets sur:

- ✓ le matériel : colmatage
- ✓ l'aspect de l'eau et son traitement
- ✓ l'homme, la faune et la flore aquatique.

##### 1.4.1. Dégâts matériels



Le colmatage, qui a surtout été observé dans le cas de vieillissement des puits et des forages, est un phénomène connu depuis l'antiquité.

Il provoque une diminution constante et progressive du débit du puits, c'est à dire de sa capacité de rendement, ce qui soulève de graves problèmes d'alimentation pour les usagers. Ce vieillissement se fait par la précipitation, puis le dépôt de substances présentes sous forme dissoute dans l'eau à l'origine : le fer, le manganèse et la chaux par exemple.

La précipitation se produit lors de l'oxydation du fer sous l'action de l'oxygène atmosphérique ou bien à la suite, par exemple, d'un mélange de deux couches d'eau souterraine de nature différente.

La couche d'eau dans un état d'oxydation plus élevé (proche de la surface) précipite le fer d'une couche plus profonde, "réduite", entraînant les dépôts d'oxydes.

Mais ce processus n'est pas dû qu'à des réactions purement chimiques. En effet, on connaît depuis fort longtemps le rôle prépondérant des facteurs biologiques et en particulier des Ferrobactéries dans le colmatage ferrique des puits, des forages, des canalisations et des drains.

#### **1.4.2. Effets sur l'aspect de l'eau et son traitement**

La présence du fer en concentration supérieure à quelque *mg/l* nuit aux qualités organoleptiques de l'eau. Elle lui donne un goût métallique ou amer (indépendamment du goût et de l'odeur provoqués par le développement des bactéries ferrugineuses).

Par ailleurs, leur précipitation altère son apparence, entraînant une turbidité de couleur jaunemarron (On assiste alors à la formation de particules qui, en se développant, provoquent des taches sur le linge et les éléments sanitaires en porcelaine.

#### **1.4.3. Effets sur l'Homme**

Le fer est un élément essentiel et vital à tous les organismes vivants. Un individu normal en contient 3 à 5 g, dont les  $\frac{2}{3}$  sont liés à l'hémoglobine. Avec la protoporphyrine, le fer forme l'hème, qui, conjugué à 4 peptides donne l'hémoglobine.

Le fer est aussi un composant de la myoglobine, des catalases et des cytochromes, qui ont tous des rôles essentiels dans l'utilisation de l'oxygène et dans les besoins énergétiques des cellules. Cela représente 10% du fer corporel. Sur le fer restant, 20 à 30% sont liés à des protéines de stockage du fer comme l'hémosidérine, que l'on trouve dans le foie, la moelle osseuse, le cœur et les muscles squelettiques.

Il n'est jamais en quantité assez forte dans l'eau pour provoquer des effets nuisibles sur la santé et d'autre part, l'organisme en cas de forte ingestion, sera capable d'en éliminer l'excès.

## 2. Normes

La présence du fer en forte concentration dans l'eau est plutôt à l'origine de nuisances que d'une réelle toxicité. La législation a donc été établie en fonction des critères de potabilité et d'esthétique.

En France les normes désormais conseillées correspondent à 0.1 mg/L pour le fer divalent. Alors que l'organisation mondiale de la santé (OMS) recommande dans une eau potable la concentration maximale suivante 0.3mg/L pour le fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ).

## 3. Procèdes courants de déferrisation

Le fer peut être éliminé soit biologiquement, soit à partir d'un traitement physico-chimique. Le principe de base de la déferrisation physico-chimique est l'oxydation. Pendant longtemps, cette technique a été la plus courante, surtout pour les eaux de forage. Ce type de traitement commence toujours par l'oxydation qui est une étape indispensable, permettant de faire passer le fer de l'état ferreux ( $\text{Fe}^{2+}$ ) plus stable à l'état ferrique ( $\text{Fe}^{3+}$ ) moins stable.

### 3.1. Traitement physico-chimique

Le plus souvent, on utilise le traitement par précipitation-pré séparation-filtration de fer (MDDELCC, 2015). Dont les différentes étapes théoriques peuvent être modulées en fonction de la qualité de l'eau brute et du but recherché.

Dans certains cas. Surtout quand le fer n'est pas en concentrations trop élevées. On procède par aération. Filtration et désinfection.

#### 3.1.1. Précipitation –Pré-séparation - Filtration.

Le traitement physico-chimique consiste en trois étapes de base :

- ✓ une première étape de précipitation du fer par oxydation ou neutralisation ;
- ✓ une deuxième étape de pré séparation de ces substances précitées peut se faire par décantation ou flottation ;
- ✓ une troisième étape de filtration élimine définitivement le fer de l'eau traitée.

C'est en modulant les différentes combinaisons de ces étapes que l'on doit arriver à mettre au point des solutions techniques adaptées aux différents types d'eau.

##### 3.1.1.1. Prétraitement chimique

La neutralisation ne se faisant que par des produits chimiques, ceci rend le coût d'exploitation élevé. Dans cette partie. Seul le procédé de précipitation par oxydation sera abordé.

### a. L'oxydation par aération

Dans les eaux naturelles, dont le pH est supérieur à 4, le fer dissous est nécessairement divalent et il suffit de l'oxyder en fer ferrique pour obtenir sa précipitation et sa séparation. Cette oxydation peut s'effectuer par une simple aération (par l'air ou par l'oxygène).

Cette étape constitue dans tous les cas le premier stade du traitement ; indépendamment de l'oxydation du fer et dissous, elle permet également l'élimination éventuelle de H<sub>2</sub>S, et d'apporter l'oxygène nécessaire à la nitrification éventuelle de l'ammonium.

- **Principe**

La réaction d'oxydation du fer par l'oxygène de l'air (ou pur) peut s'écrire :



La stœchiométrie de la réaction A montre qu'il faut 0,14 mg de O<sub>2</sub> pour oxyder 1 mg de Fe<sup>2+</sup> correspondant à une production de 1,92 mg de Fe (OH)<sub>3</sub>.

- **Cinétique d'oxydation**

La vitesse d'oxydation est favorisée par l'augmentation du pH et de la pression partielle d'oxygène. A titre de comparaison, le tableau et la figure ci-après montre que l'oxydation du fer est généralement rapide pour un pH > 7

**Tableau6: La vitesse d'oxydation du fer en fonction du pH**

	Ph	Temps d'oxydation
Fe	< 7	2 heures
	> 7,5	1/4 d'heure

- **Techniques d'aération**

On réalise l'oxydation par aération naturelle ou mécanique. Les différentes techniques sont:

- ✓ ruissellement en nappe mince : l'eau chute d'un étage à l'autre, en lame mince, en cascade sur une série de déversoirs (aérateur à plateaux avec ou sans pulvérisation, à tirage naturel d'air ou avec ventilation ou aération sur colonne à garnissage) ;
- ✓ aération par barbotage : injection de l'air dans l'eau ;

- ✓ la pulvérisation de l'eau : elle est effectuée par des tuyères placées sur un ou plusieurs collecteurs ramifiés qui ont pour but d'augmenter l'interface air-eau ;
- ✓ l'injection d'air ou d'oxygène sur-pressé, permet de disperser le gaz sous pression dans la masse liquide ;
- ✓ les mélangeurs mécaniques.

Une comparaison de la pulvérisation et de l'aération sous pression montre qu'à perte de charge égale, la longévité (en heures) et la capacité de rétention des filtres (en g de Fe/m<sup>2</sup>) sont plus faibles pour la deuxième méthode.

#### Ruissellement en nappe mince

L'eau chute d'un étage à un autre en lame mince, sur une colonne à garnissage, ou bien en cascades sur une série de déversoirs. En ce qui concerne l'aération par déversoirs, la déficience en oxygène est restaurée de moitié par la chute de l'eau depuis une hauteur de 2 mètres, sur un étage.

D'après le travail effectué par Gameson en 1957 sur ce type d'aération et des études récentes, on déduit que la ré-aération est fonction principalement du flux par unité de largeur du déversoir et de sa hauteur totale.

Suivant le degré d'aération recherché, on distingue :

- l'aérateur à plateaux avec ou sans pulvérisation et à tirage naturel d'air ;
- le même aérateur, équipé d'un ventilateur qui en améliore l'efficacité en créant un courant d'air plus ou moins forcé.



Figure 5: Cascades d'aération

### Pulvérisation de l'eau

Elle est effectuée par des tuyères placées sur un ou plusieurs collecteurs ramifiés qui ont pour but d'augmenter l'interface air/eau. Cette technique, en utilisant le  $\text{CO}_2$  agressif, économise une partie du réactif alcalin.

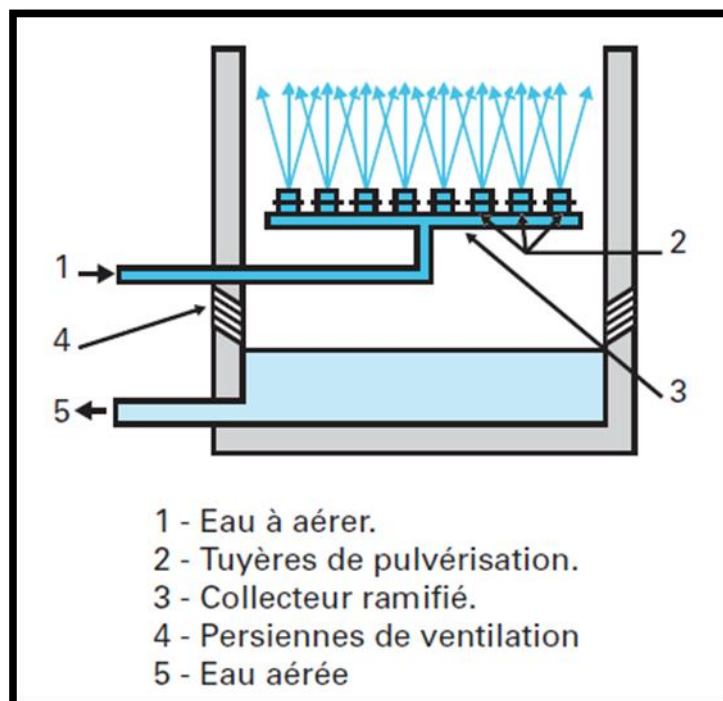


Figure 6: Tour de pulvérisation

**Tableau 7: Caractéristiques et critères de conception pour la dispersion de l'eau dans l'air**

Cascades	Plateau	Masse de contact	Pulvérisation
Description			
Créer une bonne turbulence a l'aide d'une chute en cascades sur plusieurs paliers	Ecoulement de l'eau par gravité sur une série de plateaux perforés ou en pente	Tour de garnissage avec écoulement à contre-courant de l'air et de l'eau	Tuyères fixées sur les collecteurs d'eau (utilisées surtout en dégazage et oxygénation de l'eau)
Critères de conception			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur de chaque palier : 30 à 80 cm</li> <li>• Vitesse d'approche : 25 m/h et plus</li> </ul>	Distribution sur le plateau de tête : uniforme Nombre d'unités : 3 à 5 plateaux Ecart entre les plateaux : 15 cm et plus	Vitesse de l'eau : de 10 à 50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h Vitesse de l'air : de 1500 à 2000 N m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	Débit : selon modèle retenu

### **b. Oxydation par oxydants chimiques**

Comme il a été signalé plus haut, plus les procédés d'aération, il existe les oxydants chimiques qui jouent le même rôle que l'aération en ce qui a trait à l'oxydation des éléments réduits comme les ions ferreux. La combinaison avec l'étape d'aération est toutefois intéressante puisque la demande en oxydant chimique peut être abaissée grâce à l'action préalable de l'oxygène de l'air sur les composés réducteurs, volatils ou autres.

Cette oxydation chimique peut se faire par le chlore (Cl), mais en présence d'un excès qu'il faudra ensuite neutraliser. Par contre, après aération, on obtient une bonne oxydation par l'ozone, le permanganate de potassium  $KMnO_4$  ou le bioxyde de chlore ( $ClO_2$ ).

Les différents oxydants forts susceptibles d'être utilisés dans un traitement de déferrisation sont présentés dans le tableau 8 suivant.

**Tableau 8: Critères de conception utilisés en oxydation chimique**

Oxydant	Chlore	Permanganate de potassium	Ozone	Bioxyde de chlore
		Dose stœchiométrique		

Par g de Fe	0,63 g de Cl <sub>2</sub>	0,94 g de KMnO <sub>4</sub>	0,43 g d'ozone	1,21 g de ClO <sub>2</sub>
Critères de conception				
Temps de rétention	Plus de 2 minutes	Des quelques secondes à 3 minutes	Dépend du type d'ozonateur.	Moins de 5 minutes.
Point d'injection	En amont des filtres.	En amont des filtres.	En amont des filtres.	En amont des filtres.
Eléments à considérer				
Dosage	Tenir compte des autres éléments qui peuvent être oxydés par le chlore.	*Comme pour le chlore, tenir compte des autres éléments qui peuvent être oxydés par le permanganate de potassium. *Dosage précis car l'excédent est très visible.	Comme pour le chlore, tenir compte des autres éléments qui peuvent être oxydés par l'ozone.	

L'oxydation du fer ferreux en fer ferrique est généralement réalisée par une simple aération mais également parfois par l'ajout d'oxydants forts. Le tableau 1 récapitule les réactions d'oxydation ainsi que les taux de traitements théoriques à appliquer pour éliminer le fer (II). Il est intéressant de noter que les réactions d'oxydation du fer sont rapides voir immédiates en particulier avec l'oxygène dissous dans l'eau

**Tableau 9: Réactions d'oxydation de Fe<sup>2+</sup> par divers oxydants et taux de traitements théoriques**

Oxydant	Réaction	Taux de traitement theorique
O <sub>2</sub>	$4 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 10 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 4 \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + 8 \text{H}^+$	<b>0,14 mg O<sub>2</sub>/mg Fe</b>
Cl <sub>2</sub>	$2 \text{Fe}^{2+} + \text{Cl}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + 2 \text{Cl}^- + 6 \text{H}^+$	<b>0,63 mg Cl<sub>2</sub>/mg Fe</b>
KMn <sub>4</sub>	$3 \text{Fe}^{2+} + \text{MnO}_4^- + 2 \text{H}_2\text{O} + 5 \text{OH}^- \longrightarrow 3 \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + 5 \text{MnO}_2(\text{s})$	<b>0,94 mg KMnO<sub>4</sub>/mg Fe</b>
ClO <sub>2</sub>	$\text{Fe}^{2+} + \text{ClO}_2 + 3 \text{OH}^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{ClO}_2^-$	<b>1,21 mg ClO<sub>2</sub>/mg Fe</b>
O <sub>3</sub>	$2 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_3(\text{aq}) + 5 \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{O}_2(\text{aq}) + 4 \text{H}^+$	<b>0,43 mg O<sub>3</sub>/mg Fe</b>

### 3.1.1.2. Pré-séparation

Si l'eau est peu chargée, on réalise une filtration directe. Dans le cas contraire, la pré-séparation a pour but d'éviter un colmatage trop rapide des filtres, c'est-à-dire des cycles

courts et des crevaisons brutales qui nécessiteraient une consommation élevée en eau de lavage.

#### **a. La décantation**

La technique de décantation consiste parfois à faire circuler l'eau flocculée à travers un lit de boues, pulsé ou non, éventuellement surmonté par une garniture de plaques partiellement immergées dans le lit. Il en existe différents types (rectangulaires, circulaires) ou plus perfectionnés, décantateurs lamellaires qui permettent de multiplier dans un même équipement les surfaces de séparation eau/boue.

On estime généralement que la décantation, qui est l'étape de clarification la plus couramment employée, est nécessaire pour des teneurs initiales en fer supérieures à 10 mg/l.

#### **b. La flottation**

La flottation consiste en l'adsorption de microbulles d'air de 40 à 50 µm de diamètre sur les particules. Les floes ainsi lestés d'air remontent à la surface du bassin et peuvent être retirés par raclage mécanique.

### **3.1.1.3. La filtration**

Cette étape suit l'étape éventuelle de décantation ou de flottation ; dans ce cas elle fixe les matières flocculées qui n'ont pas été retenues.

L'efficacité de l'élimination du fer dépend :

- ✓ de la technique de filtration ;
- ✓ du type de répartition de la masse filtrante (homogène ou en bicouche) ;
- ✓ du matériau lui-même qui se caractérise par la porosité entre les grains, l'aire spécifique, les propriétés électrocinétiques et de sorption de la surface des grains eux-mêmes.

#### **a. Matériaux traditionnels**

##### **• Le sable**

Les filtres à couche de sable homogène conviennent dans la majorité des cas, à condition de bien choisir la vitesse, la granulométrie et la hauteur de la couche.

