

Guide
pratique

POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Solutions techniques adaptées
de l'expérience de la vallée du fleuve Sénégal



 ÉDITIONS DU GRET

éditions
Quæ

GRET, PROFESSIONNELS DU DÉVELOPPEMENT SOLIDAIRE

Le Gret est une ONG internationale de développement de droit français qui agit depuis 1976 pour apporter des réponses durables et innovantes aux défis de la pauvreté et des inégalités. Ses équipes interviennent du terrain au politique sur une palette de thématiques complémentaires (gestion des ressources naturelles, accès à l'eau, agriculture, nutrition, formation professionnelle, etc.). Elles mènent en moyenne 200 projets par an dans 26 pays, situés pour l'essentiel en Afrique et en Asie du Sud-Est.

Responsables de collection :
François Enten, Marie Camus

Relecture : Marie Camus, Véronique Beldame,
Claire Jourdan-Ruf, François Enten.

Conception de maquette et composition :
Hélène Gay (Gret)

Photos : © Gret, sauf mention spéciale

Les schémas techniques des stations et des divers procédés de traitement ont été réalisés par Atelier Migrateur Architecture, rue Repentigny 176, Saint-Louis (Sénégal).

ISBN : Gret : 978-2-86844-326-7
Quæ : 978-2-7592-3117-1

Photo de couverture : Station de Bokhol (Mauritanie)

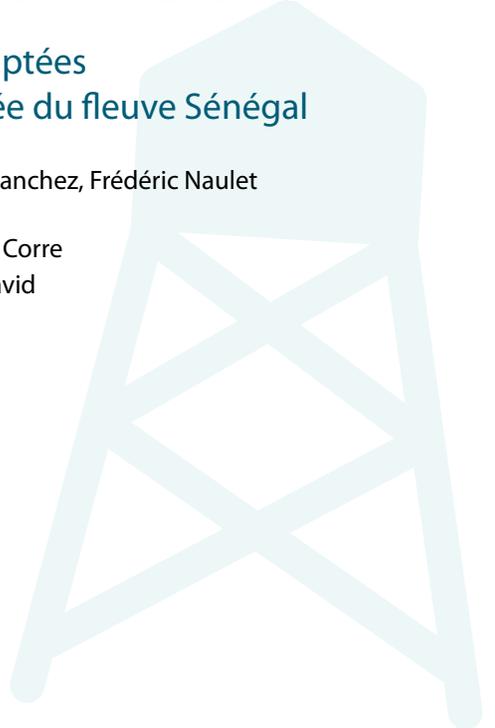


POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Solutions techniques adaptées
de l'expérience de la vallée du fleuve Sénégal

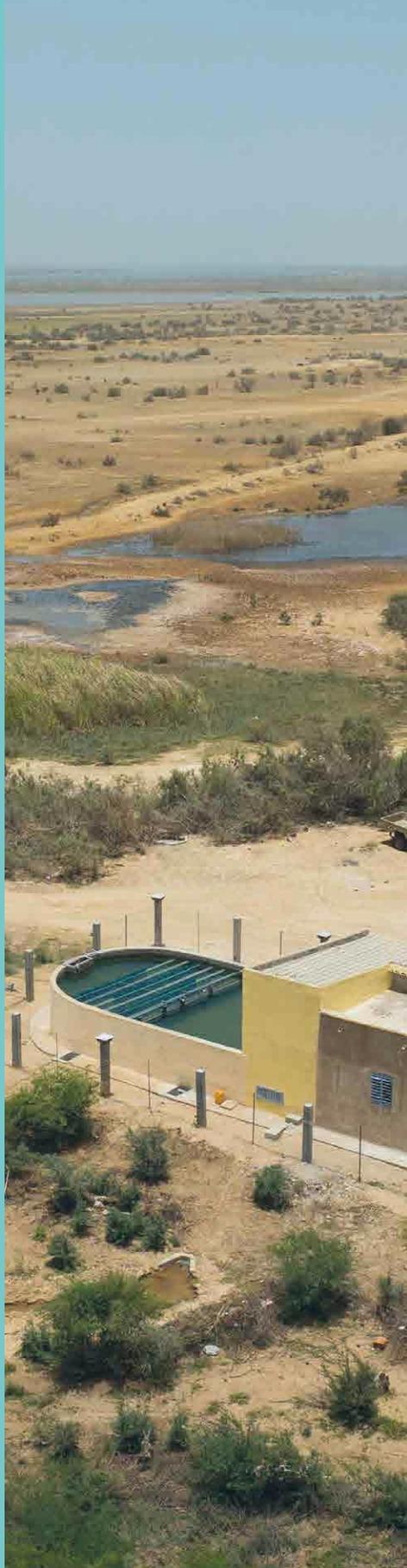
Frédéric David, Khadim Diop, Ana Sanchez, Frédéric Naulet
et Saskia Achouline

Avec la contribution de Mathieu Le Corre
Sous la coordination de Frédéric David



La collection « Guide pratique »

Abordant une variété de thématiques, allant de l'animation en milieu urbain aux techniques d'agroécologie, la collection « Guide pratique » compile les savoir-faire et conseils pratiques issus des expériences de terrain des équipes du Gret et de leurs partenaires. Traité de façon exhaustive et didactique dans une optique de vulgarisation du propos, le texte s'accompagne de nombreux visuels explicatifs, de schémas et d'études de cas.



5	Avant-propos
7	Introduction
13	PARTIE 1 – Rendre potable les eaux de surface : les grandes étapes
15	Pourquoi traiter les eaux de surface ?
17	Les grandes étapes de la potabilisation de l'eau
21	« LES ÉTAPES DE LA POTABILISATION DE L'EAU »
22	La prise d'eau
24	Étape 1 – Le prétraitement
26	Étape 2 – La clarification
49	Étape 3 – La désinfection
53	PARTIE 2 – Traiter l'eau du fleuve Sénégal : caractérisation et stations type
55	Caractériser la ressource en eau : l'exemple de la vallée du fleuve Sénégal
55	• Le fleuve et ses affluents
62	• Les plans d'eau
63	• Les eaux souterraines
64	« CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE EN EAU DU FLEUVE SÉNÉGAL ET NORMES À RESPECTER POUR L'EAU POTABLE »
65	Les stations de potabilisation de la vallée du fleuve Sénégal
65	• Présentation des stations
67	• Synthèse des performances
83	PARTIE 3 – Choisir une technologie de traitement adaptée à la vallée du fleuve Sénégal
86	Étape 1 – Caractériser les besoins et la demande en eau
86	• Décrire le territoire de desserte
90	• Analyser les pratiques et les représentations en matière d'eau
94	• Déterminer les besoins et la demande en eau
99	Étape 2 – Analyser les ressources en eau disponibles
99	• Mobiliser les connaissances locales
99	• Dresser la liste des ressources potentielles
102	• Analyser la ressource
105	Étape 3 – Définir les critères de choix
105	• Présentation des critères de choix
114	Étape 4 – Choisir la filière de traitement
116	Étape 5 – Sélectionner les procédés de traitement
116	• Injection d'intrants et coagulation
119	• Flocculation
121	• Décantation
124	• Filtration



129 PARTIE 4 – Modèles optimisés de stations de potabilisation

132 Les préliminaires : l'implantation et le type d'énergie

- 132 • Comment choisir le site d'implantation ?
- 133 • Comment implanter la prise d'eau brute ?
- 133 • Quel type d'énergie utiliser ?

135 Type 1 – La station de potabilisation « village »

- 135 • Injection d'intrants
- 136 • Décanteur
- 136 • Filtration sous pression

139 Type 2 – La station de potabilisation « petite ville »

- 139 • Bassin de mélange
- 140 • Injection d'intrants
- 140 • Décanteur statique à flux ascendant
- 141 • Filtration sous pression

143 Type 3 – La station de potabilisation « ville moyenne »

- 143 • Bassin de mélange
- 143 • Injection d'intrants
- 144 • Flocculateur à chicanes
- 144 • Décantation lamellaire à flux horizontal
- 144 • Filtration à l'air libre

149 FICHES – Approfondissements sur le traitement des eaux de surface

- 151 Fiche 1 – Filtres grossiers
- 153 Fiche 2 – Aération préliminaire
- 155 Fiche 3 – Injection du coagulant et mélange
- 159 Fiche 4 – Coagulation/floculation
- 163 Fiche 5 – Décantation
- 167 Fiche 6 – Filtration sur sable
- 169 Fiche 7 – Collecte et élimination des boues de traitement

173 FICHES – Les grandes familles de station

- 175 Famille 1 – Delta Irrigation, mini-station de Ross-Béthio, Sénégal
- 178 Famille 2 – AECID, station de Tékane, Mauritanie
- 181 Famille 3 – Alizés, station de Guidakhar, Sénégal
- 184 Famille 4 – Alizés bis, station de Thiago, Sénégal
- 187 Famille 5 – Aicha Mauritanie, stations de Breun et de Ziré, Mauritanie
- 194 Famille 6 – Pepam IDA, station de Thillé Boubacar, Sénégal
- 198 Famille 7 – Aicha Sénégal, station de Bokhol, Sénégal
- 202 Famille 8 – PaceaS, station de Diawara, Sénégal

207 Liste des stations de potabilisation recensées
dans la vallée du fleuve Sénégal

213 Glossaire

217 Bibliographie

Il existe de nombreux modèles de systèmes de potabilisation des eaux de surface, dont les technologies, plus ou moins complexes, composées de plusieurs procédés aux agencements variés, affichent des performances variables selon les caractéristiques de la ressource en eau et les conditions de production.

Fruit d'un travail de capitalisation d'expériences menées en Mauritanie et au Sénégal entre 2000 et 2016 dans la vallée du fleuve Sénégal par le Gret et ses partenaires, cet ouvrage restitue les technologies de potabilisation qui y ont été testées et éprouvées. Il se présente sous la forme d'un guide proposant un aperçu des technologies appropriées au fleuve Sénégal, qui peuvent également être appliquées à d'autres contextes d'Afrique de l'Ouest. Dans une optique pédagogique, ce guide privilégie des explications et descriptions techniques délibérément simplifiées.

POURQUOI CE GUIDE ?

Ce document poursuit un double objectif : contribuer à la vulgarisation des connaissances techniques sur le traitement des eaux de surface en Afrique de l'Ouest, et guider le lecteur dans le choix de dispositifs de potabilisation de l'eau adaptés.

POUR QUI ?

Loin de couvrir toutes les facettes de la problématique de l'accès à l'eau, ce guide a pour objectif premier d'éclairer les responsables publics, ainsi que les experts qui les conseillent, dans le choix de technologies de traitement de l'eau durables et adaptées à l'alimentation en eau potable des collectivités locales d'Afrique de l'Ouest.

Il s'adresse aux responsables publics agissant dans ces territoires (élus locaux, dirigeants des administrations sectorielles, etc.), aux personnels techniques (services déconcentrés, ingénieurs, techniciens territoriaux, etc.) et aux organisations qui les appuient dans la définition ou la mise en œuvre de leurs projets d'approvisionnement en eau potable (bureaux d'études, ONG, bailleurs de fonds).

LES PARTIES PRENANTES AUX PROJETS DE POTABILISATION

Un grand nombre d'organisations et d'individus sont intervenus pour concevoir, financer, mettre en œuvre et superviser les projets d'accès à l'eau potable, dont les résultats sont présentés dans cet ouvrage. Parmi eux, et de façon non exhaustive : Agence de l'eau Adour-Garonne, Agence de l'eau Seine-Normandie (AESN), Agence française de développement (AFD), Agence pour la promotion de l'accès universel aux services (Apaus), Aquassistance, Agence régionale de développement



Potabilisation des eaux de surface en Afrique de l'Ouest

(ARD) de Saint-Louis, ARD Matam, Delta Irrigation, Fondation Veolia, Gret, ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement (Mauritanie), Programme d'eau potable et d'assainissement du millénaire (Pepam), région Occitanie, Service de l'énergie en milieu sahélien (Semis), Syndicat des eaux d'Île-de-France (Sedif), Tenmiya, Unicef, Union européenne, Ville de Paris.

— Les enjeux de l'accès à l'eau

En dépit des progrès réalisés ces dernières décennies, de nombreuses régions du monde sont toujours confrontées à de graves problèmes d'approvisionnement en eau potable. On estime ainsi à plus de 800 millions¹ le nombre de personnes n'ayant pas encore accès, dans des conditions acceptables, à une eau saine leur permettant de satisfaire leurs besoins fondamentaux (consommation, cuisine, hygiène, etc.). Ces carences ont de lourdes conséquences sanitaires (502 000 décès annuels attribuables à des cas de diarrhées causées par l'absorption d'un eau non potable²). Les conséquences sont également sociales (dans huit cas sur dix, les femmes et les filles sont chargées de la collecte de l'eau³), et économiques (les pertes dues à un manque d'accès à l'eau et à l'assainissement sont estimées à 260 milliards de dollars par an⁴).

Les options existantes pour généraliser et sécuriser l'accès à l'eau potable dans les pays concernés sont diverses, tant sur les plans technique et financier, qu'institutionnel et socio-politique. Toutes comportent des avantages et des inconvénients. Aucune n'est totalement exempte de contraintes. Il convient donc d'identifier les solutions les mieux adaptées à la problématique donnée et aux contextes dans lesquels elles sont déployées.

1. *UN-Water, 2018.*

2. *WHO, 2014, p. 9.*

3. *Unicef, 2017, p. 30.*

4. *Ces pertes sont estimées à partir des pertes de temps et de productivité et des pertes dues aux maladies et dépenses médicales (WHO, 2012).*



Le fleuve Sénégal, entre la Mauritanie et le Sénégal © En Haut



Depuis de nombreuses années, les communautés villageoises établies à proximité du fleuve Sénégal font face à d'importants problèmes d'accès à l'eau potable, notamment du fait de la forte salinité des eaux souterraines et de la faible productivité des aquifères. Si les riverains du fleuve utilisent depuis toujours les eaux de surface, y compris pour satisfaire leurs besoins essentiels, il est primordial de mettre en place des solutions de traitement appropriées afin d'éviter tout risque sanitaire.

Champ d'application

Ce guide couvre un spectre limité des techniques de la potabilisation des eaux. Focalisé sur le traitement des eaux du fleuve Sénégal, il ne constitue pas pour autant un référentiel technique complet sur le sujet. Les solutions proposées, loin d'être exhaustives, concernent des espaces urbanisés, petites villes et gros bourgs, localisés dans le secteur du fleuve. Les problématiques liées à des polluants spécifiques tels que le fluorure, fortement présent dans certains aquifères du Sénégal, ne sont pas traitées.



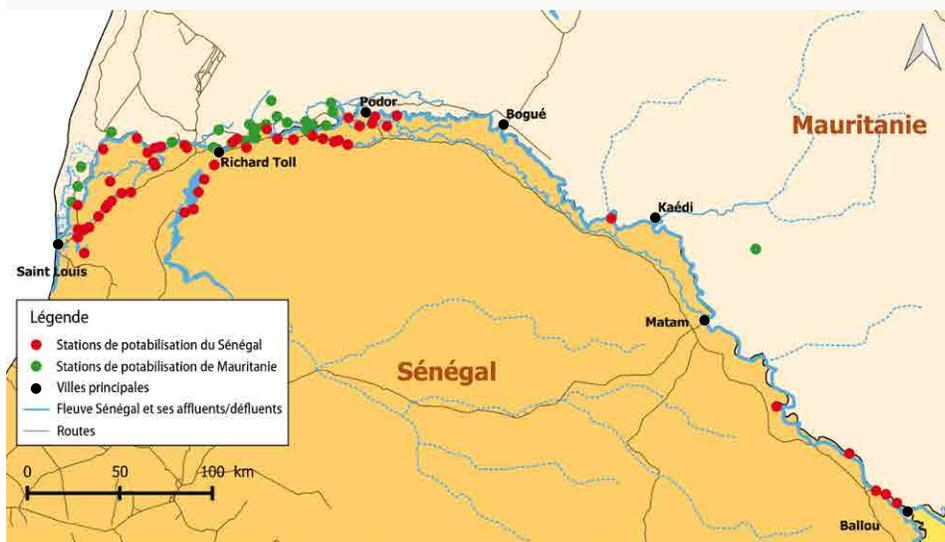
AQUIFÈRE Couche de roches perméables permettant l'écoulement d'une nappe souterraine.

RÉPONDRE AUX PROBLÉMATIQUES DU SÉNÉGAL ET DE LA MAURITANIE

Au cours des dernières décennies, plusieurs programmes d'accès à l'eau potable ont vu le jour au Sénégal et en Mauritanie, et ont abouti à la réalisation de stations de potabilisation des eaux de surface. On en recense aujourd'hui 76 sur les deux rives du fleuve Sénégal (voir carte 1).

Carte 1

LES STATIONS DE POTABILISATION SITUÉES LE LONG DE LA PARTIE AVANT DU FLEUVE SÉNÉGAL, ENTRE LA MAURITANIE ET LE SÉNÉGAL





Ces dispositifs, qui mobilisent des technologies dont les performances varient d'un système à l'autre, constituent un patrimoine technique d'une grande richesse. Bien que simples d'utilisation, les procédés de traitement ne sont toutefois pas toujours maîtrisés. Ainsi, les opérateurs des stations se heurtent régulièrement à des problèmes d'exploitation qui, *in fine*, se répercutent sur la qualité du service.

Tableau 1

LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ACCÈS À L'EAU POTABLE AU SÉNÉGAL ET EN MAURITANIE EN 2017

	SÉNÉGAL	MAURITANIE
Accès à un point d'eau amélioré	81 % (dont 92 % en milieu urbain et 71 % en milieu rural)	71 % (dont 89 % en milieu urbain et 50 % en milieu rural)
Accès des ménages les plus pauvres (1^{er} quintile)	48 %	34 %
Accès des ménages les plus riches (5^e quintile)	98 %	86 %
Accès <i>via</i> un branchement particulier	60 % (dont 79 % en milieu urbain et 45 % en milieu rural)	63 % (dont 83 % en milieu urbain et 33 % en milieu rural)
Tarif de l'eau en milieu rural	De 100 à 1 250 FCFA/m ³ (de 0,15 à 1,91 €)	De 10 à 35 ur/m ³ (de 0,25 à 0,88 €)

Source : OMS, Unicef, 2017 ; David F., 2017 ; ARD Saint-Louis, Gret, 2018 ; WHO, Unicef, JMP, washdata.org.

POTABILISER L'EAU POUR LES PETITS CENTRES URBAINS

La plupart des systèmes de traitement des eaux de surface sont implantés dans des territoires faiblement urbanisés : villes secondaires, petits centres ou gros bourgs abritant entre 2 000 et 20 000 habitants. Ces petites agglomérations présentent des caractéristiques urbanistiques et socio-économiques particulières. À l'interface des mondes urbains et ruraux, elles sont souvent sous-équipées en infrastructures et en biens collectifs, et moins bien dotées en capacités de gestion et en ressources financières. Accompagner le développement des services essentiels dans ces agglomérations représente un enjeu primordial en matière d'aménagement équilibré des territoires nationaux.

APPRÉHENDER UNE DIVERSITÉ DE SITUATIONS

Ce guide entend apporter quelques clés pour faciliter le processus de sélection d'un système de traitement des eaux de surface adapté, tant dans le contexte de la vallée du fleuve Sénégal que dans d'autres situations, ainsi que des conseils pour optimiser sa conception et son exploitation. Il peut donc être utilisé à des fins diverses : réalisation d'un nouveau système d'approvisionnement en eau potable, extension, réhabilitation ou renouvellement d'un ouvrage de potabilisation existant, optimisation du fonctionnement d'un ouvrage déjà installé, etc.



— Comment lire et utiliser ce guide ?

Cet ouvrage s'organise en quatre parties, relativement indépendantes les unes des autres.

- **La première partie** présente, étape par étape, le traitement des eaux de surface : prétraitement, clarification (coagulation/floculation, décantation, filtration) et désinfection. Pour chaque étape, un éclairage est apporté sur les fondamentaux de la physique et de la chimie du traitement, ainsi que sur les principales technologies utilisées dans la vallée du fleuve Sénégal. Une adaptation des valeurs des normes de dimensionnement de chaque procédé est également proposée.
- **La deuxième partie** porte sur les stations de potabilisation de la vallée du fleuve Sénégal. Elle caractérise tout d'abord les ressources en eau, puis présente par famille et sous forme de fiches les principaux modèles de stations de potabilisation de la vallée. Les performances techniques et économiques de ces stations sont ensuite analysées, et des recommandations formulées pour la mise en œuvre de nouvelles stations. Ces appréciations résultent d'une série d'analyses et d'observations réalisées par les équipes du Gret *in situ*.
- **La troisième partie** se propose de guider le lecteur dans la sélection du procédé de traitement le mieux adapté aux conditions et contraintes locales. Cette réflexion s'organise en cinq grandes étapes, lors desquelles le lecteur est accompagné dans l'identification des grands enjeux et des questions clés afin de pouvoir progresser de manière cohérente et aboutir à des choix techniques pertinents.
- **La quatrième partie** propose trois modèles théoriques de stations de potabilisation, optimisés selon différents débits de production. Ces modèles, adaptés à la vallée du fleuve Sénégal, s'appuient sur les critères de choix définis précédemment, ainsi que sur les enseignements tirés des expériences dans la zone d'étude.

Sont également proposées en fin d'ouvrage des fiches techniques offrant un approfondissement sur le traitement des eaux de surface, ainsi que huit fiches « station », correspondant chacune à l'une des grandes familles de stations rencontrées dans la vallée du fleuve Sénégal. Un glossaire permet de faciliter la compréhension des principaux termes techniques contenus dans l'ouvrage.

Enfin, une bibliographie propose au lecteur une liste non exhaustive de lectures complémentaires.



Accès par branchement particulier en Mauritanie
© En Haut



— La démarche méthodologique

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Un certain nombre de documents ont été consultés pour caractériser la ressource en eau et décrire les procédés de traitement : documents relatifs aux projets d'« investissement » du Programme d'eau potable et d'assainissement du millénaire (Pepam), de l'Organisation de mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) et du Gret (Aicha au Sénégal et en Mauritanie, PaceaS, Alizés et Alizés-bis), rapports d'études techniques et revues spécialisées sur le traitement des eaux de surface.

CARACTÉRISATION DES STATIONS DE POTABILISATION

Sur les rives sénégalaise et mauritanienne du fleuve Sénégal, 76 stations de potabilisation et de traitement ont été inventoriées. Une typologie des technologies en place a ensuite été dressée, et un échantillon sélectionné afin de faciliter l'analyse de leurs performances techniques.

ANALYSES DU FONCTIONNEMENT DES STATIONS DE POTABILISATION

Des campagnes d'analyses physico-chimiques ont été réalisées pour chaque modèle de station afin d'apprécier leurs modes de fonctionnement. Ces mesures ont été complétées par des observations *in situ* et une vérification des paramètres de dimensionnement. Des analyses comparatives ont ensuite été réalisées entre certains systèmes.

CRITÈRES DE CHOIX ET RECOMMANDATIONS

Un protocole simplifié d'aide à la décision a été élaboré sur la base de quelques critères de choix et des résultats des analyses de fonctionnement des stations. Des recommandations en termes de dimensionnement des procédés et d'exploitation des infrastructures ont également été intégrées.

— Un outil parmi d'autres

Ce guide ne suffit pas, à lui seul, à mettre en œuvre de manière concrète les dispositifs dont il traite. Ainsi, la conception détaillée, le dimensionnement précis et la construction des ouvrages doivent être réalisés à partir de cahiers des charges spécifiques et en sollicitant, dans la mesure du possible, des expertises auprès de structures spécialisées (bureaux d'études, ONG professionnelles, etc.).



Station de Ziré (Mauritanie)

© En Haut

RENDRE POTABLE LES EAUX DE SURFACE : LES GRANDES ÉTAPES

- 
- 15 **Pourquoi traiter les eaux de surface ?**
 - 17 **Les grandes étapes de la potabilisation de l'eau**
 - 21 « LES ÉTAPES DE LA POTABILISATION DE L'EAU »
 - 22 **La prise d'eau**
 - 24 **Étape 1 – Le prétraitement**
 - 26 **Étape 2 – La clarification**
 - 49 **Étape 3 – La désinfection**

Cette première partie présente les aspects techniques de la potabilisation de l'eau.

Après quelques rappels généraux sur le traitement des eaux de surface, les différentes étapes en sont exposées, de même que, pour chacune d'elles, les fondamentaux de la physique et de la chimie, ainsi que les procédés techniques utilisés dans la vallée du fleuve Sénégal. Les normes de dimensionnement de chaque procédé sont déterminées sur la base de l'analyse de neuf stations appartenant à des « familles de stations » majoritairement représentées dans la vallée.



POURQUOI TRAITER LES EAUX DE SURFACE ?

L'eau « propre à la consommation humaine » doit répondre à des critères de qualité reflétant deux grandes préoccupations.

- **La santé publique** : il faut fournir aux utilisateurs une eau « sûre », autrement dit une eau qui ne transmette pas de maladies et qui soit garantie contre les risques immédiats (contaminations biologiques par exemple) ou à long terme (contaminations chimiques), qu'ils soient réels ou potentiels.
- **Le plaisir** : il faut offrir une eau agréable à boire, c'est-à-dire conforme aux préférences locales, en termes d'odeur, de couleur et de goût.

Au Sénégal et en Mauritanie, comme dans beaucoup d'autres pays, les ressources en eau pouvant être utilisées directement pour l'alimentation et l'hygiène corporelle se réduisent progressivement. Dans la grande majorité des cas, les eaux prélevées dans le milieu naturel doivent subir un traitement pour devenir potables. Ce constat s'applique particulièrement aux eaux de surface, dont la qualité nécessite généralement un traitement plus poussé que les eaux souterraines. Si les eaux de surface présentent l'avantage d'être facilement mobilisables (le puisage manuel ou une simple pompe suffisent pour en disposer), elles offrent des qualités moindres dans une perspective de consommation directe. Par ailleurs, elles sont plus vulnérables aux contaminations et aux pollutions induites par les activités humaines ou la présence d'animaux.

Le rôle des procédés de traitement définis et mis en œuvre par les responsables publics et leurs conseillers techniques est donc de rendre l'eau brute conforme aux normes de qualité.



EAUX DE SURFACE Masses d'eau douce, saumâtre ou salée circulant ou étant stockées à la surface des continents. Elles sont en contact direct avec l'atmosphère.

EAU BRUTE Terme désignant l'eau prélevée à son état initial avant traitement.

© En Haut



Usages de l'eau au bord du fleuve Sénégal



Les normes de qualité de l'eau potable au Sénégal

Pour être consommée, l'eau doit respecter des normes permettant de garantir un risque acceptable, autrement dit garantir *a minima* de ne pas contracter de maladies.

Pour ce faire, l'État sénégalais a adopté une réglementation inspirée des directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Les seuils de qualité sont fixés par la norme NS 05-033 – « Qualité des eaux d'alimentation humaine ».

Les critères de potabilité portent sur quatre points :

- la qualité **microbiologique**, c'est-à-dire l'absence de bactéries, de coliformes fécaux, de streptocoques, de parasites et d'agents pathogènes ;
- la qualité **physico-chimique**, qui concerne la température, la conductivité, le pH et l'oxygène dissous ;
- la qualité **chimique**, qui comprend les concentrations en métaux lourds, hydrocarbures, arsenic, fluor, nitrates, phosphates, pesticides ou apparentés, les teneurs minimales en calcium, magnésium, carbonate et bicarbonate, etc. ;
- la qualité **organoleptique**, qui se réfère à l'odeur, à la couleur et au goût.

En raison de la forte présence de fluorure dans certains aquifères sénégalais, la norme précise que l'utilisation de forages présentant des concentrations en fluorure de plus de 3 mg/l est interdite.



LES GRANDES ÉTAPES DE LA POTABILISATION DE L'EAU

Le choix d'un procédé de traitement dépend, entre autres, des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de la ressource utilisée. Ces caractéristiques varient en fonction de la nature de la ressource, du sol et des activités locales (agricoles, industrielles et domestiques). En pratique, il est rare qu'une seule de ces caractéristiques doive être corrigée. Il convient alors d'associer diverses techniques, qui interviennent chacune à différentes étapes du traitement¹ : c'est le principe des stations de potabilisation. L'enchaînement des étapes peut varier, et le rôle de chaque procédé se fait également en fonction de la place qu'il occupe dans le processus.

Le tableau 1 page suivante récapitule les types de procédés envisageables en fonction des paramètres à éliminer.



Borne-fontaine de la station de Ziré (Mauritanie) © En Haut

1. Le traitement – ou potabilisation – de l'eau fait appel, pour une très large part, à des procédés physiques, biologiques et physico-chimiques. Les traitements qualifiés de chimiques sont essentiellement liés à l'ajout dans l'eau de coagulant (sulfate d'alumine par exemple) et de désinfectant (tel que le chlore).



Tableau 1

PROCÉDÉS DE TRAITEMENT À APPLIQUER EN FONCTION DES PARAMÈTRES À TRAITER

PARAMÈTRES À TRAITER	PROCÉDÉS DE TRAITEMENT
Forte turbidité et/ou forte teneur en matières en suspension.	Coagulation, floculation, décantation, suivies d'une filtration rapide sur sable.
Présence de fer et/ou de manganèse.	Aération et/ou ajout d'un oxydant + filtration rapide sur sable.
Forte pollution bactériologique.	Élimination des matières en suspension (coagulation, floculation, décantation + filtration rapide sur sable) + désinfection (ajout de chlorure ou dérivés chlorés).
Matières organiques.	Décantation + filtration lente sur sable. Prévoir un système de chloration « choc » en tête de station pour lutter contre les blooms algaux.
pH trop faible.	Ajout de chaux : - en amont de la coagulation si le pH de l'eau brute est $< 6,5$; - en sortie de phase de floculation si le pH de l'eau après ajout du coagulant est < 7 .
pH trop élevé.	Ajout d'acide sulfurique (ou chlorhydrique) en amont ou en aval de la phase de coagulation.
Faible turbidité et faible débit.	Filtration lente sur sable ou coagulation.
Présence de pesticides.	Ajout de charbon actif en poudre en tête de station ou filtration sur charbon actif en grain en post-filtration.



TURBIDITÉ Trouble provoqué dans l'eau par des particules en suspension (argile, débris, etc.). Elle est donnée en NTU (*nephelometric turbidity unit*).

MATIÈRES EN SUSPENSION (MES) Ensemble des particules solides en suspension dans un liquide, dont la taille est comprise entre un micromètre et un centimètre.

MATIÈRE ORGANIQUE Matière issue des êtres vivants et de leur dégradation.

BLOOMS ALGAUX Phénomène de prolifération exceptionnelle d'algues, qui se traduit généralement par une coloration de l'eau en rouge, brun ou vert.

Source : Gret, Kosan, 2006.

NB. Certains procédés ne sont cités que pour mémoire, car ils mettent en jeu des technologies complexes inadaptées aux petites stations.

La potabilisation des eaux de surface s'effectue communément à travers trois grandes étapes : le prétraitement, la clarification et la désinfection. Chaque étape comprend un ou plusieurs procédés de traitement (voir figure 3 p. 20).



Les deux filières de traitement type

L'examen des stations de potabilisation installées en milieu rural au Sénégal et en Mauritanie fait apparaître deux grandes filières : les stations fonctionnant en continu et les stations fonctionnant en mode *batch*.

Stations à flux continu

Pour ce type de stations, le traitement s'effectue « au fil de l'eau » : l'eau s'écoule selon un cheminement continu à travers plusieurs ouvrages et équipements de traitement jusqu'à devenir potable. En d'autres termes, le système de pompage de l'eau ne subit aucune discontinuité.

Stations étudiées dans cet ouvrage : stations de Guidakhar (famille Alizés), Thiago (famille Alizés bis), Thillé Boubacar (famille Pepam-IDA), Bokhol (famille Aicha Sénégal) et Diawara (famille PaceaS) au Sénégal, et stations de Breun et de Ziré (famille Aicha Mauritanie) en Mauritanie.

Stations de type *batch*

Les stations de type *batch* sont constituées d'un ou de plusieurs bassins et de filtres sous pression qui assurent la clarification. Le fonctionnement de ce type de station n'est pas continu, mais s'effectue en **trois temps**.

1. Remplissage du bassin et injection du coagulant. L'injection du coagulant peut s'opérer de la même manière que pour les stations en continu.
2. Un temps d'attente est respecté, variant entre deux et huit heures selon la turbidité, la taille du bassin, le soin apporté à la réalisation des entrées et sorties ainsi que la qualité de la floculation. Il permet aux matières en suspension de décanter.
3. Pompage de l'eau décantée au travers d'un filtre sous pression et envoi vers le réservoir de stockage. L'injection de chlore est effectuée lors de cette opération.

Stations étudiées dans cet ouvrage : mini-station de Ross-Béthio au Sénégal (famille Delta Irrigation) et station de Tékane en Mauritanie (famille AECID).

Du fait de leur fonctionnement en séquences, les stations *batch* ont des capacités de traitement journalier plus faibles que les stations à flux continu. Il s'agit cependant de la technologie la plus simple tant en termes de conception que d'utilisation. Les bassins peuvent également être doublés afin d'augmenter la capacité de production.

Figure 1 : **STATION DE POTABILISATION À FLUX CONTINU**

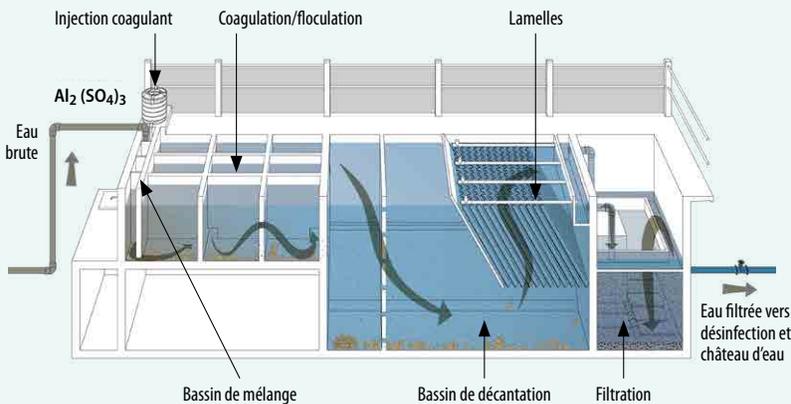




Figure 2 : STATION DE POTABILISATION DE TYPE BATCH

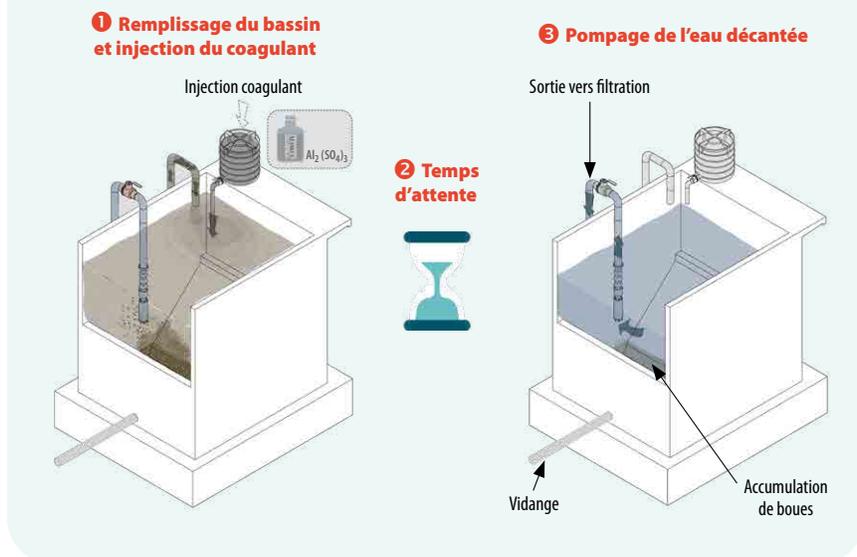
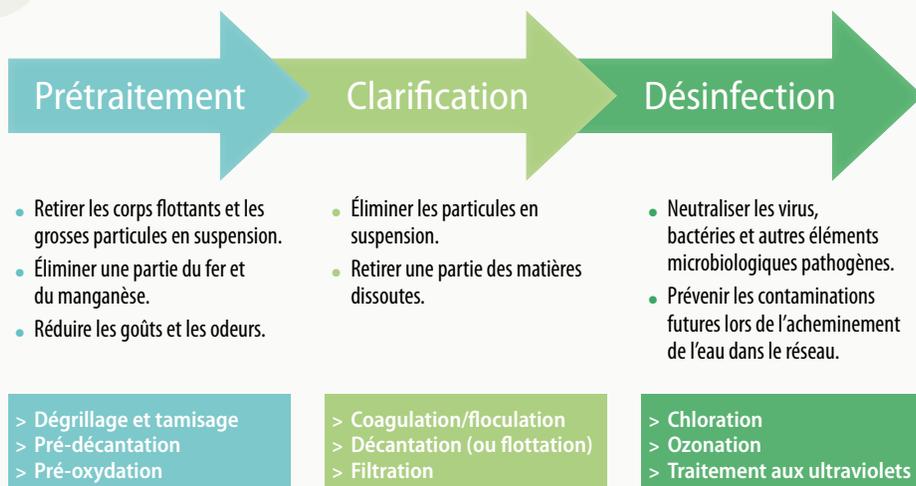


Figure 3

LES TROIS GRANDES ÉTAPES DU TRAITEMENT DE L'EAU



PRISE D'EAU

p. 22

Retirer les corps flottants et acheminer l'eau.

Prise d'eau

Pompes, crépines, contre-puits

ÉTAPE 1 : PRÉTRAITEMENT

p. 24

Retirer les grosses particules en suspension. Éliminer une partie du fer, manganèse. Réduire les goûts et odeurs.

Dégrillage/ tamisage

Préfiltration

Filtres grossiers

Pré-oxydation

FICHE 1 Exemples de filtres grossiers

FICHE 2 Aération préliminaire

ÉTAPE 2 : CLARIFICATION

p. 26

Éliminer les particules en suspension. Retirer une partie des matières dissoutes.

Coagulation / Flocculation

p. 26

Injection des réactifs

Bassins de mélange

Décantation

p. 36

Décanteur statique à flux horizontal

Décanteur statique à flux vertical

Décanteur lamellaire

Filtration

p. 42

Filtre à l'air libre

Filtre sous pression

ÉTAPE 3 : DÉSINFECTION

p. 49

Neutraliser les virus, bactéries et autres éléments bactériologiques pathogènes. Prévenir les contaminations futures lors de l'acheminement de l'eau dans le réseau.

Chloration

Stockage et mise en pression

Distribution

Château d'eau

Réseau de distribution

Non étudiés dans cet ouvrage



LES ÉTAPES DE LA POTABILISATION DE L'EAU



LA PRISE D'EAU

L'eau de surface est captée dans le milieu naturel à l'état brut (cours d'eau, lac, retenue d'eau, etc.) afin d'être acheminée jusqu'au lieu de traitement et de production de l'eau potable, le plus souvent *via* une canalisation. La prise d'eau doit permettre :

- de capter une eau brute de la meilleure qualité possible (prise entre deux eaux – ni trop bas, ni trop haut – et où la turbidité est la plus faible) ;
- de limiter l'entraînement de grosses particules ou de corps flottants pouvant endommager les équipements en aval (crépine).

Elle doit être conçue de façon à faciliter les arrêts et redémarrages, avec un clapet anti-retour évitant que les canalisations ne se remplissent d'air.

Les systèmes de prélèvement de l'eau brute consistent en une ou plusieurs pompes, immergées ou de surface, équipées d'une crépine et reliées à une barre métallique ancrée dans le lit du fleuve ou à une station flottante retenue au rivage par un câble. Certaines stations utilisent un contre-puits permettant de limiter les risques d'intrusions de matières par pré-décantation ou de détériorations physiques liées à la présence de corps flottants. Dans notre zone d'étude, les contre-puits sont pour la plupart localisés le long du fleuve Sénégal ou en bordure des mares et des lacs alimentés par celui-ci.



CRÉPINE Pièce sphérique ou cylindrique, percée de trous, servant à arrêter les corps étrangers à l'ouverture d'un tuyau d'aspiration.

CLAPET ANTI-RETOUR

Équipement installé sur les canalisations qui permet de contrôler le sens d'écoulement des fluides.

CONTRE-PUITS Puits réalisé aux abords d'un cours d'eau ou d'une étendue d'eau, dont il tire son approvisionnement.

Figure 4

MODÈLE DE PRISE D'EAU SUR UNE BARRE FIXE

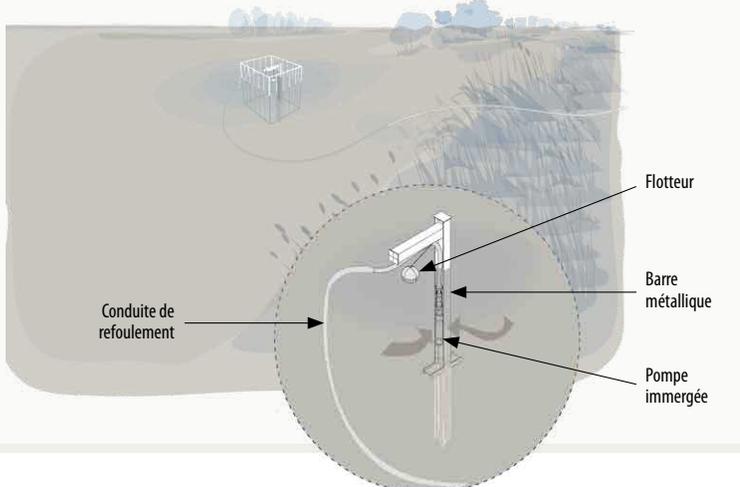
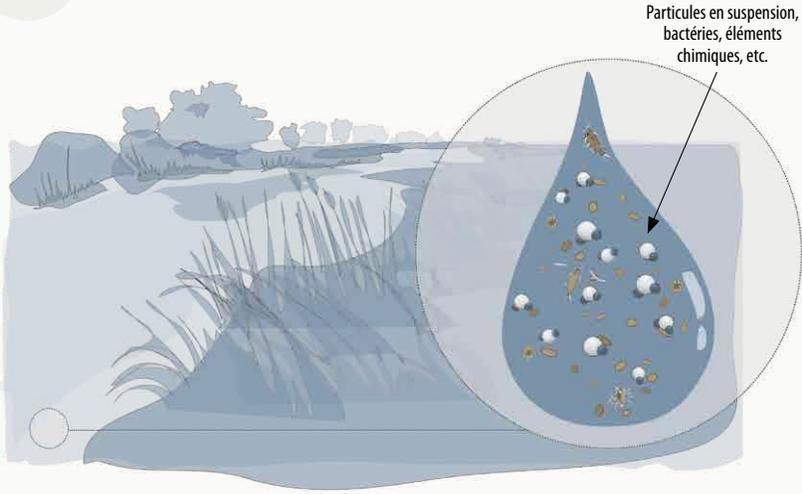




Figure 5

EAU À L'ÉTAT INITIAL, CHARGÉE DE COMPOSANTS NON POTABLES



Le choix de l'emplacement de la prise d'eau par rapport à la station est crucial. Une prise d'eau très éloignée engendre des coûts d'investissement et d'exploitation importants.



Nettoyage de la prise d'eau à Bokhol (Sénégal)



Prise d'eau des stations de Ziré et Tékane (Mauritanie)



ÉTAPE 1

LE PRÉTRAITEMENT

Les étapes de prétraitement sont appliquées aux eaux chargées de composés spécifiques ou en particules de grande taille susceptibles de perturber les procédés de traitement ultérieurs. Les techniques de prétraitement sont multiples et varient selon la qualité de l'eau brute.

À noter que ces procédés sont installés seulement s'ils sont nécessaires.

Les principales formes de prétraitement sont présentées ci-dessous.

- **Le dégrillage et le tamisage** : avant son entrée dans la station de potabilisation, l'eau passe au travers de grilles qui arrêtent les corps flottants et les gros déchets. Il arrive parfois que des tamis soient installés pour retenir les déchets plus petits, le sable et le plancton. Les tamis sont espacés de plus de 40 mm pour un pré-dégrillage, et de 6 à 10 mm pour un dégrillage fin. Le tamisage présente quant à lui un écartement de 0,5 à 6 mm².
- **La préfiltration** : le préfiltre est souvent utile pour protéger le compteur du volume d'eau brute entrant dans la station. Il doit permettre d'arrêter les particules supérieures à 200 µm.
- **Les filtres grossiers** : ils sont utilisés pour le prétraitement d'eaux très turbides, avant que celles-ci ne soient acheminées vers d'autres procédés de traitement. Ils fonctionnent en retenant les matières en suspension grâce à un lit filtrant composé de matériaux granulaires.

➤ Voir la fiche 1 « Filtres grossiers » p. 151.

- **La pré-décantation** : elle peut être nécessaire pour les eaux fortement chargées en MES³ (supérieures à 5 g/litres). Elle consiste à laisser se déposer ces particules (limons, argiles, etc.) en fond d'un réservoir sous l'effet de la pesanteur. Un contre-puits est souvent utilisé pour la pré-décantation.



TURBIDE Une eau turbide est une eau opaque.

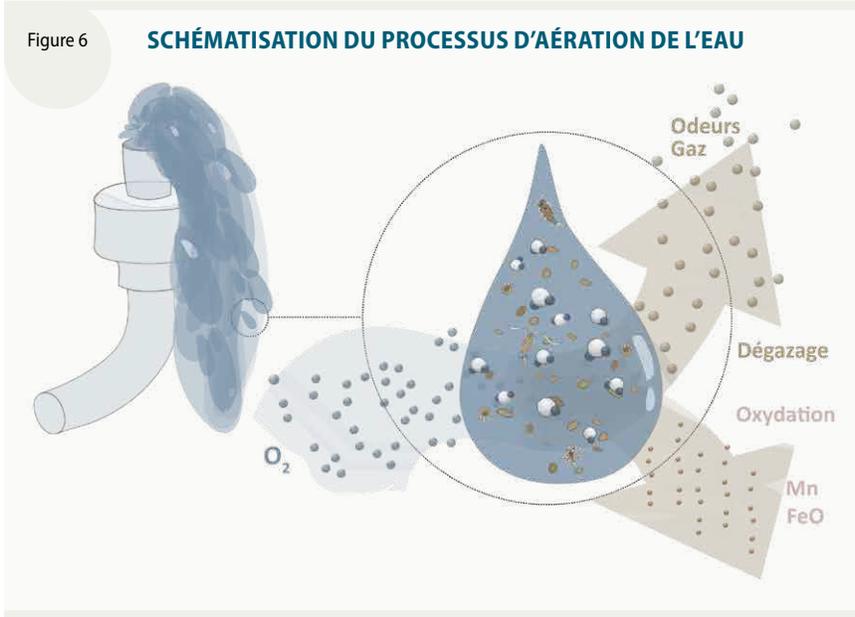
MATIÈRES COLLOÏDALES OU COLLOÏDES Substances en suspension dans un liquide, suffisamment petites pour pouvoir se répartir de manière homogène dans celui-ci.

2. Suez, Memento degremon® [consulté le 5 avril 2019], <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/pretraitements/degrillage-tamisage-dilaceration/degrillage>
3. *Matières en suspension*. Suez, Memento degremon® [consulté le 5 avril 2019], <https://www.suezwaterhandbook.fr/formules-et-outils>



- **La pré-oxydation (aération)** : elle a pour objectif l'élimination d'une partie de l'azote ammoniacal, du fer et du manganèse, ainsi que la réduction des goûts, couleurs et odeurs de l'eau. Elle s'effectue à travers l'extraction de certains gaz dissous, l'oxygénation de l'eau brute et la réduction des composés volatiles. Cette technique permet d'améliorer les performances du traitement ultérieur et de maintenir la propreté des installations.

➤ Voir la fiche 2 « Aération préliminaire » p. 153.





ÉTAPE 2

LA CLARIFICATION

La clarification permet d'obtenir une eau limpide en éliminant de façon plus poussée les particules en suspension (sable, limon, débris organiques, etc.), les matières colloïdales (argiles fines, bactéries) et une partie des matières dissoutes (matières organiques, sels, etc.). La décantation simple n'étant pas suffisamment efficace pour les petites particules (voir les temps de décantation dans le tableau 2), la clarification combine des procédés de coagulation/floculation, de décantation-flottation et de filtration.

Tableau 2

**TEMPS DE SÉDIMENTATION DES PARTICULES
DANS 10 CM D'EAU**

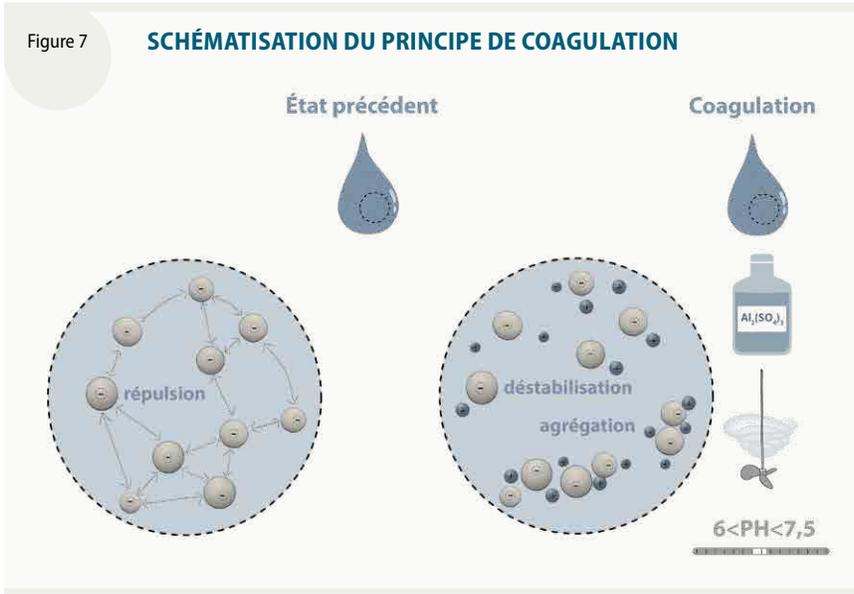
RAYON ÉQUIVALENT DES PARTICULES	DIMENSION APPROXIMATIVE	TEMPS DE SÉDIMENTATION
10 mm	Gravier	0,1 seconde
1 mm	Sable grossier	1 seconde
100 µm	Sable fin	13 secondes
10 µm	Sédiments	11 minutes
1 µm	Bactéries	x
100 nm	Colloïdes	80 jours
1 nm	Colloïdes	21 ans
Plus petit encore...	Solution	x

Source : d'après Treille P, 1975, p. 317.

La coagulation/floculation

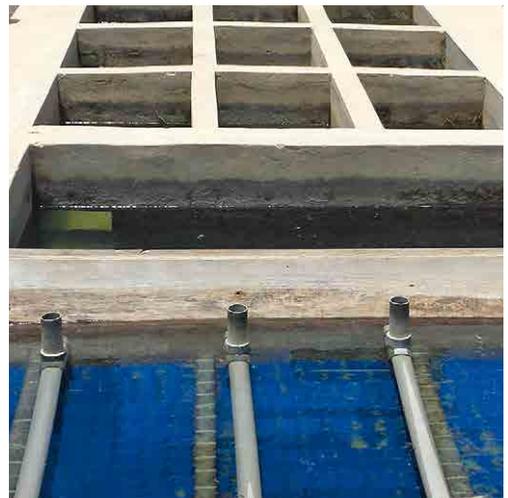
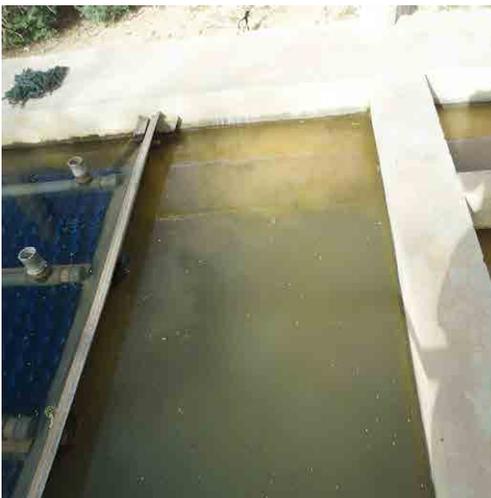
THÉORIE

Pour éliminer les matières colloïdales et les particules en suspension présentes dans les eaux brutes, on utilise les procédés couplés de coagulation et de floculation, qui consistent à agréger les particules afin de les extraire plus facilement. L'introduction d'un coagulant, généralement un sel de fer ou d'aluminium, a pour but de réduire les forces de répulsion électrostatique existant entre les particules qui, déstabilisées, se rassemblent alors pour former de petits agrégats.



La floculation, qui intervient après l'étape de la coagulation, a pour objectif d'accroître la taille des agrégats formés par une lente agitation de l'eau et l'ajout d'adjuvants. Elle conduit à la formation d'amas de plus en plus volumineux, appelés « floccs », qui pourront ainsi décanter plus rapidement et être plus facilement retirés. Afin de déclencher la floculation, on ajoute un floculant minéral (silice activée), un polymère naturel (alginate ou amidon) ou un polymère de synthèse (à base d'acrylamide).

- Voir les fiches 3 « Injection du coagulant et mélange » et 4 « La coagulation/floculation » p. 155 et 159.

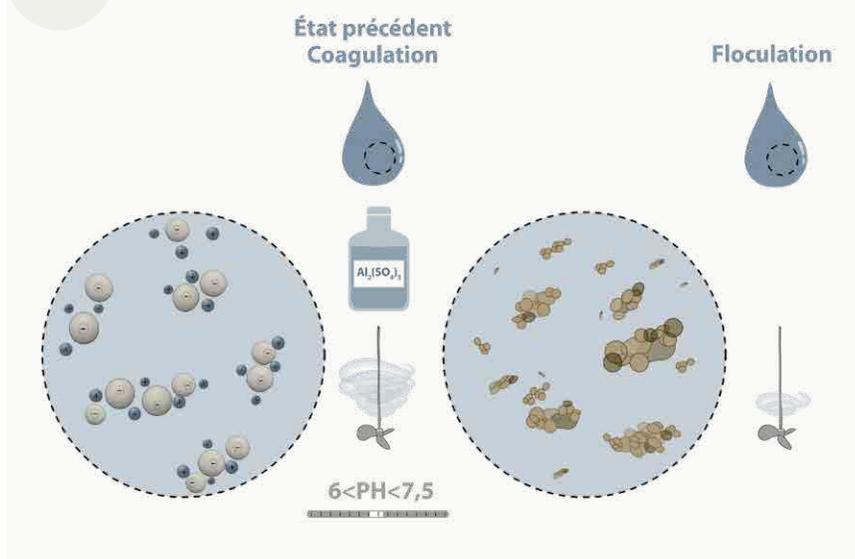


Formation de floccs à la station de Breun (Mauritanie)



Figure 8

SCHÉMATISATION DU PRINCIPE DE FLOCCULATION



À noter que chacun des réactifs utilisés, coagulant comme floculant, n'a un **fonctionnement optimal que dans une certaine zone de pH**. Comme ces réactifs modifient le pH de l'eau, il peut s'avérer nécessaire d'ajuster celui-ci en introduisant une base ou un acide.

PROCÉDÉS DANS LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

La coagulation/floculation fait intervenir trois types de procédés : l'injection de réactifs, les bassins de mélange et les procédés de floculation.

● Injection des réactifs

Dans la zone étudiée, le sulfate d'alumine ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) est utilisé pour assurer la coagulation. Le fleuve étant légèrement basique (voir partie 2), il n'est pas nécessaire d'ajouter de correcteur d'acidité. Cependant, en période d'hivernage, la turbidité augmente et il est nécessaire d'accroître la concentration du coagulant, ce qui rend ainsi l'eau plus acide. Une injection de soude (sous forme d'hydroxyde de sodium – NaOH) ou de chaux (sous forme d'oxyde de calcium – CaO) peut s'avérer indispensable pour rétablir un pH permettant une bonne coagulation, dans les limites de potabilité de l'eau. Toutefois, cette opération est délicate, car la chaux se carbonate facilement et peut boucher les conduites. Elle n'est donc utilisée que durant les périodes de forte turbidité (hiver-nage). Il est recommandé de l'injecter manuellement ou d'effectuer un entretien fréquent des pompes doseuses et des conduites d'injection.



CARBONATER Phénomène de précipitation de la chaux à l'état solide.



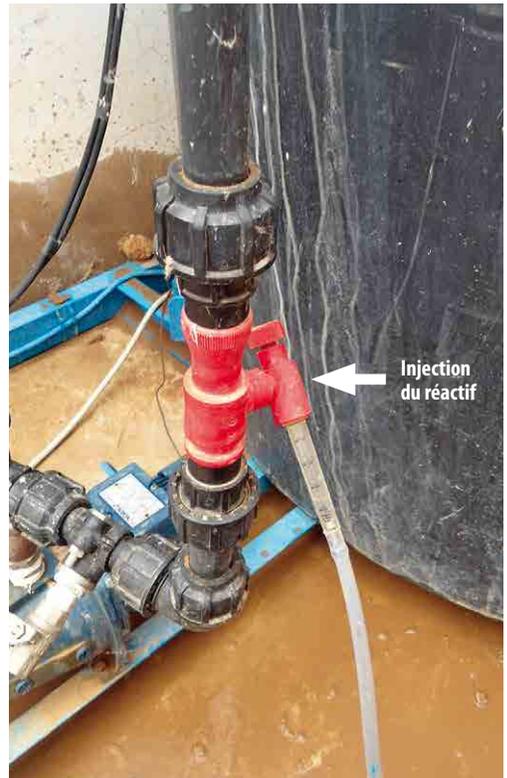
La chaux peut être injectée sous la forme d'un lait de chaux, dont la concentration s'élève à peu près au tiers de la concentration du sulfate. On peut également l'injecter sous forme d'eau de chaux avec un saturateur à chaux, mais ce procédé n'est pas utilisé dans la vallée du fleuve Sénégal.

Les réactifs utilisés sont sous forme solide (pastilles) et requièrent d'être préalablement dissous dans une solution-mère, avant d'être injectés dans le système de traitement. Il existe plusieurs façons de les injecter. Dans la vallée du fleuve Sénégal, on recense quatre principaux modes d'injection.

- **Pompe doseuse hydraulique (type Dosatron) :** reliée à la conduite d'eau brute, la pompe utilise la pression de l'eau comme source d'énergie. Le flux d'eau actionne la pompe qui injecte la quantité de réactif proportionnellement au débit d'eau entrant. Une jauge de réglage permet de calibrer le dosage souhaité.
- **Pompe doseuse électrique :** elle fonctionne avec un débit constant, qui varie selon le réglage effectué. Cela permet de fixer le dosage des intrants en fonction des paramètres voulus (le sulfate d'alumine sera par exemple dosé en fonction de la turbidité de l'eau brute).
- **Pompe Venturi :** elle fonctionne sans électricité *via* un système de *by-pass* aspirant. L'aspiration est causée par un rétrécissement de la conduite, générant ainsi une chute de pression. Utilisée pour des débits constants, son débit d'aspiration varie en fonction de la quantité d'eau qui la traverse et s'ajuste grâce à une vanne de réglage.
- **Bac d'ajout :** le réactif est injecté dans le décanteur à partir d'un bac disposé en bordure du bassin. La quantité à injecter est calculée en fonction du dosage et du volume du décanteur. Le débit d'injection du réactif est réglé de telle sorte que la cuve de solution-mère est vide lorsque le décanteur est plein.

Les coagulants peuvent être injectés en deux points :

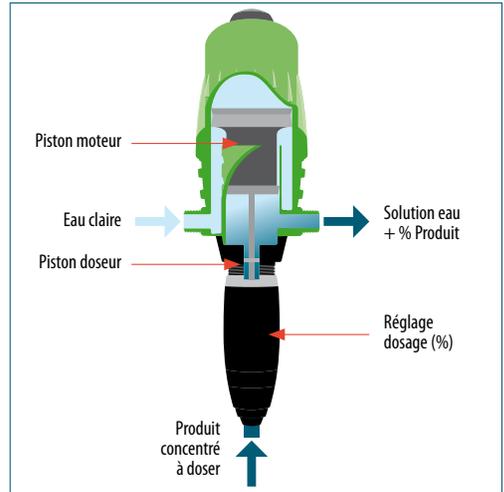
- dans le **bassin de mélange**. Le mélange s'effectue grâce à la turbulence créée par l'arrivée de l'eau brute et lors du passage de celle-ci dans les orifices des plaques de séparation du bassin ;
- directement dans la **conduite d'arrivée de l'eau brute**. Le mélange se fait grâce à la turbulence créée par l'eau.



Pompe Venturi



Pompe doseuse hydraulique (type Dosatron)



Pompe Venturi



Bac d'ajout à charge constante

● Bassin de mélange

Les stations de la vallée du fleuve Sénégal étudiées dans cet ouvrage, dont le détail est présenté dans les fiches stations p. 173, utilisent **deux types de technologie** pour assurer le mélange du coagulant à l'eau brute.

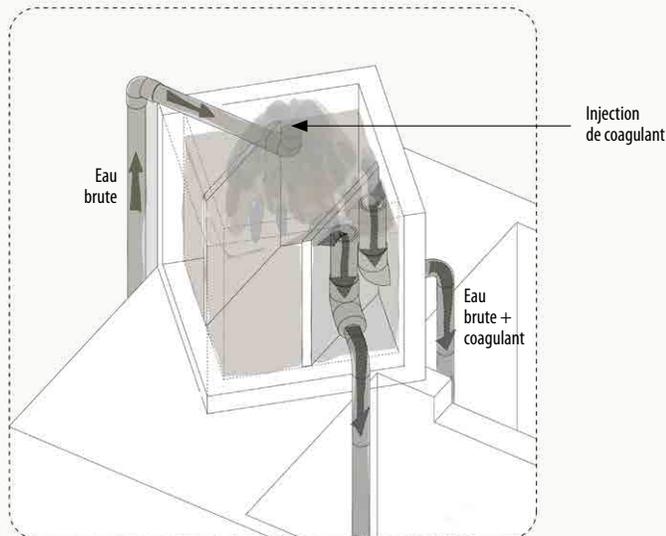
- **Le mélange par dissipation d'énergie** (exemples : stations de Bokhol et de Thiago, p. 198 et 184) : un bassin de faible volume est aménagé afin d'accueillir l'eau brute, qui s'y déverse depuis une certaine hauteur. L'énergie provoquée par la différence de hauteur engendre des turbulences, qui favorisent le mélange des réactifs. Ce dispositif permet également d'oxyder par voie d'aération certaines particules présentes dans l'eau brute. Cela favorise leur décantation (en particulier le fer), et permet d'éliminer les gaz dissous ainsi que les autres composés volatiles responsables des odeurs (sulfure d'hydrogène par exemple).



Bassin de mélange de Bokhol (Sénégal)

Figure 9

SCHÉMATISATION DU BASSIN DE MÉLANGE DE BOKHOL (SÉNÉGAL)



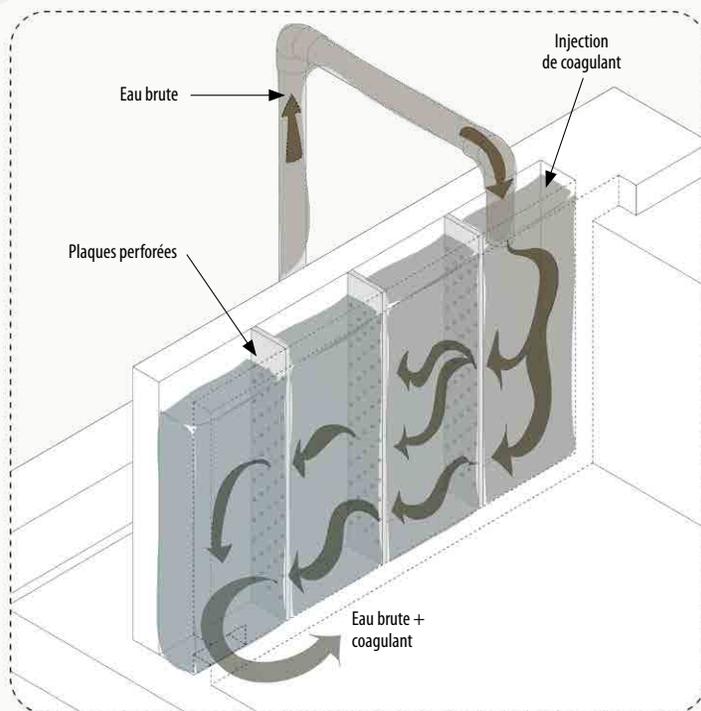
- Le mélange hydraulique** (exemples : stations de Breun et de Ziré, p. 187) : le mélange est assuré par une succession de plaques perforées qui font obstacle au courant et créent des écoulements turbulents. Le diamètre des orifices est calibré de telle sorte que la vitesse de l'eau diminue progressivement d'un compartiment à l'autre. Les coagulants sont injectés dans le bassin *via* une pompe doseuse (électrique ou mécanique) ou à l'aide d'un bac d'ajout. L'injection peut aussi être faite dans la conduite d'amenée de l'eau brute afin de favoriser un mélange homogène.



Un régime turbulent est nécessaire pour obtenir un mélange optimal du coagulant dans l'eau brute.

Figure 10

BASSIN DE MÉLANGE (STATIONS DE BREUN ET DE ZIRÉ)



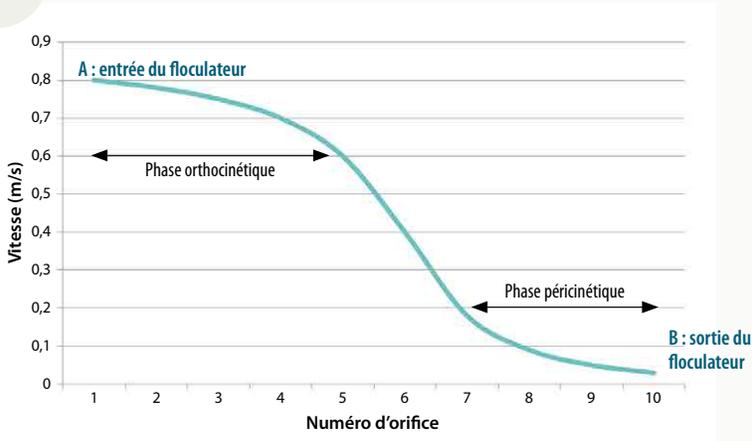
● Bassins de floculation

Les systèmes de floculation de la vallée du fleuve Sénégal sont de type hydraulique. Les bassins sont en maçonnerie ou en béton, et des compartiments sont aménagés avec des cloisons en briques, en plaques d'aluminium ou en tôles de plastique. La formation de flocs résulte de l'agrégation de particules contenues dans l'eau, qui se produit lorsque celle-ci circule à travers les compartiments, séparés par des fenêtres calibrées et aménagées dans les cloisons. Le dimensionnement de ces fenêtres doit permettre de faire varier la vitesse de l'eau selon un diagramme en « S » (voir figure 11 page suivante) : la vitesse élevée des premiers compartiments permet d'assurer une agitation correcte et de multiplier les chocs entre particules ; c'est la phase de **floculation orthocinétique**, lors de laquelle on assiste à la neutralisation des charges et au début de l'agglomération des flocs. Elle s'atténue progressivement pour que les flocs formés ne soient pas brisés et puissent se déposer au fond du bassin : c'est la **phase péricinétique**, lors de laquelle les flocs grossissent.



Figure 11

EXEMPLE DE COURBE EN « S »

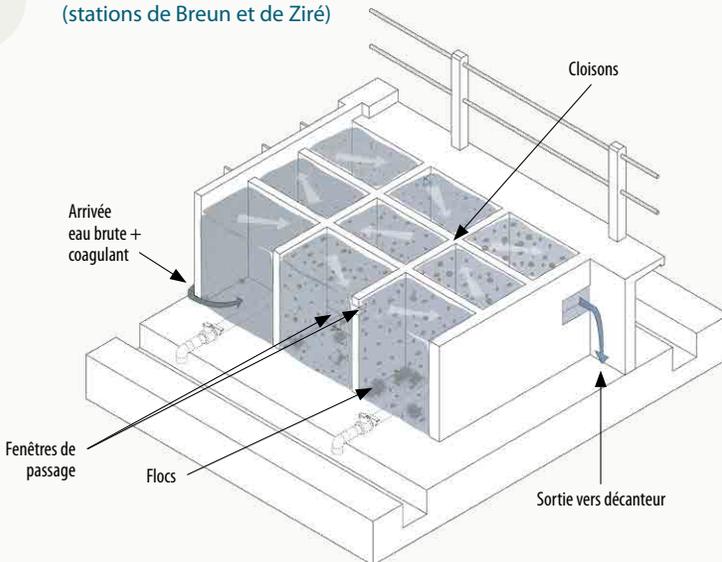


Deux types de flocculateurs sont communément utilisés dans la vallée du fleuve Sénégal.

- **Flocculateur à bacs** (exemples : stations de Breun et de Ziré p. 187, et de Thillé Boubacar p. 194) : l'eau traverse une série de bacs (petits bassins) munis chacun d'orifices aménagés. La taille des orifices est de plus en plus grande afin de réduire progressivement la vitesse d'agitation entre l'entrée et la sortie du bassin. Le parcours de l'eau est symbolisé dans la figure 12.

Figure 12

BASSIN DE FLOCCULATION À BACS (stations de Breun et de Ziré)





● **Floculateur à chicanes :**

- à écoulement horizontal (longitudinal) uniquement (aucune station parmi celles étudiées ne possède ce type de floculateur) : la circulation s'effectue ici en zigzag entre des cloisons (en tôles ondulées ou en béton). Les premières chicanes sont rapprochées, puis s'espacent de plus en plus pour respecter la chute de vitesse en « S » (voir figure 11 page précédente) ;
- à écoulement vertical et longitudinal (*exemples : stations de Bokhol, p. 198, et de Diawara, p. 202*). La circulation de l'eau entre les compartiments se fait de la même manière que précédemment, mais les orifices aménagés le sont successivement en haut et à la base des cloisons (flux vertical), ainsi que sur les côtés (écoulement horizontal). Une diminution de la vitesse de l'eau permet de maintenir les flocs formés et de les injecter au décanteur.

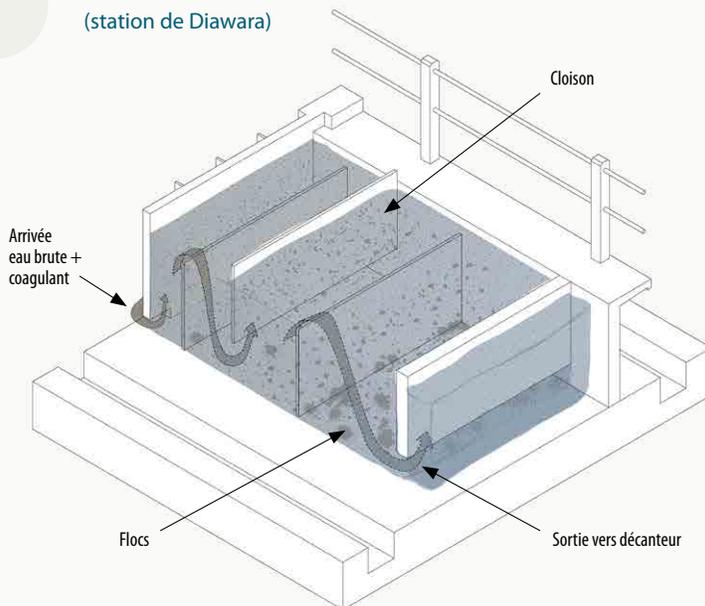


Une mauvaise étanchéité des parois des floculateurs modifie le gradient de vitesse et altère la formation des flocs. Il conviendra d'être vigilant à cet aspect lors de leur construction, de même qu'à la taille des fenêtres, qui résulte d'un calcul hydraulique précis.

Figure 13

BASSIN DE FLOCCULATION À CHICANES

(station de Diawara)



NORMES DE DIMENSIONNEMENT

Pour obtenir une coagulation et une floculation performantes, différents paramètres (gradient de vitesse, temps de séjour, etc.) doivent répondre à des normes établies de manière générale dans d'autres contextes (c'est ce que l'on appelle les **normes d'usage**). Ces normes, permettant de dimensionner les



équipements, peuvent cependant varier en fonction de paramètres physico-chimiques (température et composition de l'eau par exemple). Les mesures effectuées dans les diverses stations de la vallée du fleuve Sénégal ont amené à valider ces normes ou à les étendre : on parlera alors de **normes ajustées**, qui permettent d'optimiser le dimensionnement dans les contextes étudiés. Les normes d'usage et ajustées, issues de nos observations, sont présentées ci-dessous.

● Mélange des réactifs

Pour assurer un mélange correct des réactifs, il faut favoriser un **écoulement turbulent**, soit dans les bassins de mélange, soit dans les conduites d'amenée de l'eau brute. Les normes d'usage et normes ajustées sont présentées dans le tableau 3. À noter qu'il n'y a pas toujours de différence entre les deux.

Tableau 3

NORMES D'USAGE ET NORMES AJUSTÉES POUR LE DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE MÉLANGE

PARAMÈTRES	UNITÉ	NORMES D'USAGE	NORMES AJUSTÉES
Gradient de vitesse (G)	s ⁻¹ (1/s)	300 < G < 1 000	300 < G < 1 000
Temps de séjour (Ts)	s	60 < Ts < 120	60 < Ts < 200

De façon générale, un gradient de vitesse élevé assure un bon mélange et minimise les coûts de génie civil.

● Floculateur à bacs

Les bassins de floculation sont dotés d'ouvertures de plus en plus larges tout au long du parcours de l'eau afin de réduire les pertes de charge et ainsi provoquer des écoulements de moins en moins turbulents. La formule pour le calcul des pertes de charge (ΔH) à travers un orifice est la suivante :

$$\Delta H = P \div (Q\rho g)$$

Avec : P : puissance (N × m/s)

Q : débit de la station (m³/h)

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m³)

g : accélération de la pesanteur (m/s²)

Tableau 4

NORMES D'USAGE ET NORMES AJUSTÉES POUR LE DIMENSIONNEMENT DES FLOCULATEURS À BACS

PARAMÈTRES	UNITÉ	NORMES D'USAGE	NORMES AJUSTÉES
Vitesse d'entrée (Vi)	m/s	Vi < 0,8	Vi < 0,8
Vitesse de sortie (Vs)	m/s	Vs < 0,8	Vs < 0,8
Temps de séjour (Ts)	min	15 < Ts < 20	15 < Ts < 50
Nombre de bassins (N)	unité	N < 20	N < 20
Gradient de vitesse (G)	s ⁻¹	25 < G < 50	15 < G < 50
Perte de charge (ΔH)	m	ΔH < 0,1	ΔH < 0,1



La diminution progressive de la vitesse est un paramètre important ayant une forte incidence sur la formation des floccs.

À noter que la vitesse d'entrée peut être plus élevée en l'absence de bassin de mélange, à condition que le temps de séjour soit augmenté, ce qui implique un bassin plus volumineux, donc plus coûteux. Un temps de séjour trop long a pour conséquence la désagrégation des floccs formés.