Ce type de filtre demande une faible charge hydraulique.

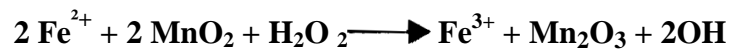
Le sable est constitué par du sable quartzeux (matériau le plus souvent utilisé) :

##### **• Les matériaux manganisés**

- ✓ **Rôle catalytique de MnO<sub>2</sub>.**



Le  $\text{MnO}_2$  a le rôle d'échangeur d'électron. Il oxyde  $\text{Fe}^{2+}$  et qui précipite et il est retenu par la masse filtrante et est lui-même réduit à l'état de sesquioxyde  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  selon par exemple :



Pour enrober les grains du filtre d'oxydes de manganèse, on fait passer une solution de  $\text{KMnO}_4$  et des sels de manganèse. Par la suite, la régénération du  $\text{MnO}_2$  épuisé se fait par le passage d'une solution de  $\text{MnO}_4^-$  ou  $\text{ClO}^-$  qui réoxyde  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ .

Ce type de filtre n'est utilisable que pour des eaux, sans matière organique, à faibles teneurs en  $\text{Fe}^{2+}$ .

### **b. Répartition de la masse filtrante**

Dans le cas le plus général, le sens de filtration est descendant. Selon le type de lavage adopté, on distingue trois types de filtration qui correspondent à des choix de granulométries différentes :

- ✓ La filtration sur couche de matériau homogène : Le lavage de ce matériau est effectué à l'air et à l'eau, sans expansion hydraulique lors de la phase finale de rinçage. Il en résulte une homogénéité parfaite de la couche de filtration ; la granulométrie du matériau filtrant est la même à la base et au sommet de la couche filtrante.
- ✓ Filtration sur couche de matériau hétérogène : Lorsque le lavage s'effectue avec seulement de l'eau, ou comporte en phase finale un rinçage avec mise en expansion hydraulique du matériau, on observe un classement du matériau filtrant dont la couche n'est plus homogène. Les grains les plus gros sont à la base de filtre, alors que les grains les plus fins sont au sommet.
- ✓ Filtration à plusieurs couches filtrantes : Pour éviter l'effet de tamisage provoqué par les grains de sable les plus fins dans une filtration sur couche hétérogène et favoriser la pénétration des impuretés dans toute la hauteur du filtre, on remplace une partie du sable fin par une couche de matériau plus léger et dont la taille effective est supérieure à celle du sable. Le choix de la granulométrie de chacune des deux couches doit être fait avec soin

### c. Lavage du milieu filtrant

Le lavage est une opération très importante ; lorsqu'il est insuffisant, il entraîne le colmatage permanent de certaines zones, ne laissant à l'eau qu'un passage réduit ; la perte de charge s'accroît alors plus vite, la filtration devient localement plus rapide et moins efficace.

Pour laver le matériau filtrant, on le soumet à un courant d'eau, circulant de bas en haut, destiné à détacher les impuretés et à les entraîner ensuite dans une goulotte d'évacuation. Le matériau filtrant doit être simultanément agité dans le courant d'eau.

### 3.2. Traitement biologique

La déferrisation biologique se fait avec des installations qui peuvent fonctionner sans pression ou de façon gravitaire. Les débits de traitement peuvent varier de plusieurs dizaines à plusieurs milliers de  $m^3/h$ . Cette technique exploite les capacités déferrisantes de nombreuses bactéries qui sont susceptibles d'oxyder biologiquement le fer, en le fixant. La plupart d'entre elles peuvent se développer dans des conditions où l'oxydation physico-chimique du fer n'est pas possible. La figure 3 ci-dessous présente les domaines privilégiés de la déferrisation biologique.

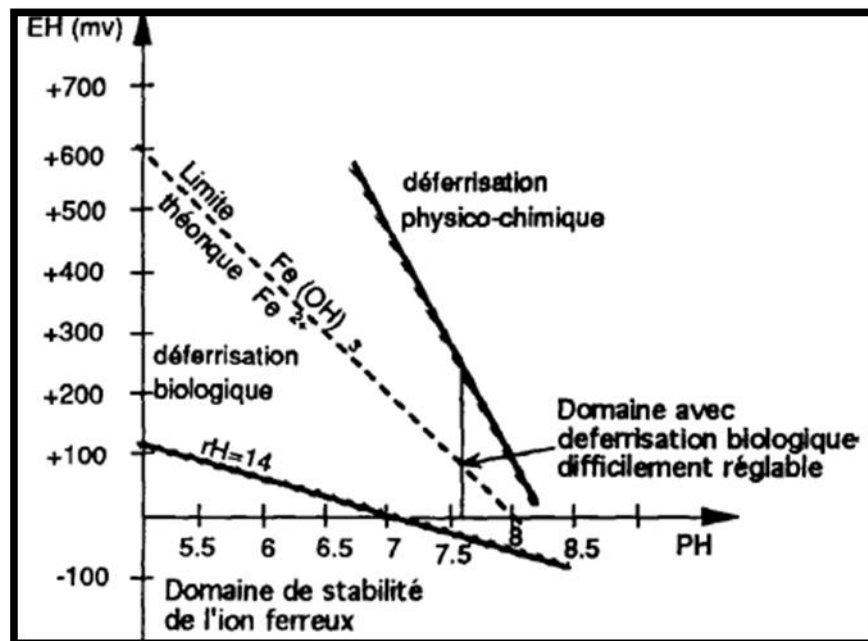


Figure 7: Domaine privilégié de la déferrisation biologique

Les ferrobactéries les plus utilisées dans la déferrisation biologique sont *Gallionella ferruginea* et *Leptothrix* :

- ✓ Gallionella Ferruginea est une bactérie aérobie et autotrophe qui développe à partir d'une particule du terrain De longs pédoncules filamenteux, torsades :
- ✓ Leptothrix : ce genre est aérobie, hétérotrophe, sous forme de cellules isolées ou en chaîne.

Pour que certaines bactéries spécifiques (ferrobactéries), tirent leur énergie de l'oxydation du fer, de nombreuses conditions doivent être réunies : teneur en oxygène, pH, température de l'eau et le potentiel redox. Les principales bactéries utilisant le fer sont autotrophes, c'est-à-dire que leur source de carbone est minérale ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Le tableau suivant montre les conditions optimales du développement :

**Tableau 10: Les conditions optimales du développement**

Déferrisation	Potentiel redox en mV 40 à 100	Teneur en oxygène dissous en mg/l 0.2 à 2
---------------	-----------------------------------	--

La déferrisation est réalisée dans des filtres à sable colonisés par les souches bactériennes spécifiques du fer. Un apport d'oxygène, plus ou moins important en fonction du pH, est réalisé en amont du filtre, afin de favoriser le développement des bactéries, et en aval, pour revenir à un taux d'oxygène normal dans l'eau après consommation par les bactéries.

La technique présente les avantages suivants : oxydation rapide à travers une injection d'air sous pression dans certains cas, les réactifs de correction du pH et les flocculants ne sont pas nécessaires, la capacité de rétention du fer devient élevée de même que la vitesse de filtration. Dans ces installations, il en résulte une capacité de rétention du filtre environ cinq fois plus importante et le pourcentage d'eau de lavage des filtres est à peu près cinq fois plus faible que dans le cas de la déferrisation physicochimique.

## II. Le cas de la ville de KOLDA

### 1. Analyses physico-chimiques

Les mesures physico-chimiques effectuées sur ces eaux ont révélés des valeurs atteignant 0.7 mg/l du fer. Ces valeurs dépassent la concentration maximale recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) qui est de 0,3 mg/l pour le fer. D'où l'intérêt d'un traitement de ces eaux.

Tableau 11: Synthèse des résultats faites par S.D.E à KOLDA en 2015

Période	déc-08	juin-09	déc-09	juin-10	déc-10	juin-11	juin-12	déc-12	juin-13	déc-13	juil-14	déc-14	juin-15	déc-15	Moy.	Val. OMS
date	18-déc	28-juin	17-déc	24-juin	16-déc	14-juil	28-juin	27-déc	23-juin	26-déc	22-juil	21-déc	14-juin			
T(°c)																
pH	7,36	7,27	7,64	7,19	7,69	6,78	8,33	7,91	7,15	7,32	7,17	7,05	7,2		6,86	
Cond forage F2 (us/cm)	1206	1355	1343	1221	1214	1212	1233	1265	1204	1219	1248	1184	1242		1153	
TUR (NTU)	1,24	4,13	1,9	1,56	2,24	1,12	1,98	1,72	2,6	6,02	5,33	5,45	0,68		2,57	5
TH (°F)	18	19	18	16	14,4	18,8	13,6	18,4				14	15,2		15,04	
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0,8		0	0	0	0	0		0,07	
TAC (°F)	18,4	20	21,6	17	16,8	18,52	17,2	17,6	18,8	16,6	16,8	15,2	18,4		16,64	
Cl (°F)	41,5	40	42	41	40	40	41	38	40	40	39	41	42		37,54	35,2
Cl forage F2 (mg/l)	295	284	298	291	284	284	291	270	284	284	277	291	298		266,50	250
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	224,48	244	263,52	207,4	204,96	225,944	209,84	214,72	229,36	202,52	204,96	185,44	224,48		202,97	
M. Org. (mg/l)																5
NH <sub>4</sub> (mg/l)																1,5
NO <sub>2</sub> (mg/l)				0,004	0,019	0,011	0,493	0,001		0,018	0,055				0,09	3
NO <sub>3</sub> (mg/l)				2,2	0,2	6	10,9		4,8	9,3		3			5,20	50
F <sup>-</sup> (mg/l)				0,6						0,44					0,52	1,5
Mn <sup>2+</sup> (mg/l)				0,254	0,266		0,204	0,238		0,077		0,037			0,18	0,5
Fer forage F2 (mg/l)					0,32	0,27	0,6		0,58	0,67	0,61	0,41	0,44		0,49	0,3

La présence du fer en concentration supérieure à  $0.3 \text{ mg/l}$  nuit aux qualités organoleptiques de l'eau. Elle lui donne un goût métallique ou amer (indépendamment du goût et de l'odeur provoqués par le développement des bactéries ferrugineuses).

D'où l'indispensabilité de l'élimination de ce métal par un traitement approprié. C'est ça ce que nous traiterons dans le paragraphe suivant.

## *2. Techniques de traitement physico-chimique proposées pour la ville du KOLDA*

Les procédés d'élimination du fer sont proposés pour traiter les eaux de forage de la nappe maestrichtien afin de satisfaire la population de la ville de KOLDA qui souffre de la mauvaise qualité de l'eau.

Parmi les méthodes utilisées pour le traitement de ces eaux, il existe deux qui répondent aux exigences :

- Aération-Filtration (AF) qui est un procédé de déferrisation sans décantation ;
- Aération-Décantation-Adsorption-Filtration (ADAF) qui n'est autre qu'une modification du premier, en intercalant les processus de décantation et d'adsorption entre l'aération et la filtration.

### 2.1. Description du processus de déferrisation

Le principe de fonctionnement des unités de déferrisation repose essentiellement sur les propriétés chimiques du fer dans l'eau d'une part et d'autre part, sur les caractéristiques physiques des granulats utilisés pour le traitement.

Il faut remarquer que le fonctionnement des deux unités ne nécessite pas l'utilisation de réactifs chimiques pendant le processus de traitement. Les deux unités ont deux étapes en commun :

- l'aération ;
- la filtration.

L'aération constitue le premier stade du traitement. Elle est basée sur l'oxydation du fer divalent par l'oxygène de l'air. La présence du gravier quartz grossier dans la zone d'aération de l'unité type "AF" par exemple, a pour but d'allonger le trajet des filets liquides et par conséquent d'augmenter le temps de brassage de l'eau par l'air.

L'aération qui consiste à dissoudre l'oxygène de l'air dans l'eau s'effectue à la pression atmosphérique. Ce procédé a l'avantage d'évacuer à moindre frais le gaz carbonique agressif

dont l'enlèvement nécessite un traitement coûteux lorsque sa teneur est élevée. L'aération permet aussi l'élimination de l'hydrogène sulfureux ( $H_2S$ ). La rapidité de l'oxydation du fer divalent par l'oxygène dépend de plusieurs facteurs dont la température, le potentiel oxydoréduction, le pH, la teneur en fer et en oxygène dissous.

Le passage d'une forme dissoute de fer (par exemple  $Fe^{2+}$  ou  $FeOH^+$ ) à une forme précipitée (qui est  $Fe_2(CO_3)_3$  ou  $Fe(OH)_3$ ) peut se faire en élevant soit le potentiel par oxydation, soit le pH, ou encore les deux à la fois.

Le processus de déferrisation s'achève par la filtration. C'est un procédé de séparation physique utilisant le passage d'un mélange solide liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat). Cela entraîne la formation d'un dépôt de solides à la surface et à l'intérieur du filtre selon les caractéristiques granulométriques du matériau filtrant, la grosseur et la cohésion des solides en suspension. Ces dépôts favorisent le colmatage du filtre nécessitant ainsi un nettoyage plus ou moins fréquent.

Entre l'aération et la filtration, se déroulent deux autres procédés essentiels dans le processus physico-chimique d'élimination du fer dans l'eau. Il s'agit de la décantation et de l'adsorption. La décantation précède l'adsorption mais suit l'aération. Cette disposition est toujours nécessaire lorsque la teneur en fer de l'eau brute est élevée. L'aération de l'eau brute chargée en fer produit un volume important de précipité, tout comme lorsque le traitement de l'eau implique l'adjonction de coagulants. Seule l'unité de déferrisation type "ADAF" comporte un bassin de décantation et d'adsorption.

C'est sur ces principes que sont fondés les différents procédés physico-chimiques de déferrisation.

D'après cette étude descriptive entre ces deux processus physico-chimiques les plus adaptés pour la réalisation et la construction de la station de déferrisation, il est nécessaire d'en choisir un des deux qui sera adopté pour notre cas.

## 2.2. Choix du type d'unité de déferrisation

Le choix du type d'unité de déferrisation constitue l'un des axes les plus importants pendant la réalisation de ce projet (CREPA 1996). En effet dans ce paragraphe il s'agit de répondre à la question suivante :

- laquelle des unités type (ADAF) ou (AF) convient le mieux dans l'élimination du fer d'une eau ayant une teneur de  $0,7\text{mg/l}$  ?

### 2.2.1. Choix de l'Unité par Rapport à la Qualité de l'eau Traitée

Trois intervalles de valeurs ont été identifiés dans l'appréciation de la qualité de l'eau traitée:

- lorsque La teneur en fer total est inférieure à 5 mg/l: la norme est respectée (0.3 mg/l) dans 25 % des cas pour l'unité (ADAF) alors qu'elle est dans 85 % des cas pour l'unité (AF);
- lorsque la teneur se situe entre 5 et 10 mg/l: toutes les unités donnent des teneurs en fer total fluctuantes avec souvent des valeurs respectant La norme. C'est dans cet intervalle que le choix est difficile ;
- lorsque la teneur en fer total de l'eau brute dépasse 10 mg/l, c'est le domaine d'utilisation par excellence de l'unité type ADAF. Ce choix est appuyé par les effets combinés du temps de fonctionnement et de la qualité du traitement. La durée de fonctionnement efficace (sans colmatage des filtres) de l'unité type ADAF dépasse de loin celle de l'unité de type AF.

**Tableau 12: Résumé du choix de l'unité en fonction de la teneur en fer total**

Teneur en fer total Brute de l'eau	Type d'unité recommandée
Teneur en fer total < 5 mg/l	Type AF
5 mg/l < Teneur en fer total < 10 mg/l	Choix du type d'unité dépend de la disponibilité des granulats pour le traitement.
Teneur en fer total > 10 mg/l	Type ADAF

Vue que la concentration maximale des eaux de forage 02 de la nappe maestrichienne est égale à 0.7mg/l, inférieur à la teneur en fer total qui est de 5mg/l (d'après le tableau 9), il s'agit d'adopter pour la ville de Kolda une installation de type aération filtration (AF) car c'est elle qui répond aux exigences techniques économique de notre projet.

### 3. L'installation proposée pour la ville du KOLDA

La station de déferrisation des eaux brutes du forage se fera par un traitement par aération-filtration. Elle fonctionnera à un débit de 587m<sup>3</sup>/h avec une durée de fonctionnement de 24 heures (voir le chapitre II d'hydraulique).