— La décantation/flottation

THÉORIE

L'extraction des floccs se fait soit par le biais du processus de décantation, soit par celui de flottation.

- **La décantation** est un processus lors duquel les floccs se déposent au fond de la cuve sous l'effet de leur poids (gravité). Il est possible d'accélérer la décantation en lestant les floccs avec du micro-sable. Les floccs sont périodiquement retirés du fond du bassin de décantation.
- **La flottation** est l'inverse de la décantation et consiste à faire remonter les floccs en utilisant de l'air sous pression. Les floccs s'accrochent alors aux bulles d'air, qui les entraînent à la surface. Ils sont ensuite récupérés par un système de raclage. Le dispositif de flottation n'est pas utilisé dans la vallée du fleuve et n'est donc pas abordé dans ce manuel.

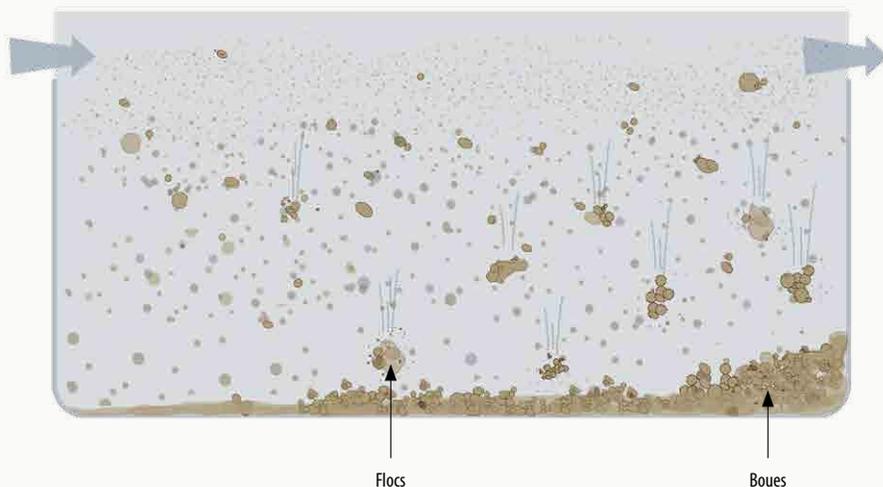
➤ Voir la fiche technique n° 5 « La décantation » p. 163.

Figure 14

SCHÉMATISATION DU PRINCIPE DE DÉCANTATION

Eau chargée en matières en suspension

Sortie vers filtration





La collecte et l'élimination des boues

L'accumulation des floccs en fond de cuve (décantation) ou en surface (flottation) forme ce que l'on appelle communément les **boues**. Les procédés de coagulation/floculation et de filtration en produisent également. Il faut régulièrement les faire sortir de la station et les traiter, car bien que principalement constituées de l'accumulation de matières en suspension aux pH relativement neutres (matières minérales comme la silice), elles comprennent aussi des substances pouvant être plus toxiques, notamment les sels métalliques (aluminium présent dans le coagulant, éventuellement fer).

Le traitement des boues consiste à réduire leur volume, à stabiliser la matière organique et à arrêter leur activité biologique (qui comprend le développement de bactéries assurant

la dégradation de la matière organique) afin qu'elles soient les moins volumineuses possible et sans odeurs. Pour ce faire, il faut les épaissir, les déshydrater et les sécher. Les boues ainsi produites seront ensuite valorisées ou incinérées. Il est également possible de les diluer et de les rejeter dans la nature (ici dans le fleuve ou le bras du fleuve) lorsque leur toxicité s'avère négligeable (pour plus de précisions, voir la fiche 7 « Collecte et élimination des boues »).

Dans la vallée du fleuve Sénégal, des bassins de séchage ont été construits dans certaines stations, mais ne sont pas utilisés correctement. Le **rejet des boues en aval** de la station est aujourd'hui la pratique communément utilisée en raison de la très faible toxicité de celles-ci et de l'important débit du fleuve.

PROCÉDÉS DANS LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

On distingue trois types de décanteurs :

- les **décanteurs statiques à flux horizontal** (longitudinal) ;
- les **décanteurs statiques à flux vertical** (ascendant et/ou descendant) ;
- les **décanteurs lamellaires**, dont l'écoulement est vertical et qui comprennent des lamelles augmentant la surface de décantation.



Décanteur de la station Mbilor (Sénégal)

- **Décanteur statique à flux horizontal**

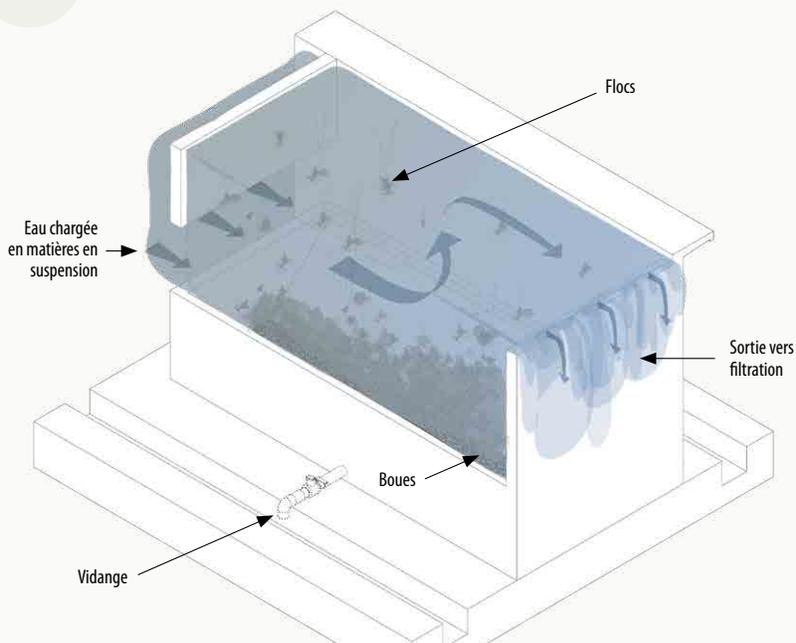
Exemple : stations de Diawara, p. 202, et de Bokhol, p. 198.

Le principe consiste à sédimenter le floc avant qu'il ne parcoure toute la longueur du décanteur horizontal. Les particules sont retenues dans le décanteur si le temps qu'elles mettent à y tomber est inférieur au temps mis par le flux pour en sortir.



Figure 15

DÉCANTEUR STATIQUE À FLUX HORIZONTAL



Station de Diawara (Sénégal)

● Décanneur statique à flux vertical

a. Décanneur statique à flux ascendant

Exemples : stations de Thiago, p. 184, et de Thillé Boubacar, p. 194.

Dans ce type de décanneur, l'eau est injectée avec son coagulant à travers un diffuseur (tuyau perforé) placé au fond du bassin. La reprise de l'eau décanter se fait en surface par



DÉCANTEUR STATIQUE

Décanneur où les particules tombent à leur propre vitesse sans ajout de procédés (lamelles) ou de matières (boues).



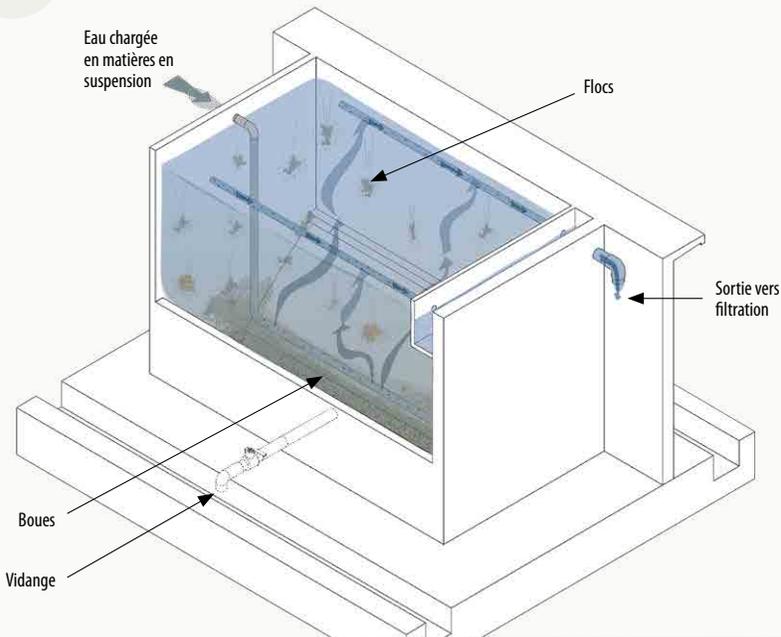
un collecteur (tuyaux perforés également). Lors de l'ascension de l'eau, les particules sont retenues si leur vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascensionnelle du flux. Cette décantation est favorisée par les floccs, dont la formation est facilitée par le lit de boues reposant au fond du bassin, qui permet ainsi d'améliorer le processus.



Pour une décantation efficace, il est nécessaire que des boues reposent au fond de bassin de décantation. Lors des opérations d'entretien, la vidange de ces boues devra donc être partielle.

Figure 16

DÉCANTEUR STATIQUE À FLUX VERTICAL (station de Thiago)



Décanteur statique à flux vertical, station de Thiago (Sénégal)





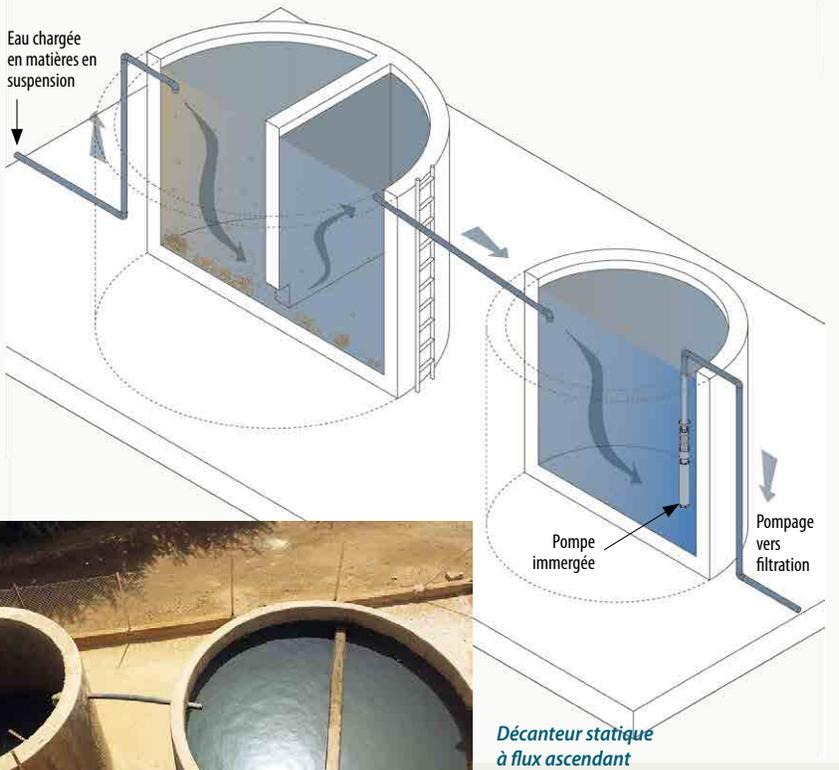
b. Décanteur statique à flux ascendant et descendant

Exemple : station de Guidakhar, p. 181.

Le décanteur est divisé en deux compartiments reliés par un orifice situé en bas du mur de séparation. L'eau du décanteur est recueillie par le trop plein et acheminée dans une bêche d'eau, pour ensuite être pompée vers les filtres.

Figure 17

DÉCANTEUR STATIQUE À FLUX ASCENDANT ET DESCENDANT (station de Guidakhar)



Décanteur statique à flux ascendant et descendant, station de Guidakhar (Sénégal)

● Décanteur lamellaire

Exemples : stations de Breun et de Ziré, p. 187.

La décantation lamellaire repose sur le principe que la vitesse de décantation ne dépend pas de la hauteur du bassin, mais de la **surface de décantation** (voir formule p. 42). En ajoutant des plaques ou lamelles inclinées, la surface de décantation, et donc la capacité de décantation, augmente alors fortement.

Des plaques ondulées ou en forme de nids d'abeille, installées transversalement au bassin, drainent le flux et ralentissent l'écoulement de l'eau. Elles permettent de créer



un écoulement laminaire dans lequel les particules sédimentent plus rapidement. Un décanteur lamellaire peut être considéré comme un empilement de décanteurs à flux horizontal dont la surface hydraulique est égale à la surface d'une plaque, et dont la hauteur d'eau correspond à la distance entre deux plaques. Ce système permet de diminuer le volume du bassin de façon notable.



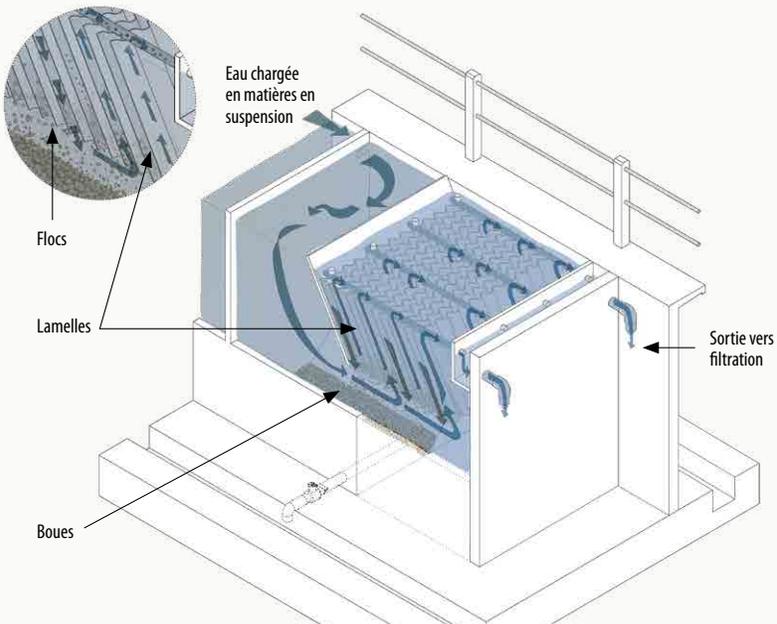
ÉCOULEMENT LAMINAIRE

Écoulement caractérisé par très peu de turbulences, l'eau s'écoulant comme s'il s'agissait de fines lames d'eau coulant l'une sur l'autre sans se mélanger.

Figure 18

DÉCANTEUR LAMELLAIRE À FLUX ASCENDANT

(stations de Breun et de Ziré)



Décanteur lamellaire à flux ascendant, station de Ziré (Mauritanie)



NORMES DE DIMENSIONNEMENT

La surface de décantation (S_d) est le paramètre déterminant pour dimensionner un bassin de décantation. La formule pour la calculer est la suivante :

$$S_d = Q \div V_v$$

Avec : Q : débit de la station (m^3/h)
 V_v : vitesse de décantation (m/h)

Pour les décanteurs lamellaires, la surface de décantation (S_d) correspond à la surface totale des lamelles projetée sur l'horizontale. La formule de calcul est la suivante :

$$S_d = N \times S_l \times \cos \varnothing$$

Avec : N : nombre de lamelles
 S_l : surface d'une lamelle (en m^2)
 \varnothing : angle d'inclinaison, en général 60°

Tableau 5

NORMES D'USAGE ET NORMES AJUSTÉES POUR LES PARAMÈTRES DE DIMENSIONNEMENT DES DÉCANTEURS

PARAMÈTRES	UNITÉ	NORMES D'USAGE	NORMES AJUSTÉES		
			Décanteur statique à flux horizontal Stations de Bokhol et de Diawara	Décanteur statique à flux vertical Stations de Guidakhar, de Thiago et de Thillé Boubacar	Décanteur lamellaire Stations de Breun et de Ziré
Vitesse de décantation (V_v)	m/h	$0,5 < V_v < 1$	$0,5 < V_v < 1$	$0,2 < V_v < 0,35$	$0,2 < V_v < 0,35$
Vitesse horizontale (V_h)	m/h	$5 < V_h < 40$	$2 < V_h < 40$	-	-
Temps de séjour (T_s)	min	$120 < T_s < 240$	$120 < T_s < 240$	$120 < T_s < 325$	$90 < T_s < 180$

NB. Pour la station de Thillé Boubacar (famille Pepam IDA), dont le décanteur est à flux ascendant, un temps de séjour de 625 minutes et une vitesse de décantation de 0,33 m/h donnent une bonne décantation. Ces paramètres impliquent toutefois que le décanteur ait un volume plus élevé, et engendrent donc des coûts d'investissement plus importants. Ce surdimensionnement permettra cependant une forte augmentation de sa capacité si on y ajoute des lamelles.

— La filtration sur sable

THÉORIE

La filtration consiste à faire passer l'eau à travers un massif filtrant qui a pour but de retenir dans l'épaisseur du filtre les particules en suspension dans l'eau, qui se retrouvent alors bloquées dans la masse du matériau poreux. Celui-ci se colmatant progressivement, il doit donc être nettoyé périodiquement.

Le massif filtrant peut agir de trois manières différentes : en surface (« gâteau »), par tamisage et par adsorption physique. La filtration sur lit de sable reposant sur un massif de gravier est efficace, simple et peu coûteuse.



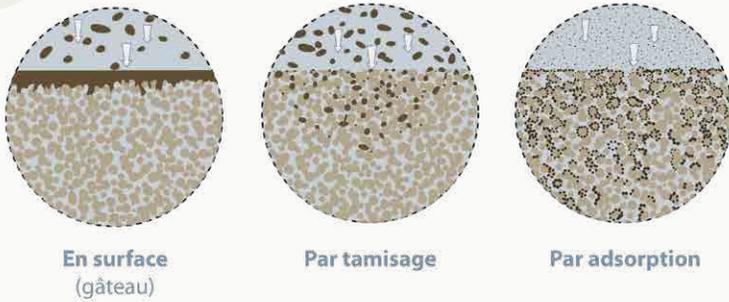
MASSIF FILTRANT Couche de matériaux (gravier, sable, anthracite) mis en place dans les filtres pour retenir les particules les plus fines.

ADSORPTION PHYSIQUE Phénomène de fixation d'éléments (molécules, ions) à la surface d'un élément solide (ici, le massif filtrant).



Figure 19

SCHÉMATISATION DES TROIS PRINCIPES DE LA FILTRATION



- La **filtration rapide** est la technique la plus répandue. Elle peut s'effectuer soit sous pression, soit à l'air libre par écoulement gravitaire. Elle est d'autant plus efficace que les grains de sable sont fins, mais le colmatage sera aussi plus rapide. La granulométrie du filtre ou sa fréquence de nettoyage sont donc adaptées à la vitesse de colmatage. On distingue le filtre monocouche (sable) du filtre bicouche (sable, anthracite ou charbon actif), qui retient davantage de particules.
- La **filtration biologique** est un processus lent, qui nécessite une couche de sable très fin. L'écoulement est suffisamment lent pour permettre le développement à la surface du sable d'un biofilm (algues, bactéries). L'activité épuratrice de ce biofilm permet la dégradation partielle de la matière organique et des bactéries, virus et parasites.



BIOFILM Couche créée par l'agrégation de micro-organismes (bactéries, algues), dont l'activité permet de dégrader la matière organique.

➤ Voir la fiche 6 « Filtration sur sable » p. 167.



Filtration rapide sous pression, station de Thiago (Sénégal)



Filtration rapide sous pression, station de Thillé Bouacar (Sénégal)



Deux exemples de procédés d'affinage

L'étape d'affinage a pour but de dégrader les matières organiques et d'éliminer certains micropolluants. Parfois considérée comme facultative, elle permet d'améliorer les qualités organoleptiques de l'eau. À titre d'exemple, on peut mentionner l'utilisation de charbon actif pour fixer les composés pouvant échapper à la clarification, tels que les pesticides ou les métaux lourds. Le charbon actif est soit ajouté en poudre dans le bassin avant l'étape de la floculation, soit sous la forme d'un lit filtrant lors de l'étape de la filtration. De même, afin d'extraire certains gaz dissous dans l'eau (trihalométhane, composés soufrés, etc.), on applique un contre-courant de gaz d'entraînement, méthode connue sous le nom de *stripping*.



QUALITÉ

ORGANOLEPTIQUE

Stimuli qui se rapporte à la sphère sensorielle (goût, flaveur, odeur) et qui a une incidence sur la qualité de l'eau dans la mesure où elle influe sur l'acceptation des humains à la boire.

PROCÉDÉS DANS LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

Compte tenu des volumes d'eau à traiter, la technique de la filtration sur sable, simple et peu chère, s'est imposée dans de nombreuses stations de potabilisation de la vallée. On en recense de deux types.

● Filtration rapide sous pression

Exemple : station de Diawara, p. 202.

L'eau est injectée sous pression dans le filtre *via* une pompe de refoulement. Les particules contenues dans l'eau sont arrêtées par le massif filtrant lorsque celles-ci passent au travers. En s'enchevêtrant, les particules finissent par former un second milieu filtrant sur lequel les autres particules viennent à leur tour se déposer de manière continue sous la forme d'un « gâteau », dont l'épaisseur s'accroît au fur et à mesure de l'écoulement de l'eau.

Le massif filtrant est formé de deux couches : une de sable et une d'anthracite. Cela permet d'obtenir un filtre bicouche, plus efficace.

● Filtration rapide à l'air libre (gravitaire)

Exemples : stations de Breun et de Ziré, p. 187.

L'eau traverse un massif filtrant sous pression atmosphérique. La conception de ce type de filtre ne nécessite pas de local technique, car le filtre est directement relié au décanteur. La couche de gravier, disposée en fond de filtre, empêche les crépines (collecteurs de l'eau filtrée) de se colmater.



Filtre à sable à l'air libre, station de Breun (Mauritanie)



Figure 20

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA FILTRATION SOUS PRESSION

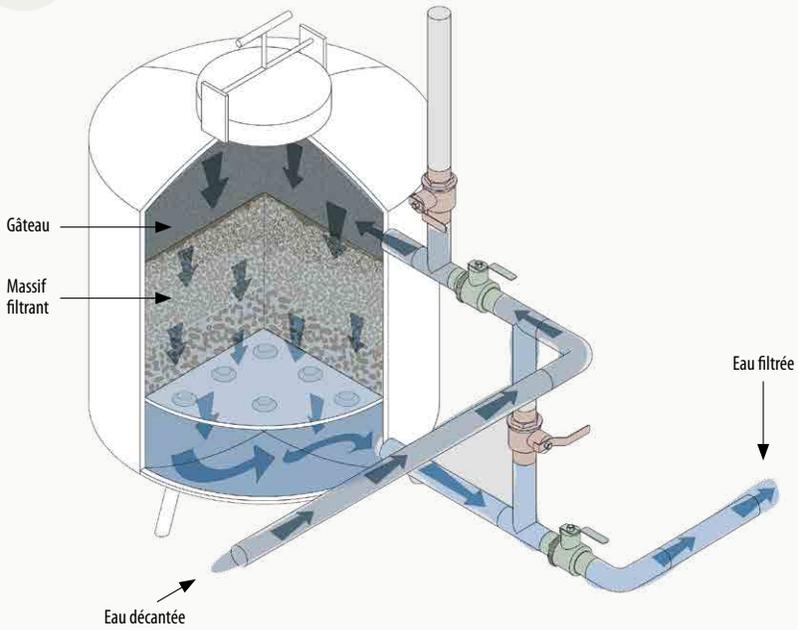
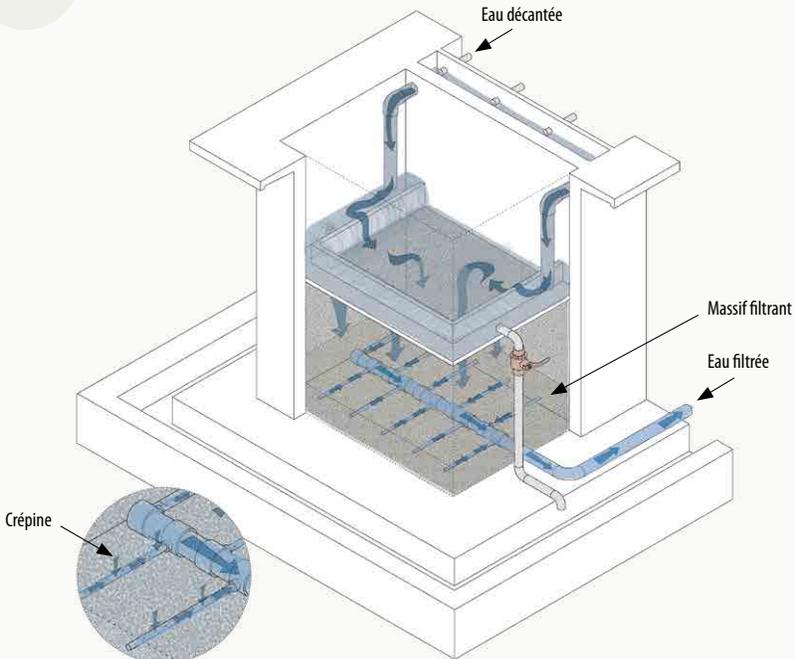


Figure 21

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE LA FILTRATION À L'AIR LIBRE





a. L'entretien du filtre

Il est nécessaire de procéder régulièrement à l'entretien du filtre pour que celui-ci conserve ses propriétés. Le **rétrolavage** s'effectue en appliquant au sein du filtre, en sens inverse, un flux d'eau propre sous pression. Cette pression est effectuée soit par la pompe de refoulement, soit par le retour d'eau depuis le château d'eau. Il est important de régler le débit de façon à évacuer les particules sans emporter le matériau filtrant. Les eaux sont évacuées à travers le réseau de vidange des boues de la station.

Dans le cas du filtre à l'air libre, il suffit d'injecter de l'eau clarifiée sous pression à travers les tuyaux de reprise et de collecter les eaux de lavage à travers le collecteur situé en haut du filtre. Ces eaux sont évacuées par le réseau de vidange des boues.

Figure 22

RÉTROLAVAGE D'UN FILTRE SOUS PRESSION UNIQUE (utilisation de l'eau filtrée depuis le château d'eau)

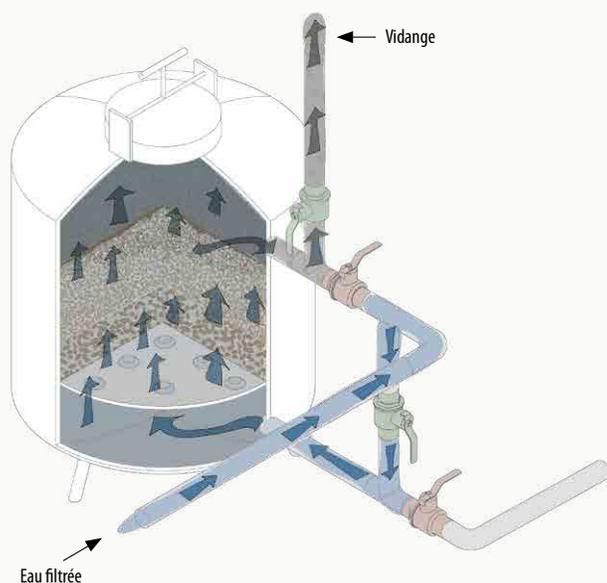




Figure 23

RÉTROLAVAGE D'UN FILTRE SOUS PRESSION DOUBLE

(utilisation de l'eau en sortie de décanteur, filtrée par un autre filtre)

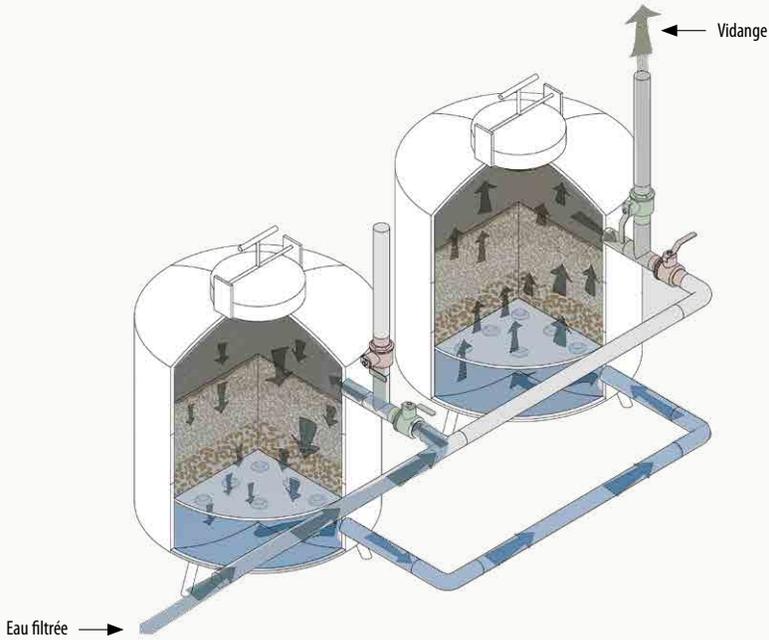
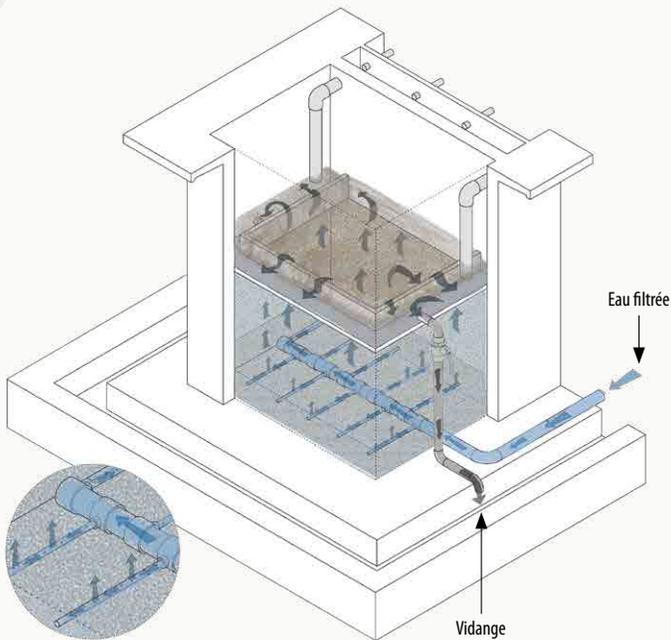


Figure 24

RÉTROLAVAGE D'UN FILTRE À L'AIR LIBRE





NORMES DE DIMENSIONNEMENT

Les normes d'usage et ajustées pour les filtres sous pression et les filtres à l'air libre sont présentées dans le tableau 6. Elles sont semblables pour les deux types de filtres.

Tableau 6

NORMES D'USAGE ET AJUSTÉES POUR LES FILTRES SOUS PRESSION ET À L'AIR LIBRE

PARAMÈTRES	UNITÉ	NORMES D'USAGE	NORMES AJUSTÉES
Vitesse de filtration (V_f)	m/h	$5 < V_f < 10$	$4,5 < V_f < 11$

Pour garantir une bonne filtration, il est nécessaire de prendre en compte les points suivants :

- **la granulométrie du massif filtrant** : elle doit se situer entre 0,9 et 1,2 mm pour les débits importants, et entre 0,5 et 0,8 mm pour les débits plus faibles ;
- **la nature du massif filtrant** : il est préférable d'utiliser le sable de rivière (grains ronds) au sable concassé (grains anguleux), car la porosité plus élevée des grains anguleux rend la filtration moins efficace ;
- **l'épaisseur de la couche de sable dans les filtres à l'air libre** : elle doit être supérieure à 80 cm ;
- **le rétrolavage** : la canalisation d'arrivée des eaux de rétrolavage provenant du château d'eau (gravitaire) ou de la sortie du bassin de décantation (pompe de reprise) doit permettre d'avoir un débit au moins équivalent au triple du débit de production. Un bon lavage peut s'accompagner d'une injection d'air comprimé à travers une canne, que l'on déplace sous le sable.



ÉTAPE 3

LA DÉSINFECTION

— Théorie

Les différentes étapes de la clarification ont permis d'éliminer plus de 90 % des organismes pathogènes. Toutefois, l'eau traitée étant destinée à la consommation humaine, il est indispensable d'atteindre un taux d'élimination supérieur à 99 %. C'est là qu'intervient l'étape finale de la désinfection.

Un désinfectant a deux effets :

- **effet biocide**, c'est-à-dire la capacité à détruire les virus ou les bactéries pathogènes ;
- **effet rémanent** : le désinfectant continue d'agir dans le réseau de distribution, ce qui empêche les micro-organismes de se développer à nouveau une fois le traitement de l'eau terminé. Il possède à la fois un effet bactériostatique contre les reviviscences bactériennes, et un effet biocide contre les pollutions faibles et ponctuelles survenant dans le réseau.

Pour que la désinfection soit efficace, il faut que la clarification ait auparavant éliminé les matières organiques, les métaux, etc. La désinfection peut être effectuée par des agents chlorés, par l'ozone, par le traitement aux ultraviolets ou par des procédés membranaires.

LES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE DÉSINFECTION

Le chlore est un puissant oxydant. Il agit en cassant les liaisons chimiques des molécules des organismes pathogènes : il remplace par du chlore les atomes d'hydrogène des enzymes des cellules et bactéries, provoquant ainsi la dissociation ou la désactivation des éléments pathogènes⁴. Le chlore a également un fort pouvoir rémanent.

L'ozone utilise son pouvoir oxydant en altérant directement les parois des cellules des micro-organismes, puis leurs composants essentiels (enzymes, protéines, ADN, ARN). Il a pour avantage d'éliminer des micropolluants tels que les pesticides, ainsi que certains goûts et odeurs. Ce procédé requiert cependant une technologie assez pointue (production sur place de l'ozone nécessaire) et n'a pas d'effet rémanent.

Les rayons ultra-violets agissent directement sur l'ADN, l'acide nucléique et les enzymes, et ont pour conséquence la destruction ou l'inactivation des organismes

4. *Lenntech*, Désinfectants : le chlore [consulté le 5 avril], 2019, <https://www.lenntech.fr/desinfection/desinfectants-chlore.htm>



pathogènes. Si la technologie est simple et accessible, elle nécessite toutefois un traitement complémentaire car elle ne possède pas non plus d'effet rémanent.

Les traitements de l'eau par **procédés membranaires** permettent d'éviter certaines étapes de clarification et de limiter celles de désinfection. L'eau circule au travers de membranes constituées de fibres poreuses, organiques ou minérales, de très faible diamètre, qui retiennent une majorité des particules et virus. Il existe de nombreux procédés membranaires, classés en fonction de la taille des composés arrêtés par la membrane. Ces procédés sont utilisés pour éliminer les pesticides, dessaler l'eau de mer et produire de l'eau ultra-pure. Ils n'ont pas non plus d'effet rémanent.

— Procédés dans la vallée du fleuve Sénégal

Le procédé de désinfection le plus répandu au Sénégal et en Mauritanie est le **traitement par agents chlorés**, utilisés sous forme d'eau de Javel (hypochlorite de sodium). L'utilisation d'agents chlorés exige une eau faiblement chargée en matière organique. Son action peut s'exprimer en termes de demande en chlore : si la quantité de chlore ajoutée à l'eau est suffisante pour combler cette demande, le chlore non utilisé se retrouve dans l'eau sous forme libre : c'est ce que l'on appelle le chlore résiduel libre.

Le chlore est injecté avant l'arrivée au réservoir, le plus souvent par une pompe doseuse (voir p. 29).



Pompe doseuse hydraulique, station de Ziré (Mauritanie)



Le goût du chlore

Les populations rejettent parfois l'eau au goût de chlore. Dans ce cas, il est possible de diminuer la concentration résiduelle et de l'augmenter ensuite graduellement, au fur et à mesure que les populations comprennent l'intérêt de la chloration et qu'elles s'adaptent à son goût.

— Normes de dimensionnement

Pour que la chloration soit efficace, la turbidité de l'eau doit être inférieure à 5 NTU. Le chlore résiduel libre doit être compris entre 0,2 et 0,5 mg/l : des concentrations inférieures à 0,1 mg/l ne garantissent pas une rémanence suffisante. Dans ces ordres de grandeur, le goût chloré de l'eau est très réduit.





Station de Ziré (Mauritanie) © En Haut

TRAITER L'EAU DU FLEUVE SÉNÉGAL : CARACTÉRISATION ET STATIONS TYPE

- 
- 55 **Caractériser la ressource en eau : l'exemple de la vallée du fleuve Sénégal**
- 55 • Le fleuve et ses affluents
 - 62 • Les plans d'eau
 - 63 • Les eaux souterraines
- 64 « CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE EN EAU DU FLEUVE SÉNÉGAL ET NORMES À RESPECTER POUR L'EAU POTABLE »
- 65 **Les stations de potabilisation de la vallée du fleuve Sénégal**
- 65 • Présentation des stations
 - 67 • Synthèse des performances

Les principes du traitement de l'eau et les procédés les plus largement utilisés dans la vallée du fleuve Sénégal ayant été présentés, cette partie propose, pour continuer, de caractériser la ressource en eau (type de ressource, paramètres physico-chimiques et effets de saisonnalité). Elle présente ensuite les modèles de stations de la vallée, par grand type de famille, afin d'en étudier les performances techniques et financières.

Chaque station fait l'objet d'une fiche (en annexe) qui détaille ses caractéristiques techniques, ses performances, ses avantages ainsi que ses limites. Ces appréciations résultent d'une série d'analyses et d'observations réalisées par les équipes du Gret *in situ*, en collaboration avec les opérateurs des stations étudiées.



CARACTÉRISER LA RESSOURCE EN EAU

L'EXEMPLE DE LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

Afin d'obtenir une eau potable, il est nécessaire en premier lieu de connaître les caractéristiques de l'eau à disposition pour identifier les procédés de traitement. En effet, en fonction des paramètres **physiques** (pH, niveau de turbidité), **chimiques** (composés tels que le fer, le nitrate, le manganèse, etc.) et **bactériologiques**, les étapes de traitement et procédés à utiliser seront différents. Il s'agit aussi de s'assurer que la ressource est pérenne et que les niveaux de prélèvement n'affecteront pas d'autres usages, qu'ils concernent les activités humaines ou écosystémiques. La question des impacts du changement climatique soulève également des interrogations sur la disponibilité et les caractéristiques de cette ressource. La prise en compte de ces changements doit être abordée. Cela est valable pour tous les contextes, et est ici illustré à travers le cas du fleuve Sénégal.

La vallée du fleuve Sénégal comprend trois types de ressources en eau : le fleuve et ses affluents et défluent, les plans d'eau et les eaux souterraines. Chacune de ces ressources présente des caractéristiques hydrologiques et physico-chimiques spécifiques.

— Le fleuve et ses affluents

Long de 1 800 km, le fleuve Sénégal naît de la rencontre de trois principaux cours d'eau : le Bafing, le Bakoye et, plus en aval, le Falémé. Il traverse la partie occidentale du Mali avant de former, sur le reste de son parcours, la frontière entre le Sénégal et la Mauritanie. Son bassin couvre une superficie d'environ 290 000 km² et comprend trois grandes régions : le haut bassin, la moyenne vallée et le delta. Un vaste réseau de défluent alimente des lacs de part et d'autre des rives du fleuve.

Le bassin du fleuve Sénégal est marqué par un climat de type tropical humide en amont et de type sahélien dans la moyenne vallée et le delta, avec des précipitations qui atteignent leur niveau maximum entre juillet et septembre. Le régime d'écoulement du fleuve dépend essentiellement des précipitations dans le haut bassin. Il se caractérise par une saison de hautes eaux de juillet à octobre, et une saison de basses eaux à décroissance régulière de novembre à juin.

La réalisation dans les années 1980 de deux importants barrages, le barrage anti-sel de Diama (1986) et le barrage hydroélectrique de Manantali (1988), a permis de réguler la variation des niveaux d'eau. Actuellement, environ 4 milliards de m³ d'eau se déversent annuellement à travers le barrage de Diama, permettant de



HAUTES EAUX ET BASSES EAUX Indique la hauteur ou le débit d'eau le plus élevé ou le plus faible de l'année.



couvrir largement les besoins en eau potable des populations avoisinantes. Toutefois, plusieurs études montrent que le changement climatique a des incidences sur le régime hydrologique du fleuve Sénégal¹. Ainsi, si les différents modèles ne sont pas tous convergents sur les effets produits, rendant difficile les prévisions, d'autant plus que l'impact de ces effets est amenuisé par les deux barrages existants, la majorité s'accordent sur une réduction du volume des eaux de ruissellement, estimées en 2050 entre 8 et 16 %². On peut donc faire l'hypothèse que cela aura à moyen terme peu d'incidence sur les capacités de prélèvement pour les besoins en eau potable, usage prioritaire dans les politiques nationales des États.

Les caractéristiques physico-chimiques du fleuve en fonction des variations annuelles sont présentées ci-dessous. Les données qui suivent sont issues du *Rapport d'avant-projet sommaire des unités de potabilisation – Pepam, sous-programme Pepam-IDA, régions de Saint-Louis, Matam et département de Bakel*³, réalisé entre 2008 et 2011.



Source : Wikipédia. © Bourrichon – fr:Bourrichon [CC BY-SA 3.0]

LA TURBIDITÉ

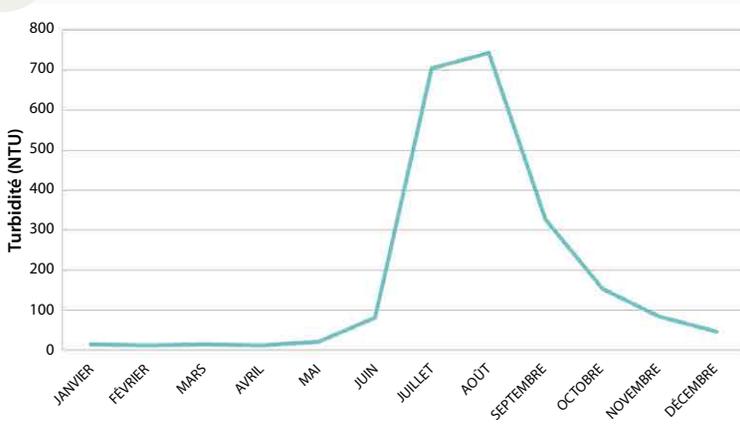
La turbidité de l'eau du fleuve varie en fonction des saisons. De janvier à mai, elle est inférieure à 100 NTU. Elle remonte à partir de juin avec les crues, et atteint un pic en août, avant de décroître avec la fin de l'hivernage (elle peut dépasser les 1 000 NTU durant celui-ci). La turbidité doit être contrôlée par les opérateurs afin d'adapter les dosages d'intrants, et les stations doivent être dimensionnées pour faire face aux pics sur de courtes périodes.

1. Bodian A. et al., 2013 ; Faye C. et al., 2015.
2. Bodian A. et al., 2018.
3. Hydroconsult international et al., 2011.



Figure 1

TURBIDITÉ DU FLEUVE SÉNÉGAL (moyennes mensuelles⁴)



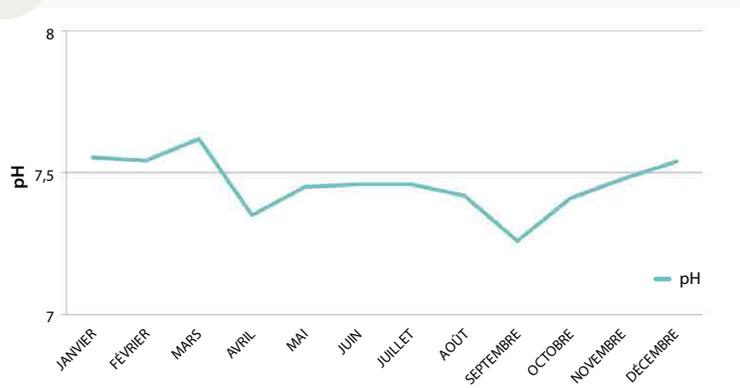
LE PH

Le pH traduit la concentration des ions H^+ dans l'eau. Sa valeur a des répercussions sur un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Dans les eaux naturelles non sujettes aux rejets résultant des activités humaines, le pH dépend de la nature géologique du lit et du bassin versant de la rivière.

Le pH de l'eau du fleuve Sénégal est légèrement basique, avec des moyennes comprises entre 7 et 8. Cela favorise son traitement, puisque le coagulant utilisé dans

Figure 2

PH DU FLEUVE SÉNÉGAL (moyennes mensuelles)



4. Les graphiques de ce guide ont été élaborés à partir des données de la Sénégalaise des eaux (SDE) sur les stations de Dagana, Podor et Bakel entre 2008 et 2010. Les moyennes mensuelles ont été calculées sur ces trois années.



la vallée, le sulfate d'alumine, a pour effet de diminuer le pH (autrement dit, de l'acidifier) : plus la turbidité augmente, plus la quantité de sulfate d'alumine injectée pour permettre la coagulation est importante, plus le pH diminue et plus l'acidité de l'eau augmente. Or, une eau acide favorise la dissolution de certains éléments précipités tels que l'aluminium et le fer. Pour optimiser la coagulation et assurer un pH de l'eau acceptable, il faudra veiller à ajouter un réactif basique comme la chaux.



Lorsque les quantités de coagulant injecté augmentent, l'opérateur doit veiller à rehausser le pH, qui devra se situer autour de 7 afin d'assurer une bonne coagulation et avoir une eau répondant aux normes de qualité (voir fiche 5 « Coagulation », p. 163).

LA CONDUCTIVITÉ

La conductivité de l'eau du fleuve est faible : 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne, avec un pic autour de 65 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en novembre. Elle est influencée par la température et la composition des différentes roches traversées par l'eau.

Lors des périodes de crue, la teneur de l'eau en ions augmente, mais ces derniers sont toutefois dilués par les apports importants en volume d'eau. Après l'hivernage, la diminution du débit provoque un pic de conductivité dans le fleuve.

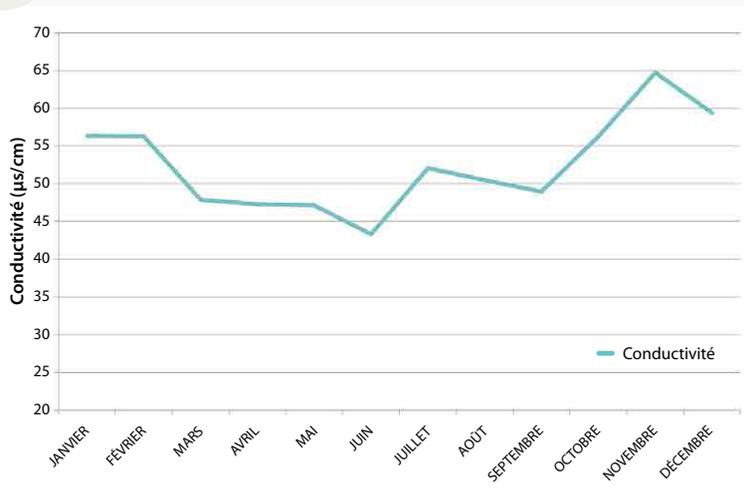


CONDUCTIVITÉ Mesure indirecte de la teneur en ions minéraux et organiques de l'eau. Elle donne une indication de la quantité de matière dissoute. Elle se mesure communément dans l'eau en micro-siemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

ION Molécule ou atome portant une charge électrique soit positive (cation), soit négative (anion).

Figure 3

CONDUCTIVITÉ DU FLEUVE SÉNÉGAL



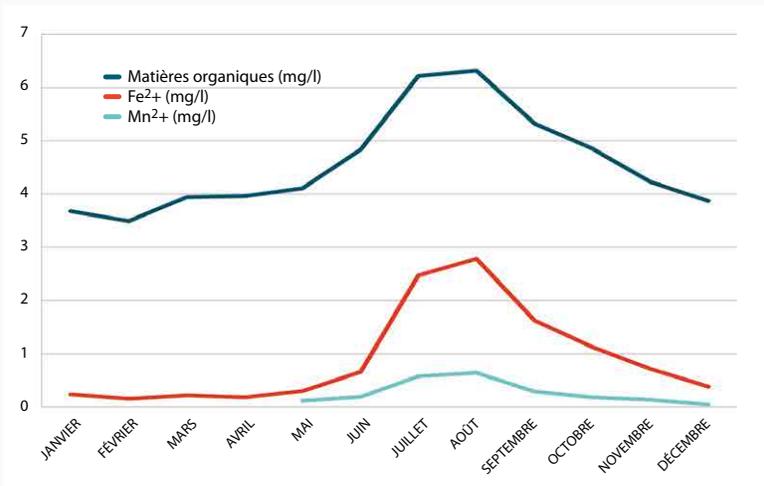


LES MATIÈRES ORGANIQUES, LE FER ET LE MANGANÈSE

La matière organique est présente dans l'eau sous forme particulaire ou dissoute, et indique un risque de **prolifération bactérienne**. Les concentrations en matière organique du fleuve augmentent durant l'hivernage. Elles peuvent former, avec certains éléments métalliques, des complexes solubles ou insolubles, qui peuvent être potentiellement néfastes pour la santé (le trihalométhane, qui se forme au contact du chlore, par exemple). Il est donc nécessaire de les éliminer lors de leur passage – ce que font les stations de potabilisation.

Figure 4

CONCENTRATIONS EN MATIÈRES ORGANIQUES, FER ET MANGANÈSE DU FLEUVE SÉNÉGAL (moyennes mensuelles)



La présence de fer provient du lessivage des sols et de la dissolution des roches et des minerais. Le manganèse est quant à lui présent en quantité moindre dans les roches et le fleuve. La forte présence de fer et de manganèse dans l'eau peut parfois modifier l'acceptabilité des consommateurs à la boire (goût et couleur orange pour le fer). À des concentrations où l'eau reste « buvable » (autrement dit où l'on accepte de la boire), le fer et le manganèse n'ont pas d'effet sur la santé. Les concentrations recommandées pour éviter ces problèmes sont de 0,2 à 0,3 mg/l pour le fer, et de 0,05 à 0,06 mg/l pour le manganèse.

Les nuisances provoquées par ces éléments sont principalement la **corrosion des canalisations**, due au développement de micro-organismes, et les **problèmes organoleptiques** (couleur rouille et goût métallique).



LESSIVAGE DES SOLS

Transport, par les eaux de surface, des éléments contenus dans le sol.

OXYDATION Terme désignant la perte d'électrons d'une substance, qui modifie ses propriétés. Par exemple, l'oxydation du fer permet sa précipitation et son élimination.



Lorsqu'ils sont sous forme de **particules**, le fer et le manganèse doivent être éliminés par oxydation (aération et chloration) et précipitation. S'ils sont sous forme **complexée** (dissoute), ils sont alors éliminés par clarification.

L'OXYGÈNE DISSOUS ET LA TEMPÉRATURE

L'oxygénation de l'eau provient du contact de sa surface avec l'air. Elle dépend de la température : plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble. À pression atmosphérique, la solubilité de l'oxygène est de 9,09 mg/l à 20 °C, de 8,26 mg/l à 25 °C et de 7,56 mg/l à 30 °C. Les températures relevées dans le fleuve varient entre 20 et 30°C, et l'oxygène dissous oscille entre 8 et 8,9 mg/l.

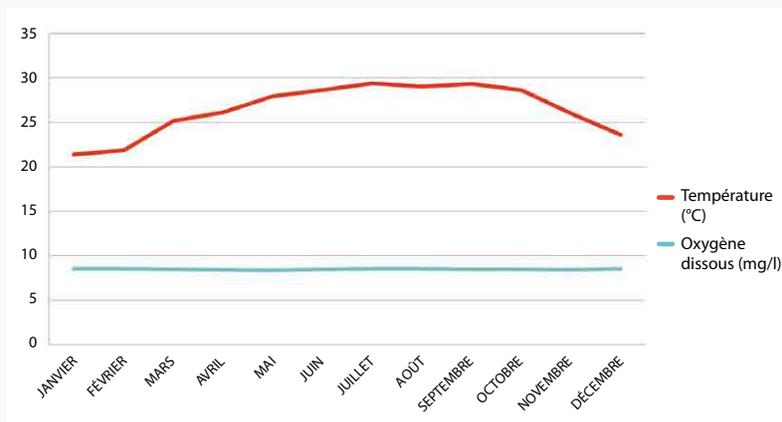


OXYGÉNATION Processus consistant à oxygéner l'eau pour permettre l'oxydation de ses composés (fer, manganèse) et leur précipitation en vue de leur élimination.

VISCOSITÉ Propriété d'un fluide caractérisant sa résistance à l'écoulement.

Figure 5

TEMPÉRATURE ET QUANTITÉ D'OXYGÈNE DISSOUS (moyennes mensuelles)



La température influence la viscosité cinématique de l'eau, facteur qu'il faut prendre en compte lors du dimensionnement des décanteurs. Elle influence également les qualités organoleptiques : à composition égale, une eau fraîche a généralement un meilleur goût et une odeur plus agréable qu'une eau tiède.



Suivi des paramètres de l'eau à Guidakhar (Sénégal)

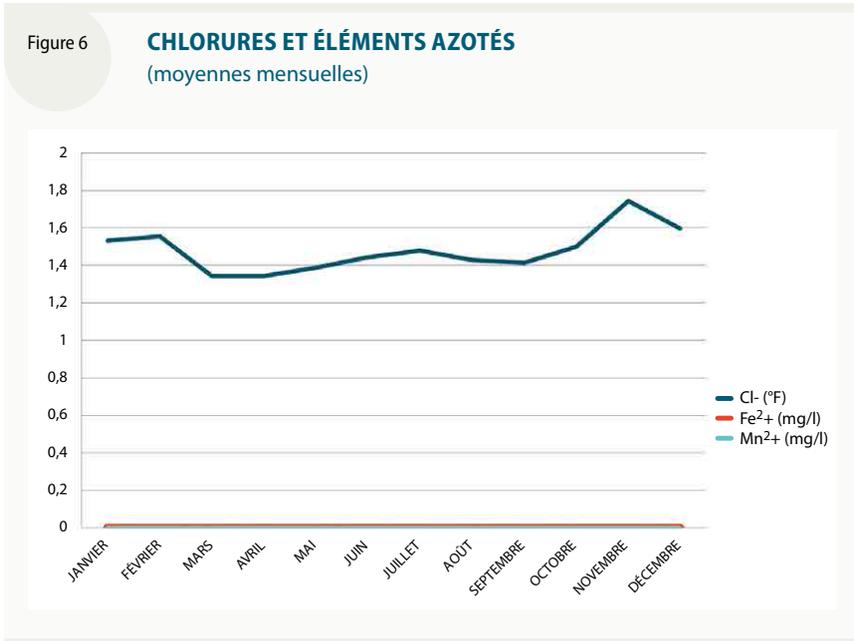


LES ÉLÉMENTS AZOTÉS ET LES CHLORURES

Les engrais et les pesticides issus de l'agriculture et de l'élevage (nitrates et phosphates notamment) sont de potentielles sources de pollution du fleuve.

Les concentrations en ammonium et en nitrites de l'eau du fleuve sont nulles. Cependant, d'après la Sénégalaise des eaux (SDE), une contamination azotée commencera à apparaître depuis quelques années, à la suite de l'augmentation des périmètres irrigués et maraîchers aux abords du fleuve. Bien que les teneurs restent encore faibles, cette situation est à surveiller, et d'autant plus que les stations de potabilisation de la vallée ne sont pas équipées pour traiter ces éléments.

Les concentrations en chlorures dans les eaux de surface dépendent de la **composition chimique du socle rocheux**, du **climat** et de la **proximité de la mer**. Il n'existe pas de normes quantitatives pour l'eau potable. Néanmoins, si la teneur est supérieure à 250 mg/l, le goût de l'eau est alors affecté. Les concentrations que l'on trouve dans le fleuve Sénégal n'ont aucune répercussion sur la qualité organoleptique de l'eau.



LA DURETÉ DE L'EAU

La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) indique la teneur en sels de calcium et magnésium. Le titre alcalimétrique (TA) mesure la teneur en alcalis libres et en carbonates. Le bicarbonate, le carbonate et l'hydroxyde forment le titre alcalimétrique complet (TAC). Ces concentrations s'expriment en °F (degré français) ou en meq/l (milliéquivalent par litre).

La dureté totale de l'eau du fleuve varie entre 2,9 et 6 °F. Une valeur inférieure à 7 °F correspond à des eaux contenant peu de sels de calcium ou de magnésium. Celles-ci ont un important potentiel de dissolution des matériaux métalliques avec lesquels



elles sont en contact (récipients, tuyaux, etc.), raison pour laquelle elles sont dites agressives. Le TAC varie entre 3 et 7°F, et le TA avoisine zéro. Les seuls anions présents sont des ions bicarbonates, ce qui explique la proximité des valeurs de TH et de TAC (voir tableau 1 ci-dessous).

Figure 7

ÉVOLUTION DU TAC ET DU TH (moyennes mensuelles)

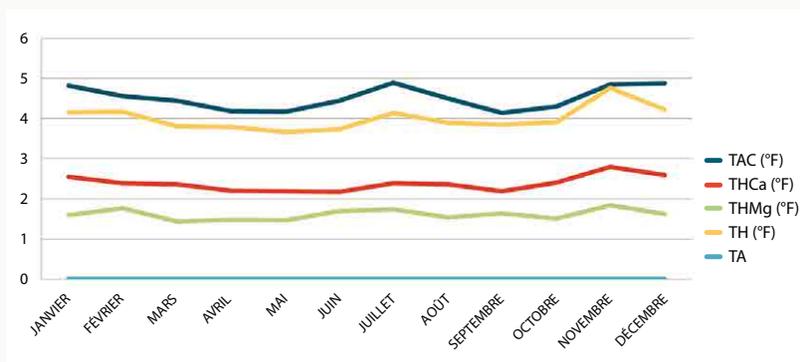


Tableau 1

SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU DU FLEUVE SÉNÉGAL

Minéralisation	Faible (conductivité moyenne de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
pH	Légèrement basique (entre 7 et 8).
Fer et manganèse	Faible présence liée au lessivage de sols.
Nitrates et phosphates	En très faibles quantités.
TH	Eaux agressives, potentiel important de dissolution (TH faible).
Turbidité	Variations saisonnières importantes (10 à 50 NTU entre novembre et juin, jusqu'à 1 000 NTU entre juin et octobre).

— Les plans d'eau

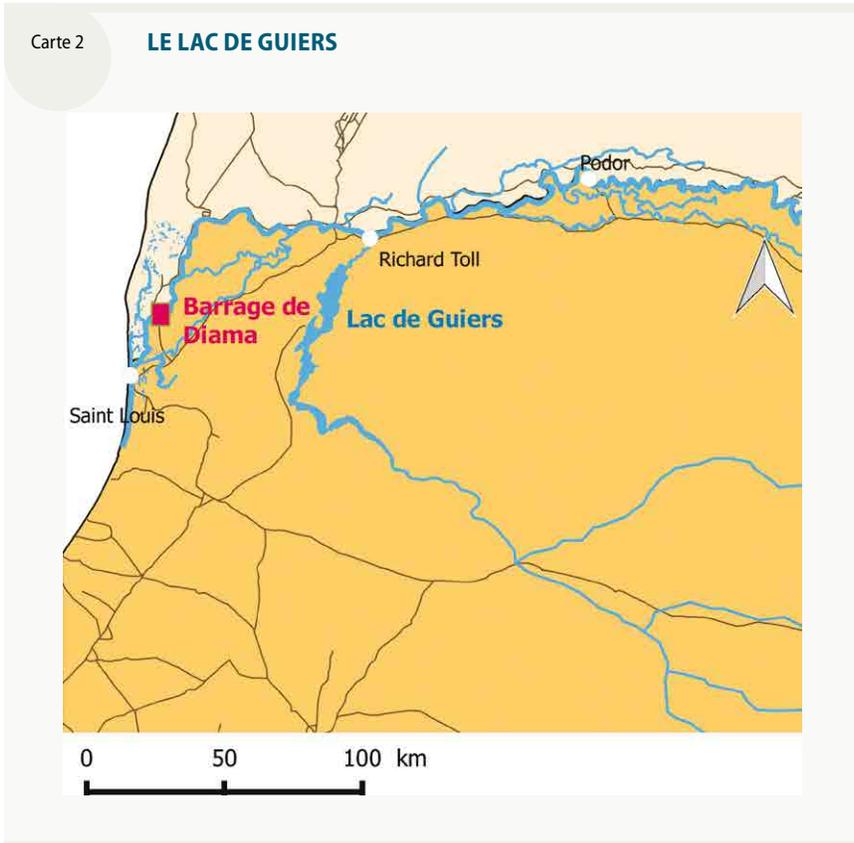
Le réseau hydrographique associé au fleuve Sénégal est formé de plans d'eau et d'une multitude de mares temporaires.

En rive gauche dans la région du delta, le **lac de Guiers** constitue un important réservoir d'eau douce. D'une superficie d'environ 250 km² et d'un volume appro-



chant les 400 millions de m³, il est exploité à des fins d'irrigation et de production d'eau potable. Les eaux de ce lac sont d'assez bonne qualité physico-chimique. Des traces de pesticides ont cependant été retrouvées dans les zones périphériques de cultures maraîchères ou rizicoles.

Depuis la construction des barrages de Manantali et de Diama dans les années 1980, le lac de Guiers présente une stabilité relative, avec des turbidités relativement faibles et une eau peu minéralisée et très douce.



Source : Gret.

— Les eaux souterraines

Les eaux souterraines proches du fleuve sont composées de plusieurs nappes alluvionnaires qui, en raison de leur niveau de pollution ou de leur salinité, ne peuvent être utilisées pour l'eau potable sans être au préalable traitées. Ces nappes dépendent du niveau du fleuve, et peuvent présenter de faibles débits. Aujourd'hui, la Société nationale des eaux du Sénégal (Sones) les abandonne peu à peu en raison de la faiblesse et de la variabilité de leurs débits, ainsi que de leur mauvaise qualité.

CARACTÉRISTIQUES DE LA RESSOURCE EN EAU DU FLEUVE SÉNÉGAL ET NORMES À RESPECTER POUR L'EAU POTABLE

PARAMÈTRES	FLEUVE SÉNÉGAL	DIRECTIVES OMS	NORMES AU SÉNÉGAL
Minéralisation	Faible (conductivité moyenne de 50 µS/cm).	Pas de valeur guide. À partir de 1 000 mg/l de matières totales dissoutes, l'eau devient progressivement imbuivable.	MAXIMUM : Recommandé : 1 300 µS/cm Admissible : 1 700 µS/cm
pH	Légèrement basique (entre 7 et 8).	Pas de valeur guide pour l'eau potable. Un pH compris entre 6,5 et 8,5 est conseillé afin d'éviter la corrosion.	MAXIMUM : Recommandé : 6,5-8,5 Admissible : 9,3
Fer et manganèse	Faible présence, liée au lessivage de sols.	Pas de valeur guide mais affectent le goût à des concentrations trop élevées.	MAXIMUM ADMISSIBLE : Fer : 0,3 mg/l Manganèse : 0,1 mg/l
Nitrates, phosphates, chlorures	En très faibles quantités.	Nitrates : inférieur à 50 mg/l Phosphates et chlorures : pas de valeur guide (ammoniac).	MAXIMUM ADMISSIBLE : Nitrates : 50 mg/l Phosphates : 400 mg/l Chlorures : 750 mg/l
Dureté	Eaux agressives, potentiel important de dissolution (TH faible).	Pas de valeur guide.	MAXIMUM : Recommandé : 6 meq/l Admissible : 10 meq/l
Turbidité	Variations saisonnières importantes (10 à 50 NTU entre novembre et juin, jusqu'à 1 000 NTU entre juin et octobre).	Pas de valeur guide. Afin de permettre une chloration efficace, on conseille une turbidité inférieure à 5 NTU.	Sans objet.

Sources :

- Directives OMS : OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson, 2017.
- Normes Sénégal : Legendre B., Manuel des projets d'eau potable en milieu rural, 2016.



LES STATIONS DE POTABILISATION DE LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

— Présentation des stations

Un inventaire des stations de potabilisation installées dans la vallée du fleuve Sénégal a été conduit en 2015, permettant d'en identifier 76 (voir p. 207). Sur la base de cet inventaire, **neuf stations**, réparties dans **huit familles** (prenant le nom du projet ayant construit la station), ont été identifiées comme étant les plus représentatives ou les plus prometteuses en termes de potentiel de traitement, d'adaptabilité aux contraintes rurales et de diversité technologique. Elles sont présentées dans le tableau 2 page suivante et détaillées sous forme de fiches à la fin de l'ouvrage. Dans celles-ci, chaque station est décrite et analysée à travers ses performances techniques, ses coûts d'investissement et ses coûts d'exploitation. Les avantages et inconvénients de chacune d'elles sont mis en avant. Ces analyses se fondent sur les données collectées sur le terrain par le Gret depuis plus de dix ans.

Ces stations peuvent être classées en premier lieu en fonction du type de filière auquel elles appartiennent : les deux premières, Ross-Béthio et Tékane, sont des modèles par *batch*, alors que les autres sont des modèles à flux continu.

Les stations ont également été choisies de façon à obtenir une palette de débits de production, allant de 5 à 300 m³/jour.

Enfin, ces stations présentent des technologies différentes (voir tableau 3 p. 68-69) afin de permettre d'étudier des procédés de traitement divers.

- **Ross-Béthio** a la particularité d'être une mini-station à faible débit de production, initialement conçue pour répondre à un besoin temporaire d'une base de chantier de l'entreprise Delta Irrigation.
- **Tékane** est représentative d'un ensemble de stations réalisées par l'AECID en 2011 (on en compte une vingtaine en Mauritanie). Elle figure parmi les stations les plus productives de cette catégorie (60 m³/jour).
- Les stations de **Guidakhar** et de **Thiago** (projets Alizés et Alizés bis mis en œuvre par le Gret) appartiennent à un ensemble de stations faisant partie des premières réalisées en milieu rural au Sénégal.
- Les stations de **Breun** et de **Ziré** (projet Aicha Mauritanie) sont des modèles adaptés de stations réalisées au Cambodge par le Gret et ayant fait leur preuve. Breun est la première station à flux continu en milieu rural installée en Mauritanie, et son modèle a ensuite été répliqué à Ziré, mais avec une pompe de reprise fonctionnant à l'énergie solaire.



LES DIFFÉRENTES FAMILLES DE STATIONS

Tableau 2

FAMILLE	STATION (LOCALITÉ)	PROJET	PAYS	MISE EN SERVICE	ÉNERGIE	TYPE DE FILIÈRE	DÉBIT DE PRODUCTION	FICHES STATION
1	Ross-Béthio	Delta Irrigation	Sénégal	2015	Thermique	Batch	5 m ³ /jour	p. 175
2	Tékane	AECID	Mauritanie	2011	Thermique/ électrique	Batch	60 m ³ /jour	p. 178
3	Guidakhar	Alizés	Sénégal	2001	Solaire	En continu	20 m ³ /jour	p. 181
4	Thiago	Alizés bis	Sénégal	2009	Électrique	En continu	80 m ³ /jour	p. 184
5	Ziré	Aicha Mauritanie	Mauritanie	2014	Thermique/solaire	En continu	120 m ³ /jour	p. 187
6	Breun	Aicha Mauritanie	Mauritanie	2010	Thermique	En continu	180 m ³ /jour	p. 187
7	Thillé Boubacar	Pepam IDA	Sénégal	2014	Électrique	En continu	180 m ³ /jour	p. 194
8	Bokhol	Aicha Sénégal	Sénégal	2008	Électrique	En continu	240 m ³ /jour	p. 198
9	Diawara	PacepaS	Sénégal	2009	Électrique	En continu	300 m ³ /jour	p. 202

(1) Deux stations, Breun et de Ziré, font partie de la même famille mais ont été étudiées indépendamment pour analyser leurs différences, notamment au regard du type d'énergie utilisé : Ziré fonctionne en pompage mixte (solaire et thermique) et Breun en pompage thermique.

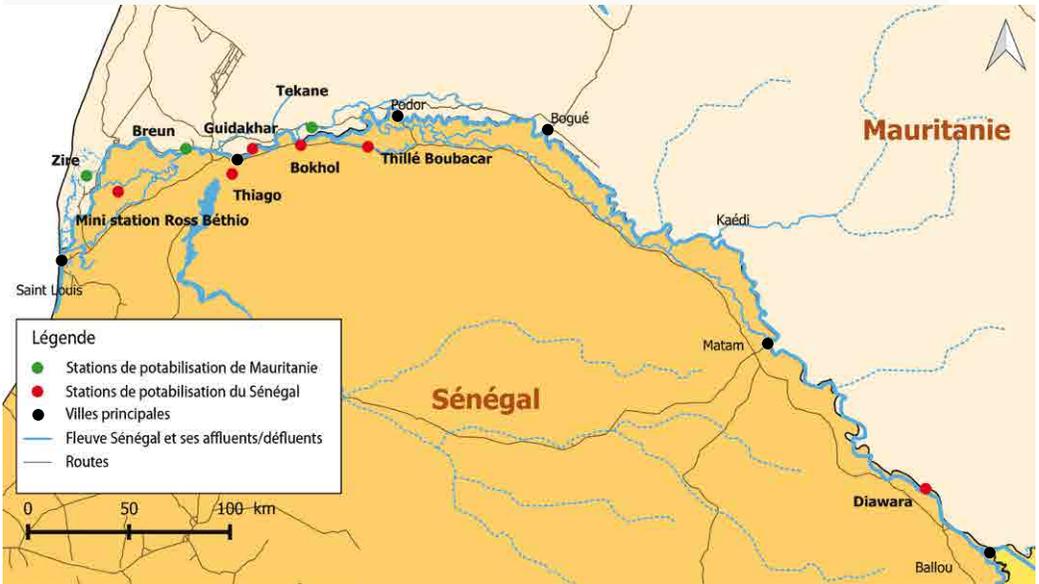
(2) La production journalière est calculée, pour les stations thermiques en continu, sur la base du produit du débit horaire par 12 heures de pompage.



- La station de **Thillé Boubacar** appartient à un ensemble de 13 stations qui figurent parmi les dernières réalisées par le programme Pepam IDA en milieu rural au Sénégal.
- La station de **Bokhol** est une ancienne station Alizés bis créée en 2008, dont la production a été augmentée en 2014 *via* l'ajout de bassins de floculation lors du programme Aicha Sénégal.
- Enfin, la station de **Diawara** est à ce jour la plus productive en milieu rural, avec un débit de production de 300 m³/jour. Elle a été réalisée par le Gret en 2009, dans le cadre du programme PaceaS.

Carte 3

LOCALISATION DES STATIONS DE POTABILISATION ÉTUDIÉES



Source : Gret, 2016

— Synthèse des performances

PERFORMANCES TECHNIQUES

Les performances techniques de chaque procédé de traitement sont synthétisées dans le tableau 3 en fonction de trois niveaux d'efficacité : **efficace, moyennement efficace et peu efficace**.

L'établissement de ces niveaux d'efficacité se fonde sur des mesures quantitatives comme l'abattement de la turbidité, ainsi que sur des observations réalisées lors de la période d'analyse, en particulier sur la formation des floccs et leur réaction (décantation, flottation).



SYNTHÈSE DES PERFORMANCES TECHNIQUES DES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE TRAITEMENT DES STATIONS

Tableau 3

FAMILLE	1	2	3	4	5	6	7	8	
LOCALITÉ	Ross-Béthio	Tékane	Guidakhar	Thiago	Aïcha Mauritanie Ziré	Aïcha Mauritanie Breun	Pepam IDA Thillé Boubacar	Aïcha Sénégal Bokhol	PacepaS Diawara
Mélange	Injection dans la conduite. EFFICACE	Injection dans le décanteur. PEU EFFICACE (mélange non homogène)	Injection dans la conduite + bassin de mélange simple. EFFICACE	Injection dans le bassin de mélange. MOYENNEMENT EFFICACE (gradient de vitesse faible)	Injection dans la conduite + bassin de mélange à compartiment. EFFICACE	Injection dans la conduite + bassin de mélange à compartiment. EFFICACE	Injection dans la conduite + bassin de mélange simple. EFFICACE	Injection dans le bassin de mélange simple. EFFICACE	Injection dans un bassin de mélange simple. EFFICACE
Injection des intrants	Pompe hydraulique Venturi. EFFICACE	Bac d'ajout. PEU EFFICACE (dosage approximatif)	Pompe hydraulique (Dosatron). EFFICACE	Pompe électrique. EFFICACE	Pompe hydraulique (Dosatron). EFFICACE	Pompe électrique. EFFICACE	Pompe électrique. EFFICACE	Pompe électrique. EFFICACE	
Coagulation/floculation	Pas de système spécifique pour la floculation.	Pas de système spécifique pour la floculation.	Pas de système spécifique pour la floculation.	Pas de système spécifique pour la floculation.	Floculateur à bacs. MOYENNEMENT EFFICACE (débit élevé entraînant un temps de séjour et un gradient hydraulique faibles)	Floculateur à bacs. EFFICACE	Floculateur à bacs. PEU EFFICACE (faible vitesse d'entrée et accélération en sortie cassant les flocs)	Floculateur à chicanes avec écoulement vertical. MOYENNEMENT EFFICACE (temps de séjour et vitesse non conformes, mauvais dimensionnement des orifices, chicanes non étanches)	



Tableau 3 (suite)

FAMILLE	1	2	3	4	5	6	7	8	
LOCALITÉ	Delta Irrigation	AECID	Alizés	Alizés bis	Aïcha Mauritanie	Aïcha Mauritanie	Pepam IDA	Aïcha Sénégal	
Décantation	Ross-Béthio	Tékane	Guidakhar	Thiago	Ziré	Breun	Thillé Boubacar	Bokhol	Diawara
	Décanteur statique à flux. MOYENNEMENT EFFICACE (durée de décantation importante)	Décanteur statique à flux descendant. MOYENNEMENT EFFICACE (durée de décantation importante)	Floculateur/décanteur statique à flux ascendant et descendant. EFFICACE	Floculateur/décanteur statique à flux ascendant. MOYENNEMENT EFFICACE (vitesse de l'eau supérieure aux valeurs recommandées ; largeur des orifices des diffuseurs insuffisante, entraînant une accélération à la sortie, et donc une turbulence du lit de boues)	Décanteur lamellaire. MOYENNEMENT EFFICACE (si le débit est élevé – supérieur à 8 m ³ /h) EFFICACE (si le débit est calé à 8 m ³ /h – mauvais dimensionnement)	Décanteur lamellaire. EFFICACE	Décanteur statique à flux ascendant. MOYENNEMENT EFFICACE (faible vitesse de décantation)	Décanteur statique à flux horizontal. EFFICACE	Décanteur statique à flux horizontal. EFFICACE
Filtration									
	Filtre sous pression. EFFICACE	Filtre sous pression. PEU EFFICACE (mal dimensionné)	Filtre sous pression. EFFICACE	Filtre sous pression. EFFICACE	Filtre à l'air libre. EFFICACE	Filtre à l'air libre. EFFICACE	Filtre sous pression. MOYENNEMENT EFFICACE (mal dimensionné)	Filtre sous pression. EFFICACE	Filtre sous pression.



● Constats et recommandations

Cette analyse permet de faire un premier constat d'ordre général : si la performance des procédés dépend parfois de leur nature (type de procédé), on constate cependant que le dimensionnement, la qualité des travaux et l'entretien des infrastructures ont une influence primordiale sur les performances techniques.