**Tableau 13:Besoin de production**

Branchement	Pop	Conso Specif.	Bmj (l /j)	Bmj (m3/j)	Cpj	Qpj (m3/j)	Pertes(%)	Besoin Product (m3/j)
BA	132 822	73	9696006	9696,006	1,3	12604,80	2	12856,90396

**Tableau 14:Demande en eau**

Branchement	Temps d'utilisation/j	Q <sub>mh</sub> (m3/h)
BA	24	533,4463575

**Tableau 15:Demande en eau total**

Branchement	Débit annexe(10%)en (m <sup>3</sup> /h)	Débitannexe (10%) en (l/s)	Débit totalen (m3/h)	Débit total en(l/s)
BA	53,35	14,82	587	162,99

La station comprendra :

- des cascades pour l'élimination des gaz comme le CO<sub>2</sub> et le H<sub>2</sub>S et l'oxydation du fer ;
- des filtres à sable pour se débarrasser du fer solide précipité et d'éviter le colmatage des conduites ;
- Un bassin de désinfection.



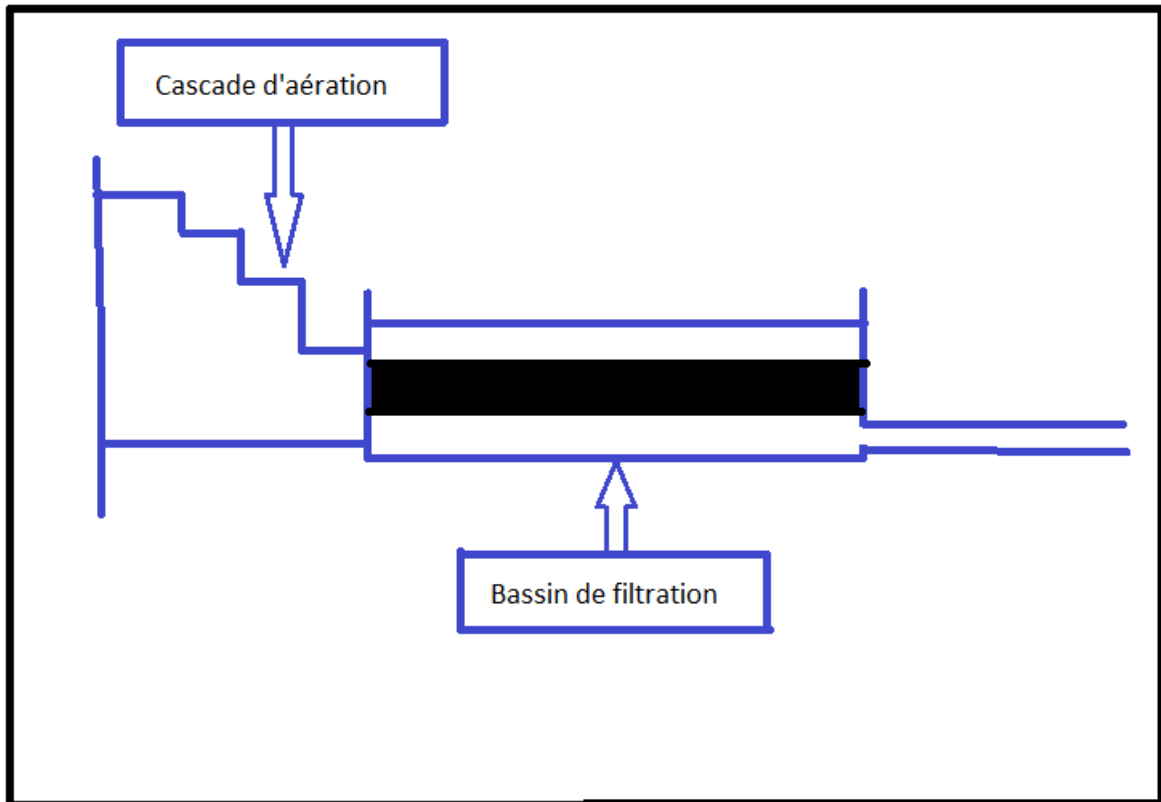


Figure 8: Installation proposée pour la ville KOLDA

Les détails de cette station sont explicités dans la partie du dimensionnement de l'ouvrage d'exploitation.

#### 4. Dimensionnement de la station de déferrisation

Les étapes nécessaires au traitement de l'eau étant vues précédemment, dans ce paragraphe nous exposerons les détails du dimensionnement de l'unité de traitement conçue pour la ville de KOLDA.

Nous parlerons ainsi du schéma de principe de la station proposée.

Il s'agit notamment des cascades d'aération, des filtres et des du bassin de désinfection, Le débit de design adopté est de 587 m<sup>3</sup>/h. ce choix est basé sur l'estimation de la consommation en eau de la population. L'horizon d'étude fixée étant l'année 2030.

##### 4.1. Schéma de fonctionnement

Le schéma de fonctionnement de la station de déferrisation est le suivant:

- forage ;
- cascades d'aération ;
- filtration ;

- désinfection et stockage.

L'eau sera captée de la nappe maestrichtien par 3 forages avec un débit de 163l/s. La conduite de refoulement est en diamètre 400mm.

Cette eau brute est d'abord recueillie dans un bassin d'amenée d'eau. Ce bassin a pour rôle de réduire la vitesse de l'eau pour mieux favoriser l'aération.

Par surverse, l'eau passera du bassin aux cascades pour subir son aération. Cette aération qui se fait par des chutes en cascades a pour but d'oxyder le fer et aussi la libération des gaz tels que le sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) et le gaz carbonique ( $CO_2$ ).

Après les cascades, l'eau est recueillie dans un canal de répartition. Ce canal permet de répartir l'eau aérée dans les filtres.

Ensuite suit l'étape de la filtration qui se fait sur filtre à sable lent. L'eau filtrée est par la suite récupérée dans un bassin de désinfection.

Par pompage, l'eau traitée dans le bassin de désinfection est refoulée vers le réservoir de stockage.

Le schéma de fonctionnement est illustré par la figure suivante:

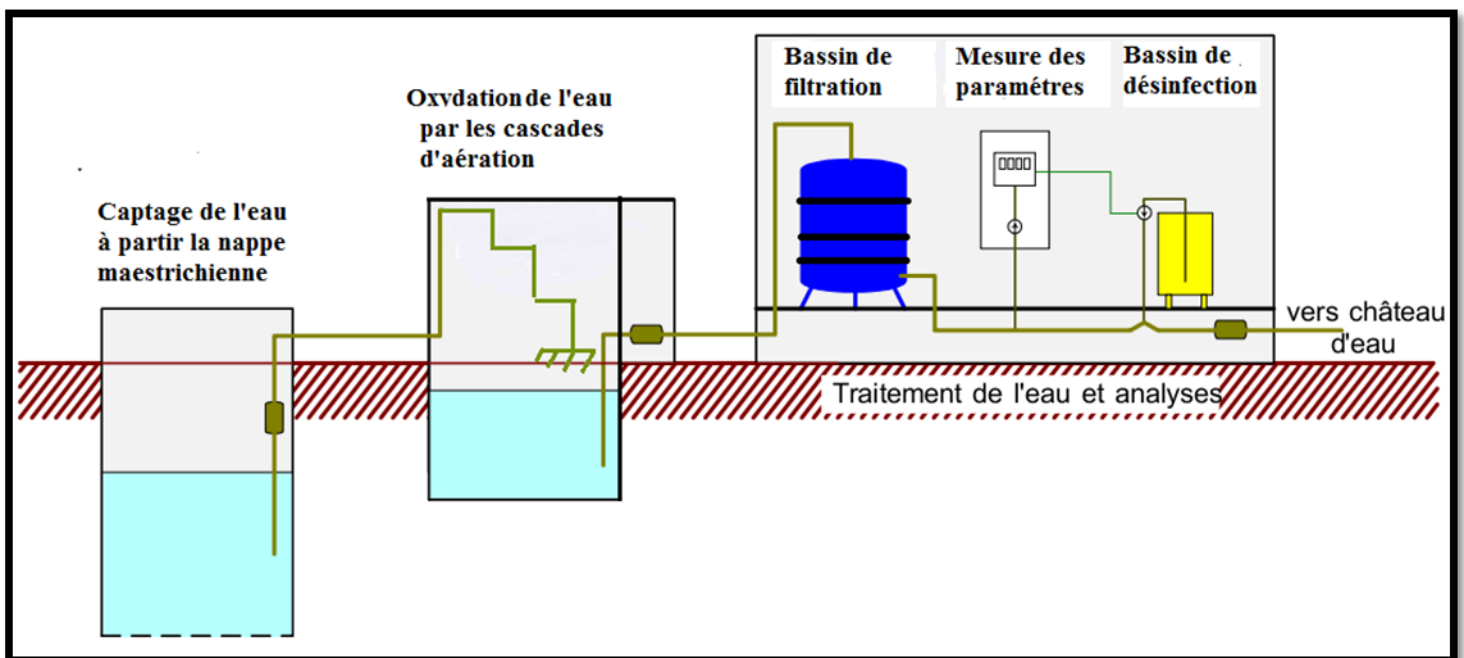


Figure 9:Schéma de principe du procédé de déferrisation

#### 4.1.1. Cascades d'aération

Les cascades d'aération sont composées :

- ✓ Bassin d'amené d'eau ;
- ✓ d'une suite de cascades;
- ✓ d'un canal de répartition.

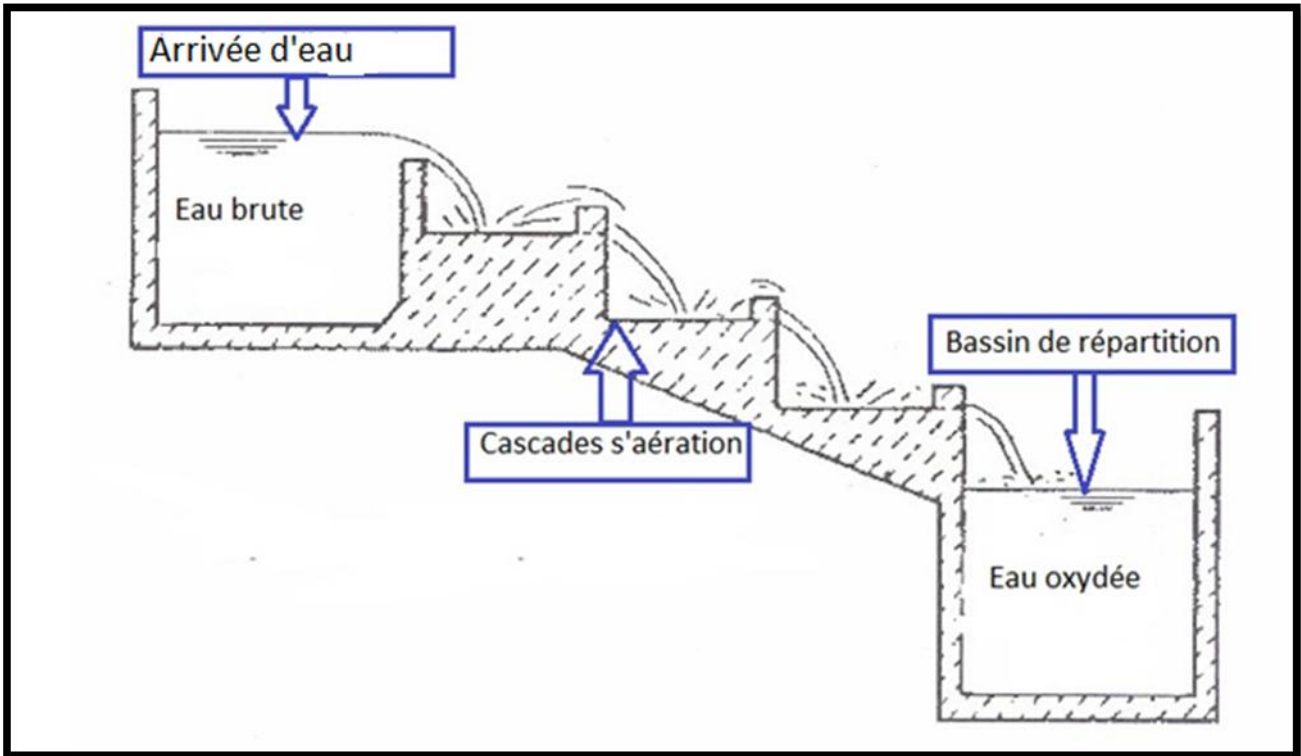


Figure 10: Cascade d'aération détaillée

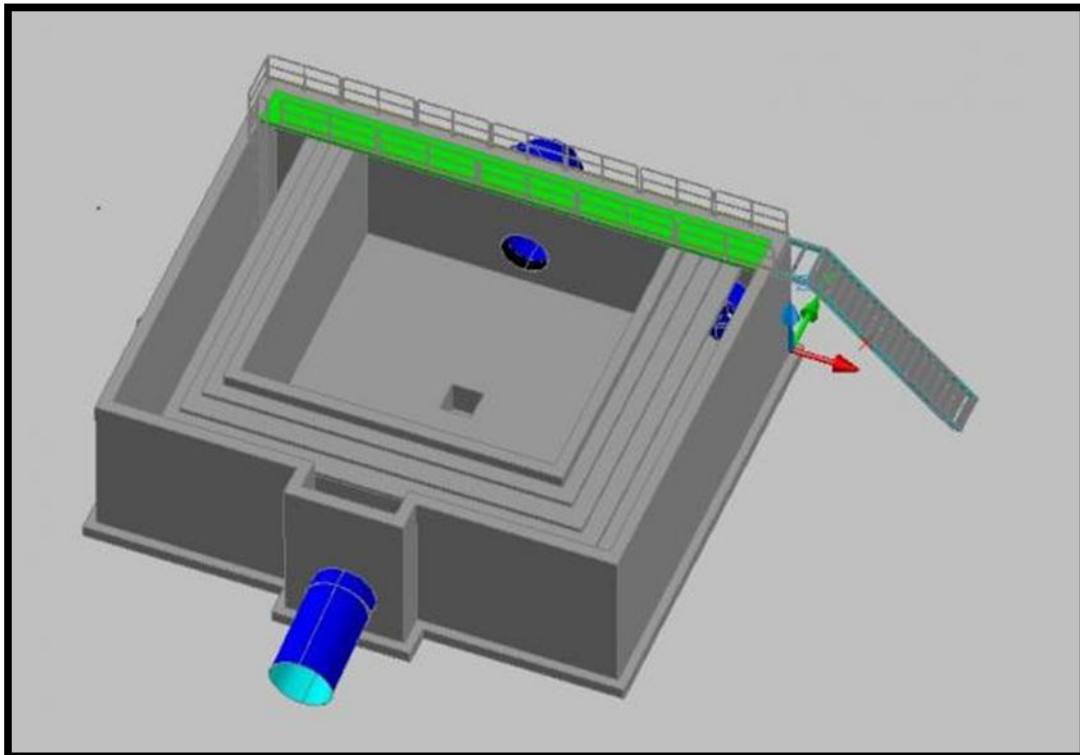


Figure 11: Modèle 3D d'une cascade d'aération dessiné par Autocad

### a. Cascades

Le calcul des dimensions des cascades d'aérations pour l'oxydation de l'eau de forage de la nappe maestrichienne est inspiré de la méthode de Gameson qui dépend du Calcul déversoir par l'utilisation de la formule suivante :

$$L = Q / (k * H * (2gH)^{0.5})$$

Avec:

L : longueur du déversoir (m)

Q : débit en m<sup>3</sup>/s

H : hauteur de lame déversante (m)

g : accélération de la pesanteur = 9,81m/ms<sup>2</sup>

K : coefficient de contraction (pour déversoir rectangulaire sans contraction latérale)

Le débit du dimensionnement est de 587 m<sup>3</sup>/h soit 163 l/s.

**Tableau 16: Dimensionnement des déversoirs**

Critères de dimensionnement	
Débit traité (m <sup>3</sup> /h)	<b>587</b>
Longueur du déversoir (L, m)	<b>4,85</b>
Hauteur de lame (h, cm)	<b>8</b>
Coefficient de contraction (k)	<b>0,33</b>

**Tableau 17: Dimensionnement des cascades d'aération**

Débit total à oxygéner	587	m <sup>3</sup> /h	
Hauteur totale disponible	<b>10</b>	<b>m</b>	
Hauteur de lame du déversoir d'entrée	<b>8</b>	<b>cm</b>	(entre 2 et 20 cm)
Longueur du déversoir (m)	<b>4,85</b>	<b>485</b>	< cm
Température de l'eau (entre 0 et 40)	<b>10</b>	°C	
O <sub>2</sub> maximum possible [Cs]	<b>11,25</b>	<b>mg/l</b>	
O <sub>2</sub> dans l'eau à oxygéner [Cm]	<b>11</b>	<b>mg/l</b>	
Hauteur de chute unitaire [Hc en m]	<b>0,2</b>	<b>20</b>	< cm
Taux unitaire (une cascade)	<b>1,1</b>		
Teneur en O <sub>2</sub> désiré (en fin de cascades)	<b>8</b>		
Nombre de marches (pour saturation à 50%)	<b>1</b>	<b>11,02</b>	< mgO <sub>2</sub> /l
Hauteur totale (pour saturation 50%)	<b>0,2</b>	<b>m</b>	
Nombre de marches (pour saturation à 75%)	<b>1,0</b>	<b>11,02</b>	< mgO <sub>2</sub> /l
Hauteur totale (pour saturation 75%)	<b>0,2</b>	<b>m</b>	
Largeur d'une marche pour pente à 45° (m)	<b>0,2</b>	<b>0,17</b>	< pente à 50°
Nombre de marches pour saturation de 100%	<b>41</b>	<b>8,2</b>	< Hauteur (m)

Au niveau de cascade, sera disposé des créneaux. Ces créneaux sont des éléments métalliques montés en tête de cascade. Ils sont en forme de scie et leur but principal est de bien répartir le débit et de favoriser ainsi l'aération.

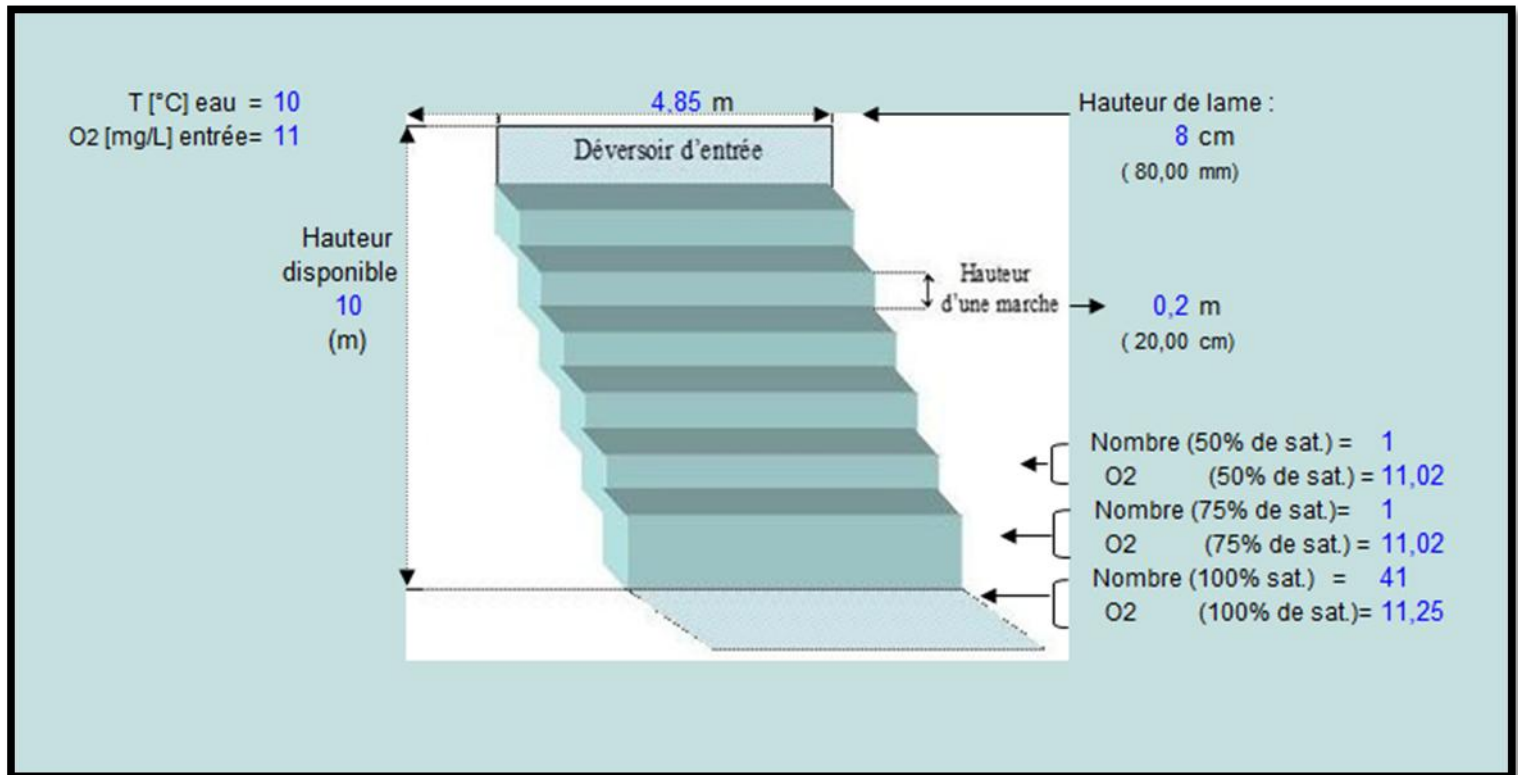


Figure 12: Schéma de la cascade d'aération

### b. Canal de répartition

Ce canal a pour but principal de faire la répartition de l'eau dans les filtres qui disposent de trois entrées pour chacun.

Ce canal qui se trouve à la fin des cascades a les dimensions suivantes:

Tableau 18: Les dimensions du canal de répartition

Dimensions (m)	Longueur	Largeur	Profondeur
	6	0.7	0.8

Ce canal disposera ainsi d'une pente transversale de 2%. Suivant sa largeur on aura:

- ✓ une élévation au milieu constituant une séparation des deux filtres;
- ✓ une élévation aux extrémités pour drainer les eaux vers l'entrée des filtres;
- ✓ au milieu des entrées de chaque filtre, sera disposée une élévation pour éviter la stagnation de l'eau et aussi favoriser l'admission de l'eau dans les filtres.

Toutes ces élévations seront faites avec une pente de 2% par rapport à l'entrée des filtres.

#### 4.1.2. Bassin de filtration

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle vise à réaliser ou à compléter, à travers un lit filtrant, la réduction des particules en suspension, des coliformes, des virus, des parasites ainsi que la turbidité. Sans elle, plusieurs filières de traitement ne pourraient obtenir de crédits pour l'enlèvement des virus et des kystes de protozoaires.

Il existe plusieurs types de filtration parmi les :

- ✓ Filtration lente sur sable : Dans les circonstances appropriées, la filtration lente sur sable est, non seulement la technologie la moins onéreuse et la plus simple de filtration, mais aussi le plus efficace pour le traitement des eaux. Ses avantages pratiques ont été démontrés sur une longue période, et elle est encore la méthode privilégiée pour la purification de l'eau dans certaines parties du monde ;
- ✓ Filtration rapide sur sable : Ce type de filtration est utilisée lorsque l'usine doit fournir de grande quantité d'eau ( $> 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), lorsque les terrains sont limités et/ou que le prix des médias filtrant est élevé ;

##### a. Le choix du type des filtres

Pour le cas de notre projet le débit à filtrer est égale à  $0.163 \text{ m}^3/\text{s}$  inférieur au débit minimum traité par les filtres rapides ( $> 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Pour cette raison la technique de filtration qui sera adoptée et installée dans la station de traitement de la ville de KOLDA est la filtration lente sur sable. Les caractéristiques des filtres lents sur sables sont mentionnées dans le tableau 19 ci-dessous :

Tableau 19: les caractéristiques des filtres lents sur sable

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"><li>• Aucun élément mécanique;</li><li>• Nécessite pas l'ajout de produits chimiques;</li><li>• Nécessite des maintenances périodiques;</li><li>• Produit une eau de grande qualité;</li><li>• Peut être utilisée/implémenté dans des pays en voie de développement</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nécessite de grandes surfaces et de grandes quantité de médias filtrant;</li><li>• Des eaux très chargées peuvent colmater rapidement ces filtres;</li><li>• Limitation dans les pays froids</li></ul>

##### b. Le choix du média filtrant

Différentes configuration des médias filtrants sont possibles :

- ✓ Couche de granulométrie uniforme (sable) ;
- ✓ Bicouche (ex : anthracite + sable) ;
- ✓ Multicouche (ex : Sable + Anthracite + Grenat)

Vu que l'élément traitable dans notre cas est le fer. Il est conçu d'utiliser des filtres multicouches car ils ont la particularité de retenir des précipités très fins ( $Fe^{2+}$ ) et aide à la déferrisation des eaux brutes, ainsi ils permettent d'améliorer le temps de filtration et la qualité de l'eau. Mais vu qu'on a procédé à une aération, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique précipité qui est facilement retenue par une couche filtrante unique.

**Tableau 20: Design des médias filtrants monocouches**

Matériau	Taille effective (mm)	Coefficient d'uniformité	Profondeur (cm)
Anthracite	0.5– 1.5	1.2 – 1.7	50 – 150
Sable	0.45 – 1	1.2 – 1.7	50 – 150

### c. Critère de conception des filtres lents

Le nombre minimal de filtres pour des petites installations qui ont un débit inférieur à 90 l/s est de 2 (Cabana. H 2010). Sachant que le débit de dimensionnement de la station de déferrisation de la ville de KOLDA est de 160 l/s. Le nombre des filtres est calculé par la formule suivante ;

$$N=1,2Q^{0.5}$$

Avec :

N = nombre de filtres

Q= débit journalier max (MGD, 1 MGD = 3785 m<sup>3</sup>/j)

Après le calcul, le nombre des filtres à installer dans la station de traitement est N= 3. Les critères du dimensionnement du bassin de filtration de la ville de KOLDA seront mentionnés dans les tableaux 21 et 22 ci-dessous.

**Tableau 21: Design des medias filtrants du bassin de filtration de la ville de Kolda**

Matériau	Taille effective (mm)	Coefficient d'uniformité	Profondeur (cm)
Sable	<b>0.45</b>	<b>1.5</b>	<b>75</b>
Gravier	-	-	<b>325</b>

Le gravier permet une distribution uniforme des flux (eaux traitée et eau de lavage) et protège des buselures de la colmatation.

**Tableau 22: Critères de conception des filtres à installer dans le bassin de filtration de la ville de Kolda**

Critères de dimensionnement	Débit à filtrer	Nombre des filtres	Vitesse de filtration	Surface unitaire de chaque filtre	Largeur	Profondeur (m)
	<b>587m<sup>3</sup>/h</b>	<b>3</b>	<b>5.66m/h</b>	<b>40m<sup>2</sup></b>	<b>5</b>	<b>4</b>

**Tableau 23: Récapitulatif du dimensionnement des bassins de filtration**

Q eau traitée (m <sup>3</sup> /h)	587
Fonctionnement / jour (heures)	20

Conc. MES eau brute (mg/l )	<b>0,7</b>
Nombre de filtre(s)	<b>3</b>
Volume total / jour (m3)	<b>11740</b>
Débit / filtre (m3/h)	<b>195,67</b>
Surface unitaire choisie (m <sup>2</sup> )	<b>40,00</b>
Surface totale choisie (m <sup>2</sup> )	<b>120,00</b>
Vitesse réelle (N, m/h)	<b>5,66</b>
Nombre de lavage / jour / filtre	<b>1</b>
Eau de lavage / filtre (m3)	<b>613,3</b>
Vol. eau de lavage / jour (m3)	<b>1840,0</b>

Comme il a été défini précédemment, notre station disposera de trois filtres parallèles pour assurer une grande souplesse de l'exploitation. Cette filtration se fera par des filtres lents sur sable monocouche. Les caractéristiques des bassins de filtration sont :

- Le lavage des filtres se fera par le système air – eau ;
- La vitesse de filtration est fixée à 5.66 m/h et le débit est de 587 m<sup>3</sup>/h, la quantité d'eau filtrée pendant un fonctionnement de 20 heures est de 11543,4 m<sup>3</sup>/j ;
- La surface totale de filtre correspondante est de 120m<sup>2</sup>. Etant donné que l'on disposera de trois filtres, la surface par filtre est de 40m<sup>2</sup> ;
- La largeur totale du bassin de filtration est de 5 ;
- Pour l'évacuation des boues lors des lavages, les filtres sont équipés au niveau de leurs parois latérales de goulottes d'évacuation munies de vannes de vidange. Des conduites trop plein en acier inox vont récupérer les eaux de lavage pour leur évacuation vers un exutoire.



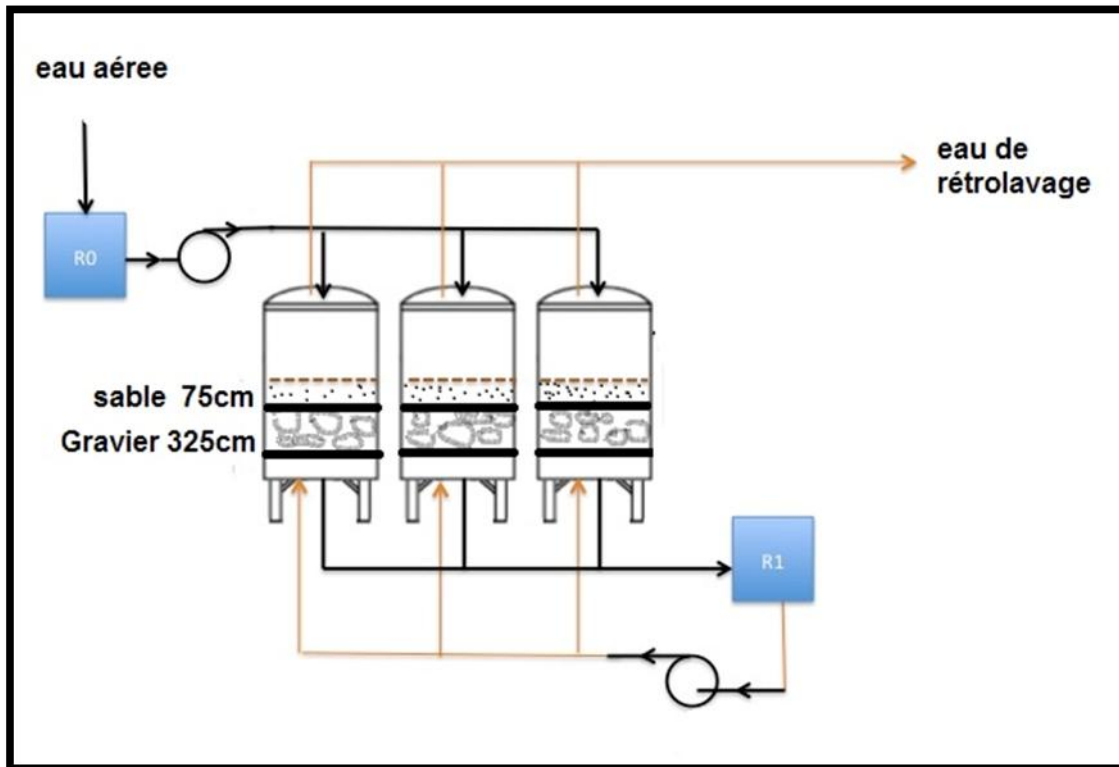


Figure 13: Design des filtres proposés pour la station de déferrisation

#### 4.1.3. Bassin de désinfection

Ce bassin est conçu pour poursuivre le traitement de l'eau et son stockage. C'est à dire sa stérilisation afin qu'elle puisse bien répondre aux normes en vigueur. L'eau stockée dans ce bassin a deux destinations :

- eau de service pour la station de déferrisation ;
- eau de distribution.

Après sa désinfection l'eau doit être stockée dans le réservoir du réseau de distribution qui est distant des forages de 270 m environ.

Pour ces raisons, nous dimensionnerons ce bassin avec une autonomie de fonctionnement d'une heure. Le débit de design étant toujours de 587 m<sup>3</sup>/h.

Le temps que va mettre l'eau pour remplir ce bassin étant donc fixé égal à 1 heure, le volume rempli pendant ce temps avec un débit de 587 m<sup>3</sup>/h est:

$$V = Q \cdot t = 587 \cdot 1 = 587 \text{ m}^3$$

Pour des raisons de sécurité on prendra ce volume égal à 600 m<sup>3</sup> compte tenu des volumes morts.