De ces constats, sont issues les recommandations synthétisées dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau 4

CONSTATS ET RECOMMANDATIONS SUR LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

PROCÉDÉ	CONSTATS	RECOMMANDATIONS
Mélange	L'injection dans les bassins de mélange est souvent efficace mais le dimensionnement doit être respecté. L'injection des intrants dans les conduites est toujours performante.	On choisira de préférence l'injection directe dans les conduites. Lorsqu'il y a une injection directe dans la conduite, il n'est plus nécessaire d'utiliser un bassin de mélange.
Injection des intrants	En dehors des bacs d'ajout, dont le dosage reste imprécis, les autres types d'injection sont tous efficaces.	On utilisera de préférence des pompes d'injection. L'utilisation de bac à charge constante permet de mieux contrôler le dosage que des bacs d'ajout simples.
Coagulation/ floculation	Les différents modèles permettant la floculation montrent une efficacité variable. Il ressort que la qualité de la floculation est très sensible aux paramètres de dimensionnement. Ceux-ci sont dépendants de la conception, de la mise en œuvre (respect des dimensions des bacs et des orifices, étanchéité) et du respect des paramètres d'exploitation (une surexploitation réduira les performances par exemple).	La floculation est un point de la chaîne de traitement auquel il faut porter une attention particulière. Il n'y a pas de flocculateur plus efficace qu'un autre, mais il faut en revanche correctement dimensionner la courbe en « S » pour favoriser une bonne coagulation et floculation, et anticiper la transition entre la sortie du flocculateur et l'entrée du décanteur (avec un bassin de tranquillisation par exemple). Enfin, le contrôle de la réalisation des ouvrages et de ces paramètres doit être mené avec attention lors des travaux. La taille des fenêtres et l'étanchéité des parois doivent faire l'objet d'un suivi particulier.



PROCÉDÉ	CONSTATS	RECOMMANDATIONS
Décantation	<p>Les décanteurs statiques à flux ascendant apparaissent comme moins efficaces que les autres.</p> <p>L'efficacité du traitement est liée au bon dimensionnement des décanteurs, essentiellement lié à leur conception (mise en œuvre relativement simple).</p>	<p>Il faudra porter une attention particulière au dimensionnement des décanteurs.</p> <p>La transition entre le flocculateur et le décanteur doit être soignée : respect des paramètres de vitesse à l'entrée du décanteur et de vitesse de sortie des diffuseurs.</p>
Filtration	<p>Les différents types de filtres sont efficaces à partir du moment où ils sont bien dimensionnés et que la fréquence des lavages est respectée.</p>	<p>Tout type de filtre assurera efficacement la filtration.</p> <p>Il convient de former correctement les personnes chargées de leur entretien, de respecter la superposition et l'épaisseur des couches du massif filtrant, et de changer le sable après cinq années d'utilisation.</p>

ANALYSE COMPARATIVE DES COÛTS

Une analyse comparative des coûts a été réalisée sur les coûts d'investissement nécessaires à la construction des stations/procédés ainsi que sur les coûts d'exploitation des différentes stations.

● Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement présentés dans le tableau 5 p. 72 sont reconstitués à partir de devis ou bien s'appuient sur les pratiques que l'on peut trouver dans des marchés de travaux similaires. Ils ne concernent que la construction de la station, et sont présentés par procédé de traitement. Ils couvrent une période de trois ans (2012-2015).



*Bassin de mélange,
station de Thiago (Sénégal)*



*Flocculateur à chicanes,
station de Diawara (Sénégal)*



COÛTS D'INVESTISSEMENT DES STATIONS PAR PROCÉDÉ

(1 euro = 655,957 FCFA)

Tableau 5

PROCÉDÉ	STATIONS								
	Unité	F1 Ross-Béthio	F2 Tékane	F3 Guidakhar	F4 Thiago	F5 Ziré	F6 Thillé Boubacar	F7 Bokhol	F8 Diawara
Coagulation/ floculation	FCFA	0	0	0	236 500	2 204 850	2 470 965	5 912 665	3 910 820
Décantation	FCFA	400 000	4 826 610	3 676 778	8 152 670	7 065 633	7 578 133	15 278 405	15 790 280
Filtration	FCFA	1 750 000	3 450 000	2 310 000	4 043 374	3 026 421	5 501 718	12 130 122	11 070 725
Clôture	FCFA	0	1 492 925	1 492 925	1 200 000	2 703 915	1 195 946	1 200 000	1 850 000
Local technique	FCFA	0	4 000 000	3 750 000	1 477 000	3 893 350	2 041 505	3 199 473	3 701 250
Pompage eau brute	FCFA	500 000	575 000	1 695 000	3 486 147	30 155 075	8 820 221	5 095 263	9 896 310
Pompage d'eau filtrée (surface/ immergée)	FCFA	500 000	1 427 500	635 000	1 306 984	1 532 000	3 729 000	1 886 007	2 130 870
Injection d'intrants	FCFA	250 000	525 000	1 740 000	3 705 526	2 451 634	1 941 900	6 872 547	5 315 000
Énergie	FCFA	300 000	500 000	2 100 000	500 000	11 514 000	6 600 000	500 000	500 000
TOTAL	FCFA	3 700 000	16 797 035	17 399 703	24 108 201	64 546 877	39 879 388	52 074 482	54 165 255
Investissement par m ³ produit	FCFA/m ³	740 000	419 926	869 985	301 353	537 891	221 552	216 977	180 551
Investissement par habitant	FCFA/ habitant	18 500	5 599	15 494	19 474	21 516	7 976	10 014	4 514



Les coûts d'investissement varient entre 4 500 et 35 000 FCFA par habitant desservi en fonction du modèle de station et des normes de dimensionnement appliquées (consommation spécifique en eau et horizon temporel de projection). Il est possible d'optimiser ce paramètre en dimensionnant au plus juste, c'est-à-dire en s'approchant des consommations réelles en eau (et des évolutions probables des consommations spécifiques), et en suivant une approche en termes de durée de vie technique des ouvrages. Cependant, il est nécessaire de dimensionner les ouvrages de façon à ce qu'ils puissent augmenter dans le temps à moindre coût leur capacité de production.

L'analyse comparative de ces coûts fournit en premier lieu deux constats : d'une part la décantation représente une part importante des coûts d'investissement et, d'autre part, les charges augmentent proportionnellement à la distance entre la prise d'eau brute et la station (énergie, canalisations).

Aussi, il est important de rappeler que, rapporté à la capacité de production en eau potable, le coût d'investissement d'une station diminue sensiblement avec la production. Le cas de Thillé Boubacar est comparable aux petits systèmes en raison de la grande surface de décantation de son décanteur statique. La station de Ziré est particulière du fait de l'importance de la distance entre la station et la prise d'eau brute.

Figure 8

COÛT DES PROCÉDÉS COMPARÉ AU COÛT TOTAL DES STATIONS (moyenne sur les neuf stations étudiées)

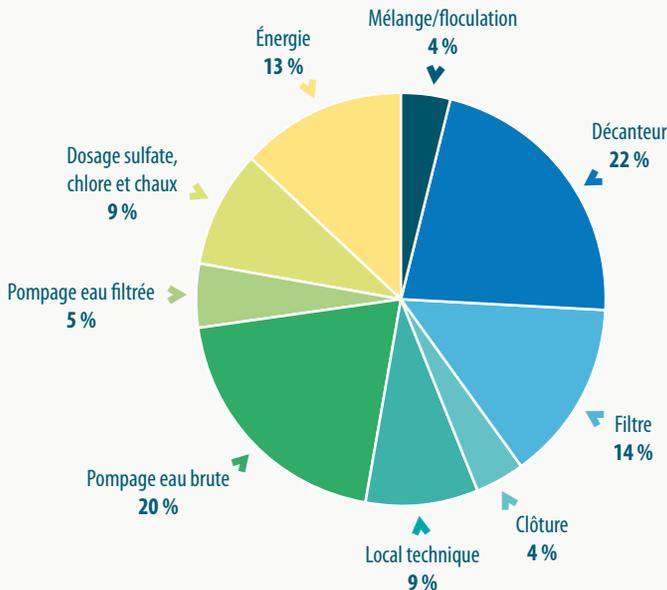
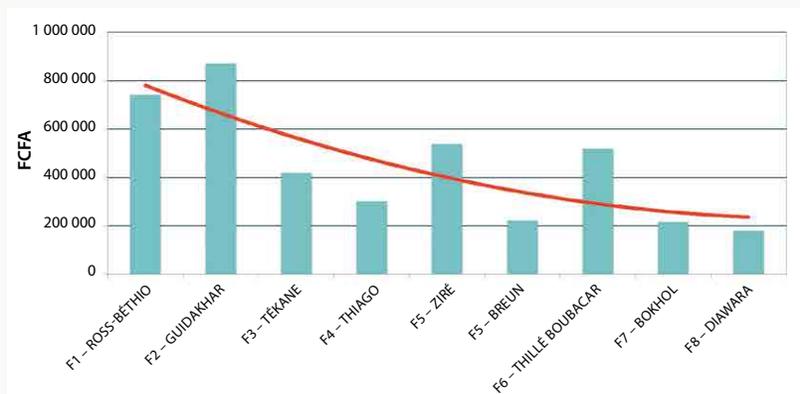




Figure 9

COÛTS D'INVESTISSEMENT DES STATIONS PAR DÉBIT DE PRODUCTION (en m³/j)



● Coûts d'investissement par procédé

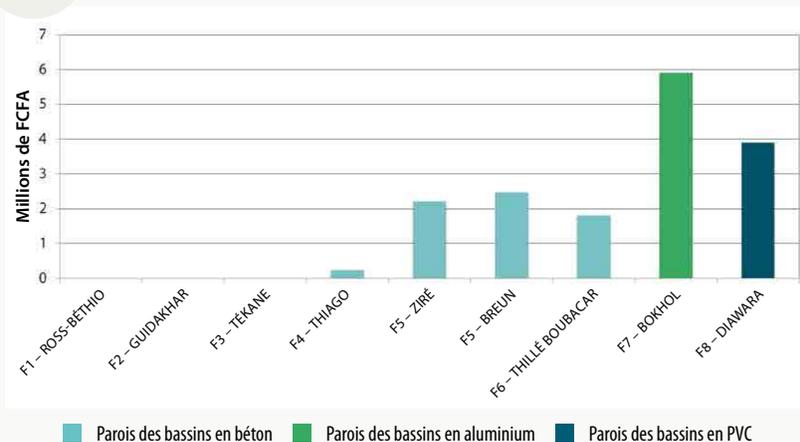
a. Bassins de mélange/floculation

Les bassins de mélange/floculation dont les parois sont en **aluminium** ou en **PVC** (stations de Bokhol et de Diawara) sont plus onéreux que ceux en maçonnerie (Ziré, Breun et Thillé Boubacar). La construction des bassins de mélange/floculation en **maçonnerie** doit donc être privilégiée, d'autant plus que leur durée de vie est plus importante et les risques de fuites plus faibles.

Remarque : les modèles de faible production n'ont pas de bassin de mélange ou de floculation.

Figure 10

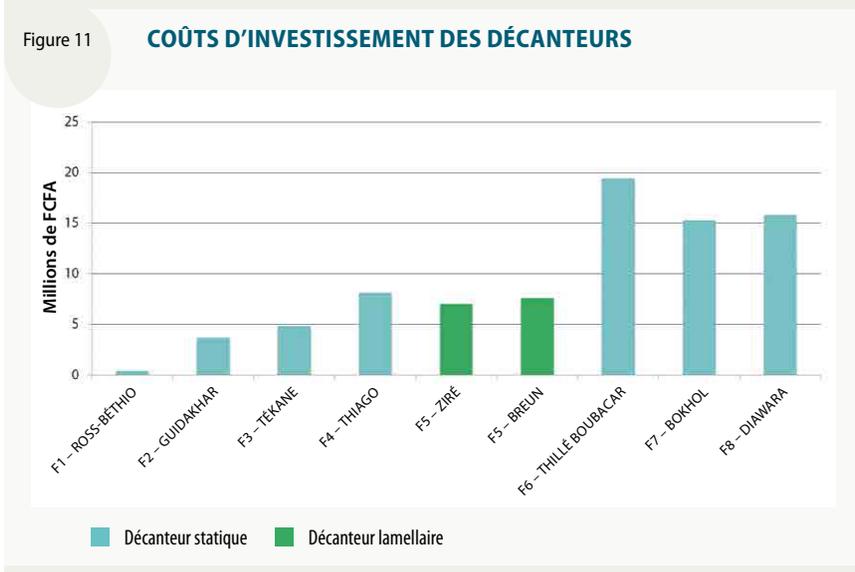
COÛTS D'INVESTISSEMENT DES BASSINS DE MÉLANGE ET DE FLOCCULATION





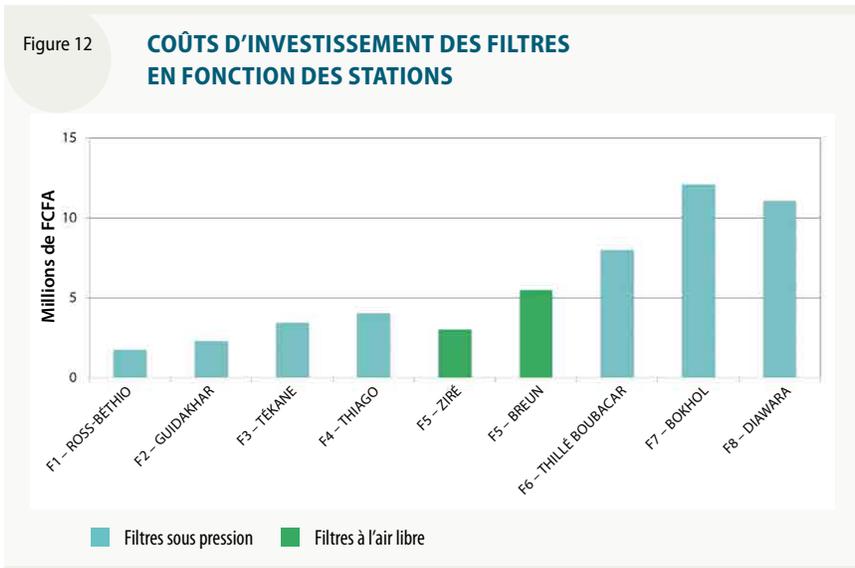
b. Décanteurs

Le coût des décanteurs augmente avec la surface de décantation. Pour une même capacité de traitement, les décanteurs lamellaires (Ziré, Breun) permettent de réduire les coûts d'investissement, ici jusqu'à plus de trois fois.



c. Filtres

Les modèles de filtre des stations de Breun et de Ziré (famille Aicha Mauritanie) sont pourvus de bassins de filtration à l'air libre en béton armé. Pour une même capacité de filtration, ces ouvrages sont moins chers que les filtres sous pression.





COÛTS D'EXPLOITATION DES STATIONS

Tableau 6

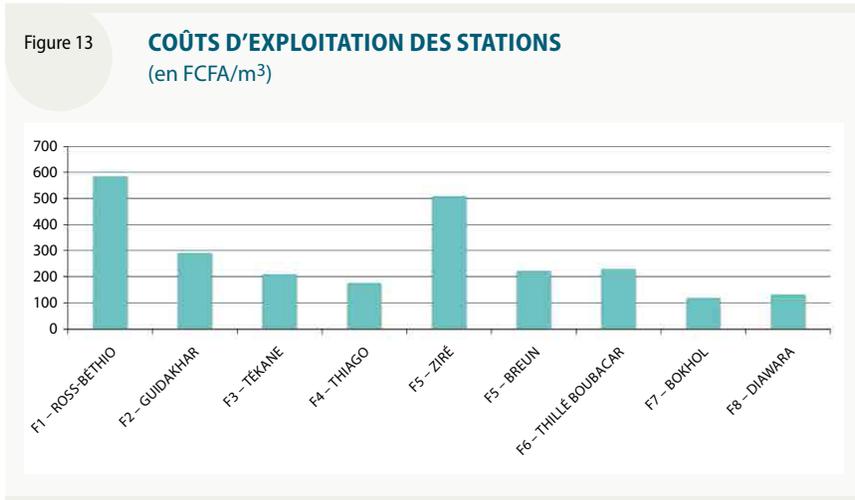
POSTE	STATIONS								
	Unité	F1 Ross-Béthio	F2 Tékane	F3 Guidakhar	F4 Thiago	F5 Ziré	F6 Thillé Boubacar	F7 Bokhol	F8 Diawara
Entretien et maintenance génie civil/équipements	FCFA/mois	7 400	18 400	30 400	43 800	199 000	232 600	75 500	89 500
Énergie	FCFA/mois	45 000	92 000	0	159 000	1 035 000	450 900	333 800	607 800
Intrants	FCFA/mois	1 100	42 300	9 200	133 900	225 800	311 700	169 400	207 700
Renouvellement des équipements (5 à 7 ans)	FCFA/mois	16 600	23 700	60 400	63 000	215 000	97 200	99 000	85 000
Salaires de l'opérateur et du gardien	FCFA/mois	12 500	75 000	75 000	18 000	150 000	150 000	185 000	185 000
Frais de communication	FCFA/mois	5 000	0	0	5 000	10 000	5 000	5 000	10 000
Total coûts d'exploitation	FCFA/mois	87 600	251 400	175 000	422 700	1 834 800	1 247 400	867 700	1 185 000
Production moyenne journalière	m ³ /j	5	40	20	80	120	180	240	300
Coût moyen de l'eau	FCFA/m ³	584	210	292	176	510	231	121	132
Prix de vente de l'eau	FCFA/m ³	0	350	350	400	600	400	400	400



● Coûts d'exploitation des stations

Les coûts d'exploitation ont été reconstitués à partir des données transmises par les opérateurs et harmonisés en tenant compte du débit horaire de la station et de sa durée de fonctionnement journalière. Ces coûts sont présentés dans le tableau 6 ci-contre et concernent principalement la filière de traitement, de la prise d'eau à la désinfection.

Le coût de production de l'eau au m³ diminue avec l'augmentation des volumes traités en raison du poids des charges fixes (salaires et amortissements). Ces coûts représentent par exemple 77 % des charges à Guidakhar. À noter que les charges importantes de Ziré sont liées à l'éloignement de la prise d'eau de la station. À Ross-Béthio, la faible production (5 m³/j) augmente son coût d'exploitation (584 FCFA/m³).



Les **dépenses d'énergie** représentent près de la moitié des coûts de fonctionnement (à l'exception de la station de Guidakhar, alimentée par énergie solaire). L'**énergie solaire** reste la moins onéreuse en termes de fonctionnement, suivie de l'électricité.

L'énergie thermique n'est pas adaptée aux petites stations car les coûts qu'elle engendre, rapportés à la capacité de production, sont très élevés.

Les dépenses cumulées d'énergie et d'intrants représentent plus de 60 % des charges récurrentes. La proportion des charges fixes gravite autour de 20 % pour la plupart des stations, excepté les plus petites (mini-station de Ross-Béthio, Guidakhar et Tékane), dont les coûts salariaux, incompressibles, représentent une part plus forte par rapport au coût total d'exploitation.



Panneaux solaires de la station de Guidakhar (Sénégal)



Figure 14

DÉPENSES DE FONCTIONNEMENT PAR POSTE

(moyenne sur les neuf stations étudiées)

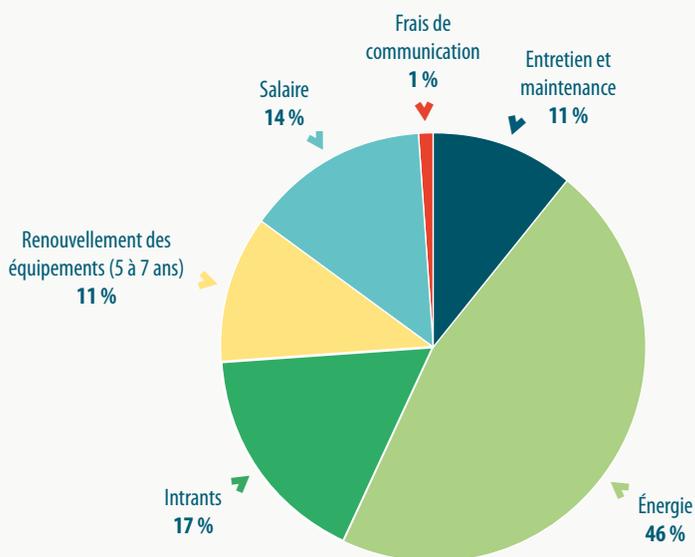
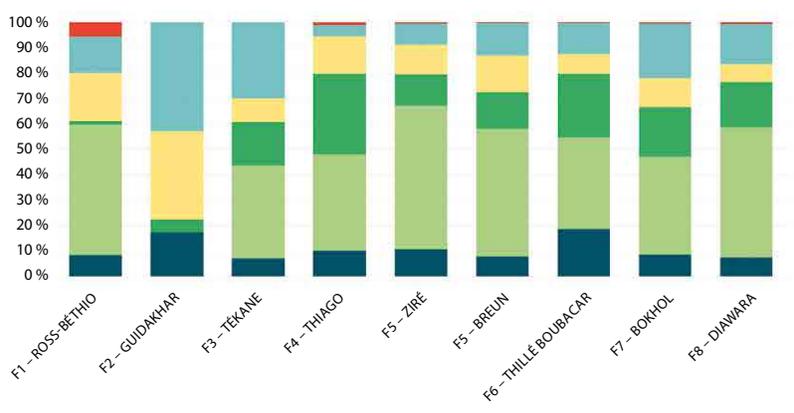


Figure 15

COÛTS D'EXPLOITATION PAR POSTE ET PAR STATION



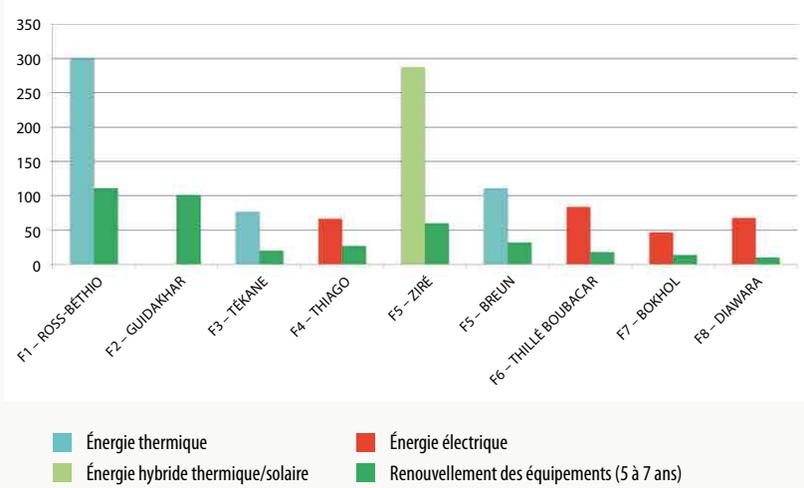
- Frais de communication
- Renouvellement des équipements (5 à 7 ans)
- Énergie
- Salaires de l'opérateur et du gardien
- Intrants
- Entretien et maintenance génie civil/équipements



Figure 16

COÛTS DE L'ÉNERGIE ET DU RENOUVELLEMENT DES ÉQUIPEMENTS

(en FCFA / m³)

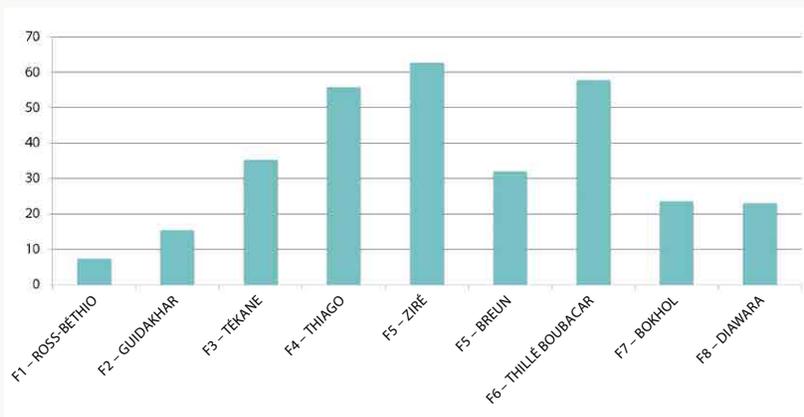


La **consommation en intrants** des stations de Thiago, Ziré et Thillé Boubacar est élevée en raison du surdimensionnement du décanteur. Les stations *batch* comme Tékane (AECID) sont également fortement consommatrices d'intrants en raison du volume des décanteurs. Le coût des intrants s'établit entre 20 et 30 FCFA/m³ en moyenne sur l'année pour les grandes stations, et autour de 8 à 15 FCFA/m³ pour les petites.

Figure 17

COÛT DE LA CONSOMMATION D'INTRANTS

(en FCFA/m³)





● Constats et recommandations

Il ressort de l'analyse comparée des coûts d'exploitation que la taille des stations et les choix de conception influent sur les coûts par m³ d'eau potabilisée produite, en matière d'investissement comme d'exploitation. Les études préalables liées à la demande en eau, ainsi que la volonté et la capacité à payer, apparaissent comme primordiales pour assurer la faisabilité des aménagements. Le tableau 8 synthétise les constats et recommandations qui ressortent de l'analyse économique des performances des stations.

Tableau 7

CONSTATS ET RECOMMANDATIONS SUR LES COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION DES STATIONS

	CONSTATS	RECOMMANDATIONS
Coûts d'investissement	<p>Les coûts d'investissement varient entre 4 500 et 35 000 FCFA par habitant desservi en fonction du modèle de station et des normes de dimensionnement appliquées. On observe un phénomène d'économies d'échelle : les coûts par habitant baissent avec l'augmentation de la demande en eau.</p> <p>Le décanteur est le poste principal d'investissement.</p> <p>Une distance accrue entre la prise d'eau brute et la station engendre des charges importantes (énergie, canalisations).</p> <p>Les parois en aluminium ou en PVC sont plus onéreuses que celles en maçonnerie.</p> <p>Les filtres à l'air libre sont moins onéreux pour les grands débits (à partir de 100 m³/jour).</p>	<p>Optimiser le dimensionnement : il est important d'analyser précisément la demande en eau et de mettre en place des solutions évolutives pour ajuster les futures augmentations.</p> <p>Privilégier des stations situées dans des localités où la demande en eau est élevée. L'analyse de la demande élargie aux usages et aux territoires de proximité est donc requise.</p> <p>Choisir la maçonnerie plutôt que le PVC ou l'aluminium.</p> <p>Privilégier la décantation lamellaire du fait de son rapport coût/efficacité intéressant.</p> <p>Préférer les filtres à l'air libre pour les grands débits.</p>
Coûts d'exploitation	<p>Hors cas exceptionnel, le coût de production d'une station varie de 120 à 300 FCFA/m³ et baisse avec l'augmentation de sa capacité de production.</p> <p>Le coût de production de l'eau diminue fortement avec la capacité de traitement de la station en raison du poids des charges fixes (salaires et amortissements).</p> <p>Les dépenses d'énergie représentent près de la moitié des coûts de fonctionnement.</p> <p>La consommation en intrants s'établit de 8 à 30 FCFA/m³ par an en moyenne. Elle dépend de la turbidité mais aussi du volume du décanteur.</p>	<p>L'étude énergétique de la station doit être réalisée avec attention. Les énergies renouvelables seront privilégiées pour les petites stations. On préférera pour les autres un raccordement au réseau électrique.</p> <p>L'optimisation du dimensionnement du décanteur permettra une réduction des coûts d'exploitation (réduction d'intrants).</p> <p>Anticiper l'évolutivité de la station permet d'optimiser les coûts d'exploitation.</p>





Thiago (Mauritania)

CHOISIR UNE TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT ADAPTÉE À LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

86	Étape 1 – Caractériser les besoins et la demande en eau
86	• Décrire le territoire de desserte
90	• Analyser les pratiques et les représentations en matière d'eau
94	• Déterminer les besoins et la demande en eau
99	Étape 2 – Analyser les ressources en eau disponibles
99	• Mobiliser les connaissances locales
99	• Dresser la liste des ressources potentielles
102	• Analyser la ressource
105	Étape 3 – Définir les critères de choix
105	• Présentation des critères de choix
114	Étape 4 – Choisir la filière de traitement
116	Étape 5 – Sélectionner les procédés de traitement
116	• Injection d'intrants et de coagulation
119	• Floculation
121	• Décantation
124	• Filtration

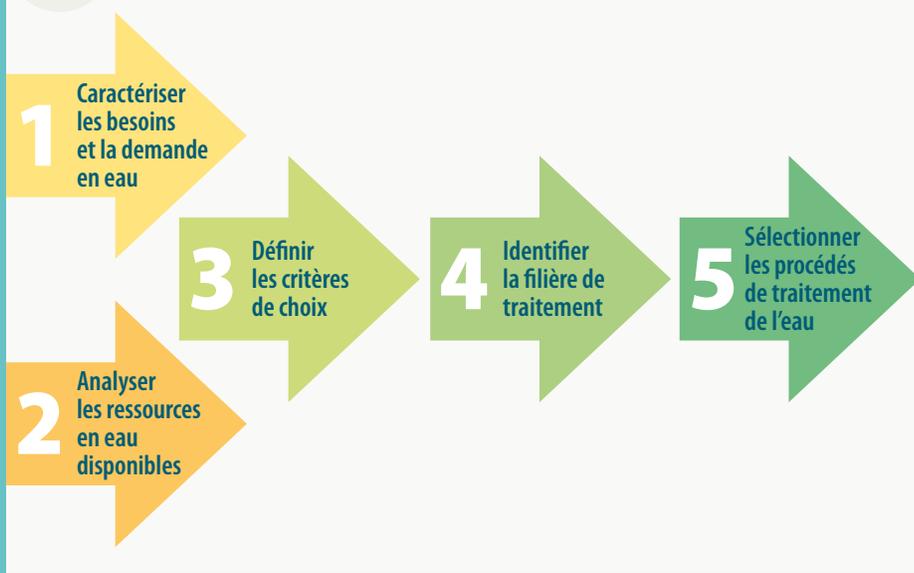
Cette partie propose une méthodologie en cinq étapes pour choisir le ou les procédés de traitement de l'eau adaptés à un contexte particulier. Appliquée ici à la vallée du fleuve Sénégal, cette méthodologie peut toutefois être mobilisée dans d'autres situations d'Afrique de l'Ouest.

- **Étape 1** – Caractériser les besoins et la demande en eau
- **Étape 2** – Analyser les ressources en eau disponibles
- **Étape 3** – Définir les critères de choix
- **Étape 4** – Choisir la filière de traitement
- **Étape 5** – Sélectionner les procédés de traitement

Chacune de ces cinq étapes conduit le lecteur à cerner les principaux enjeux liés au traitement des eaux de surface et à se poser les bonnes questions pour orienter sa réflexion. Les réponses obtenues détermineront le choix de la technologie de traitement.

Figure 1

ÉTAPES POUR CHOISIR LA TECHNOLOGIE DE TRAITEMENT DE L'EAU ADAPTÉE



Un préalable : recueillir et exploiter la documentation existante

Quelle que soit la localité ou la ville étudiée, des actions ont sans doute déjà été menées en matière d'eau potable.

Des projets et des études ont probablement été conduits, donnant lieu à des connaissances pouvant être utiles aux porteurs des nouvelles actions envisagées.

Tout en suivant la démarche de cette partie, le concepteur d'une station est invité à recenser les projets en lien avec la thématique de l'eau potable récemment mis en œuvre dans la ville ou la localité ciblée, et à consulter les documents existants (rapports d'étude, comptes rendus de projet, évaluations, etc.). Une attention particulière devra être portée aux documents de planification locale (*Plan local en hydraulique et assainissement* pour le Sénégal, et *Plan communal en hydraulique et assainissement* pour la Mauritanie par exemple) : lieu, date, envergure des projets, etc. Il est conseillé d'établir ensuite une synthèse à partir de cette documentation.



ÉTAPE 1

CARACTÉRISER LES BESOINS ET LA DEMANDE EN EAU

Toute démarche destinée à concevoir des solutions d’approvisionnement en eau potable pour un village ou une ville repose sur une analyse des besoins et de la demande en eau des populations concernées. **Cela vaut pour tous les procédés de traitement de l’eau, sans exception.**

La première étape du cheminement a pour objectif de déterminer, de manière simple¹, les besoins et la demande en eau pour choisir et dimensionner les solutions de potabilisation des eaux de surface. Cette première étape se divise en trois parties : la description du territoire de desserte, l’analyse des pratiques et des représentations en matière d’eau et, enfin, la détermination des besoins et de la demande en eau.

Décrire le territoire de desserte

L’étude du territoire de desserte du système d’eau potable (village, ville, localité, etc.) a pour objectif de fournir des informations sur la situation sociale et démographique de la zone ciblée, sur les dynamiques économiques à l’œuvre ainsi que sur les processus et les projets d’aménagement urbain. Ces informations seront valorisées pour sélectionner les technologies à utiliser (système d’adduction d’eau potable pour un regroupement de villages par exemple) et dimensionner les ouvrages, dont la taille est directement liée au nombre et aux types d’usagers, à leurs pratiques et à leur capacité économique.

LIMITES DU TERRITOIRE

Le travail d’analyse de la demande en eau commence par la délimitation de la zone concernée par le projet. Il s’agit de répondre à la question suivante : quelles sont les limites spatiales du territoire qui est (ou sera) desservi par le système d’approvisionnement en eau potable ? La zone de desserte ne couvre souvent qu’une partie d’un territoire administratif, comme par exemple une ou plusieurs localités d’une commune rurale, ou encore plusieurs quartiers d’une même ville. C’est notamment le cas lorsque les communes et les villes s’étendent sur de vastes espaces et que leur approvisionnement en eau nécessite plusieurs systèmes techniques, fonctionnant soit de manière indépendante, soit de manière interconnectée. Travailler sur plusieurs

1. Pour approfondir le thème de demande en eau, le lecteur pourra consulter l’ouvrage suivant : Analyser la demande des usagers – et futurs usagers – des services d’eau et d’assainissement dans les villes africaines (Roger G., 2011).



Tableau 1

SYNTHÈSE DES POINTS À ANALYSER CONCERNANT LES LIMITES TERRITORIALES

ENJEUX/CRITÈRES	QUESTIONS À SE POSER	POURQUOI SE POSER CES QUESTIONS ?
Limites du territoire de desserte	Quelles sont les limites actuelles du territoire de desserte du système d'approvisionnement en eau ?	Identifier les acteurs avec qui travailler, définir les zones d'intervention de plusieurs systèmes coexistants et intégrer des localités environnantes non prévues initialement.
	Les limites du territoire de desserte se confondent-elles avec les frontières du territoire politico-administratif ?	Un projet mené sur plusieurs territoires implique une concertation élargie autour des ressources en eau et de leur distribution.
	Les limites du territoire de desserte vont-elles évoluer à l'issue du projet envisagé ?	L'évolution du projet doit être prise en compte dans le dimensionnement du système.
Dynamiques démographiques	Quel est le nombre d'habitants vivant dans la zone de desserte (actuelle et future) ?	Ces informations sont nécessaires pour la conception et le dimensionnement des infrastructures.
	Quel est le taux de croissance démographique de la zone de desserte (actuelle et future) ?	
	Quels sont les grands flux migratoires que connaît la zone de desserte ?	
Caractéristiques socio-économiques	Quelles sont les grandes activités économiques de la zone de desserte ?	Ces informations sont nécessaires pour la conception et le dimensionnement des infrastructures, ainsi que pour le niveau de service à fournir en fonction des catégories d'usagers.
	Quelle est la répartition socio-professionnelle des ménages vivant dans la zone de desserte ?	
	Quel est le taux de pauvreté ? Comment a-t-il évolué ces dernières années ?	



ENJEUX/CRITÈRES	QUESTIONS À SE POSER	POURQUOI SE POSER CES QUESTIONS ?
Dynamiques économiques et urbaines	Quelles sont les zones d'habitation de forte, de moyenne et de faible densité ?	Ces informations sont nécessaires pour la conception et le dimensionnement des infrastructures, ainsi que pour la mise en œuvre des travaux.
	Quels sont les différents types d'habitat rencontrés dans la zone de desserte ?	
	Quels sont les quartiers historiques, les zones d'urbanisation plus récentes et les zones d'aménagement futures ?	
	Quelles sont les zones résidentielles ? Quelles sont les zones commerciales ? Les autres zones d'activité ?	
Activités économiques et sociales liées à l'eau	Quelles sont les activités (commerciales, artisanales, industrielles et agricoles) fortement consommatrices d'eau ?	Ces informations sont nécessaires pour le dimensionnement des infrastructures.
	Quels sont les besoins en eau des établissements publics, sociaux et administratifs ?	
	Quelles sont les activités émettrices d'effluents polluants dans le milieu naturel ?	Les activités polluantes peuvent avoir des répercussions directes sur la qualité de l'eau distribuée. Ces informations sont utiles pour la sélection de l'emplacement de la station.



Dar El Barka, Sinthiane Diama © En Haut



Station de Ziré (Mauritanie) © En Haut



territoires administratifs exige une coordination entre les différents responsables (mairies, préfectures). En effet, un élu peut parfois refuser que l'eau puisée sur son territoire soit utilisée pour alimenter des communes adjacentes.

La délimitation du territoire de desserte du système d'eau potable dépend également de la nature du projet envisagé : réalisation d'un nouveau système d'alimentation en eau potable, réhabilitation ou optimisation d'un ou de plusieurs ouvrages existants, extension de l'approvisionnement en eau dans une zone auparavant non desservie par le système, etc. Ainsi, certains types de projets impliquent de revoir le périmètre de couverture (les projets d'extension par exemple), tandis que d'autres n'ont aucune incidence sur celui-ci.