Le temps de remplissage devient donc:

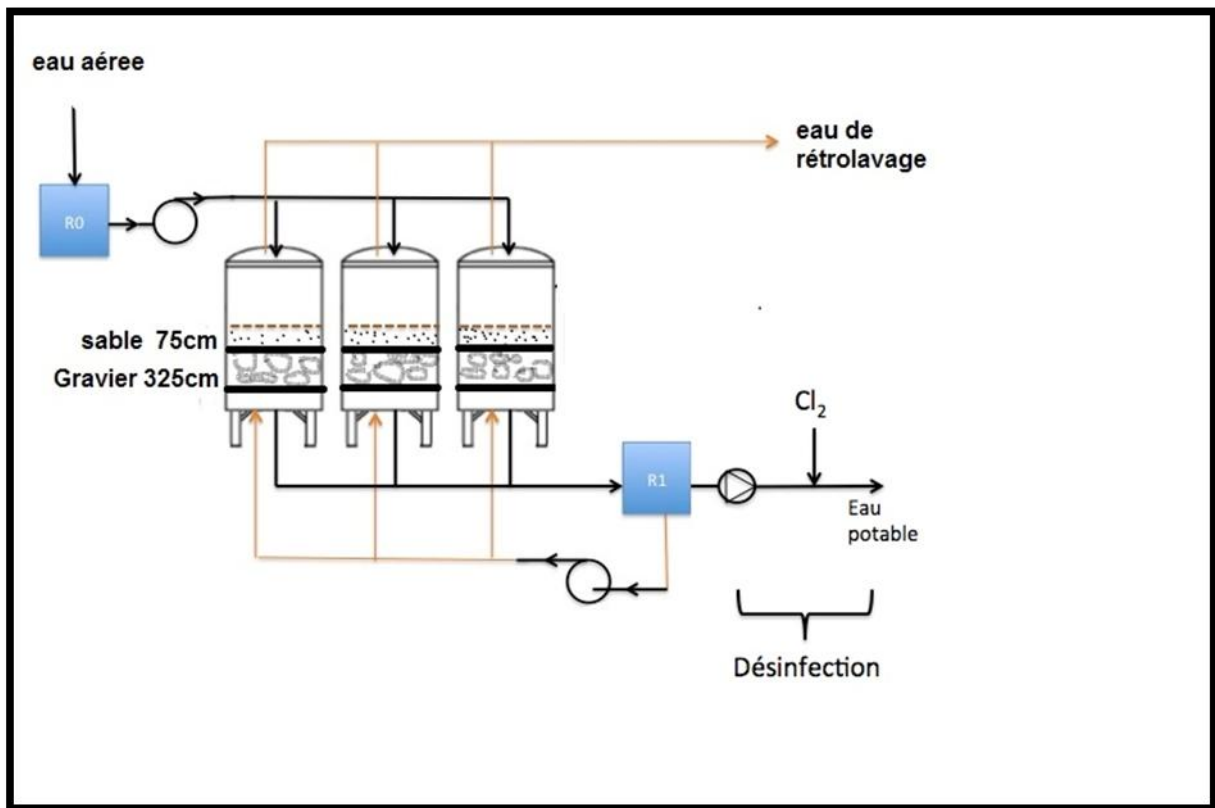
$$t = V/Q = 600/587 = 1,02 \text{ heures}$$

Soit 62 minutes. Ceci constitue un bon temps de contact.  
On optera pour ce bassin donc les dimensions suivantes:

**Tableau 24: Les dimensions du bassin de désinfection**

Dimensions (m)	Longueur	Largeur	Profondeur
	16	7.5	5

Ce bassin disposera d'un mur séparateur au milieu de sa longueur. Ce mur créera ainsi deux compartiments communiquant entre eux par l'intermédiaire des ouvertures qui se trouvent en son sein.



**Figure 14: Design de la station de désinfection proposée pour la station de déferrisation**

### 5. Estimation du cout de la station de déferrisation

Les études techniques, les critères de conception et le dimensionnement de la station de déferrisation étant déjà faites, nous allons procéder dans cette partie à l'évaluation financière du projet. Pour cela nous allons procéder à la détermination du devis estimatif du projet. C'est à dire à l'estimation de tous les corps d'états et les appareils de fonctionnement de la station de déferrisation

**Tableau 25: Cout de réalisation de la station de déferrisation**

Description	Quantité	Unité	Prix unitaire (FCFA)	pris total (F CFA)	Pris total en DH
"Amenée, mise à disposition pendant la durée des travaux et repli des installations de chantier et des infrastructures de contrôle, y compris toutes les sujétions liées à la demande d'autorisation, les raccordements en eau, électricité, téléphone, eaux usées. y compris tout le matériel nécessaire aux constructions, engins mécaniques, grues, échafaudages, coffrages, etc.	F	Ens	274 500 000	274 500 000	4488 170.80
Essais d'étanchéité: Ce poste comprend l'ensemble des prestations nécessaires à la tenue des essais d'étanchéité, pour l'ensemble des installations (ouvrages en béton et toutes canalisations). Les essais pourront être recommencés jusqu'à satisfaction sans indemnisation de l'entreprise.	F		1 620 000	1 620 000	26 487.57
Lavage et désinfection des ouvrages en béton Ce poste comprend l'ensemble des prestations nécessaires des ouvrages en béton, par nettoyage des surfaces avec un produit de nettoyage à base de chlore, à faire approuver par le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur.	F		2 430 000	2 430 000	39 731.35
Lavage et désinfection de toutes les canalisations	F		1 620 000	1 620 000	26 487.57
<b>SOUS.TOTAL</b>				<b>554 670 000</b>	<b>4580877.27</b>
<b>GENIE CIVIL ET BATIMENT</b> Travaux préparatoires terrassement. débroussaillage Terrassement et mis en dépôt Fourniture et mise en place de matériaux d'apport Réemploi des matériaux en remblai Réglage des profils de forme Transport à la décharge autorisée de terres excavées, dans un rayon de 4500 m				6 700 090	109548.81
cascades d'aération	F			15 876 000	259578.14

filtres lents sur sable	3U			23 032 000	376581.24
Bâtiment technique	2U			41 472 000	678081.67
Revêtements de sols	F	m <sup>2</sup>		7 660 800	125256.75
Peinture : Peinture appliquée en 2 couches comprenant toutes sujétions et notamment préparation des supports, protections de toute nature, Couleur à choix du Maître d'Ouvrage,	1200	m <sup>2</sup>		9 655 200	157865.89
Installations sanitaires: Conduites d'alimentation des différents appareils sanitaires. Appareils sanitaires selon descriptif des locaux par bâtiment, comprenant: - 2 WC complet - 2 douches complètes. Tuyaux d'écoulement en PVC pour les appareils sanitaires Fosse septique en maçonnerie avec dalle de couverture en béton armé pour 10 usagers.	F F F			10 000 000	163503.49
Étanchéité Travaux d'étanchéité comprenant toutes sujétions et notamment préparation des supports (ébarbage, nettoyage), exécution des travaux,...	100	m <sup>2</sup>	19 000	1900000	31065.66
<b>Drainage des eaux.</b>					
système complet de drainage des eaux de lavage des filtres				39578000	648819,672
SOUS.TOTAL				159 224 135	2610231,72
<b>Les équipements</b>					
équipements d'arrivée d'eau à la station	F			86872500	1424139,34
équipement de l'aération	F			10402000	170524,590
équipement des filtres	F			712800000	11685245,9
équipement de lavage des filtres	F			38700000	634426,229
sous total				848774500	1914336,07
<b>Total</b>				2344002953	38426277,9



## 6. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté le comportement du fer dans l'eau et suivant leur état et en fonction de cela plusieurs méthodes sont appliquées pour parvenir à leur élimination. Face à ces différentes méthodes, il faut choisir celle qui est la plus économique tout en assurant une bonne qualité de l'eau traitée.

C'est ainsi que nous considérons notre conception, qui est une procédé par oxydation adaptée à la situation de la station de déferrisation de la ville de KOLDA. Son coût qui est de 2344002953FCFA est favorable pour un pays en voie de développement.



# Chapitre III : Aspect Hydraulique



## I. Introduction

Le problème d'adduction d'eau potable est perçu en termes inégaux d'une localité à une autre au Sénégal. L'étude du système d'adduction d'eau potable de la ville de KOLDA a pour but de relever les différentes préoccupations des populations en matière d'eau, et de proposer un projet d'adduction d'eau potable à KOLDA.

En effet, il y a lieu de relever que d'énormes efforts doivent être faits pour la mobilisation aussi bien de moyens humains, matériels que de ressources financière afin de doter la ville d'un système d'alimentation en eau potable. Ce projet doit faire l'objet d'une étude de faisabilité afin de répondre à l'agrément du futur consommateur.

La présente étude dont l'objectif est de mettre en place un système d'adduction en eau potable efficace et durable, et de proposer des solutions techniques susceptibles de prémunir la ville de KOLDA contre les difficultés d'approvisionnement.

Ainsi, l'étude s'articule autour des points suivants :

- estimation du besoin ;
- dimensionnement du nouveau réseau d'adduction de la ville du KOLDA ;
- simulation hydraulique à l'aide du logiciel de simulation hydraulique EPANET.

## II. Description du logiciel EPANET

### 1. *Ce qu'est EPANET*

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression (ROSSMAN, 2003). Un réseau est un ensemble de tuyaux, nœuds (jonctions de tuyau), pompes, vannes, bâches et réservoirs. EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs, et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes. Le logiciel est également capable de calculer les temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.



EPANET permet une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution.

En voici quelques exemples:

- ✓ définition d'un programme de prélèvement d'échantillons;
- ✓ calage d'un modèle hydraulique ;
- ✓ simulation du chlore résiduel ;
- ✓ estimation de l'exposition de la population à une substance.

EPANET offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau, comme par exemple:

- ✓ utilisation en alternance des différentes ressources du système ;
- ✓ modifier le régime de pompage ou de marnage des réservoirs ;
- ✓ préciser l'usage des stations de chloration (ou autres retraitements) en réseau ;
- ✓ planifier l'entretien et le remplacement de certaines canalisations.

Disponible sous Windows, EPANET fournit un environnement intégré pour l'édition de données de réseau, pour l'exécution de simulations hydrauliques et de simulations qualité, et pour l'affichage des résultats sous plusieurs formats (des cartes avec des codes couleurs, des tableaux et des graphiques).



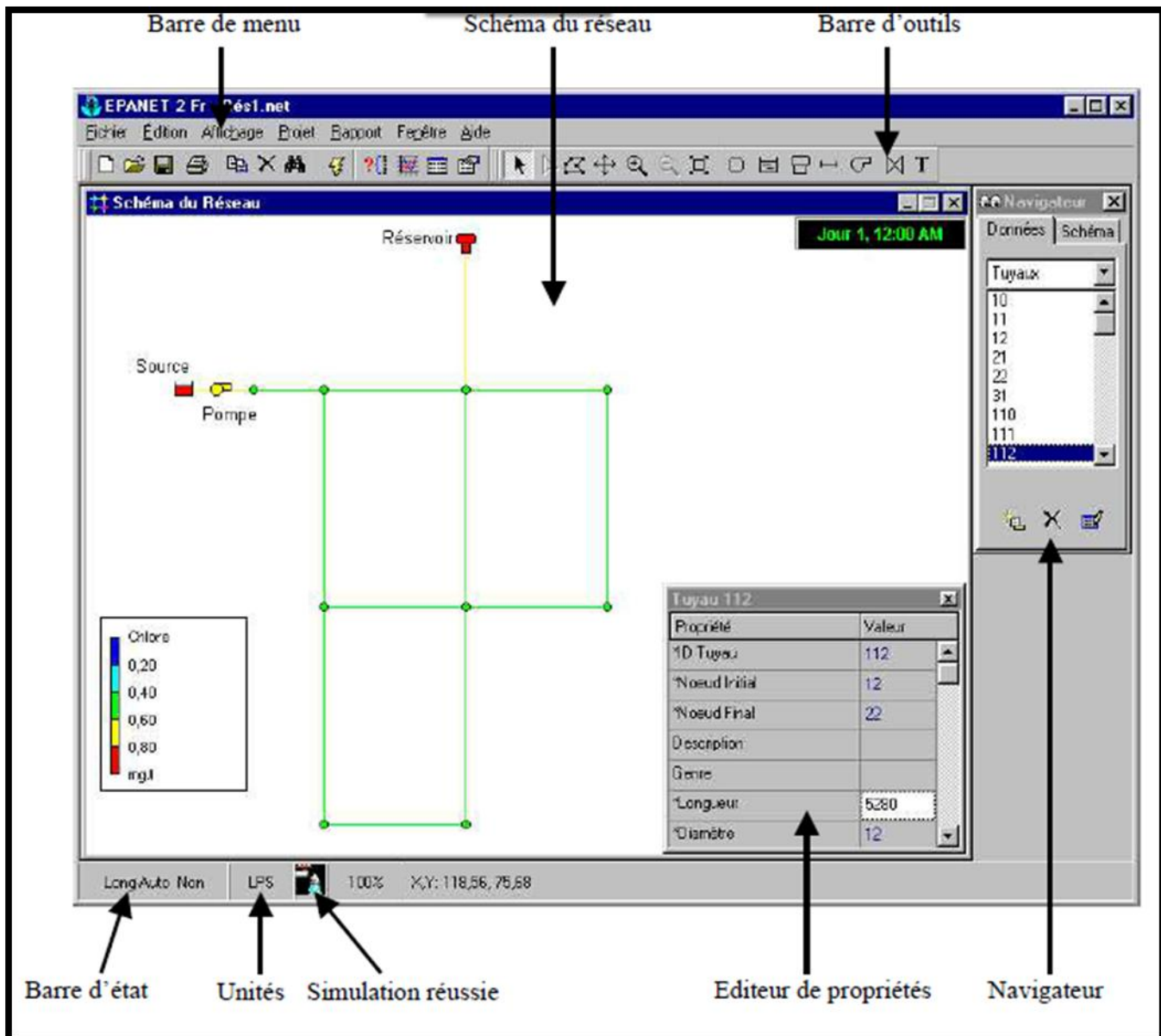


Figure 15: Les composantes du logiciel de simulation EPANET

## 2. Capacités pour la Modélisation Hydraulique

Une modélisation hydraulique scrupuleuse et complète est la première condition pour pouvoir modéliser la qualité de l'eau de manière efficace. EPANET contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes:

- ✓ La taille du réseau étudié est illimitée ;



- ✓ Pour calculer les pertes de charge dues à la friction, il dispose des formules de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, et Chezy-Manning ;
- ✓ Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc. ;
- ✓ Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable ;
- ✓ Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût.
- ✓ Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- ✓ Les réservoirs peuvent avoir des formes variées (le diamètre peut varier avec la hauteur).
- ✓ Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacune avec une caractéristique propre.
- ✓ Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression (buses par exemple).
- ✓ Le fonctionnement de station de pompage peut être piloté par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir) ou des commandes élaborées plus complexes.

### 3. Capacités pour la Modélisation de la Qualité de l'Eau

En plus des simulations hydrauliques, EPANET peut modéliser la qualité de l'eau ; on dispose ainsi des capacités suivantes:

- ✓ Modélisation du déplacement d'un traceur pendant la durée de la simulation.
- ✓ Modélisation des déplacements et les variations de concentration en plus ou en moins que subit une substance (par exemple un produit secondaire de désinfection, ou du chlore résiduel).
- ✓ Modélisation du temps de séjour de l'eau dans le réseau.
- ✓ Indication à chaque nœud de la proportion d'eau provenant d'une ressource distincte.
- ✓ Modélisation des réactions d'évolution de la qualité de l'eau dans la masse et aux parois.
- ✓ Utilisation des cinétiques d'ordre n pour calculer les réactions dans la masse d'eau.
- ✓ Utilisation des cinétiques d'ordre un ou zéro pour calculer les réactions aux parois des tuyaux.
- ✓ Limitations de transfert de masse pour modéliser les réactions aux parois.
- ✓ Fixation d'une concentration limite des réactions.
- ✓ Utilisation des coefficients de vitesse de réaction globale et des coefficients spécifiques pour certains tuyaux.
- ✓ Etablissement d'une corrélation entre les coefficients de vitesse de réaction au niveau de la paroi en fonction de la rugosité du tuyau.
- ✓ Introduction d'une substance quelconque à différents emplacements du réseau variant dans le temps en débit massique ou en concentration.



- ✓ Mélange d'eau dans les réservoirs : mélange parfait, à flux piston ou en deux compartiments.

#### 4. Les Étapes de l'Utilisation d'EPANET

Les étapes classiques de l'utilisation d'EPANET pour modéliser un système de distribution d'eau sont les suivantes:

- Dessiner un réseau représentant le système de distribution (figure 15) ou importer une description de base du réseau enregistrée dans un fichier au format texte);
- Saisir les propriétés des éléments du réseau ;
- Décrire le fonctionnement système;
- Sélectionner un ensemble d'options de simulation;
- Lancer une simulation hydraulique ou une analyse de la qualité;
- Visualiser les résultats d'une simulation.

### III. La situation actuelle du système d'adduction de la ville du Kolda

#### 1. Source d'eau du forage

La nappe captée est le Maestrichien. Ce forage à un niveau statique de 15,0 m et un niveau dynamique de 20,0 m.

La nappe du Maestrichtien couvre tout le Sénégal. C'est une nappe d'interstice. Sa profondeur varie entre 100 et 150 m. Dans certaines zones elle varie entre 300 et 500 m. Les débits dans cette nappe varient entre 150 et 200 m<sup>3</sup>/h.

#### 2. Caractéristiques du réseau existant

Le réseau existant est constitué d'un réservoir surélevé de stockage d'eau de 600 m<sup>3</sup> à 22 m de hauteur sous radier. Le forage refoule vers ce réservoir qui lui est distant d'environ 270 m, grâce à une conduite en PVC de diamètre 250 mm.

L'alimentation de l'ensemble du réseau de distribution qui fait 69720 mètres linéaires de conduites, se fait par à partir du réservoir par une conduite de distribution en PVC de diamètre 315 mm. Le réseau comporte 1477 prises soit un taux de raccordement de 24 %.

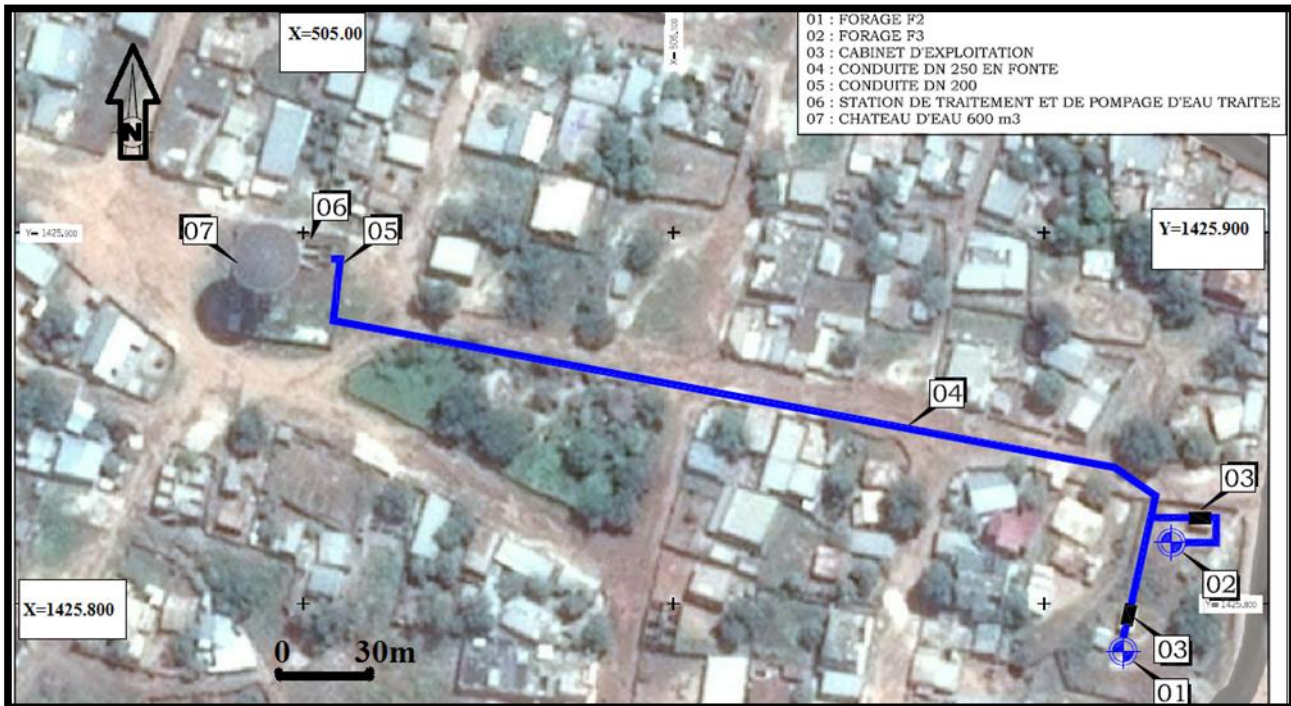


Figure 16: Plan de situation du système d'AEP de la ville de KOLDA

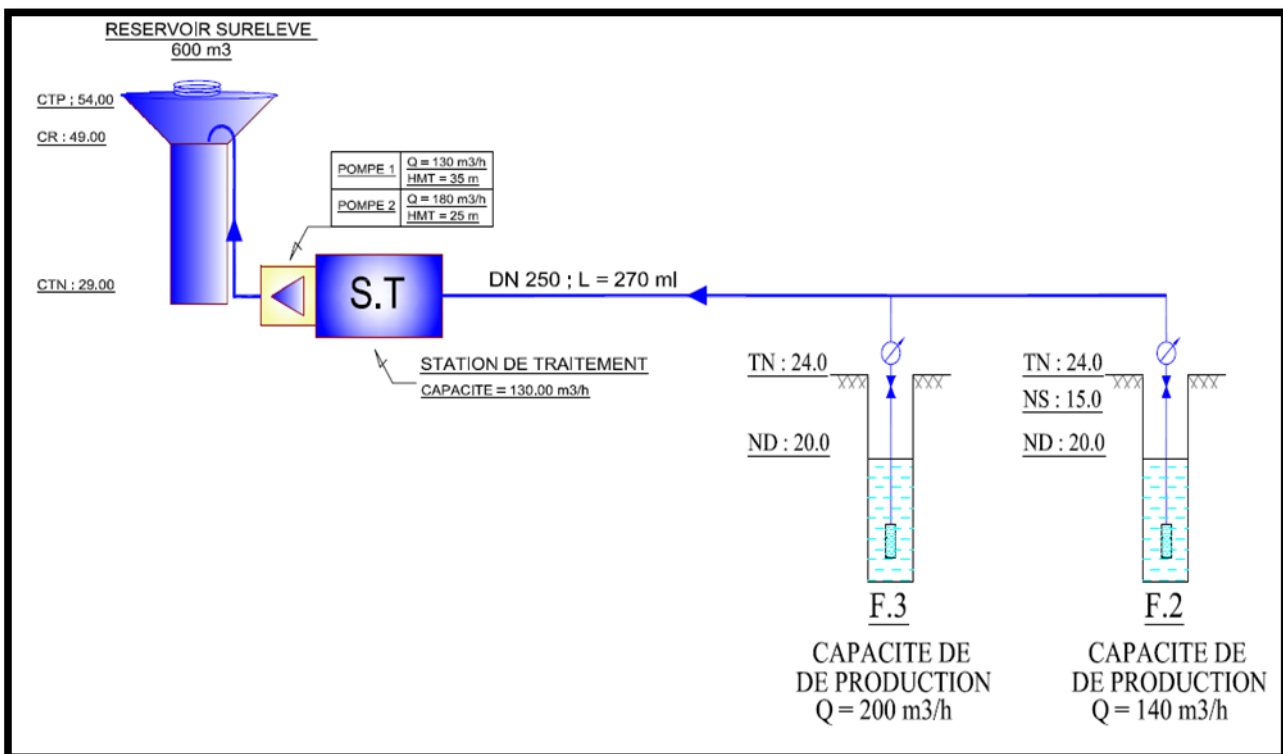


Figure 17: Les systèmes d'AEP actuel de KOLDA schéma synoptique



## IV. Le dimensionnement du nouveau système d'adduction de la ville du KOLDA

Une bonne étude de l'alimentation en eau potable d'une agglomération nécessite la connaissance de certains paramètres fondamentaux pour le bon dimensionnement du réseau d'adduction (AAYA, 2010). L'hypothèse de base est d'évaluer le besoin en eau suffisant pour un bon dimensionnement du nouveau système d'adduction de la ville de KOLDA.

### 1. Evaluation du besoin en eau

L'estimation des besoins en eau est délicate, car ceux-ci peuvent varier d'une région à l'autre (MORARECH 2014), ou même au sein de la même agglomération en fonction du temps (heure de pointe, jour de pointe) Cette estimation en eau dépend de plusieurs facteurs (Horizon du dimensionnement, l'augmentation de la population, équipements sanitaires, niveau de vie de la population...).

#### 1.1. Horizon du dimensionnement

L'horizon de dimensionnement du projet est fixé à **2030**, conformément aux termes de références (TDR) qui confèrent au système une capacité de satisfaire les demandes des populations pour une période de 10 ans après sa mise en exploitation.

#### 1.2. Population

Des informations recueillies auprès de l'agence des statistiques et de la démographie attestent que la population totale de la ville du KOLDA est **117 970** habitants(2025). Ce qui nous donne un total de population au départ de notre projet (2020) de **100 631 habitants**.

La population de la ville de KOLDA suit une évolution démographique avec un taux d'accroissement annuel de **3.17%**.

En retenant le taux de croissance de **3.17 %** pour l'estimation de la population et une période de dimensionnement de 10 ans, nous avons :





$$P_n = P_0 \times (1 + at)^n$$

$P_0$  : population de 2025

$P_n$  : population de l'année cherchée (2030)

$a$  : accroissement de la population

$n$  : nombre d'années de la période de dimensionnement.

On appliquant la méthode rationnelle on trouve :

$$P_{2030} = 117\,970 \times (1 + 0.024)^5$$

La population est estimée donc à **132 822 habitants**, à l'horizon de dimensionnement des équipements (2030).

Tableau 26: Evaluation de la population pour différent horizon

Années	2015	2020	2025	2030
Evaluation de la Population	86 200	100 600	117 900	132 822

### 1.3. Consommation de la population

De nombreuses études ont été faites sur le taux de consommation d'eau par jour et par habitant pour les zones rurales et urbaines dans les pays du Tiers Monde.

D'après le cours d'approvisionnement en eau potable (ZOUNGRANA, 2003) et en termes de quantité, La demande spécifique (l/j/hab.) est fonction du niveau de vie, de la culture des populations et des niveaux d'équipement sanitaire. On distingue deux niveaux dont les valeurs usuelles sont listées : Les besoins vitaux : eau de boisson, cuisson d'aliments, hygiène corporelle, vaisselle et lessive.

- milieu rural 15 à 25 l/j/hab.
- milieu urbain 25 à 100 l/j/hab.

Tableau 27: Exemple de consommation minimale d'eau - milieu urbain et rural (ZOUNGRANA, 2003)

Usage	Consommation moyenne (l/j/hab) Zone rurale	Consommation moyenne (l/j/hab) Zone urbaine



Boisson	3	7
Cuisine	0.5	7
Lavage des mains	0.5	5
Hygiène corporelle	11	40
Vaisselle	1	8
Lessive	4	6
Total	20	73

Ce besoin tient compte des besoins domestiques, nous l'adopterons pour notre projet.

La demande liée au niveau de vie et les habitudes culturelles : WC à chasse, bain ou douche à eau courante, évier et lavabo, nettoyage, arrosage de pelouse, piscine etc.

❖ milieu urbain et semi-urbain 25 à 100 l/j/hab.

#### 1.4. Coefficients de pointe

Pour tenir compte des habitudes et des comportements en matière d'utilisation d'eau potable dans les centres, il est retenu le coefficient de pointe suivant :

##### 1.4.1. Le coefficient de pointe journalière

Le coefficient de pointe journalière ( $C_{pj}$ ) exprime le retour de façon cyclique du comportement des usagers au cours de la semaine ; Les pointes de consommations se situent aux jours de grande lessive et de repos hebdomadaires. Le coefficient de pointe journalière est indépendant de la saison. Il varie entre 1.05 et 1.3.

$$C_{pj} = D_{JP} / D_{jmp}$$

où :

$D_{JP}$  : Demande du jour de pointe (m<sup>3</sup>/j)

$D_{jmp}$  : Demande journalière moyenne du mois de pointe

##### 1.4.2. Pourcentage de perte totale



Les statistiques montrent que pour les centres équipés de systèmes d'adduction d'eau potable, les rendements (ZOUNGRANA, 2003) sont généralement plus élevés (98%).

## 2. Etude de variation des débits

Au sein d'une agglomération ; l'eau appelée à la consommation varie dans le temps ; cette variation peut être journalière, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle et dépend du mode de vie de la population. Par ailleurs, il faut noter que l'existence des fuites et de gaspillage, occasionnée au niveau du réseau en fonction de l'état de ce dernier est liée à tous ces facteurs. Pour tenir compte de l'irrégularité de la consommation ; nous devons prendre en considération un certain nombre de coefficients d'irrégularité.

### 2.1. Coefficient d'irrégularité journalier maximal

Qui est défini comme le rapport entre la consommation maximale journalière ( $Q_{\max j}$ ) et la consommation moyenne journalière ( $Q_{\text{moy } j}$ ) :

$$K_{\max j} = Q_{\max j} / Q_{\text{moy } j}$$

Dans la pratique  $K_{\max j} = 1.05$  à  $1.3$  besoin domestique.

$K_{\max j} = 1$  autre besoin.

Donc on tire :

$$Q_{\max j} = K_{\max j} * Q_{\text{moy } j}$$

### 2.2. Coefficient d'irrégularité journalier minimal :

Ce coefficient est défini comme étant le rapport entre la consommation journalière minimal et la consommation moyen journalière ; il ne peut pas permettre de connaître le débit minimal journalier, en envisageant une sous consommation en fonction de l'importance de l'agglomération, il varie entre 0.7 et 0.9.

$$K_{\min j} = Q_{\min j} / Q_{\text{moy } j}$$





Donc :

### 2.3. Détermination du débit de pointe :

La détermination de débit de pointe s'effectue en fonction du nombre d'habitations du degré de développement des installations sanitaires et de régime de consommation.

La connaissance de ce débit est fondamentale dans un projet AEP. Ceci nous permet de connaître les heures pendant lesquelles la consommation est maximale (heure de pointes), afin de dimensionner le réseau de distributions à l'intérieur de l'agglomération.

Pour déterminer le débit nous devons aussi prendre en compte le coefficient d'irrégularité horaire.

Le débit de pointe est donné par :

$$Q_p = K_p * Q_{moy}$$

Avec :

$Q_p$  : débit de pointe.

$Q_{moy}$  : débit moyen journalier.

$K_p$  : coefficient de pointe.

### 3. Besoin totale en eau

Tout d'abord, commençons par donner quelques définitions qui peuvent être utiles pour la suite du travail.

- **Consommation unitaire et globale**

C'est le rapport de la production moyenne journalière et de la population desservie. Elle est aussi appelée consommation moyenne en litre/habitant/jour.

$$CUG = \frac{\text{Production journalière moyenne}}{\text{Population desservie}}$$

- **Consommation moyenne annuelle**

C'est le volume d'eau consommée pendant un an en  $m^3$ .

$$CUG = \frac{\text{Production journalière moyenne}}{\text{Population desservie}}$$



- **Consommation journalière moyenne**

C'est le volume d'eau consommée pendant un an divisé par 365 jours en m<sup>3</sup>.

Comme la ville de Kolda est une commune urbaine, nous avons supposé la consommation spécifique (Cs) de la population en générale à 63 litres par habitant par jour.

Nous supposerons également des besoins annexes qui s'estimeront à 10% du besoin de la population.

Avec un rendement du réseau de  $\eta=98\%$ , la quantité d'eau qu'il faudra pour satisfaire la demande de la population sera obtenue par le tableau suivant :

**Tableau 28: Besoin de production**

Branchement								Product (m3/j)
BA	132 822	73	9 696 006	9696,006	1,3	12604,80	2	12 856,90396

#### 4. Demande en eau

Il est important de noter que pour un type de branchement ou pour un autre, il existe quelques paramètres qui entrent en jeu pour l'estimation de cette demande. Ces paramètres sont : Le temps d'utilisation et d'autres consommations industrielles.

- Pour les temps d'utilisation, nous avons considéré 24 heures par jour.