En Afrique de l'Ouest, les collectivités locales ont un rôle à jouer dans les initiatives et travaux relatifs à l'eau, et sont souvent parties prenantes dans des plans de développement locaux qui définissent des priorités en fonction de choix stratégiques. Toute intervention doit donc tenir compte des priorités retenues et de leurs conséquences sur les limites des territoires de desserte.

QUELLE EST L'AUTORITÉ RESPONSABLE DU SERVICE AU SÉNÉGAL ET EN MAURITANIE ?

En Mauritanie, l'adoption d'un nouveau Code de l'eau en 2005 a suscité de profonds changements institutionnels. Dans cette nouvelle configuration, la maîtrise d'ouvrage peut être confiée aux communes, lorsque les ouvrages hydrauliques ont été réalisés ou acquis par celles-ci, ou relever de l'État à travers le ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement (MHA). À ce jour, la grande majorité des systèmes d'eau potable implantés dans les zones rurales et semi-rurales sont sous la responsabilité du ministère.

Au Sénégal, les systèmes d'eau potable situés en zones rurales et semi-rurales étaient depuis 2005, par délégation

du ministère de l'Hydraulique, sous la responsabilité d'associations d'usagers. La réforme engagée ces dernières années a modifié cette organisation en créant l'Office des forages ruraux (Ofor). Cet établissement public est responsable de la gestion du patrimoine de l'hydraulique rurale et du pilotage des contrats de gestion des services.

Bien que la distribution de l'eau potable ne soit pas une compétence des collectivités locales, les communes sénégalaises sont néanmoins engagées en tant que responsables de la planification (élaboration des plans locaux d'hydraulique et d'assainissement) et par le biais de la mobilisation de financements.

TENDANCES DÉMOGRAPHIQUES ET ÉVOLUTIONS URBAINES

Les informations portant sur les tendances démographiques (population actuelle, taux de croissance à court, moyen et long termes, flux migratoires, etc.), les paramètres socio-économiques (répartition socio-professionnelle, taux de pauvreté, occurrence des maladies hydriques, etc.), ainsi que les données relatives à l'aménagement urbain (occupation du sol, densité urbaine, type d'habitat, etc.) et au développement économique, doivent être pris en compte pour formuler des hypothèses sur la demande en eau et son évolution.



Les projections économiques et urbaines (transformation du tissu urbain et évolution des quartiers) enrichissent les analyses sociologique et démographique. Par exemple, pour le calcul des besoins et de la demande en eau, elles aident à répartir la population future dans chaque quartier ou chaque localité, en fonction notamment des transformations du tissu urbain (densité résidentielle) et de l'évolution qualitative des quartiers (nature de l'occupation résidentielle, futures zones d'activité, etc.). Les politiques de développement local, les plans d'aménagement, les programmes de logement et d'infrastructures influent sur la manière dont les gens s'établissent en ville.

La documentation à consulter pour effectuer ces analyses est variée : derniers recensements et rapports d'enquêtes ménages disponibles, études socio-économiques récentes dans la zone, schéma directeur d'aménagement urbain, plan local pour l'hydraulique et l'assainissement, cartes et plans, photos aériennes et images satellitaires, système d'information géographique (SIG), etc.

ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES ET SOCIALES LIÉES À L'EAU

En fonction de la zone d'intervention, les besoins en eau englobent différentes activités économiques et sociales. Par exemple, en milieu rural sénégalais et mauritanien, les activités agricoles liées à l'élevage et au maraîchage peuvent mobiliser d'importantes quantités d'eau. En zones plus urbanisées, il s'agit plutôt des activités industrielles, commerciales et artisanales. À cela s'ajoutent les besoins spécifiques des établissements publics sociaux et administratifs tels que les écoles ou les centres de santé.

Il est également utile de s'intéresser aux activités économiques qui ont des répercussions sur les ressources en eau mobilisées pour le système d'eau potable. Certaines activités industrielles, artisanales (teinture de tissus par exemple) ou agricoles (utilisation d'engrais et de pesticides) peuvent générer des rejets polluants qu'il convient d'identifier. De même, les zones d'abreuvement du bétail doivent être inventoriées car elles concentrent des effluents animaux.

Analyser les pratiques et les représentations en matière d'eau

La quantité d'eau potable à fournir à la collectivité, et donc le volume d'eau brute à traiter, dépend à la fois du nombre d'habitants concernés, des taux de desserte, de

la consommation d'eau par habitant desservi (appelée consommation unitaire ou spécifique), de la volonté et de la capacité des habitants à payer pour le service, ainsi que des activités administratives et économiques de la zone ciblée. Plusieurs approches peuvent être adoptées pour quantifier la demande en eau.



TAUX DE DESSERTE Ratio entre les personnes raccordées au réseau et la population totale.

DEUX EXEMPLES POUR QUANTIFIER LA DEMANDE EN EAU

Une première approche considère que le service doit bénéficier à l'ensemble de la communauté. Des normes nationales ou internationales sont définies en ce sens par rapport à la notion de besoin : par exemple, la quantité d'eau potable requise chaque jour pour une personne se situe, d'après l'Organisation mondiale de la santé



Tableau 2

SYNTHÈSE DES POINTS À ANALYSER CONCERNANT LES PRATIQUES ET REPRÉSENTATIONS EN MATIÈRE D'EAU

ENJEUX/CRITÈRES	QUESTIONS À SE POSER	POURQUOI SE POSER CES QUESTIONS ?
Modes d'approvisionnement et usages de l'eau	Quels sont les modes d'approvisionnement en eau rencontrés dans la zone étudiée ?	Connaître les pratiques liées à l'eau, évaluer le niveau de concurrence avec les ressources alternatives et définir les mesures techniques (favoriser les branchements particuliers par exemple) et sociales (niveau de sensibilisation) à mettre en œuvre.
	Quelles ressources en eau sont mobilisées ? Avec quels dispositifs techniques ?	
	Quels sont les usages de l'eau des ménages, en fonction des modes d'approvisionnement ?	
Satisfactions et attentes des ménages vis-à-vis de l'eau	Quel est le niveau de satisfaction de l'approvisionnement en eau des ménages ?	Évaluer les perceptions des ménages quant au service, connaître leurs préférences et leurs déterminants, et proposer des solutions adaptées.
	Quelles sont les attentes des ménages en termes de service ?	
Consommation d'eau unitaire et demande en eau	Quelle est la consommation totale en eau du ménage, en fonction du mode d'approvisionnement et de son usage ?	Définir la demande en eau domestique et non domestique en considérant les sources utilisées en fonction des usagers et des horizons temporels étudiés.
	Quelle est la demande en eau domestique, non domestique, actuelle et future ?	
Dépenses liées à l'eau, actuelles et futures	Quelles sont les dépenses actuelles des ménages en termes de consommation en eau ?	Évaluer l'effort financier consenti par les ménages pour payer une facture d'eau. Ce niveau d'effort influera sur le volume d'eau prélevé en fonction du tarif appliqué. Il donne également une indication de la viabilité économique du futur service.
	Quelle est la capacité et la volonté des ménages à payer pour un nouveau service ?	



(OMS), entre 20 et 50 litres/jour. Tous les habitants recensés sont traités comme de potentiels futurs usagers et les ouvrages de traitement de l'eau dimensionnés afin de respecter les normes en vigueur.

Une seconde manière de quantifier la demande en eau consiste à calculer les volumes d'eau actuellement consommés dans la zone, puis à estimer les volumes qui seront consommés dans le futur. Pour ce faire, on procède à l'étude objective des modalités d'approvisionnement et des usages de l'eau (et de leur évolution passée), et on analyse ensuite les perceptions ainsi que les attentes personnelles des ménages vis-à-vis du futur service. À la différence de la première approche, il s'agit cette fois-ci d'appréhender les demandes existantes et d'imaginer quelles vont être leurs évolutions.

NORME DE CONSOMMATION EN MAURITANIE

En 2015, le ministère mauritanien de l'Hydraulique et de l'Assainissement a édicté une série de normes, dont l'une a pour objectif d'encadrer le calcul des besoins domestiques en eau potable ainsi que ceux de certains établissements publics. Ce faisant, la dotation en eau a

été fixée à 20 litres/personne/jour pour une échéance de vingt ans, base du dimensionnement des systèmes d'eau en zones rurales et semi-urbaines. Une dotation spécifique a également été proposée pour les écoles, les structures de santé, les marchés et les mosquées.

LES MODES D'APPROVISIONNEMENT, LES PERCEPTIONS ET LES USAGES LIÉS À L'EAU

La seconde approche de quantification de la demande en eau, qui consiste à appréhender la demande existante et à imaginer son évolution, est de nos jours très répandue. Dans un premier temps, elle cherche à caractériser les comportements des ménages en matière d'eau par l'étude des points suivants :

- **modes d'approvisionnement en eau.** Cela implique de dresser un inventaire des ouvrages hydrauliques existants (localisation, caractéristiques techniques, état de fonctionnement, etc.);
- **usages de l'eau :** boisson, lavage et cuisson des aliments, vaisselle et lessive, hygiène corporelle, abreuvement, maraîchage, etc.;
- **quantité d'eau utilisée** en fonction des usages et par mode d'approvisionnement;
- **budgets/dépenses liés à l'eau ;**
- **pratiques d'hygiène ;**
- **équipements sanitaires :** latrines, évier, etc. ;
- etc.

Cette approche essaie également d'explicitier les perceptions et les attentes des ménages :

- **préférences des habitants** concernant les sources d'eau et les modes de desserte : branchements particuliers ou bornes-fontaines ;
- **déterminants de ces préférences :** tarif, proximité, potabilité, goût, etc. ;



- **motifs de satisfaction et d'insatisfaction** vis-à-vis du service existant : quantités insuffisantes, éloignement des points d'eau, interruptions du service, pénibilité, etc. ;
- **capacité et volonté des ménages à payer** l'eau en fonction du service proposé, des usages considérés, etc. ;
- etc.

En fonction de l'ambition de l'étude et des moyens consacrés, on peut également analyser les variations de consommation en saison sèche et en saison des pluies, de même que les différences de pratiques et de perceptions en fonction des localités et des quartiers, ou bien du statut social et de la situation économique du ménage. Toutes ces données, une fois extrapolées sur l'ensemble de la communauté, fournissent la **demande mensuelle moyenne**, point de départ du dimensionnement de l'infrastructure.

LES ENQUÊTES SOCIO-ÉCONOMIQUES

La méthode la plus couramment utilisée pour apprécier la demande est l'**enquête de terrain**. Celle-ci consiste à interroger un échantillon de ménages, plus ou moins représentatif de la population dans son ensemble, et à animer des réunions avec des groupes de personnes dans une approche plus qualitative (*focus groups*). Il arrive fréquemment que, dans une même stratégie d'enquête, ces deux outils soient combinés. Il existe un certain nombre de règles élémentaires à respecter pour la conduite des enquêtes-ménages.

- La finalité de l'enquête, ses objectifs ainsi que les grandes questions évaluatives doivent être formulés précisément avant de concevoir les questionnaires.
- La méthode et les types d'analyses produits à partir des données d'enquête doivent être définis en même temps que sont préparés les questionnaires. Un surplus d'information est inutile si celle-ci n'est pas analysée.
- Les enquêteurs doivent être correctement formés et des tests des questionnaires conduits *in situ* afin d'affiner la formulation des questions, déceler les problèmes de cohérence et ajuster le questionnaire.
- Afin de limiter les biais, il faut accorder une attention particulière à la manière dont les ménages sont choisis par les enquêteurs (modalité de choix aléatoire défini au préalable), au type de personne pouvant répondre aux questionnaires (représentant du ménage) et prendre garde à ce que l'enquêteur maîtrise les questions posées (questions ouvertes, fermées, à choix multiples, etc.). La question de la traduction des enquêtes dans les diverses langues vernaculaires doit être discutée au préalable pour ne pas introduire de biais de traduction.
- Le contrôle qualité des réponses aux questionnaires doit être effectué durant les enquêtes afin d'adapter la façon dont celles-ci sont présentées par les enquêteurs.
- Il peut être utile de présenter les premiers résultats des enquêtes aux populations concernées afin de les informer et d'échanger avec elles à ce sujet.

L'EXPLOITATION DES DONNÉES COMMERCIALES EXISTANTES

Lorsque le projet intervient dans une zone déjà desservie par un système d'approvisionnement en eau potable, il peut être intéressant d'étudier les données commerciales existantes en complément de celles produites par les enquêtes



socio-économiques. Ces informations sont généralement obtenues à partir des registres clientèle, des cahiers de suivi commercial et du système de gestion comptable. Elles portent sur les ménages utilisateurs du service d'eau (nombre d'abonnés actifs et inactifs, types d'abonnés, localisation des abonnés, dates de raccordement au réseau, etc.), les équipements et les ouvrages de desserte (nombre de branchements particuliers, de bornes-fontaines, d'abreuvoirs, leur localisation, etc.), les consommations en eau et leurs évolutions antérieures (valeurs moyennes, éventuellement par type d'abonné), les factures d'eau payées par les usagers (valeurs moyennes, éventuellement par type d'abonné), etc.

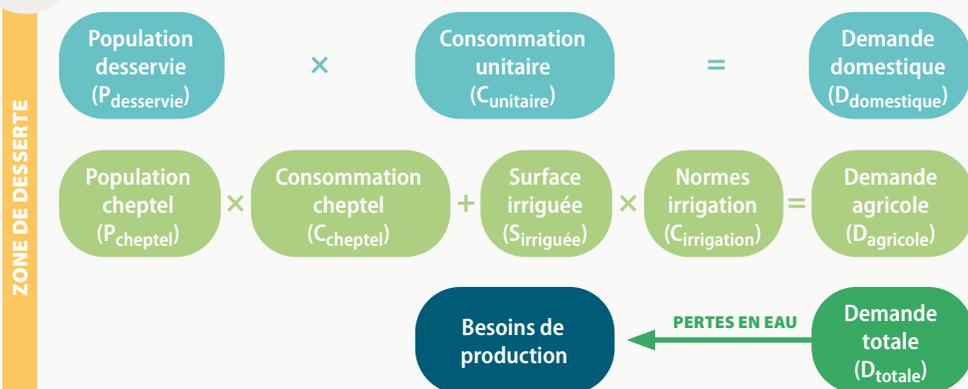
Ces données peuvent être demandées au gestionnaire ou au maître d'ouvrage du service d'eau étudié, mais également, lorsqu'elles existent, aux entités chargées de réaliser des audits ponctuels de la gestion commerciale et financière du service (opérateur de suivi technique et financier², autorité de régulation, commissaire aux comptes, etc.). Les données recueillies seront d'autant plus utiles qu'elles porteront sur de longues périodes, permettant d'apprécier les évolutions dans le temps du taux d'accès, des niveaux de consommation ou encore de la capacité à payer des usagers.

— Déterminer les besoins et la demande en eau

Les données et analyses produites précédemment permettent d'évaluer la quantité d'eau à distribuer pour répondre de manière satisfaisante à la demande actuelle des populations de la zone de desserte. Une fois effectuée l'analyse du contexte, il s'agit de traduire les informations recueillies en volume à produire à court et long termes. Il s'agit d'estimer, dans un premier temps, la demande et les besoins de production au départ du projet (t_0). À noter que ce « départ » peut parfois avoir

Figure 2

CALCUL DES BESOINS EN PRODUCTION D'EAU POTABLE



2. L'opérateur de suivi technique et financier (Stefi) assure des missions de suivi, d'appui et de conseil sur la gestion technique, commerciale et financière pour le compte des exploitants, et établit des rapports sur la performance des services.



lieu plusieurs années après l'étude, le temps de réunir les financements et de lancer les marchés. Lorsque cette demande en eau est à t_0 , il s'agit ensuite de la calculer à des temps « projetés », c'est-à-dire à un horizon défini par la durée de vie des infrastructures à réaliser.

ESTIMER LES BESOINS ET LA DEMANDE EN EAU ACTUELS

● Estimer la demande en eau

La demande en eau se calcule à partir des consommations spécifiques (nombre de litres consommés par type d'usage) des différents usagers (population, bétail, etc.) et de leur nombre. Ces données varient en fonction des saisons (accès à des sources d'eau alternatives non pérennes, variation de la température extérieure, transhumance du bétail, affluence touristique, etc.) et dans le temps (augmentation de la population, et de la consommation spécifique, flux migratoires, etc.). Ces données sont produites à partir des études décrites précédemment (voir « Décrire le territoire de desserte » p. 86 et « Analyser les pratiques et les représentations en matière d'eau » p. 90).

Représentée sous forme d'équation, la demande totale en eau à l'état initial (D_0) correspond à la somme de la demande en eau pour des usages dits domestiques ($D_{\text{domestique}}$) et non domestiques, en l'occurrence ici des usages essentiellement agricoles (D_{agricole}). Elle concerne principalement l'abreuvement du bétail et le maraîchage. Elle est calculée en déterminant la taille des cheptels (B_0) et les surfaces irriguées (S_0), et en appliquant une norme de consommation pour chaque tête de bétail (C_{cheptel}) et chaque hectare de terre irrigué ($C_{\text{irrigation}}$). Ces normes résultent le plus souvent des observations antérieures et des réglementations en vigueur.

Concernant les usages agricoles, il faut différencier les consommations spécifiques en fonction du type de bétail ou du type de culture : la consommation unitaire d'un bovin est plus élevée que celle d'un ovin ; la consommation d'eau pour le maraîchage est différente de celle nécessaire en arboriculture.

La demande totale en eau est formulée ainsi :

$$D_0 = D_{\text{domestique}} + D_{\text{agricole}} = P_0 \times C_{\text{unitaire}} + B_0 \times C_{\text{cheptel}} + S_0 \times C_{\text{irrigation}}$$

- Avec :
- $D_{\text{domestique}}$: demande en eau domestique (m^3/jour)
 - D_{agricole} : demande en eau agricole (bétail et surfaces irriguées) (m^3/jour)
 - P_0 : population à l'année de départ
 - C_{unitaire} : consommation unitaire (m^3/jour)
 - B_0 : nombre de têtes de bétail à l'année de départ
 - C_{cheptel} : consommation par tête de bétail (m^3/jour)
 - S_0 : surface irriguée
 - $C_{\text{irrigation}}$: consommation par ha irrigué (m^3/jour)

● Estimer le besoin de production en eau

Le besoin de production en eau correspond au volume à prélever dans la source d'eau pour que la demande en eau potable soit satisfaite aux points de distribution. Le principal paramètre intervenant dans cette opération est le volume d'eau non distribué. Il correspond aux pertes en eau liées aux fuites sur le réseau ou dans les



réservoirs, auxquelles on additionne les volumes d'eau utilisés pour l'entretien et la maintenance des ouvrages (nettoyage des réservoirs et du réseau, rétrolavage des filtres, vidange des boues, etc.). Ces pertes en eau sont présentées à travers le rendement du réseau, qui correspond au rapport entre le volume d'eau potable distribué aux usagers et le volume total produit.

Pour tenir compte des pertes techniques (lavage des filtres, vidange des boues, fuites, nettoyage des bassins, etc.), un taux de 20 % de la consommation totale est considéré.

Le besoin de production en eau (Q_0) se calcule donc ainsi :

$$Q_0 = D_0 \times (R + 1)$$

Avec : D_0 : besoins de distribution en eau (m^3/j)

R : pertes techniques du système d'adduction d'eau

LES PERTES EN EAU SUR LES PETITS RÉSEAUX D'EAU EN MAURITANIE

Depuis plusieurs années en Mauritanie, le département Eau potable de l'autorité de régulation produit des données techniques et financières pour les petits réseaux, dont la gestion est assurée par des entreprises mauritaniennes dans le cadre de contrats de délégation de service public. Parmi

ces données, celles s'intéressant aux rendements techniques des réseaux montrent qu'après les quelques années suivant la mise en service (la cinquième année généralement), les pertes en eau s'élevaient, en fonction des systèmes, de 10 à 30 % des volumes produits.

ESTIMER LA DEMANDE EN EAU ET LES BESOINS DE PRODUCTION FUTURS

Plusieurs facteurs influent sur les besoins de production tout au long de la durée de vie de l'infrastructure. **L'accroissement de la population est le facteur prépondérant.** D'autres facteurs ont une incidence moindre, mais non négligeable :

- augmentation de la consommation spécifique (liée au phénomène d'accoutumance au nouveau service et à l'accès à des points de distribution rapprochés, en particulier les branchements domiciliaires);
- augmentation du nombre de têtes de bétail;
- accroissement des surfaces agricoles;
- baisse du rendement de la production d'eau liée à la dégradation progressive du réseau.

L'estimation des besoins de production à terme pourra être plus ou moins affinée en fonction de la prise en compte de ces paramètres et des hypothèses d'évolution.

Pour calculer la demande et les besoins futurs de production en eau, il s'agit de définir les taux d'accroissement des facteurs pris en compte et l'horizon auquel l'infrastructure est dimensionnée. On utilise communément un horizon de vingt ans, bien que les réseaux soient souvent renouvelés à des échéances plus lointaines.

Le besoin de production en eau peut se calculer de la façon ci-dessous :

Il faut tout d'abord calculer la population à l'horizon n (P_n), obtenue en appliquant la formule suivante :



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

Avec : P_0 : population à l'année de départ
 a : taux d'accroissement naturel de la population de la région de l'étude ou à défaut du pays

Le besoin de production futur à l'horizon n (Q_n) est ensuite calculé selon la formule :

$$Q_n = D_n \times (R_m + 1) = [P_n \times C_{\text{unitaire}/n} + B_n \times C_{\text{cheptel}} + S_n \times C_{\text{irrigation}}] \times (R_m + 1)$$

Avec : D_n : demande totale en eau à l'horizon n (m^3/jour)
 R_m : pertes en eau moyennes sur la durée de vie du système d'adduction d'eau
 P_n : population à l'horizon n
 $C_{\text{unitaire}/n}$: consommation unitaire à l'horizon n (m^3/jour)
 B_n : nombre de têtes de bétail à l'horizon n
 S_n : surface irriguée en année n (m^3/jour) à l'horizon n

En l'absence de chiffres fiables sur les projections de l'évolution du cheptel et des surfaces irriguées, on utilise souvent le même taux d'accroissement que celui de la population. Il faut également noter que, dans le cas des stations de potabilisation, les besoins en eau du bétail peuvent en général être négligés en raison de la présence d'eaux de surface à proximité.

● Cas pratique sur le fleuve Sénégal

Au Sénégal et en Mauritanie, les consommations spécifiques observées le long du fleuve Sénégal varient entre 10 et 20 litres/habitant/jour. À Thillé Boubacar, la population s'élevait en 2018 à 3 700 habitants, et le taux d'accroissement naturel de la population était de 3,2 % par an. Les enquêtes estiment la consommation spécifique à 15 litres/jour/habitant. Le bétail s'approvisionne dans le fleuve, et il n'y a pas besoin d'irriguer la zone desservie.

La demande et les besoins de production en eau en 2018 se calculent de la façon suivante :

$$\text{Demande en eau à } t_0 : D_0 = P_0 \times C_{\text{unitaire}} = 3\,700 \times 0,015 = 55,5 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Production nécessaire à } t_0 : Q_0 = D_0 \times (R + 1) = 55,5 \times 1,2 = 66,6 \text{ m}^3/\text{j}$$

Les données et hypothèses pour le calcul de la demande et des besoins de production en eau à terme sont les suivants : taux d'accroissement de la population de 3,2 %, horizon de dimensionnement de 20 ans (2038) et pertes techniques moyennes de 20 %.

La demande et les besoins de production en eau en 2038 se calculent de la façon suivante :

Population à un horizon de 20 ans :

$$P_{20} = P_0 (1 + a)^n = 3\,700 (1 + 0,032)^{20} = 6\,947 \text{ habitants}$$

Demande en eau à t_{20} :

$$D_{20} = P_{20} \times C_{\text{unitaire}/20} = 6\,947 \times 0,020 = 139 \text{ m}^3 \text{ par jour}$$

Besoins de production à l'horizon de 20 ans :

$$Q_{20} = D_{20} \times (R_m + 1) = 139 \times 1,2 = 167 \text{ m}^3 \text{ par jour}$$



SCÉNARIOS À COURT, MOYEN ET LONG TERMES

L'évolution de la demande en eau sur des horizons temporels plus ou moins éloignés (5 ans, 10 ans, 20 ans, etc.) est par nature incertaine. Les projections sont en effet fondées sur des hypothèses, toujours discutables, de croissance démographique, de développement économique, d'aménagement urbain, mais aussi d'évolution des pratiques ou des mentalités. La crédibilité des hypothèses retenues dépend de la robustesse du diagnostic de la situation actuelle et de la rigueur méthodologique avec laquelle il a été réalisé.

Pour autant, sur des périodes supérieures à dix ans, les projections s'apparentent à des exercices de simulation faisant intervenir différentes variables : sociologiques, démographiques, économiques, etc. L'avenir ne pouvant être prédit sans risque, et puisqu'il dépend en partie des choix effectués par les responsables locaux, il est possible de proposer à ces derniers de discuter des hypothèses à partir de scénarios croisant les horizons temporels (court, moyen et long termes) avec le degré de probabilité des hypothèses (haute, basse, moyenne, etc.).

Ce travail de scénarisation permet d'une part de mettre en relation les hypothèses des projections, les choix politiques et leurs conséquences techniques ou financières, et, d'autre part, de cerner plus rigoureusement les résultats des projections, en raisonnant en fourchettes chiffrées estimant l'ampleur des enjeux. Il est d'ailleurs possible de modifier certaines hypothèses et de mener des études de sensibilité.



Cycle de vie des ouvrages et des infrastructures

Tout système de traitement de l'eau comporte un ensemble d'équipements et d'ouvrages dont la durée de vie technique varie en fonction des technologies employées, des matériaux utilisés ou encore de l'intensité de l'utilisation. Ainsi, les ouvrages de génie civil (bassins de coagulation/floculation, bâches de décantation, bassins de filtration) peuvent résister jusqu'à 40 ans, tandis que les équipements électromécaniques (les pompes par exemple) doivent par-

fois être remplacés après cinq années d'utilisation. De même, les équipements de régulation (vannes, compteurs, etc.) ont une espérance de vie relativement courte. Chaque composante du système de traitement doit être dimensionnée en tenant compte de sa durée de vie technique. Par exemple, une pompe doseuse ayant une espérance de vie de quatre ans devra être choisie en calculant la demande en eau projetée à cet horizon temporel.



ÉTAPE 2

ANALYSER LES RESSOURCES EN EAU DISPONIBLES

Eaux de rivière, de lac, de mare, eaux souterraines, eaux de source... faire l'état des lieux des ressources disponibles dans la zone d'intervention est une étape aussi importante que l'évaluation des besoins et de la demande en eau. La localisation, la qualité et le potentiel de la ressource en eau conditionnent la configuration et les caractéristiques des ouvrages de traitement.

Cette deuxième étape a pour but d'aider le lecteur à déterminer de manière simple la ressource en eau la plus adaptée aux conditions locales et aux contraintes du projet.

— Mobiliser les connaissances locales

En général, les habitants de la collectivité utilisent depuis longtemps, voire toujours, une partie des ressources en eau disponibles sur le territoire : il existe au niveau local un important capital de connaissances à ce sujet, qu'il ne faut pas négliger. Les données recueillies auprès des habitants sont d'autant plus précieuses qu'elles fournissent aussi des indications sur le comportement des villageois, toujours lié à la disponibilité, à la commodité d'utilisation et au prix du service, ou encore à la qualité des ressources.

Pour autant, il est possible que certaines ressources ne soient pas utilisées par la population pour des questions de difficulté d'exploitation. Il est alors nécessaire de les identifier et d'analyser la faisabilité de leur mise à disposition *via* un système de traitement et de distribution adapté.

— Dresser la liste des ressources potentielles

LES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines (forages ou puits) proviennent d'aquifères dont la porosité et la structure du terrain déterminent le type et le mode de circulation souterraine. Les **nappes libres** sont alimentées directement par l'infiltration des eaux de ruissellement et leur niveau fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue. Les **nappes captives** sont séparées de la surface du sol par une couche imperméable : elles sont généralement plus profondes. Enfin, les **nappes alluviales** sont situées dans les terrains alluvionnaires où circulent des cours d'eau. La qualité de ces eaux est directement liée à celle de l'eau de la rivière.



Tableau 3

PRINCIPALES DIFFÉRENCES ENTRE EAUX DE SURFACE ET EAUX SOUTERRAINES

CARACTÉRISTIQUES	EAUX DE SURFACE	EAUX SOUTERRAINES
Température	Variable (suivant les saisons).	Relativement constante.
Turbidité	Variable (parfois élevée).	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique).
Minéralisation	Variable (en fonction des terrains, des précipitations et des rejets).	Sensiblement constante, en général plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fer (Fe) et manganèse (Mn) dissous	Généralement absents.	Généralement présents et parfois très élevés dans certaines régions.
Dioxyde de carbone (CO₂) agressif	Généralement absent.	Souvent présent en grande quantité.
Dioxygène (O₂) dissous	Souvent au voisinage de la saturation. Absent dans le cas d'eaux très polluées.	Absent la plupart du temps.
Sulfure d'hydrogène (H₂S)	Généralement absent.	Souvent présent.
Nitrates (NO₃-)	Peu abondants en général.	Teneur parfois élevée.
Micropolluants minéraux et organiques	Présents mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Éléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, etc.	Ferrobactéries fréquentes.

Les eaux souterraines sont généralement de bonne qualité bactériologique et physico-chimique. Parce qu'elles sont filtrées naturellement par les formations géologiques qu'elles traversent, ces eaux sont claires et ne nécessitent en principe pas de traitement complexe avant leur consommation, ce qui constitue un avantage indéniable. Elles sont toutefois souvent chargées en sels dissous et peuvent contenir des gaz dissous indésirables. Les eaux souterraines de moindre profondeur sont toutefois de moins bonne qualité et sont sujettes à une variation saisonnière. En tout état de cause, il est nécessaire d'analyser leur qualité physico-chimique et bactériologique afin de contrôler leur possible utilisation et, le cas échéant, déterminer les traitements nécessaires.

Le captage des eaux souterraines requiert des compétences et ouvrages spécifiques (forages ou puits en fonction de la profondeur de la nappe), qui ne sont pas abordés dans cet ouvrage. Parce qu'il est plus difficile de déterminer la localisation



des aquifères et leur potentiel d'exploitation, il est nécessaire de réaliser des études hydrogéologiques et géophysiques pour localiser précisément la ressource et évaluer sa quantité, ainsi que sa qualité.

LES EAUX DE SOURCE

Les eaux issues de sources dont les environs immédiats sont protégés des diverses pollutions sont généralement de bonne qualité, avec parfois des débits variables en fonction de la saison : il faut donc effectuer les mesures de débit de la source **en saison sèche**. Le fait qu'une source soit éloignée de son lieu de distribution constitue un frein à son utilisation.

LES EAUX DE SURFACE

Les eaux de surface (lacs, rivières, fleuves, mares) sont généralement disponibles en grande quantité. Elles sont la plupart du temps facilement mobilisables puisque le puisage manuel, un canal ou une simple pompe suffisent à les collecter. **Leur qualité est toutefois moindre que celles issues des autres sources**. Parce qu'elles sont en contact avec l'air et qu'elles proviennent d'eaux ruisselant sur le sol, elles risquent d'être fortement chargées en matières en suspension, voire en éléments pathogènes, ce qui implique de mettre en place des procédés de potabilisation. Elles reçoivent de plus les effluents des activités humaines et des animaux, et bénéficient rarement d'une protection adéquate.

LES EAUX DE PLUIE

Dans certaines zones arides ou lieux publics, il est possible de mettre en place des systèmes de récupération des eaux de pluie. Leur utilisation pour l'alimentation humaine pose toutefois des problématiques en termes de stockage (les volumes consommés sont importants) et de qualité (pollution atmosphérique, durée du stockage avant utilisation, absence de minéraux).



*Puisage de l'eau du fleuve à Nasra (Mauritanie)
avant la mise en place d'une station de traitement © En Haut*



— Analyser la ressource

La ressource en eau peut être analysée à travers trois critères : sa **qualité**, sa **quantité nécessaire** et sa **facilité d'exploitation**.

LA QUALITÉ DE L'EAU

La qualité de l'eau captée est primordiale. Comme évoqué précédemment, les eaux souterraines et issues de sources ont souvent une qualité supérieure à celle des eaux de surface. Cela dit, même une eau souterraine peut être impropre à la consommation pour des raisons géologiques (sel, arsenic, etc.) ou liées à l'activité humaine (coliformes fécaux, nitrates, etc.).

Analyser la qualité de l'eau est donc essentiel avant d'engager les travaux : l'analyse bactériologique garantira l'absence de bactéries, virus, protozoaires ou vers, et l'analyse physico-chimique établira la concentration de certains éléments tels que les nitrates, l'arsenic, le fer, le fluor ou encore le sel. En fonction des résultats de l'analyse, il faudra définir un dispositif de traitement adapté aux capacités financières et techniques locales, ou mobiliser une autre ressource.

Un critère de qualité est la facilité à protéger la ressource. Pour garantir une eau de qualité, il est impératif de maîtriser l'agriculture, les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ou encore les dépôts de déchets.

LA QUANTITÉ NÉCESSAIRE

La ressource doit être suffisante pour couvrir les besoins tout au long de l'année. Cela signifie qu'il faut avoir des données précises sur le niveau de la nappe en saison sèche, ou sur celui de la mare ou de la rivière.

Quatre éléments permettent de s'assurer que la quantité d'eau sera suffisante :

- la **demande totale** en eau doit être estimée. Il s'agit non seulement des besoins anthropiques (consommation humaine, activités économiques telles que l'agriculture, les industries, etc.) mais aussi des besoins environnementaux (nécessaires à la vie animale et végétale, terrestre et marine). Les prélèvements sur la ressource devront permettre de maintenir un équilibre entre les différents écosystèmes ;
- le **caractère saisonnier de la ressource** doit aussi être étudié afin que celle-ci reste en quantité suffisante quelle que soit la période de l'année (périodes d'étiage, de sécheresse, etc.) ;
- dans le cas d'une **réserve sans apports extérieurs** (mare par exemple), la quantité doit être suffisante pour attendre la prochaine saison des pluies ;
- toutes les **causes possibles de perte en eau** doivent être prises en compte (puisage manuel, évaporation, sol perméable, etc.).



Analyse de la qualité de l'eau par l'opérateur de Birette (Mauritanie) © En Haut



Tableau 4

SYNTHÈSE DES POINTS À ANALYSER CONCERNANT LE CHOIX DES RESSOURCES EN EAU

TYPE DE RESSOURCE EN EAU	QUESTIONS À SE POSER
Eaux souterraines	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les caractéristiques des nappes situées dans la zone étudiée (profondeur, débit, niveau statique et dynamique, capacité de recharge) ? - Quels sont les systèmes de puisage utilisés par les habitants (puits, forages, etc.) ? - Quelles sont les caractéristiques de ces systèmes d'exhaure (date d'installation, profondeur, diamètre, nature des tubages, type de pompes, état de marche, etc.) ? - Quelle est la qualité de l'eau pour chaque ouvrage de captage (caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques) ? - Quelles sont les variations observées sur le niveau ou la qualité de l'eau au cours de l'année ?
Eaux de source	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les sources utilisées ? - Quelles sont leurs périodes d'utilisation respectives ? - Quelle est la pérennité de chaque source ? Quel est son débit ? Observe-t-on des variations saisonnières ? - Quelle est la qualité de l'eau de chaque source (caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques) ? - Quels ont été les aménagements et ouvrages de protection mis en place pour chaque source ? - Quelle est la distance entre chaque source et les localités étudiées ? - Quelles sont les activités agricoles, artisanales et industrielles qui utilisent chacune des sources ? - Quelles sont les activités qui polluent ces sources ? Quelle est la localisation, la nature et la quantité des rejets polluants ?
Eaux de surface	<ul style="list-style-type: none"> - Quelles sont les ressources d'eau de surface puisées (mare, rivière, fleuve, etc.) ? - Quelles sont leurs périodes d'utilisation respectives ? - Quelle est la pérennité de chaque ressource ? Quels sont les débits et périodes de crue et d'étiage ? - Quelle est la distance entre chaque ressource et les localités étudiées ? - Quelle est la qualité de l'eau de chaque ressource (caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques) ? - Quels ont été les ouvrages et autres aménagements mis en place pour accéder à ces ressources ? - Quelles sont les activités agricoles, artisanales et industrielles qui utilisent chacune de ces ressources ? - Quelles sont les activités qui polluent ces ressources ? Quelle est la localisation, la nature et la quantité des rejets polluants ?
Eaux de pluie	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la période d'utilisation de cette ressource ? - Quels sont les équipements de stockage utilisés ? - Quel est le volume stocké ? - Quels sont les systèmes de traitement utilisés ? - Quelle est la qualité de l'eau stockée ?



LA FACILITÉ D'EXPLOITATION

Le troisième et dernier critère déterminant le choix de la ressource en eau est sa facilité d'exploitation. Par exemple, capter une source située sur un haut relief est facile et souvent peu coûteux (ne nécessite pas de pompage). En revanche, effectuer un pompage sur une rivière située à plusieurs kilomètres du lieu de traitement et de distribution coûte beaucoup plus cher (nécessité d'acheminer l'eau). Dans le cas des forages, il faut évaluer la profondeur de la nappe, le type de roches traversées ainsi que le coût du pompage et de l'opération de forage.

ÉTAPE 3

DÉFINIR LES CRITÈRES DE CHOIX

A fin de choisir une solution de traitement de l'eau appropriée à la zone d'intervention, il convient de se doter d'une grille d'analyse. En d'autres termes, il faut identifier un ensemble de critères de choix présentant les qualités suivantes : simples, pertinents et quantifiables. Cette troisième étape a pour objectif de présenter les critères permettant d'apprécier les avantages et les contraintes de chaque solution et procédé de traitement des **eaux de surface**, au regard des principales caractéristiques du contexte d'intervention.

Présentation des critères de choix

Six critères apparaissent comme utiles à la sélection de solutions de traitement adaptées. Cette liste découle de l'examen empirique des systèmes de traitement présentés dans la deuxième partie de cet ouvrage. En conséquence, elle ne vaut que pour notre problématique (le traitement des eaux de surface) et pour la région qui nous intéresse (vallée du fleuve Sénégal), bien que cela puisse s'adapter à d'autres géographies. Parce qu'il est possible que le lecteur identifie d'autres critères de choix susceptibles d'intégrer cette liste (impact sur l'environnement du système de traitement par exemple), la grille peut être complétée en suivant la démarche décrite ci-dessous, qui peut être reproduite pour n'importe quel contexte.

Tableau 5

SYNTHÈSE DES SIX CRITÈRES DE SÉLECTION D'UNE STATION DE POTABILISATION DANS LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

CRITÈRES	ÉCHELLES D'ÉVALUATION	UTILITÉ DU CRITÈRE	QUESTIONS À SE POSER
Capacité de production	<ul style="list-style-type: none"> - Débit inférieur à 20 m³/j. - Débit compris entre 20 et 100 m³/j. - Débit supérieur à 100 m³/j. 	Permet de savoir si le système de traitement dans son ensemble, ou si un procédé de traitement en particulier, est en mesure de produire, en régime de fonctionnement normal, les quantités d'eau potable nécessaires au territoire desservi.	<ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la capacité horaire ou journalière de production d'eau du système dans son ensemble ? - Quelle est la capacité horaire ou journalière de traitement du procédé en question ? <p style="text-align: right;">.../...</p>



CRITÈRES	ÉCHELLES D'ÉVALUATION	UTILITÉ DU CRITÈRE	QUESTIONS À SE POSER
Efficacité de traitement	<ul style="list-style-type: none">- Efficace- Moyennement efficace- Peu efficace	Permet de savoir si le système de traitement dans son ensemble, ou si un procédé de traitement en particulier, répond aux exigences de qualité fixées par la réglementation nationale, les normes internationales ou d'autres standards (normes techniques, normes du projet, etc.).	<ul style="list-style-type: none">- Le système de traitement dans son ensemble permet-il d'obtenir une eau de bonne qualité, quelle que soit la qualité de l'eau brute ?- Le procédé de traitement (coagulation/floculation, décantation, etc.) permet-il d'obtenir une eau répondant aux exigences fixées ?
Coût d'investissement et de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none">- En FCFA/m³- En FCFA/mois- En FCFA/habitant	Permet de savoir si les coûts associés à la mise en place, puis au fonctionnement du système de traitement, sont supportables pour le maître d'ouvrage (et ses partenaires financiers) et les usagers du service. Permet de savoir si les investissements sont correctement optimisés par rapport à la population desservie.	<ul style="list-style-type: none">- Quel est le montant total des coûts de mise en place du système de traitement ?- Quels sont les éléments du système de traitement les plus coûteux (ouvrages, équipements, etc.) ?- Quels sont les coûts récurrents pour assurer le bon fonctionnement du système de traitement ?- Quels sont les postes de charges les plus importants ?
Complexité d'utilisation	<ul style="list-style-type: none">- Facile- Moyenne- Difficile	Permet de savoir si les équipements sont facilement manipulables et si les compétences nécessaires à l'exploitation du système de traitement sont disponibles localement, ou s'il faut prévoir de mobiliser des compétences extérieures ou des outils spécifiques.	<ul style="list-style-type: none">- Les équipements sont-ils tous facilement utilisables (en termes d'accès, de visibilité et de manipulation) ?- L'entretien des équipements peut-il s'effectuer seul, facilement et rapidement ?- Les procédés requièrent-ils des compétences spécifiques, pointues, difficilement transférables à un opérateur local ?
Robustesse	<ul style="list-style-type: none">- Robuste- Moyennement robuste- Fragile	Permet d'apprécier la durée de vie du système dans son ensemble ou d'un procédé de traitement en particulier.	<ul style="list-style-type: none">- Quelle est la durée de vie technique de chaque procédé de traitement ?
Emprise foncière	<ul style="list-style-type: none">- Intensive- Moyennement intensive- Extensive	Permet de savoir quelles surfaces de terrain nécessite le système de traitement dans son ensemble.	<ul style="list-style-type: none">- Quelle est l'emprise foncière du système de traitement ?



CRITÈRE 1 : CAPACITÉ DE PRODUCTION D'EAU DE LA STATION

- **Définition** : la capacité de production d'eau est définie ici comme la quantité maximale d'eau potable que le procédé de traitement est en mesure de traiter en régime de fonctionnement normal, c'est-à-dire un régime qui ne provoque pas la détérioration ou l'usure prématurée des équipements et des ouvrages.
- **Appréciation** : le critère « capacité de production d'eau potable » est exprimé dans cet ouvrage en débit journalier (unité : m³/j). Afin de pouvoir comparer les technologies, on considère trois classes de débit : inférieur à 20 m³/j, compris entre 20 et 100 m³/j, supérieur à 100 m³/j. Ces classes (voir tableau 6) correspondent à des besoins de production pour des types de villages communément rencontrés dans la région étudiée : moins de 1 000 habitants, entre 1 000 et 5 000 habitants, plus de 5 000 habitants (sur la base d'une consommation de 20 litres/personne/jour).
- **Comparaison** : l'appréciation attribuée, pour ce critère, au système de traitement considéré doit être rapportée aux objectifs poursuivis en termes de couverture de la demande et des besoins en eau préalablement définis.

Tableau 6

CLASSES DE CAPACITÉ DE PRODUCTION DES STATIONS DE POTABILISATION

CAPACITÉ DE PRODUCTION D'EAU POTABLE	TYPE DE STATION
Inférieur à 20 m ³ /j	Petite production
Entre 20 et 100 m ³ /j	Moyenne production
Supérieur à 100 m ³ /j	Grande production

CRITÈRE 2 : EFFICACITÉ DE TRAITEMENT

- **Définition** : l'efficacité de traitement des eaux de surface, du système dans son ensemble ou du procédé de traitement en particulier, est définie comme la capacité à produire une eau respectant les normes de potabilité en vigueur ou les standards intermédiaires de traitement (pour les procédés), cela quelles que soient la qualité de l'eau brute utilisée et la variation de cette qualité au cours de l'année.
- **Appréciation** : le critère « efficacité de traitement des eaux de surface » est qualifié dans ce guide selon l'échelle d'évaluation suivante : efficace, moyennement efficace, peu efficace.
- **Comparaison** : l'appréciation attribuée, pour ce critère, au système ou au procédé de traitement doit être rapportée aux normes ou aux objectifs poursuivis en termes de qualité de l'eau traitée.

Pour rappel, les systèmes de traitement des eaux de surface du Sénégal et de la Mauritanie doivent produire une eau conforme aux directives de l'OMS, lesquelles prévoient notamment les recommandations minimales suivantes : pH situé entre 6,5 et 9,5, turbidité inférieure à 5 NTU, chlore résiduel supérieur ou égal à 0,2 mg/l, et ce en tout point du réseau de distribution.



De même, une eau décantée dont la suite du traitement contient un procédé de filtration est, dans cet ouvrage, considérée comme étant de bonne qualité si sa turbidité est inférieure à 13 NTU. En effet, nos observations montrent que des eaux présentant une turbidité supérieure à ce taux encrassent rapidement les filtres, altèrent leurs performances et empêchent d'atteindre le seuil recommandé par l'OMS.

En résumé, on pourra attribuer, en termes d'efficacité de traitement, et sur la base de la performance des procédés de la clarification (ensemble du prétraitement, coagulation/floculation et décantation), l'échelle de notation indiquée dans le tableau 7 ci-dessous. Les performances de la filtration ne sont pas ici prises en compte, puisque son efficacité dépend du niveau de turbidité de l'eau à son entrée (eau décantée) et de la fréquence de nettoyage des filtres.

Tableau 7

CARACTÉRISATION DES NIVEAUX D'EFFICACITÉ DU TRAITEMENT

TURBIDITÉ EAU DÉCANTÉE (AVANT FILTRATION)	EFFICACITÉ
Toujours inférieur à 13 NTU	Efficace
Quelques dépassements jusqu'à 30 NTU lors de pics de turbidité de l'eau brute	Moyennement efficace
Dépassements du seuil de 13 NTU récurrents, en toute saison	Peu efficace

CRITÈRE 3 : COÛTS D'INVESTISSEMENT ET DE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME DE TRAITEMENT

- **Définition** : les coûts d'investissement et de fonctionnement du système de traitement sont définis comme les ressources financières devant être mobilisées, ponctuellement ou de manière récurrente, d'une part pour mettre en place les équipements et les ouvrages de traitement de l'eau, et d'autre part pour les faire fonctionner correctement de manière pérenne.

Rappelons que, selon la grille des « 3T », ces ressources financières peuvent provenir soit des recettes issues de la vente de l'eau (le « T » des tarifs), soit des dotations publiques issues de la fiscalité locale ou nationale (le « T » des taxes), soit des subventions apportées par des bailleurs de fonds (le « T » des transferts).

- **Appréciation** : les critères « coûts d'investissement » et « coûts de fonctionnement » sont exprimés dans cet ouvrage en FCFA/m³ d'eau produit pour les coûts d'investissement, et en FCFA/mois pour les coûts de fonctionnement³.
- **Comparaison** : l'appréciation attribuée, pour ce critère, au système de traitement considéré doit être rapportée à la capacité de financement du maître d'ouvrage du projet et aux données relatives à la volonté/capacité des ménages à payer pour le service.

3. Le FCFA a été ici utilisé plutôt que l'Ouguiya (UM), d'une part car la majorité des coûts proviennent du Sénégal, et d'autre part car le FCFA est une monnaie utilisée dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest.



Les **coûts de fonctionnement** des stations recouvrent l'ensemble des dépenses engagées régulièrement par l'exploitant ou le maître d'ouvrage pour garantir le bon fonctionnement des installations. Ils sont constitués des charges du personnel (salaires et charges sociales), des fournitures et intrants (produits de traitement de l'eau, produits d'entretien, fournitures de bureau, gasoil pour les groupes électrogènes, etc.), des frais de sous-traitance (contrats de réparation des équipements, d'entretien préventif de certains ouvrages, etc.), des frais d'énergie ou encore de location des bureaux.

Les **coûts d'investissement** recouvrent les dépenses liées aux travaux réalisés avant la mise en route des systèmes (travaux dits de premier établissement), ainsi que les dépenses engagées par la suite, soit pour renouveler des ouvrages et équipements en fin de vie ou devenus obsolètes, soit pour renforcer le système ou le mettre en conformité avec la réglementation (accroissement de la capacité de production du système par exemple). Ces coûts comprennent des frais d'études préalables, de travaux et de supervision des chantiers, ainsi que des frais liés à l'acquisition et à l'installation d'équipements.



Construction de la station de potabilisation de Chigara (Mauritanie)

© F. Naulet



CRITÈRE 4 : COMPLEXITÉ D'UTILISATION

- **Définition** : ce critère renvoie à la facilité d'utilisation des équipements mis en place (fonctionnement, entretien et remplacement). Il fait aussi référence aux compétences requises par les opérateurs dans la mesure où l'exploitation de la station dans son ensemble, ou d'un procédé de traitement en particulier, nécessite un savoir-faire spécifique.
- **Appréciation** : le critère « complexité d'utilisation » sera qualifié dans cet ouvrage selon l'échelle d'évaluation suivante : facile, moyenne, difficile.
- **Comparaison** : l'appréciation attribuée à ce critère doit également être rapportée aux ressources matérielles et humaines à disposition et prendre en compte le fait que, dans des localités isolées, le système de suivi peut parfois être faible, voire inexistant. Les questions à se poser sont les suivantes :
 - les équipements sont-ils facilement utilisables en termes d'accès (vanne), de visibilité (compteur) et de manipulation (nombre d'actions à effectuer, force ou outils à utiliser)?
 - l'entretien des équipements peut-il s'effectuer seul, de manière facile et rapide ?
 - les procédés requièrent-ils des compétences spécifiques et pointues ?

CRITÈRE 5 : ROBUSTESSE

- **Définition** : la robustesse dépend de la durée de vie technique des équipements et ouvrages qui composent le système de traitement de l'eau. Elle se définit comme la période à l'issue de laquelle, en raison de l'usure naturelle, il est nécessaire de remplacer l'équipement ou l'ouvrage.
- **Appréciation** : le critère « robustesse » sera exprimé par une appréciation qualitative selon l'échelle d'évaluation suivante : robuste, moyennement robuste, fragile. Cette appréciation sera donnée en fonction de la durée de vie de quatre éléments parmi les plus structurants d'une station de potabilisation : le flocculateur, le décanteur, les pompes doseuses et les filtres. À l'échelle d'une station, les autres éléments n'ont pas de différences significatives en termes de durée de vie ou de coûts.
- **Comparaison** : certaines solutions techniques à longue espérance de vie peuvent impliquer des coûts d'investissement ou de fonctionnement importants, hors de portée des usagers et des pouvoirs publics locaux. De même, la durée de



Entretien de la pompe doseuse hydraulique, station de Guidakhar (Sénégal)



Ouverture du filtre sous pression, Guidakhar (Sénégal)



vie des ouvrages peut rester théorique, et dans les faits être bien inférieure à la norme si la gestion est défaillante ou les compétences requises hors d'atteinte des capacités des ressources humaines locales. Ainsi, il peut parfois être préférable de privilégier des solutions plus robustes ou à plus faible durée de vie, mais mieux adaptées aux capacités financières locales et maîtrisables par les acteurs locaux.

Tableau 8

DURÉE DE VIE DES QUATRE PRINCIPAUX ÉQUIPEMENTS CARACTÉRISTIQUES DE LA ROBUSTESSE D'UNE STATION

TYPE D'ÉQUIPEMENT	CARACTÉRISTIQUES	DURÉE DE VIE TECHNIQUE	APPRÉCIATION
Floculateur	Béton armé	50 ans	Robuste
	Maçonnerie ou aluminium	25 ans	Moyennement robuste
	Tôle ondulée en plastique (onduline)	5 ans	Fragile
Décanteur	Statique	50 ans	Robuste
	Lamellaire	10 ans	Fragile
Pompe doseuse	Électrique	8 ans	Robuste
	Hydraulique (Venturi ou Dosatron)	5 ans	Fragile
	Mécanique (bac d'ajout)	5 ans	Fragile
Filtre	À l'air libre (gravitaire)	50 ans	Robuste
	Sous pression	20 ans	Moyennement robuste

CRITÈRE 6 : EMPRISE FONCIÈRE

- **Définition** : ce critère concerne la surface nécessaire à l'implantation d'ouvrages de traitement des eaux. Certaines solutions ont une emprise foncière importante (filtration lente sur sable par exemple, non étudiée dans cet ouvrage), tandis que d'autres sont plus compactes et requièrent moins d'espace.
- **Appréciation** : le critère « emprise foncière » sera qualifié dans cet ouvrage de la manière suivante : intensive, moyennement intensive, extensive.
- **Comparaison** : l'appréciation qui est attribuée à ce critère doit être rapportée aux disponibilités foncières de la collectivité locale.

Le tableau 9 présente une caractérisation des stations de potabilisation étudiées dans cet ouvrage en fonction des critères de sélection précédemment évoqués.



ANALYSES DES STATIONS ÉTUDIÉES SELON LES SIX CRITÈRES DE SÉLECTION

(pour plus de détails, consulter les fiches station situées en annexe)

Tableau 9

STATION ÉTUDIÉE	CAPACITÉ DE PRODUCTION	EFFICACITÉ DE TRAITEMENT	COÛTS D'INVESTISSEMENT (CI) ET DE FONCTIONNEMENT (CF)	COMPLEXITÉ D'UTILISATION	ROBUSTESSE	EMPRISE FONCIÈRE
F1 – Ross-Béthio	De 0 à 20 m ³ /j	Moyennement efficace	CI : - 18 500 FCFA/habitant - 740 000 FCFA/m ³ d'eau produit CF : - 87 600 FCFA/mois - 584 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive
F2 – Tékane	De 20 à 100 m ³ /j	Moyennement efficace	CI : - 5 600 FCFA/habitant - 420 000 FCFA/m ³ d'eau produit CF : - 251 400 FCFA/mois - 210 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive
F3 – Guidakhar	De 0 à 20 m ³ /j	Efficace	CI : - 15 500 FCFA/habitant - 870 000 FCFA/m ³ d'eau produit CF : - 175 000 FCFA/mois - 292 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Moyennement robuste	Intensive
F4 – Thiago	De 20 à 100 m ³ /j	Moyennement efficace	CI : - 19 500 FCFA/habitant - 301 400 FCFA/m ³ d'eau produit CF : - 597 700 FCFA/mois - 176 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive



Tableau 9 (suite)

STATION ÉTUDIÉE	CAPACITÉ DE PRODUCTION	EFFICACITÉ DE TRAITEMENT	COÛTS D'INVESTISSEMENT (CI) ET DE FONCTIONNEMENT (CF)	COMPLEXITÉ D'UTILISATION	ROBUSTESSE	EMPRISE FONCIÈRE
F5 – Breun	Supérieure à 100 m ³ /j	Efficace	CI: - 7 800 FCFA/habitant - 221 600 FCFA/m ³ d'eau produit CF: - 1 195 700 FCFA/mois - 221 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive
F5 – Ziré	Supérieure à 100 m ³ /j	Efficace	CI: - 21 500 FCFA/habitant - 537 900 FCFA/m ³ d'eau produit CF: - 1 641 300 FCFA/mois - 510 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Moyennement robuste (la pompe doseuse mécanique est fragile).	Intensive
F6 – Thillé Boubacar	Supérieure à 100 m ³ /j	Moyennement efficace	CI: - 31 000 FCFA/habitant - 518 700 FCFA/m ³ d'eau produit CF: - 1 247 400 FCFA/mois - 231 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive
F7 – Bokhol	Supérieure à 100 m ³ /j	Peu efficace	CI: - 10 000 FCFA/habitant - 216 900 FCFA/m ³ d'eau produit CF: - 867 700 FCFA/mois - 121 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive
F8 – Diawara	Supérieure à 100 m ³ /j	Efficace	CI: - 4 500 FCFA/habitant - 180 500 FCFA/m ³ d'eau produit CF: - 1 185 000 FCFA/mois - 132 FCFA/m ³ d'eau produit	Moyenne	Robuste	Intensive

ÉTAPE 4

CHOISIR LA FILIÈRE DE TRAITEMENT

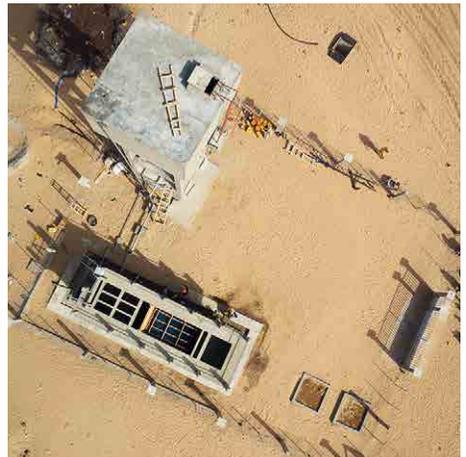
L' analyse du tableau 10 ci-contre montre que le choix de la filière de traitement s'effectue en premier lieu sur la capacité de production, qui dépend de la demande en eau.

Pour une demande en eau allant jusqu'à 60 m³/j (population d'environ 2 500 habitants), les stations de type *batch* présentent un avantage comparatif indéniable : un coût plus faible, des infrastructures plus robustes, plus faciles d'entretien et requérant une surface foncière moindre. Il faut toutefois faire attention à la qualité de l'injection des coagulants et au mélange (voir « Injection des réactifs » p. 28, « Injection d'intrants et coagulation » p. 116 et la fiche 3 « Injection du coagulant et mélange » p. 155). Au-delà de ce débit de production, les stations de type *batch* présentent les limites suivantes :

- la multiplication des bassins, ou l'augmentation de leurs volumes, engendrent un surcoût et requièrent un espace foncier plus important ;
- l'augmentation du volume des bassins accroît le temps de décantation (au moins trois heures pour ceux de 2 m³, et jusqu'à six heures pour des bassins de 10 m³), et nécessite donc d'augmenter à son tour le dimensionnement (rapport non linéaire entre débit à traiter et volumes des bassins).

Pour une demande en eau supérieure à 60 m³/j, les stations à flux continu apparaissent donc plus adaptées en termes d'investissement et de performance technique. De plus, la capacité d'évolution de certaines stations en fait des solutions intéressantes pour des localités plus importantes, pour lesquelles on prévoit une forte augmentation de la population. Il faut donc supporter au départ un investissement plus important, et apporter ensuite des adaptations en fonction de la demande en eau effective.

L'étape 5 permet ensuite d'affiner l'analyse pour déterminer les procédés de traitement les mieux adaptés au contexte.



Bassin de mélange, de floculation et de décantation lamellaire à Ziré (Mauritanie) © En Haut



ANALYSE COMPARATIVE ENTRE LES FILIÈRES DE TRAITEMENT BATCH ET À FLUX CONTINU EN FONCTION DES SIX CRITÈRES DE SÉLECTION

Tableau 10

FILIÈRE	CAPACITÉ DE PRODUCTION	EFFICACITÉ DE TRAITEMENT	COÛTS D'INVESTISSEMENT (CI) ET DE FONCTIONNEMENT (CF)	COMPLEXITÉ D'UTILISATION	ROBUSTESSE	EMPRISE FONCIÈRE
Batch	Filière de traitement conseillée si les besoins en termes de production en eau sont faibles : de 0 à 60 m ³ /j pour un débit de 2,5 à 5 m ³ /heure.	Dans sa gamme de production, ses performances sont bonnes même pour des turbidités élevées, mais la décantation consomme beaucoup d'intrants si le mélange n'est pas correctement effectué.	CI : 400 000 à 900 000 FCFA/m ³ produit. CF : 210 à 300 FCFA/m ³ produit.	Facile à comprendre, système simple. Il est toutefois plus compliqué à contrôler, car les étapes de coagulation/floculation et de décantation se font dans le même bassin.	Durée de vie moyenne de 50 ans pour le gros œuvre. Très robuste en raison de la simplicité du système.	Intensive pour de faibles plages de production (en dessous de 60 m ³ /j). Deviens plus importante que la filière en continu pour des débits supérieurs du fait de la multiplication des bassins.
En continu	Filière de traitement conseillée si les besoins de production sont moyens ou importants : supérieurs à 60 m ³ /j ou supérieurs à 5 m ³ /heure.	Certains modèles sont très performants et permettent, pour les fortes turbidités, de compléter le traitement avec des modules supplémentaires.	CI : 180 000 à 500 000 FCFA/m ³ produit. CF : 120 à 230 FCFA/m ³ produit.	Nécessite des compétences techniques de base. Facile à contrôler et à entretenir si le fond du bassin est en forme de « V ».	Durée de vie variable en fonction des dispositifs utilisés : de 20 à 50 ans. La robustesse dépendra des choix techniques opérés pour chaque équipement.	Intensive pour des plages de fonctionnement supérieures à 20 m ³ /j. Le système lamellaire permet d'augmenter de façon importante les capacités, pour une emprise au sol équivalente.



ÉTAPE 5

SÉLECTIONNER LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

Chaque système de traitement des eaux s'apparente à une succession de modules dont l'agencement et les combinaisons varient en fonction des contextes physiques, de l'accès à l'énergie, de l'isolement des localités, du niveau de traitement ciblé et de la facilité à mobiliser du personnel compétent. Cette étape consiste à caractériser les atouts et faiblesses des différents modules en vue d'aider les concepteurs à choisir la solution la plus appropriée.

Injection d'intrants et coagulation

Les intrants doivent être de bonne qualité afin d'assurer un traitement efficace et éviter les surdosages. Ils doivent être disponibles localement et être le moins dangereux possible à manipuler, raison pour laquelle le polychlorure d'aluminium et la soude ne sont pas utilisés dans la vallée du fleuve Sénégal.

Les modalités d'injection du coagulant dans l'eau brute ont leur importance, car elles influent sur la qualité de la coagulation/floculation, et de la clarification en général. En effet, il est nécessaire que le coagulant fasse son effet rapidement avant l'apparition de précipités. Une coagulation est d'autant plus efficace que le mélange coagulant/eau brute se fait rapidement et de façon homogène. Les paramètres permettant de contrôler la vitesse du mélange sont le gradient de vitesse et le temps de séjour, qui est le temps de contact de l'eau avec le coagulant optimal pour permettre un mélange correct (autrement dit, le temps de séjour d'une goutte d'eau dans le bassin de mélange). Il existe plusieurs façons d'injecter le coagulant (voir « Injection des réactifs » p. 28, « Injection d'intrants et coagulation » p. 116 et la fiche 3 « Injection du coagulant et mélange » p. 155). Les atouts et limites de ces différents types d'injection sont présentés dans le tableau 11.



PRÉCIPITÉ Composé solide se formant dans une solution donnée à partir d'un ou de plusieurs éléments chimiques.



Système d'injection par pompe doseuse électrique



Tableau 11

CRITÈRES À PRENDRE EN COMPTE POUR SÉLECTIONNER LE TYPE D'INJECTION DES RÉACTIFS

TYPE D'INJECTION	ATOUTS	LIMITES	COMMENTAIRES
Pompe hydraulique de type Dosatron	<ul style="list-style-type: none"> - Son fonctionnement ne nécessite pas de source d'énergie. - Adapté aux variations de débit pour les stations utilisant les énergies renouvelables (solaire, éolienne). - Assure un bon mélange dans la conduite d'injection. - Ne nécessite pas de bassin de mélange. 	<ul style="list-style-type: none"> - Très sensible aux impuretés et nécessite impérativement un préfiltre pour les eaux turbides. - Exige un entretien régulier. - Les pièces de rechange sont difficilement accessibles sur le marché local. 	<p>Ce type de pompe est à présent utilisé dans de nombreuses stations. C'est le type d'injection le plus performant pour les stations dont le débit d'alimentation est variable.</p> <p>L'utilisation d'un préfiltre est indispensable lorsque l'on utilise le Dosatron.</p>
Pompe doseuse électrique	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie plus longue que celle de la pompe hydraulique. - Émet une dose constante. - Capable d'injecter dans un bassin de mélange ou dans une conduite de refoulement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son fonctionnement requiert une source d'énergie. - Elle n'est pas adaptée aux débits variables. - Exige un entretien régulier de sa crépine et de sa canne d'injection. - Les pièces de rechange sont difficilement accessibles sur le marché local. 	<p>La pompe est robuste et représente une alternative à la pompe hydraulique. Elle est limitée aux débits constants et consomme de l'énergie.</p>
Pompe Venturi	<ul style="list-style-type: none"> - Son fonctionnement ne nécessite pas de source d'énergie. - Elle assure un très bon mélange par injection dans la conduite de refoulement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elle est uniquement adaptée aux débits constants. - Le réglage de son débit est assez complexe. Les moindres variations de pression de la conduite modifient son débit. - Elle requiert des débits d'aspiration de l'ordre de 400 l/h. 	<p>Une pompe Venturi peut être la solution pour les stations à faible débit : elle ne consomme pas d'énergie et permet de mélanger le coagulant de façon homogène. Ce type d'injection n'est en revanche pas adapté aux systèmes avec variation de débit, comme le solaire ou l'éolien. .../...</p>

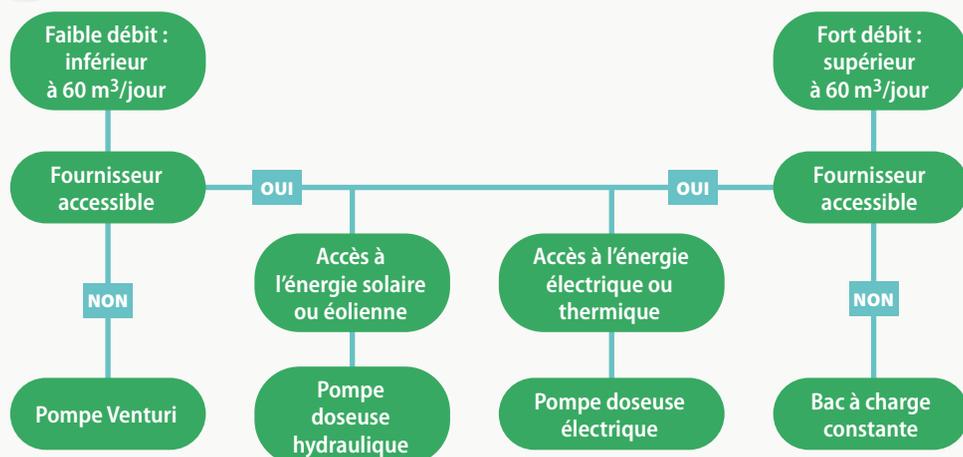


TYPE D'INJECTION	ATOUTS	LIMITES	COMMENTAIRES
Bac d'ajout	<ul style="list-style-type: none">- Son fonctionnement ne nécessite pas d'énergie.- Simple d'utilisation.	<ul style="list-style-type: none">- Permet uniquement d'injecter le produit dans un bassin de mélange et ne favorise pas un bon mélange/coagulation.- Son dosage ne se fait ni proportionnellement au débit, ni de manière constante.	<ul style="list-style-type: none">- Méthode rudimentaire, utilisée lorsqu'il n'existe pas de pompe ou que celle-ci est en panne.- Une alternative au bac d'ajout peut être le bac à charge constante, qui permet un dosage régulier.
Bac à charge constante	<ul style="list-style-type: none">- Son fonctionnement ne nécessite pas d'énergie.- Simple d'utilisation.- Permet un dosage constant.	<ul style="list-style-type: none">- Injection uniquement dans un bassin de mélange.- Dosage non proportionnel au débit.	<ul style="list-style-type: none">- Technologie non utilisée dans la vallée du fleuve Sénégal, mais ayant fait ses preuves dans d'autres pays (Asie, Madagascar).- Allie simplicité et fonctionnalité.

Le choix du type de pompe doseuse est crucial pour le maintien d'une bonne qualité d'eau. En effet, sa facilité d'utilisation et sa robustesse influenceront la qualité du dosage à court et moyen termes. Par exemple, une pompe doseuse fragile demandera un entretien plus fréquent et risquera de tomber plus souvent en panne. Les pièces de rechange peuvent être longues à acheminer. Pour choisir le type de pompe doseuse adéquat, on peut se reporter à l'organigramme ci-dessous.

Figure 3

ARBRE DE SÉLECTION D'UNE POMPE DOSEUSE ADAPTÉE





EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE POMPE DOSEUSE

Le choix de la pompe doseuse doit s'effectuer en fonction du débit d'exploitation. Dans cet exemple, le débit d'eau brute est de 10 m³/h et le besoin de production de 50 m³/jour. La concentration de la solution-mère est de 250 g/l de sulfate d'alumine et de 50 g/l de chlore.

Tableau 12

EXEMPLE DE CARACTÉRISTIQUES D'UNE POMPE DOSEUSE SELON LES DONNÉES INITIALES

	UNITÉ	SULFATE D'ALUMINE	CHLORE
DONNÉES INITIALES			
Durée de fonctionnement	h/j	5	5
Concentration de solution-mère	g/l	250	50
Dosage minimal	g/m ³	20	1
Dosage maximal	g/m ³	160	5
CARACTÉRISTIQUES DE LA POMPE DOSEUSE			
Débit minimal d'injection	l/h	0,8	0,2
Débit maximal d'injection	l/h	6,4	1
Volume journalier maximal de solution-mère injectée	l/j	32	5

Floculation

Deux types de flocculateurs sont étudiés : les flocculateurs à bacs et les flocculateurs à chicanes, qui peuvent chacun présenter deux sens de floculation : verticale ou longitudinale, et parfois les deux.

Le tableau 13 présente les critères à prendre en compte pour choisir le flocculateur le plus adapté, ainsi que leur analyse.

Quel que soit le flocculateur choisi, le respect des paramètres de dimensionnement et une mise en œuvre soignée sont nécessaires pour un fonctionnement optimal. Afin de garantir une bonne floculation, il faut prêter attention à trois éléments : l'étanchéité du module, le dimensionnement des orifices et une vitesse de passage décroissante entre les canaux.



Tableau 13

CRITÈRES À PRENDRE EN COMPTE POUR SÉLECTIONNER LE TYPE DE FLOCULATEUR

CRITÈRES	FLOCULATEUR À BACS	FLOCULATEUR À CHICANES
Capacité de production Capacité des floculateurs à accepter des débits faibles et/ou forts.	+	+
	Fonctionne de manière optimale pour tout type de débit (si le dimensionnement est correct).	Fonctionne de manière optimale pour tout type de débit (si le dimensionnement est correct).
Capacité d'évolution Capacité à maintenir une performance de floculation en cas d'augmentation du débit de production.	-	+
	Les bassins sont dimensionnés pour un débit de production précis et il n'est pas possible d'augmenter cette capacité sans investissements importants.	Les floculateurs à chicanes sont modulables : il est possible de changer la disposition des tôles sans modifier le génie civil.
Efficacité de traitement Capacité à former des floccs de manière optimale quel que soit le niveau de turbidité.	+	+/-
	Bonne capacité si le dimensionnement et la mise en œuvre sont bien réalisés. Bonne capacité de contrôle de la performance en raison de l'indépendance des bassins (la floculation ne se poursuit pas dans la phase de décantation).	Bonne capacité si le dimensionnement et la mise en œuvre sont bien réalisés. D'autre part, sa facilité de modulation lui permet de s'adapter plus facilement à de potentielles malfaçons. Une mauvaise étanchéité risque toutefois d'altérer ses performances.
> Étanchéité Une bonne étanchéité permet de maîtriser la performance de floculation et du dosage des intrants.	+	~
	Bonne étanchéité car les bassins sont indépendants.	L'étanchéité est souvent imparfaite au niveau des jointures entre chicanes et parois.
Coûts d'investissement et de fonctionnement Un coût d'investissement faible sera plus abordable pour les financeurs. Un coût de fonctionnement faible aura des répercussions sur les charges courantes. Les coûts d'investissement et de fonctionnement ont un impact sur le coût de l'eau, et donc du tarif.	~	~
	Coûts d'investissement : de 10 000 à 20 000 FCFA/m ³ .	Coûts d'investissement : de 15 000 à 25 000 FCFA/m ³ (dépendent du matériau utilisé pour les parois, l'aluminium étant plus cher).
	Les coûts de fonctionnement des floculateurs sont principalement liés à la consommation d'intrants, et donc à la turbidité de l'eau brute. Les coûts observés sur les différentes stations varient de 20 à 45 FCFA/m ³ .	



CRITÈRES	FLOCULATEUR À BACS	FLOCULATEUR À CHICANES
<p>Complexité d'utilisation Un accès facile au bassin permet un meilleur contrôle visuel et un entretien plus aisé. Un entretien facile permettra de maintenir la performance du flocculateur et réduira les coûts de fonctionnement.</p>	<p style="text-align: center;">+</p> <p>Les bassins sont accessibles, peu profonds et leur forme carrée facilite le nettoyage.</p>	<p style="text-align: center;">~</p> <p>Les chicanes sont souvent assez profondes, nécessitant des vidanges plus importantes, et la forme des tôles rend le nettoyage plus difficile.</p>
<p>Robustesse La robustesse permet une plus grande durée de vie et dépend surtout des matériaux utilisés. Le béton sera plus solide et les tôles moins encombrantes. La disponibilité des matériaux au niveau local est également un critère à prendre en compte.</p>	<p style="text-align: center;">+</p> <p>Les flocculateurs à bacs sont à construire de préférence en béton armé ou en maçonnerie étanche.</p>	<p style="text-align: center;">+/-</p> <p>Robustes lorsqu'elles sont en béton armé ou en aluminium. Fragiles lorsqu'on utilise des tôles en plastique.</p>
<p>Emprise foncière Niveau d'encombrement requis.</p>	<p style="text-align: center;">+</p> <p>Les flocculateurs à bacs sont peu profonds et peuvent être construits au-dessus d'autres éléments (bassin de clarification, salle d'analyse, etc.). Cela permet d'optimiser l'espace.</p>	<p style="text-align: center;">-</p> <p>Les flocculateurs à chicanes nécessitent une importante emprise foncière.</p>

— Décantation

La décantation est l'avant-dernière étape de la clarification, avant celle de la filtration. Il est primordial que l'eau décantée ait une turbidité inférieure à 13 NTU afin d'éviter que les filtres ne s'encrassent et puissent à leur tour produire une eau dont la turbidité ne dépasse pas les 5 NTU (seuil au-delà duquel il n'est pas possible d'assurer une chloration efficace).

Le choix du type de décanteur est motivé par la qualité de l'eau brute à traiter : les décanteurs statiques, plus simples dans leur réalisation, permettent de décanter des eaux moins turbides, comme celles du lac de Guiers ou des défluent du fleuve Sénégal. Les décanteurs lamellaires sont conseillés pour les gros débits (supérieurs à 40 m³) et pour les stations traitant de l'eau brute tirée directement du fleuve Sénégal.



Les bassins sont conçus différemment s'il s'agit de stations à flux continu ou de stations de type *batch* :

- pour les stations de type **batch**, le choix du décanteur (statique ou lamellaire) dépend essentiellement du volume à traiter et des matériaux à disposition (cuves en plastique, béton armé, etc.);
- pour les stations à **flux continu**, le choix du décanteur s'opère en fonction de différents critères, présentés dans le tableau 14.