**Tableau 29: Demande en eau**

Branchement	Temps d'utilisation/j	Q <sub>mh</sub> (m3/h)
BA	24	533,44

- Pour les débits annexes nous avons considéré 10% du débit calculé

**Tableau 30: Demande en eau total**

Branchement	Débit annexe(10%)en (m <sup>3</sup> /h)	Débit annexe (10%)en (l/s)	Débit totalen (m3/h)	Débit total en(l/s)
-------------	---	-------------------------------	-------------------------	---------------------



BA	<b>53,34</b>	<b>14,81</b>	<b>587</b>	<b>163</b>
----	--------------	--------------	------------	------------

**Tableau 31: Fiche besoin en eau détaillée de la ville de Kolda**

ANNEES	2013	2015	2020	2025	2030
POPULATION (1000hab)	<b>81,1</b>	<b>86,2</b>	<b>100,6</b>	<b>118,0</b>	<b>132,82</b>
TAUX D'ACCROISSEMENT (%)		<b>3,07%</b>	<b>3,15%</b>	<b>3,23%</b>	<b>3,23%</b>
TAUX DE BRANCHEMENT (%)		<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
DOTATIONS (l/hab/j)					
Population branchée		<b>63</b>	<b>63</b>	<b>63</b>	<b>63</b>
Population non branchée		<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
Administrative		<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
Autre		-	-	-	-
Globale nette		<b>73</b>	<b>73</b>	<b>73</b>	<b>73</b>
CONSOMMATION (m3/j)					
Population branchée		<b>5210,8</b>	<b>6086,2</b>	<b>7134,8</b>	<b>7146,4</b>
Population non branchée		<b>75,8</b>	<b>88,6</b>	<b>103,8</b>	<b>104,0</b>
Administrative		<b>413,6</b>	<b>483,0</b>	<b>566,3</b>	<b>567,2</b>
Autre (10 %)		<b>570,0</b>	<b>665,8</b>	<b>780,5</b>	<b>781,8</b>
Totale		<b>6270,2</b>	<b>7323,5</b>	<b>8585,4</b>	<b>8599,3</b>
RENDEMENTS (%)					
Réseau		<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
Adduction		<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>	<b>98</b>
Global		<b>76</b>	<b>76</b>	<b>76</b>	<b>76</b>
DISTRIBUTION (l/s)					
Besoins Moyens		<b>90,7</b>	<b>106,0</b>	<b>124,2</b>	<b>124,4</b>
Besoins de Pointe		<b>136,1</b>	<b>158,9</b>	<b>186,3</b>	<b>186,6</b>
PRODUCTION (l/s)					
Besoins Moyens		<b>95,5</b>	<b>111,5</b>	<b>130,7</b>	<b>163</b>
Besoins de Pointe		<b>143,2</b>	<b>167,3</b>	<b>193,2</b>	<b>196,4</b>
Débit de dimensionnement (m <sup>3</sup> /h)			<b>587</b>		

## 5. Ressources en eau

Le forage la station de déferrisation et le château seront diamétralement dans la même localité par rapport à la ville.

Le dimensionnement du nouveau système d'adduction sera de la manière suivante :

- le refoulement-station de déferrisation : les pompes refoulent de forages directement dans la station de déferrisation ;
- station de déferrisation-réservoir : les pompes pompent pour alimenter la ville et excédent remonte au château. Si le château est plein on arrête les pompes et l'alimentation est alors assurée par le château ;
- réservoir-distribution : les pompes débitent dans le château qui distribue l'eau dans le réseau. Dans ce cas, il faut prévoir un clapet anti retour.
- Débit de pointe journalier est de **14 400** avec un temps de pompage de 24 heures par jour.

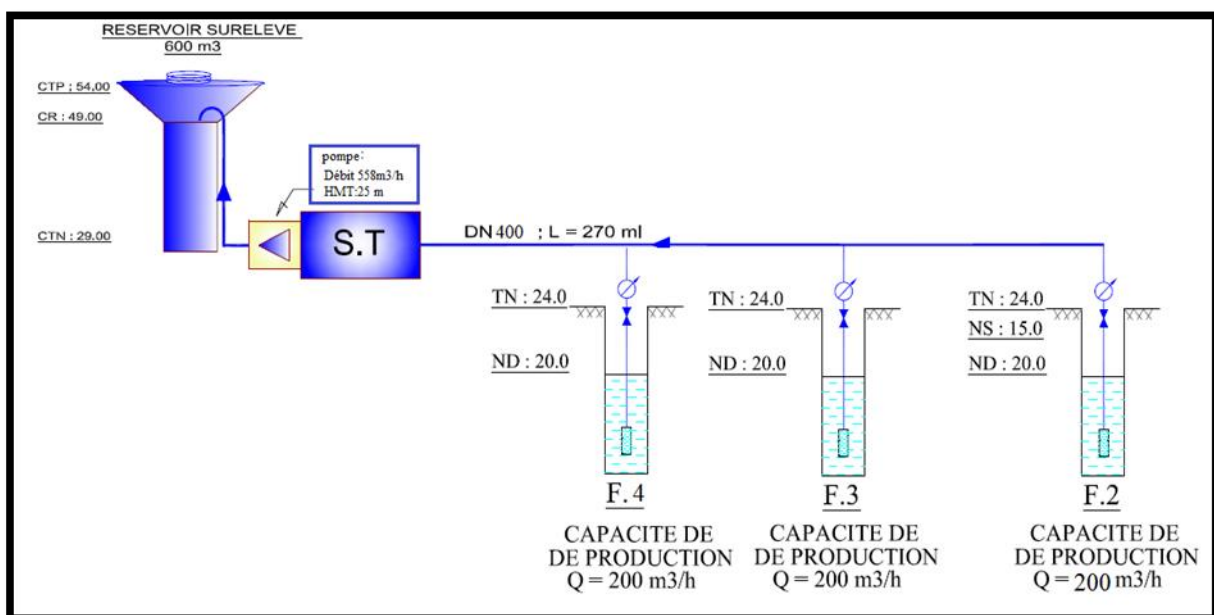


Figure 18: Le nouveau système d'AEP de la ville de Kolda schéma synoptique

## 6. Dimensionnement du réseau

### 6.1. Méthode de calcul

Après avoir évalué les besoins en eau de la population, il nous appartient de faire un choix convenable de réseau (VAZQUEZ, 2006), à mettre en place pour distribuer de l'eau à la population. L'objectif est de parvenir à satisfaire la demande des consommateurs tant en débit qu'en pression (DINEPA, 2013) et pour cela, différents tronçons de canalisation du réseau d'adduction devront avoir des diamètres des pertes de charges optimum et seront dimensionnés en conséquence.

#### 6.1.1. Calcul de diamètre



Dans la pratique le diamètre optimal est déterminé par rapport à une fourchette de vitesse à respecter, ce diamètre est déterminé approximativement par le formule de BRESS modifiée pour déterminer les diamètres des conduites d'adduction d'eau, cette formules est donnée comme suite :

Formule de Bresse modifiée :

$$D = 0.8 * Q^{1/3}$$

D : est diamètre(m)

Q : est débit (m<sup>3</sup>/h)

#### ❖ Tronçon Forage-station de déferrisation

$$D = 0.8(Q)^{1/3} = 0.437$$

Condition de vitesse pour les systèmes d'adduction ;

$$0.5 \leq V \leq 2 \text{ m/s}$$

Vérification de condition de vitesse:

$$V = 4 * Q / 3.14 * D^2$$

Pour DN=437 la condition de vitesse minimale(V=1.08m/s) est respectée.

Nous retiendrons donc pour le tronçon forage-station de déferrisation une conduite de DN=400mm.

#### ❖ Tronçon station de déferrisation-réservoir

A cause des pertes de traitement qui sont de deux ordres, notamment pour les stations de traitement d'eau. C'est d'abord l'eau perdue avec les boues lors des purges des décanteurs. C'est ensuite l'eau de service utilisée pour le lavage des filtres, les fuites obligatoires des pompes de refoulement. La moyenne admissible des pertes se situe entre 4 et 5% ; d'où un rendement des installations autour de 95%.

Taux de rendement > 95%

Donc le débit en sortie de la station de déferrisation sera :

$$Q = 587 * 0.95 / 1$$
$$Q = 557,65 \text{ m}^3/\text{h}$$



$$D = 0.8 (Q)^{1/3} = 0.429\text{m}$$

Vérification de condition de vitesse

$$V = 4 * Q / 3.14 * D^2 = 1.07\text{m/s}$$

Pour DN=427mm la condition de vitesse minimale est respectée

Nous retiendrons donc pour le tronçon forage-station de déferrisation une conduite de DN=400mm.

### ❖ Tronçons distribution

Les pertes de distribution sont d'abord les fuites constatées sur le réseau de distribution lui-même. Ensuite les pertes d'eau avant compteur sur les branchements qui sont souvent négligées par certains exploitants et qui peuvent représenter plus de 50% de pertes totales. Les pertes dépendent de la nature des conduites, leur vétusté, de l'entretien et le renouvellement des branchements particuliers, de la surveillance et du délai d'intervention à l'occasion des fuites signalées. Les fuites les plus importantes arrivent pendant les périodes de basse consommation pendant que la pression est la plus élevée dans le réseau. Il est communément admis que le ratio technico-économique de perte au cours du transport et de la distribution varie entre 10% à 20%.

Taux de rendement > 85%

$$Q = 557.65 * 0.85 / 1$$
$$Q = 474 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D = 0.8 (Q)^{1/3} = 0.406\text{m}$$

Vérification de condition de vitesse

$$V = 1.01\text{m/s}$$

Pour DN= 404 la condition de vitesse minimale est respectée

Nous retiendrons donc pour ce tronçon une conduite de DN=400 mm

#### 6.1.2. Calcul de perte de charge

On distingue deux types de pertes de charges. Les pertes de charges linéaires ou régulières et les pertes de charges singulières ou locales :

##### a) Les pertes de charges linéaires



Elles sont dues aux frottements de l'eau contre les parois des conduites et les turbulences provoquées par ces effets. Elles dépendent en toute rigueur des caractéristiques de l'eau (viscosité, régime d'écoulement, température etc.), et des caractéristiques de la conduite (longueur, rugosité des parois, diamètre intérieur etc.). Pour le calcul des pertes de charges linéaires Les pertes de charge linéaire est déterminé par la formule suivante :

$$\Delta h_L = J * L$$

D'où

J : le gradient de la perte de charge.

L : la longueur de tronçon

La formule de calcul de gradient de Darcy-Weibach, est donnée par l'équation suivante

$$J = (u * V^2) / (D * 2g)$$

Avec :

J : perte de charge par frottement en mètre de colonne d'eau par Mètre de tuyau.

V: vitesse de l'eau dans la section.

g : accélération de la pesanteur ( $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ ).

u : coefficient de frottement linéaire..

D : diamètre de la conduite d'adduction.

#### b) Perte de charge singulière

Elles sont dues aux modifications brusques de l'écoulement au niveau des singularités telles que:

- Changement de section: rétrécissement, élargissement;
- Changement de direction: coudes, Tés, etc;
- Au niveau des appareils de contrôle et de suivi: vannes.

On considère généralement que les pertes de charge singulières sont égales à 15% des pertes de charge linéaire

$$\Delta h_s = 15\% \Delta h_L = 0.15 \Delta h_L$$

Par suite la perte de charge totale sera donnée comme suite :

$$\Delta H_T = \Delta h_L + \Delta h_s = 1.15 \Delta h_L$$

Avec :



$\Delta H_T$  : perte de charge totale (m)

$\Delta h_s$  : perte de charge singulière.

$\Delta h_L$  : perte de charge linéaire.

A la fin on trouve :

6.2. Application et calcul

$$\Delta H_T = 1.15 J.L$$

Les résultats de l'application des différentes équations pour le calcul des caractéristiques des nœuds et des arcs dans le système d'adduction sont résumés dans les tableaux ci-dessous.

**Tableau 32: Calcul des caractéristiques des nœuds**

ID Noeud	Demande m <sup>3</sup> /h	Charge (m)	Pression	Qualité
Nœud 2	587	20.12	10.12	-
Nœud 4	558	20.30	12.30	-
Forage	587	20	-	-
Station de déferrisation	558	20	-	-
Réservoir	474	24	-	-

ID Arc	Diamètre	Débit m <sup>3</sup> /h	vitesse m/s	Facteur de friction	Perte de charge linéaire(m/km)	Perte de charge singulière (m/km)	Etat du tuyau
Tuyau 1	400	587	1.08	0.017	5.86	0.88	Ouvert
Tuyau 2	400	587	1.07	0.017	6.26	0.94	Ouvert
Tuyau 3	400	558	1.01	0.016	4.2	0.63	Ouvert
Tuyau 4	400	474	1.00	0.018	5.06	0.76	Ouvert
pompe1	-	587	-	-	-	-	Ouvert
Pompe2	-	558	-	-	-	-	Ouvert

**Tableau 33: Calcul des caractéristiques des arcs**

### 6.3. Simulation hydraulique

La méthode utilisée par le logiciel pour calculer les équations de perte de charge et de conservation de masse qui caractérisent l'état hydraulique du réseau est décrite par l'approche de Todini ou encore la méthode du gradient.





Cette méthode commence par une estimation initiale des débits dans chaque tuyaux qui peut ou non répondre à l'équation de conservation de la masse.

Ainsi, EPANET calcule le débit dans chaque tuyau, la pression à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs et la concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes.

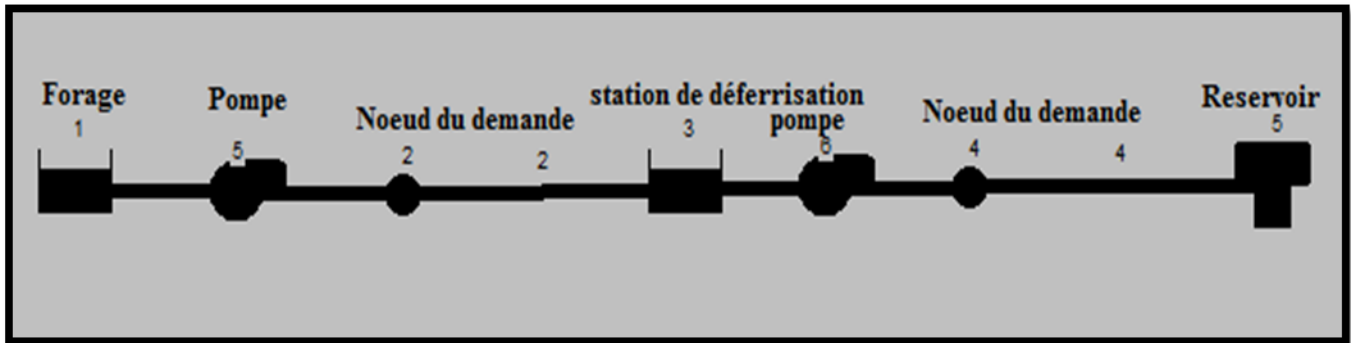


Figure 19 : Réseau d'adduction de la ville de Kolda dimensionné par le logiciel EPANET

L'objectif de cette étude est de parvenir à satisfaire la demande des consommateurs tant en débit qu'en pression, vitesse pour cela, différents tronçons de canalisation du réseau d'adduction devront avoir des diamètres optimum et seront dimensionnés en conséquence :

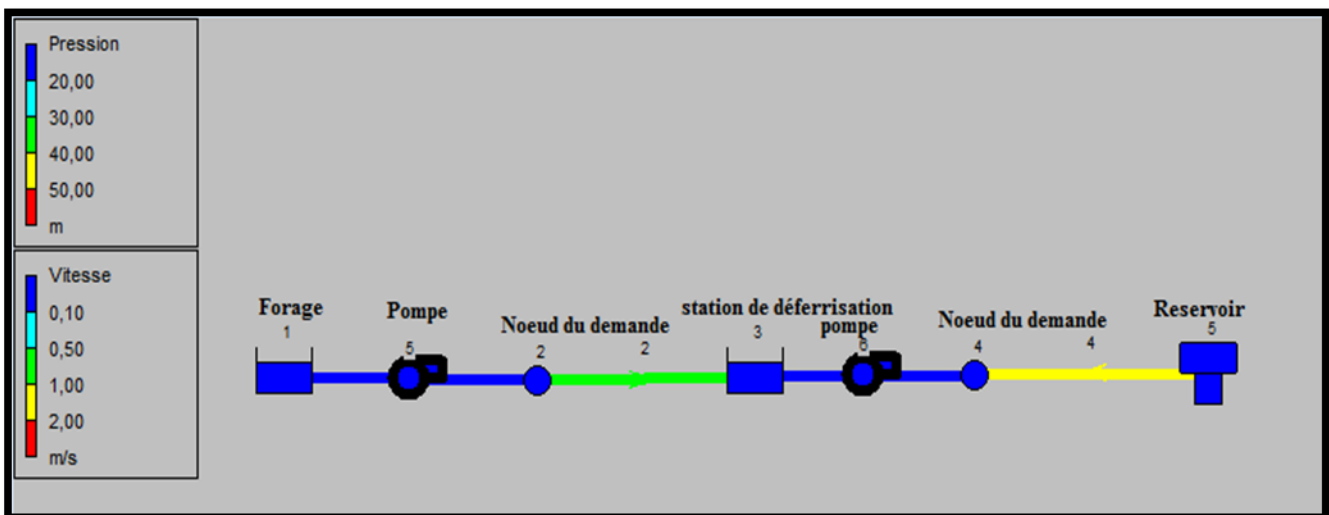


Figure 20: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET

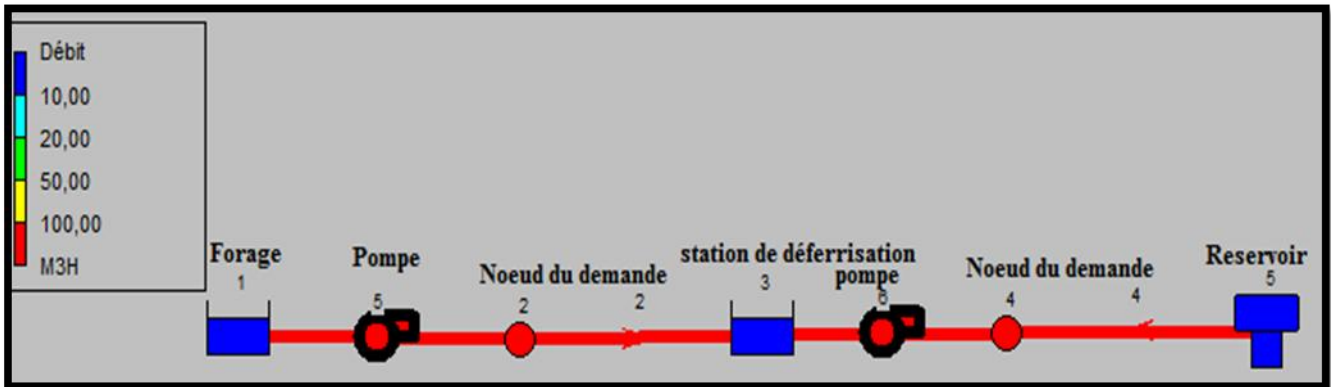


Figure 21: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET

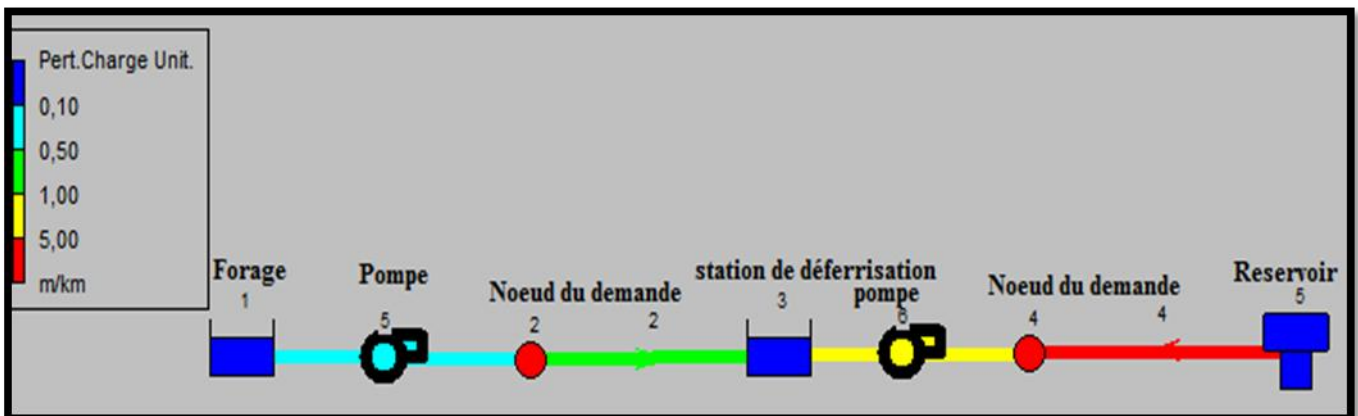


Figure 22: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET

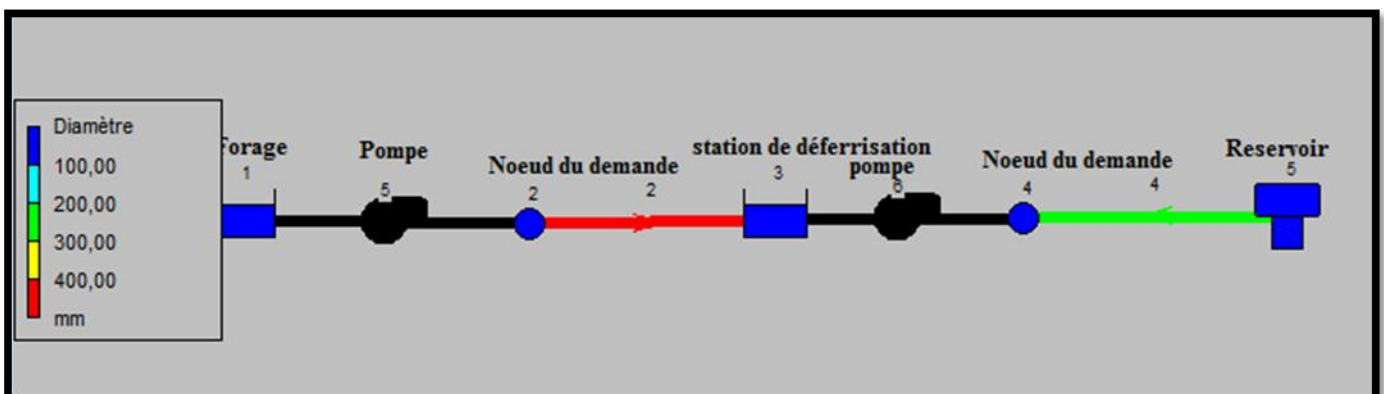


Figure 23: Réseau d'adduction de la ville de Kolda simulé par le logiciel EPANET

## Analyse et interprétation des résultats



Ces résultats sont donnés sous forme de figures. Ils présentent l'état des nœuds et des arcs après la réalisation d'une simulation à longue durée par le logiciel de simulation hydraulique Epanet pendant toutes les heures de la journée. Nous présentons les résultats à 12 h : 00, heure qui fait partie des heures les plus critiques c'est-à-dire les pointes.

Les résultats du dimensionnement dépendent en grande partie des paramètres d'entrée du logiciel. En effet, les principaux facteurs ayant servi au dimensionnement ont été déterminés et fournis au logiciel de simulation hydraulique. Cela laisse supposer donc un résultat connu à l'avance et facilite l'interprétation de ce dernier. Les paramètres calculés sont les diamètres des canalisations, les débits, les vitesses d'écoulement et les pertes de charges linéaires et singulières.

Les figures au dessus montrent que sur le réseau d'adduction, toutes les pressions sont supérieures à la pression desservie exigée pour un système d'adduction à savoir 10 m (figure 20). Nous avons des vitesses raisonnables entre 0.5 et 2 m/s dans tous les tronçons (figure 20). Ainsi des pertes de charges (figure 22) et des débits satisfaisant la demande des consommateurs de la ville de KOLDA (figure 21).

Le diamètre des tronçons ont été déterminés par la méthode de Bresse, et fournis au logiciel de simulation hydraulique afin de tester sa fiabilité. En ce qui concerne le tronçon forage –station de déferrisation, le diamètre a montré son efficacité et surtout avec les autres paramètres calculés. Alors que pour le tronçon station de déferrisation-nœud de demande 4, il était nécessaire de diminuer le diamètre nominal de 400mm à 300mm. Aussi de diminuer le diamètre de 400mm à 200mm pour le tronçon nœud 4-réservoir. Afin d'avoir des pressions supérieures à 10m et des vitesses d'écoulement entre 0.5 et 2m/s nécessaire pour satisfaire les besoins de la population de la ville de KOLDA.

Les résultats de simulation nous donnent l'état des Nœuds et des tuyaux du réseau à l'heure de pointe, même heure choisie avec le calcul classique. Les résultats obtenus sont légèrement satisfaisant à ceux trouvés précédemment. En effet, EPANET tient compte de l'évolution du niveau de l'eau dans le réservoir ce qui n'est pas le cas pour le calcul classique où la cote du réservoir est



supposée fixe et égale à celle de son radier. EPANET donne donc des résultats plus proches de la réalité.

La ville de KOLDA dispose d'un seul réservoir avec une capacité de 600 m<sup>3</sup>/h. Cette capacité ne pose pas de problème au niveau du dimensionnement du système d'adduction car on propose l'utilisation d'une conduite By-pass qui permet d'alimenter directement la conduite de distribution sans passer par le réservoir au cas de son remplissage. Mais cette capacité est largement insuffisante pour un dimensionnement à l'horizon de 2030 du système de distribution, et elle peut causer des problèmes au niveau de la satisfaction de la pression. D'où l'importance de l'implantation d'un deuxième réservoir avec une capacité de 1000 m<sup>3</sup>/h pour éviter tout problème de manque de pression dans le système de distribution.

Cette solution permet de résoudre à long terme les problèmes de pression existants dans le réseau de distribution.

## 7. Conclusion

Le débit de pointe horaire de 163 l/s nécessaire pour la satisfaction des besoins de la ville de KOLDA, sera véhiculé à l'intermédiaire d'une conduite PVC DN 400, à partir du forage se situant à environ 270 m du réservoir de distribution.

## Conclusions et recommandations

Dans ce travail, on a abordé les divers aspects de la mise en place d'un système d'adduction de l'eau potable et du traitement de la qualité de cette eau au sein de la ville de KOLDA au Sénégal. Il convient de relever que le problème lié à l'eau potable n'est pas totalement résolu au Sénégal. Car sur l'ensemble du territoire, le besoin de l'eau destinée à la consommation humaine reste encore grand. Compte tenu du caractère indispensable de cette ressource dans la commune de KOLDA, on a fait l'étude d'un système d'AEP pour permettre à toute la population d'avoir accès à l'eau potable avec une qualité qui réponde aux exigences de l'OMS par la diminution de la concentration élevée du fer dans l'eau à 0.3mg/l.

Pendant la réalisation de cette étude, on a présenté le comportement du fer dans l'eau de la nappe maestrichtienne et en fonction de cela nous avons proposé plusieurs méthodes qui sont appliquées pour parvenir à son élimination. Face à ces différentes méthodes, on a choisi la plus économique tout en assurant une bonne qualité de l'eau traitée (système d'oxydation du fer par les cascades d'aération suivie d'une filtration). Le coût de construction et de gestion de la station de déferrisation est de 2 344 002 953FCFA raisonnable pour un pays en voie de développement.



L'analyse du système d'adduction actuel de la ville de KOLDA pour transporter l'eau à la station de déferrisation et au château a montré l'insuffisance de ce système et qu'il est nécessaire de redimensionner ce système d'adduction afin d'assurer un débit suffisant et une pression raisonnable aux usagers. Le redimensionnement du nouveau système d'adduction repose sur une analyse concise et détaillée de la demande totale en eau potable de la ville. L'analyse globale de la demande en eau a permis de conclure qu'un volume journalier de 12803 m<sup>3</sup> serait nécessaire pour une alimentation correcte de la population de la ville de KOLDA.

Au terme de ce travail, une plus grande implication des services locaux de la ville dans la gestion de l'eau potable et une mobilisation de moyens financiers est souhaitée. Etant donné que l'approvisionnement en eau potable est un critère de développement, on a estimé de proposer un certain nombre de recommandations. Il s'agit notamment d'œuvrer à :

- une plus grande implication des élus locaux dans la gestion de l'eau ;
- un dimensionnement d'un système de distribution de l'eau dans la ville et les zones périphériques ;
- un suivi rigoureux de la maintenance et du contrôle des ouvrages ;
- une construction d'une station d'épuration pour le traitement de l'ensemble des eaux usées rejetées par la ville ;



## Bibliographie

- A. Bedjaoui, B. Achour, M. T. Bouziane, 2005 - Nouvelle approche pour le calcul du diamètre économique dans les conduites de refoulement. Courrier du Savoir – N°06, N°200, pp.141-145.  
Dégrément 1989 -Mémento technique de l'eau 9 Edition Tome 1.
- AAYA. H 2010- Cours d'alimentation en eau potable, Editions Eyrolles, N°15, pp 6-15
- ANSD 2013 - Rapport projection de la population du Sénégal, éd MEFP, N°168, pp. 91-152
- BRGM 1992-Synthèse technique et économique du traitement du fer et du manganèse dissous dans l'eau, édition Masson, N°18, pp 1-18.
- Cabinet conseil 2009-Etude diagnostique dans les cinq régions d'implantation des projets du millenium challenge account, édition M.C.A, N°66, pp. 13-24.
- Cabana. H 2015 –Conception: usines de traitement des eaux potables, GCI 720, N°90, pp 11-60.
- CP3 2005- Rapport d'évaluation environnementale du projet d'eau potable des centres urbains, éditions Hermès, N°50, pp 13-18
- CREPA 1996- Déferrisation des eaux de forages, édition le premier volume 1, N°120, pp 31-77
- DINEPA 2013- Conception des réseaux d'adduction et des réseaux de distribution d'eau potable. Fascicule technique, N°37, pp 5-16
- IDEEC., 2015- Introduction des zones humides, presse de la FAO, N°15, pp 13-15.
- GAMESON A., 1957- Weirs and aeration of rivers. J. Inst. Water Eng. 11
- KOLDA M.C.A, 2009- Etude diagnostique dans les cinq régions d'implantation des projets du millenium challenge account région de KOLDA, édition M.C.A, N°66, pp 13-20.
- MDDELCC 2015-Le guide de conception des installations de production d'eau potable, presse du ministère de développement durable, vol1, N°297.
- MORARECH. M 2014- Hydrogéochimie, eau potable et assainissement liquide, chapitre 1et 2, N°45, pp 1-45.
- OMS 2017-Guidelines for Drinking Water Quality, WHO Library, N°631, pp 226-232.



---

ROSSMAN L., 2003, Simulation hydraulique et qualité pour les réseaux d'eau sous pression, Epanet 2 manuel d'utilisateur, éd Cincinnati Oh, N°222, pp 20-200.

TINE FAYE M., 2007- Optimisations du système d'adduction d'eau multi village de Keur Mbaye Sall, ESP centre de thies N°101, pp 12-14.

VAZQUEZ J., 2006- Hydraulique générale, Laboratoire Systèmes Hydrauliques N°85.

ZOUNGRANA D., 2003- Cours d'approvisionnement en eau potable, presse Ecole Inter - Etats ingénieur de l'équipement rural, N°143, pp 15-23.



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

**Nom et prénom : JAJIT BADR**

**Année Universitaire : 2016/2017**

**Titre : *Conception et dimensionnement d'une station de déferrisation et d'un système d'adduction de la ville de KOLDA au Sénégal***

### Résumé

La ville de KOLDA, qui fait l'objet de cette étude vit avec un déficit au niveau des infrastructures d'adduction et de traitement d'eau potable. Ce projet entre dans le cadre de la mission de renforcement de l'infrastructure existante des systèmes d'adduction en eau potable et de l'amélioration de la qualité des eaux de consommation de la ville. Ce projet consiste à :

- La réalisation d'une station de déferrisation dans la ville de Kolda, qui est justifiée par la situation particulière des eaux brutes du forage destiné à l'alimentation de la ville. En effet, ces eaux présentent une concentration en fer qui dépasse les normes proposés par l'Organisation Mondiale de la Santé. Plusieurs techniques sont proposées pour parvenir à l'élimination du Fer. Ces procédés de traitement dépendent de la teneur du fer dans l'eau. Dans notre cas ; la station de déferrisation des eaux brutes du forage se fera par un traitement par aération-filtration. Elle fonctionnera à un débit de  $587\text{m}^3/\text{h}$  avec une durée de fonctionnement de 24 heures. Enfin une étude financière est obligatoire quand à l'estimation du coût d'investissement.
- Le redimensionnement du système d'adduction de la ville. Dans cette étape du projet nous avons procédé à une analyse du réseau existant et de son mode de gestion, à une évaluation des besoins en eau présents et futurs (sur 10 ans) et enfin aux calculs du réseau et à une estimation financière. Cette étape déterminante était l'occasion de mettre au point les composantes et les paramètres de calculs du réseau en se basant parfois sur des hypothèses et dans le respect des critères de conception. Après le calcul par la méthode classique, nous avons utilisé le logiciel EPANET 2.0 adapté aux domaines de l'hydraulique pour une validation. Cette dernière a montré l'efficacité et la réussite du système proposé tout en respectant les paramètres hydrauliques tels la pression, la vitesse, le débit et les pertes de charges.

**Mots clés : Déferrisation ; système d'adduction ; KOLDA ; AEP ; Dimensionnement**