QUELQUES RÈGLES DE CONCEPTION DES DÉCANTEURS

Certaines règles permettent d'optimiser l'efficacité, le coût ou la simplicité d'utilisation des décanteurs.

- **Les matériaux** : les cuves en plastique ou en fibre ont l'avantage d'être simples à réaliser et à mettre en œuvre, et seront préférées pour de petits volumes (5 à 10 m³). Les bassins en béton armé ont l'avantage de nécessiter une maintenance plus simple et peuvent être utilisés pour tous les volumes. Les matériaux creux de type parpaings sont à éviter pour des questions de maintien de la structure face à des pressions importantes, et parce qu'ils accroissent le risque de fuite.
- **Le nombre de décanteurs** : l'utilisation de deux décanteurs permet une exploitation plus régulière, plus efficace et plus intense. Pendant qu'un bassin se remplit d'eau brute ou décante, l'eau décantée de l'autre bassin peut être pompée. D'autre part, lorsqu'un décanteur est inutilisable car en cours d'entretien, l'autre reste fonctionnel.
- **La forme du décanteur** : les décanteurs rectangulaires présentent des problèmes de fuite aux angles mais permettent de faire des économies dans la mesure où leurs parois peuvent être en partie mitoyennes. Pour les décanteurs statiques, la forme en « V » du fond du bassin permet de maintenir un lit de boues faisant office de catalyseur lors de la décantation, et de faciliter la vidange lors de l'entretien.



Décantation par batch,
station de Tékane (Mauritanie)



Décanteur lamellaire avec un fond en forme de « V »,
station de Breun (Mauritanie)



Tableau 14

CRITÈRES À PRENDRE EN COMPTE POUR SÉLECTIONNER LE MODÈLE DE DÉCANTEUR EN FONCTION DU TYPE DE STATION

CRITÈRES	STATIONS BATCH	STATIONS À FLUX CONTINU	
		Décanteur statique	Décanteur lamellaire
Capacité de production	Production inférieure à 40 m ³ /j.	Toutes les plages de débit.	Toutes les plages de débit.
Capacité d'évolution	– Nécessité de construire de nouveaux bassins pour faire évoluer la capacité de production.	+ Possibilité d'évolution sans investissements importants, en ajoutant des lamelles ou en modifiant le réglage des chicanes.	~ La capacité d'évolution dépend de la capacité à insérer de nouvelles lamelles.
Efficacité de traitement	+ Si les décanteurs sont correctement dimensionnés, le traitement est efficace pour n'importe quel type de décanteur. Les caractéristiques à prendre en compte sont présentées dans le tableau 15.		
	Le temps de décantation augmente fortement en fonction du volume du décanteur et peut aller jusqu'à 6 heures. Le décanteur n'étant pas séparé du floculateur, l'optimisation des paramètres de traitement (dosage du coagulant, temps de décantation) est plus difficile.	À volume égal, un décanteur lamellaire sera beaucoup plus performant qu'un décanteur statique. Le décanteur étant séparé du floculateur, il sera plus facile de contrôler les paramètres de traitement et de les optimiser.	
Coûts d'investissement	– Moyenne : 130 000 FCFA m ³ .	~ Moyenne : Petites stations : 110 000 FCFA/m ³ . Grandes stations : 75 000 FCFA/m ³ .	+ Moyenne : 50 000 FCFA m ³ .

.../...



CRITÈRES	STATIONS BATCH	STATIONS À FLUX CONTINU	
		Décanteur statique	Décanteur lamellaire
Coûts de fonctionnement	Les coûts de fonctionnement comprennent ici le nettoyage du ou des décanteurs, qui ne requiert principalement que de la main-d'œuvre. Il n'est pas évalué monétairement.		
	+	Nettoyage simple : vidange des bassins, nettoyage à l'aide de brosses et utilisation de produits d'entretien.	-
Complexité d'utilisation	+	L'exploitation est facile si le bassin est en forme de « V » et qu'une pente minimum pour la vidange est respectée.	-
		Requiert des compétences techniques de base. Les décanteurs statiques ont en permanence besoin d'un lit de boues ce qui, en comparaison des décanteurs lamellaires, complexifie quelque peu leur exploitation.	
Robustesse	+	Très robustes si réalisés en béton armé. Durée de vie de 50 ans.	-
			Les lamelles sont plus fragiles et sont à renouveler tous les 10 ans.
Emprise foncière/ encombrement	Le décanteur constitue l'élément prépondérant de l'emprise totale de la station.		
	+	-	+
	Débit faible Moins encombrantes dans leur gamme de production (inférieur à 40 m ³). Au-delà, l'emprise foncière peut devenir très importante.	À débit égal, les décanteurs statiques sont plus encombrants que les lamellaires.	Optimisation de l'espace grâce aux lamelles qui permettent une surface de décantation réduite pour les grands débits d'exploitation.

Filtration

La filtration constitue la dernière étape de la phase de clarification. Le choix du type de filtre et le respect des paramètres de dimensionnement doivent permettre de délivrer une eau dont la turbidité est inférieure à 5 NTU. En raison de leur simplicité d'utilisation, de leur coût et de leur robustesse, deux types de filtres sont communément utilisés dans la vallée du fleuve Sénégal : les filtres sous pression et les filtres à l'air libre (gravitaires). Ils fonctionnent tous deux d'après le principe de massif filtrant, soit monocouche (sable), soit bicouche (sable et anthracite). Le tableau ci-contre présente les critères à prendre en compte pour sélectionner le type de filtre adéquat.



Tableau 15

CRITÈRES À PRENDRE EN COMPTE POUR SÉLECTIONNER LE TYPE DE FILTRE

CRITÈRES	FILTRE SOUS PRESSION	FILTRE À L'AIR LIBRE
Capacité de production	<p style="text-align: center;">+ Débit faible</p> <p>Plutôt utilisé pour les faibles débits en raison de coûts d'investissement plus importants.</p>	<p style="text-align: center;">+ Débit important</p> <p>Plutôt utilisé pour les grands débits en raison de coûts d'investissement plus intéressants à partir d'un certain seuil de production. Jamais utilisé pour les stations <i>batch</i> en raison des surcoûts engendrés par la construction d'un bassin de reprise complémentaire.</p>
Capacité d'évolution	<p style="text-align: center;">+</p> <p>Les filtres sous pression s'adaptent plus facilement aux augmentations de débit car il suffit, pour y faire face, d'augmenter le nombre de filtres.</p>	<p style="text-align: center;">-</p> <p>Pas de capacité d'évolution, à moins de construire un nouveau filtre, ce qui engendre des coûts supplémentaires.</p>
Coûts d'investissement	<p style="text-align: center;">-</p> <p>Moyenne : Petites stations : 85 000 FCFA/m³. Grandes stations : 40 000 FCFA/m³.</p>	<p style="text-align: center;">+</p> <p>Moyenne : Stations moyennes à grandes : 30 000 FCFA/m³ produit (1).</p>
Coûts d'exploitation (renouvellement du sable, énergie non compris)	<p style="text-align: center;">~</p> <p>Moyenne : Petites stations : 50 FCFA/m³ produit. Grandes stations : 20 FCFA/m³ produit.</p>	<p style="text-align: center;">+</p> <p>Moyenne : Stations moyennes à grandes : 20 FCFA/m³ d'eau traité. Moins consommateur en énergie.</p>
Efficacité de traitement	<p>+</p> <p>Les deux filtres sont efficaces à condition de respecter le dimensionnement (vitesse maximale de passage) et les fréquences de lavage.</p>	
Complexité d'utilisation	<p>~</p> <p>Le rétrolavage nécessite d'être effectué de manière rigoureuse.</p>	
	<p>Le contrôle du niveau de colmatage du filtre est facilité par les manomètres. Cependant, les manipulations d'ouverture/fermeture des filtres et des vannes requièrent une attention particulière.</p>	<p>Le contrôle du niveau de colmatage du filtre requiert plus d'expérience car il n'y a pas de manomètres : le contrôle se fait à partir de la qualité de l'eau ou du niveau d'eau dans le filtre.</p>
	<p>Deux filtres sont plus avantageux qu'un seul : cela permet de les entretenir sans mettre en arrêt la station. .../...</p>	

(1) Le calcul du coût moyen a été réalisé d'après les bases de calcul présentées dans la partie dédiée aux coûts et correspond uniquement aux stations étudiées. À noter que seules les stations à grand débit étaient pourvues de filtres à l'air libre.



CRITÈRES	FILTRE SOUS PRESSION	FILTRE À L'AIR LIBRE
Robustesse	~ Durée de vie de 10 ans (hors renouvellement du sable).	+ Durée de vie de 50 ans (hors renouvellement du sable).
Emprise foncière	+ Peu encombrants mais nécessitent, pour leur manipulation, d'avoir à disposition un local suffisamment grand.	+ Il faut non seulement de la place pour le filtre, mais également pour le bassin de reprise de l'eau filtrée.





Station de Breun
(Mauritanie) © En Haut

MODÈLES OPTIMISÉS DE STATIONS DE POTABILISATION

132 **Les préliminaires – L’implantation et le type d’énergie**

- 132 • Comment choisir le site d’implantation ?
- 133 • Comment implanter la prise d’eau brute ?
- 133 • Quel type d’énergie utiliser ?

135 **Type 1 – La station de potabilisation « village »**

- 135 • Injection d’intrants
- 136 • Décanteur
- 136 • Filtration sous pression

139 **Type 2 – La station de potabilisation « petite ville »**

- 139 • Bassin de mélange
- 140 • Injection d’intrants
- 140 • Décanteur à flux ascendant
- 141 • Filtration sous pression

143 **Type 3 – La station de potabilisation « ville moyenne »**

- 143 • Bassin de mélange
- 143 • Injection d’intrants
- 144 • Floculateur à chicanes
- 144 • Décantation lamellaire à flux horizontal
- 144 • Filtration à l’air libre

Les précédentes parties de ce guide ont mis en évidence un éventail de possibilités de traitement des eaux. Comme nous l'avons vu, la conception d'une station de potabilisation s'apparente à l'agencement d'une succession de procédés complémentaires, dont les combinaisons sont variables. Chaque étape du traitement présente des caractéristiques propres, ainsi que des contraintes et des atouts spécifiques.

Au regard des critères d'analyse et de la performance des stations étudiées, il ressort qu'il n'existe pas de « modèle type » qu'il suffirait de répliquer. Pour concevoir une station, il s'agit plutôt d'opérer une sélection judicieuse des types de procédés, en fonction des contraintes locales et des préférences d'utilisation.

À partir des expériences, des enquêtes et de l'analyse multicritère conduites sur les stations de la vallée du fleuve Sénégal (en Mauritanie et au Sénégal), trois modèles théoriques de stations optimisés par rapport au contexte de la vallée ont été élaborés. Ces modèles peuvent être appliqués à d'autres contextes de l'Afrique de l'Ouest, mais en restant attentif aux caractéristiques des eaux à traiter, à la demande en eau des populations et aux normes propres à chaque pays.

Les critères pris en compte sont les suivants :

- forte variabilité de la qualité de l'eau du fleuve Sénégal, dont la turbidité peut dépasser les 1 000 NTU ;
- traitement des polluants classiques (matières en suspension, éléments pathogènes) sans présence de polluants spécifiques tels que les substances chimiques issues de l'agriculture, les fluorures ou les métaux lourds ;
- optimisation des coûts d'investissement et de fonctionnement ;

- optimisation des équipements électromécaniques dans l'optique de pérenniser le fonctionnement des installations ;
- utilisation d'équipements robustes nécessitant le moins possible de compétences techniques ou de technologies complexes à entretenir ou à faire fonctionner ;
- dimensionnement de la station adapté à la demande en eau de la région du fleuve Sénégal et à son évolution (augmentation de la population, accroissement de la consommation spécifique). Le niveau de demande est directement estimé à partir de la population à desservir.

Les trois « modèles optimisés » sont proposés en fonction de leur capacité de traitement.

Tableau 1

CAPACITÉ DE PRODUCTION DES TROIS MODÈLES DE STATIONS PROPOSÉS ET POPULATION DESSERVIE

N°	NOM	CAPACITÉ DE PRODUCTION	POPULATION DESSERVIE (1)
1	Station « village »	De 0 à 60 m ³ /j	Jusqu'à 2 500 habitants
2	Station « petite ville »	De 60 à 120 m ³ /j	De 2 500 à 5 000 habitants
3	Station « ville moyenne »	De 120 à 240 m ³ /j	De 5 000 à 10 000 habitants

(1) Calcul arrondi sur la base d'une consommation de 20 l/jour/habitant, pour des pertes en eau de l'ordre de 20 %.



LES PRÉLIMINAIRES : L'IMPLANTATION ET LE TYPE D'ÉNERGIE

A vant de réfléchir au modèle et au dimensionnement de la station, il est nécessaire de prendre en compte son environnement : choix du site d'implantation, implantation de la prise d'eau brute et type d'énergie utilisée.

Comment choisir le site d'implantation ?

Le lieu d'implantation de la station aura une incidence sur les coûts d'investissement et de fonctionnement, mais aussi sur la facilité d'exploitation et sur les risques d'inondation ou de pertes en eau. Il s'agira soit d'identifier un site appartenant au domaine public, soit d'effectuer les démarches nécessaires pour qu'il le devienne. Le tableau 2 présente quelques points d'attention à prendre en compte avant de définir l'implantation de la station.

Tableau 2

CHOISIR LE SITE D'IMPLANTATION

CRITÈRES	QUESTIONS À SE POSER	RÉPONSES	COMMENTAIRES
Accessibilité	La zone est-elle facile d'accès ?	Prioriser les zones d'accès facile.	Un accès facile au site réduira les coûts d'implantation.
Topographie	La station se trouve-t-elle sur une zone surélevée ?	Existe-t-il des zones surélevées ?	Implanter les stations et châteaux d'eau sur une colline permet de gagner en hauteur de charge et d'éviter les inondations en période de forte crue.
Distance de la prise d'eau brute	La prise d'eau est-elle éloignée de la station ? N'y a-t-il pas une possibilité de la rapprocher ?	Prioriser la distance la plus courte possible entre la prise d'eau et la station.	L'éloignement de la prise d'eau provoque d'importants surcoûts en termes d'investissement et d'exploitation.
Distance par rapport au château d'eau	La station est-elle proche du château d'eau ?	Les colonnes de descente du château d'eau doivent être proches de la station.	Limitation des pertes de charge et possibilité de rétrolavage des filtres par le château d'eau si celui-ci se situe à proximité.



— Comment implanter la prise d'eau brute ?

La prise d'eau brute est sujette aux variations de la masse d'eau dans laquelle elle est implantée. Les variations de débit, de niveau d'eau et de turbidité des masses d'eau sont à prendre en compte pour le choix d'implantation de la prise d'eau brute et sa fixation. Dans tous les cas, il est important de protéger la pompe des intrusions (sédiments, corps et objets flottants), des passages de personnes ou d'animaux et du transport fluvial.

Le tableau 3 présente quelques points auxquels il faut particulièrement être vigilant au moment de définir l'implantation de la prise d'eau.

Tableau 3

CHOISIR LE LIEU D'IMPLANTATION DE LA PRISE D'EAU BRUTE

CRITÈRES	QUESTIONS À SE POSER	RÉPONSES	COMMENTAIRES
Positionnement de la pompe	Où se trouve la zone avec le moins de turbidité ?	Prioriser les zones avec le moins de turbidité : bras du fleuve, lacs, etc.	Les eaux moins turbides sont plus faciles à traiter et réduisent la consommation d'intrants.
	Où se trouve la zone avec le moins de pollution ?	En amont des villages. Éviter les prises d'eau à proximité d'usages polluants (abreuvement du bétail, zone de baignade, etc.). Éviter les zones pleines d'herbes aquatiques.	Limite les pollutions domestiques (vaisselle, douche, défécation), animales et agricoles (pollution chimique), ainsi que l'encrassement de la crépine de la pompe d'eau brute.
Fixation de la pompe	Le niveau de l'eau varie-t-il au cours de l'année ? Le courant est-il très fort ?	Oui : dispositif flottant ou pompe de surface sur roulettes.	Permet à la pompe de puiser de l'eau moins turbide et la rend plus facile d'accès.
		Non : Dispositif fixe type IPN (barre métallique).	Système robuste.

— Quel type d'énergie utiliser ?

Le type d'énergie choisi, au-delà des questions de coûts, a des répercussions sur les technologies de traitement ainsi que sur le niveau de technicité nécessaire à leur entretien. Le tableau 4 p. 134 présente les avantages et inconvénients des différents types d'énergies communément utilisés.



Tableau 4

SÉLECTIONNER LE TYPE D'ÉNERGIE

TYPE D'ÉNERGIE	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Solaire	Faibles coûts d'exploitation. Facilité d'exploitation. Énergie renouvelable.	Peu adaptée à certaines stations à flux continu, sensibles aux variations de débit. La maintenance nécessite des compétences qui ne sont pas toujours disponibles localement.
Électrique	Facilité d'exploitation. Coûts d'exploitation faibles pour les petites puissances.	Continuité souvent non garantie : nécessite une énergie complémentaire de secours. Réseau électrique souvent instable, entraînant des dommages sur les équipements.
Thermique	Technologie largement diffusée : pièces et compétences à disposition. Adaptée à tous les types de station.	Coûts d'exploitation importants (carburant, maintenance). Évolution du prix du carburant, non maîtrisée. Chaîne d'approvisionnement et de stockage à maîtriser.



TYPE 1

LA STATION DE POTABILISATION « VILLAGE »

La station « village » (débit d'exploitation inférieur à 60 m³/j) est un modèle adapté à un ou plusieurs villages dont la population est inférieure à 2 500 habitants environ. On trouve principalement ces villages en zones rurales isolées. Il faut donc prêter une attention à la simplicité d'exploitation en raison de la difficulté à mobiliser, dans ces contextes, des compétences techniques. Les solutions doivent également prendre en compte le fait qu'il est délicat de s'approvisionner en fournitures (coûts et temps de transport). Enfin, ces villages étant souvent peu alimentés en électricité, les technologies choisies doivent avoir une consommation électrique faible.

Le modèle proposé pour cette gamme de débit est de type *batch*. En effet, la simplicité de ce modèle de station, ainsi que le nombre réduit de procédés de traitement nécessaires (pas de bassin de mélange ni de flocculateur), en font le modèle le plus adapté aux faibles débits (défluent/affluent du fleuve Sénégal). La station de type *batch* s'accommode relativement bien aux eaux brutes chargées (> 1 000 NTU).

Les éléments qui la composent sont les suivants :

- un à deux bassins de décantation d'un volume de 20 m³ chacun (en fonction du volume à traiter) ;
- injection d'intrants par le biais de technologies simples et robustes ;
- filtration sur sable sous pression.

Injection d'intrants

Les modèles proposés ne fonctionnent pas à l'électricité et sont très robustes.

Pour le sulfate :

- pompe Venturi ou bac à charge constante s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie thermique ou électrique (débit constant) ;
- pompe doseuse hydraulique (Dosa-tron) s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie renouvelable (débit variable).



Bac d'ajout à charge constante



Pour le chlore :

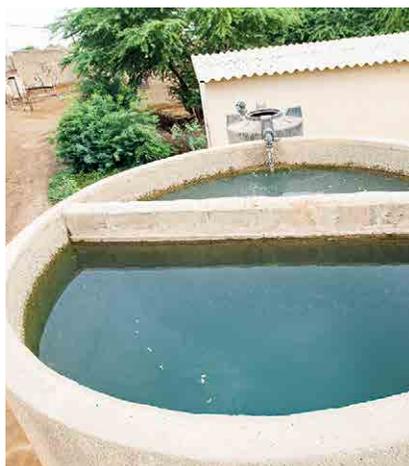
- pompe électrique s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie thermique ou électrique (débit constant) ;
- pompe doseuse hydraulique (Dosatron) s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie renouvelable (débits variables).

Pour la chaux : injection manuelle afin d'éviter le recours à une technologie d'agitateur, nécessaire à ce type de solution liquide, ainsi que les phénomènes de durcissement du produit bouchant les conduites d'amenée ou les pompes (le stockage de la solution de chaux sous forme liquide requiert en effet que la solution mère soit brassée en permanence).

— Décanteur

Chaque bassin est divisé par une cloison en maçonnerie en deux compartiments de 10 m³. La multiplicité des bassins permet de réduire leur volume et d'augmenter ainsi la vitesse de décantation. Cela permet également d'assurer la continuité du service lors de leur entretien. On préférera la forme cylindrique afin de réduire les coûts d'investissement (moins de matériaux à volume égal) et permettre une meilleure étanchéité.

Dans l'optique d'en faire une station modulable jusqu'à 60 m³/j, d'autres bassins de décantation peuvent être construits en vue d'augmenter la capacité de traitement journalière.



Bassin de décantation, station de Guidakhar (Sénégal)

— Filtration sous pression

On préférera ici cette solution pour les raisons suivantes :

- adaptée aux faibles débits ;
- permet d'éviter la construction d'un autre bassin (l'eau décantée passe directement au château d'eau) ;
- peu encombrante et bon rapport qualité/prix pour ce débit de traitement ;
- modularité possible (si on augmente le nombre de bassins de décantation, on peut augmenter la surface de filtration en ajoutant un ou plusieurs filtres).

Les critères de dimensionnement et les caractéristiques de la station sont présentés dans le tableau 5.



Filtration rapide sous pression, station de Ross-Béthio (Sénégal)



Tableau 5

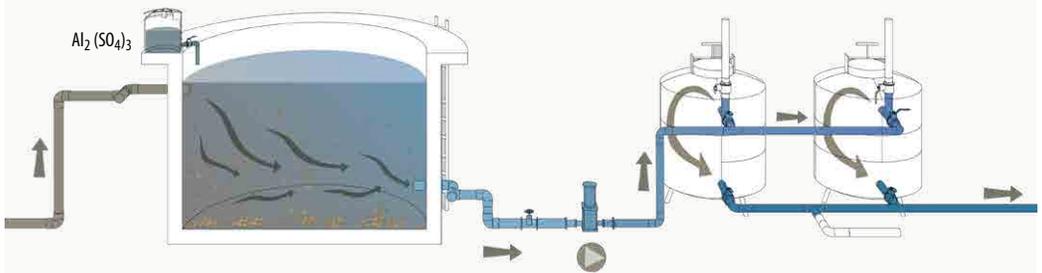
CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT ET CARACTÉRISTIQUES DES ÉLÉMENTS DE LA STATION « VILLAGE »

DISPOSITIF DE TRAITEMENT	CRITÈRE DE DIMENSIONNEMENT	CARACTÉRISTIQUES
Décanteur	Temps de décantation : 6 heures maximum. Volume d'un bassin : 10 m ³ .	Décanteur(s) <i>batch</i> d'un volume de 20 m ³ en béton armé, cylindrique et séparé en deux par une paroi centrale en maçonnerie.
Injection d'intrants	Le débit maximal de la pompe doseuse est au moins égal à 10 l/h.	<p>Pour le sulfate :</p> <ul style="list-style-type: none"> – pompe Venturi ou bac à charge constante s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie thermique ou électrique ; – pompe doseuse hydraulique (Dosatron) s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie renouvelable. <p>Pour le chlore :</p> <ul style="list-style-type: none"> – pompe électrique s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie thermique ou électrique ; – pompe doseuse hydraulique (Dosatron) s'il s'agit d'une station fonctionnant à l'énergie renouvelable. <p>Pour la chaux : injection manuelle.</p>
Filtre à sable sous pression	Vitesse de filtration (m/h) : $4,5 < V_f < 11$. Nombre de filtres : au moins deux (les diamètres varient en fonction du débit).	<p>Massif filtrant</p> <p><i>Sable</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> – épaisseur : 45 cm – granulométrie : de 0,5 à 0,8 mm <p><i>Gravier</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"> – épaisseur : 10 cm – granulométrie : de 3 à 5 mm



Figure 1

STATION DE POTABILISATION « VILLAGE » : VUE GÉNÉRALE ET COUPE





TYPE 2

LA STATION DE POTABILISATION « PETITE VILLE »

La station « petite ville » (débit d'exploitation de 60 à 120 m³/j) est un modèle adapté pour une petite ville ou une série de villages interconnectés dont la population s'élève au maximum à environ 5 000 habitants. Ce volume de production nécessite d'évoluer sur une station à flux continu, qui peut toutefois rester sommaire, les volumes à traiter étant encore relativement faibles. Il faut prêter attention aux mêmes points que pour la station « village » en matière de simplicité d'exploitation, d'approvisionnement en intrants et en énergie.

Le modèle comprend un bassin de mélange servant de chute d'eau, un décanteur statique à flux ascendant et des filtres à sable sous pression. Le type d'injection dépend de la disponibilité ou non du réseau électrique. Ce modèle permet de faire l'économie d'un flocculateur à chicanes ou à bacs.

Bassin de mélange

Le bassin de mélange, de forme cubique ou parallélépipédique, est dimensionné de façon à permettre une hauteur de chute d'eau qui assure une aération de l'eau brute, ainsi qu'un bon mélange des intrants en régime turbulent avant injection dans le décanteur, et ce même si on utilise le bac à charge constante ou la méthode d'injection manuelle (simplicité d'exploitation et solution permettant de passer en mode manuel sans que l'efficacité n'en pâtisse, par exemple le temps de réparer une pompe doseuse).



Bassin de mélange de Thiago (Sénégal)



— Injection d'intrants

L'injection du sulfate d'alumine et de la chaux peut s'effectuer de diverses manières :

- la **pompe doseuse électrique** est préférée pour les sites connectés à un réseau électrique stable, en raison de son rapport robustesse/coût/efficacité de traitement ;
- le **bac à charge constante** est choisi de préférence si le site est enclavé et que l'on ne dispose pas de personnes compétentes à proximité. Cette technologie a également l'avantage de fonctionner sans énergie ;
- la **pompe doseuse hydraulique** est installée en l'absence d'accès au réseau électrique et s'il existe à proximité des fournisseurs de ce type de matériels (entretien et renouvellements plus fréquents). Elle est préférée au bac à charge constante si les débits sont variables (cas du solaire ou de l'éolien).

L'injection du chlore s'effectue à l'aide d'une pompe, électrique lorsque l'accès au réseau est disponible, ou à défaut hydraulique.

— Décanteur statique à flux ascendant

De forme parallélépipédique, il se présente comme une solution compacte et accessible. Sa capacité de traitement peut également augmenter assez simplement en transformant le bassin soit en décanteur statique horizontal (longitudinal), *via* l'ajout de flocculateurs (chicanes amovibles), soit en décanteur lamellaire.



Décanteur statique à flux ascendant, Thiago (Sénégal)



Filtration sous pression

Cette solution est préférée à celle de la filtration à l'air libre car le volume à traiter n'est pas encore suffisamment important pour que cette dernière devienne intéressante en termes de coûts d'investissement. D'autre part, la modularité de traitement permise par le simple ajout de filtres est plus adaptée à ce modèle de station.

Les critères de dimensionnement et caractéristiques de la station sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6

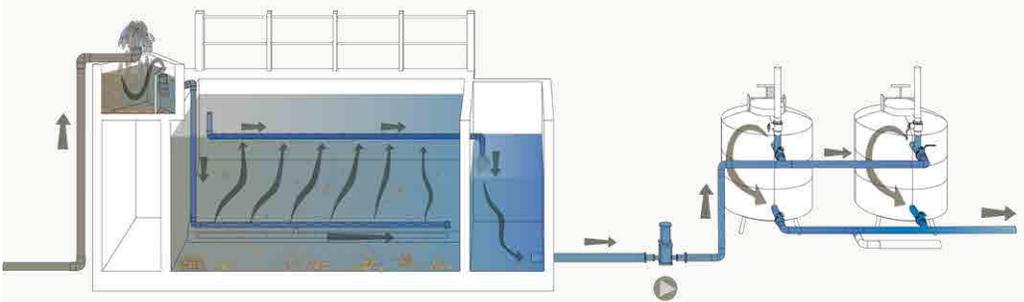
CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT ET CARACTÉRISTIQUES DES ÉLÉMENTS DE LA STATION « PETITE VILLE »

DISPOSITIF DE TRAITEMENT	CRITÈRE DE DIMENSIONNEMENT	CARACTÉRISTIQUES
Bassin de mélange	Gradient de vitesse (s^{-1}) : $300 < G < 1\ 000$. Temps de séjour (s) : $60 < T_s < 200$.	De forme parallélépipédique, son volume permet de respecter un temps de séjour de 200 secondes suivant le débit horaire fixé. Mélange rapide par injection dans la conduite d'amenée de l'eau brute, ou directement dans le bassin. Aération dans un bassin de chute d'eau.
Injection d'intrants	Le débit maximal de la pompe doseuse est au moins égal à 20 l/h.	Injection de chaux et de sulfate d'alumine par pompe doseuse électrique (accès au réseau électrique) ou par bac à charge constante (pas d'accès au réseau). Injection de chlore par pompe doseuse électrique (accès au réseau électrique) ou hydraulique (sans accès au réseau).
Décanteur	Vitesse de décantation : 0,33 m/h. Temps de séjour (min) : $120 < T_s < 240$.	Décanteur statique à flux ascendant : arrivée d'eau par diffuseur au fond d'un bassin en forme de « V » et recueil des eaux décantées par un collecteur en surface.
Filtration à sable sous pression	Vitesse de filtration (m/h) : $4,5 < V_f < 11$. Nombre de filtres : au moins deux, dont le diamètre varie selon le débit.	Massif filtrant <i>Sable :</i> – épaisseur : 45 cm – granulométrie : de 0,5 à 0,8 mm <i>Gravier :</i> – épaisseur : 10 cm – granulométrie : de 3 à 5 mm Une couche d'antracite d'environ 10 cm peut être ajoutée en surface.



Figure 2

STATION DE POTABILISATION « PETITE VILLE » : VUE GÉNÉRALE ET COUPE





TYPE 3

LA STATION DE POTABILISATION « VILLE MOYENNE »

La station « ville moyenne » (débit d'exploitation de 120 à 240 m³/j) est un modèle adapté pour une ville ou une série de villes et villages interconnectés dont la population peut atteindre les 10 000 habitants. Au regard du volume à traiter, on utilise une station à flux continu. Celle-ci peut facilement adapter sa capacité de production en cas d'accroissement des volumes consommés et de la taille du réseau, dont les pertes en eau seront plus difficiles à gérer dans le temps.

Le modèle proposé comprend un bassin de mélange servant de chute d'eau, un flocculateur à chicanes, un décanteur lamellaire et un filtre à sable à l'air libre. Le type d'injection dépendra de la disponibilité ou non du réseau électrique.

— Bassin de mélange

Il comprend plusieurs parois perforées pour créer une turbulence et optimiser l'efficacité du mélange. La présence du bassin de mélange permet également d'injecter des intrants en mode manuel durant les opérations d'entretien des pompes doseuses.

— Injection d'intrants

L'injection du sulfate d'alumine et de la chaux s'effectue de la même manière que pour la station « petite ville » :

- **la pompe doseuse électrique** est de préférence utilisée pour les sites connectés à un réseau électrique stable, en raison de son rapport robustesse/coût/efficacité de traitement ;
- **le bac à charge constante** est plutôt choisi si le site est enclavé et lorsque l'on ne dispose pas de personnes compétentes à proximité. Cette technologie a également l'avantage de fonctionner sans énergie ;
- **la pompe doseuse hydraulique** est installée en l'absence d'accès au réseau électrique et s'il existe à proximité des fournisseurs de ce type de matériels (entretien et renouvellements plus fréquents). Elle est préférée au bac à charge constante si les débits sont variables (cas du solaire ou de l'éolien).

L'injection du chlore s'effectue à l'aide d'une pompe, électrique lorsque l'accès au réseau est disponible, ou à défaut hydraulique.



Floculateur à chicanes

Il est constitué de bacs séparés par des murs en maçonnerie ou en béton armé, et des cloisons en aluminium bien étanches. Le floculateur est modulable suivant l'emplacement des cloisons. Le circuit de l'eau est vertical/horizontal avec des fenêtres permettant de réduire la vitesse de l'eau au fur et à mesure que celle-ci s'approche du décanteur.



Floculateurs à chicanes en aluminium de la station de Bokhol (Sénégal)

Décanteur lamellaire à flux horizontal

Ce modèle de décanteur est le plus économique et le plus performant de tous ceux étudiés dans ce guide. En effet, en gardant la même surface de décantation et en rajoutant des lamelles, il est possible d'au minimum tripler le débit d'exploitation. Le dimensionnement du bassin longitudinal initial comprendra un espace qui pourra accueillir des lamelles supplémentaires, permettant ainsi d'augmenter dans le futur la capacité de production dans le temps à moindre coût.

Filtration à l'air libre

On préfère ici cette solution car elle présente un rapport coût-compacité plus intéressant que les filtres sous pression. Cette solution induit la création d'un nouveau bassin d'eau claire pour reprendre les eaux décantées. Le surcoût de ce nouveau bassin est compensé par son volume de stockage (réduction du volume du château d'eau). Ce filtre est dimensionné sur la base de la capacité maximale de traitement de la station (après ajout des lamelles supplémentaires), avec plusieurs compartiments.

Les critères de dimensionnement et les caractéristiques de la station sont présentés dans le tableau 7.



Tableau 7

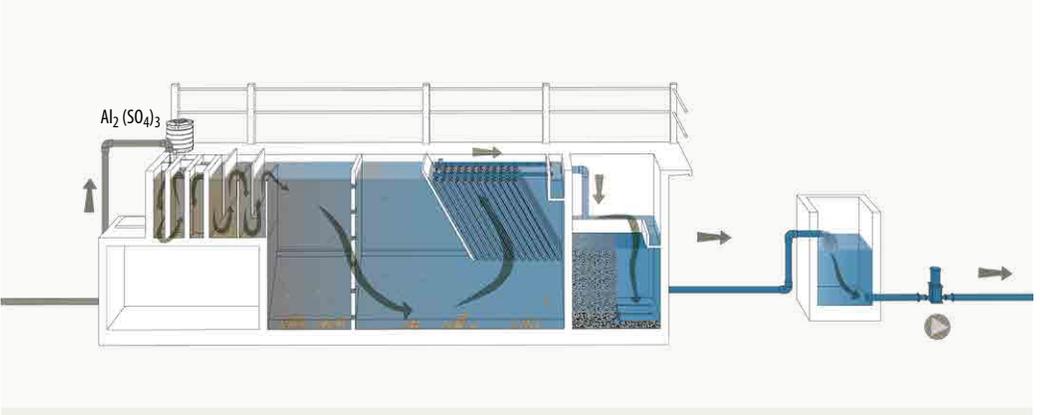
CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT ET CARACTÉRISTIQUES DES ÉLÉMENTS DE LA STATION « VILLE MOYENNE »

DISPOSITIF DE TRAITEMENT	CRITÈRE DE DIMENSIONNEMENT	CARACTÉRISTIQUES
Bassin de mélange	Gradient de vitesse (s^{-1}) : $140 < G < 1\ 000$. Temps de séjour (s) : $60 < T_s < 200$.	Le bassin de mélange est divisé en compartiments par des cloisons perforées en Plexiglas. Mélange rapide par injection dans la conduite d'amenée de l'eau brute ou directement dans le bassin. Aération limitée dans un bassin de chute d'eau.
Injection d'intrants	Le débit maximal de la pompe doseuse est au moins égal à 25 l/h.	Injection de chaux et de sulfate par pompe doseuse électrique (accès au réseau électrique), ou par bac à charge constante ou pompe hydraulique (sans accès au réseau). Injection de chlore par pompe doseuse électrique (accès au réseau) ou hydraulique (sans accès).
Floculateur	Vitesse d'entrée maximale : 0,8 m/s. Vitesse de sortie maximale : 0,03 m/s. Temps de séjour (min) : $15 < T_s < 50$. Nombre de bassins : $N > 6$. Gradient de vitesse (s^{-1}) : $15 < G < 50$. Perte de charge : $\Delta H < 0,1$ m.	La floculation est obtenue par le passage de l'eau à travers des chicanes en aluminium séparées par des cloisons en maçonnerie ou en béton armé.
Décanteur	Vitesse de décantation : 0,33 m/h. Temps de séjour (min) : $120 < T_s < 240$.	Décantation de type lamellaire.
Filtre à sable à l'air libre	Vitesse de filtration (m/h) : $4,5 < V_f < 11$.	La filtration se fait de façon gravitaire dans un filtre à sable à l'air libre : – granulométrie : de 0,9 à 1,2 mm ; – épaisseur : au moins 0,8 m. Une couche support en gravier d'une granulométrie de 20 à 30 mm, sur une hauteur d'eau de 30 cm, peut être ajoutée.



Figure 3

STATION DE POTABILISATION « VILLE MOYENNE » :
VUE GÉNÉRALE ET COUPE





Station de Breun (Mauritanie) © En Haut



Station de Ziré (Mauritanie)

APPROFONDISSEMENTS SUR LE TRAITEMENT DES EAUX DE SURFACE

Les fiches présentées sont adaptées de Gret, Kosan, 2006.

- 151 • **Fiche 1** – Filtres grossiers
- 153 • **Fiche 2** – Aération préliminaire
- 155 • **Fiche 3** – Injection du coagulant et mélange
- 159 • **Fiche 4** – Coagulation/floculation
- 163 • **Fiche 5** – Décantation
- 167 • **Fiche 6** – Filtration sur sable
- 169 • **Fiche 7** – Collecte et élimination des boues de traitement



FICHE 1

FILTRES GROSSIERS

Les filtres grossiers fonctionnent en retenant les matières en suspension présentes dans l'eau brute grâce à un lit filtrant composé de matériaux granulaires. Ils sont utilisés pour le prétraitement d'eaux très turbides, avant que ces dernières ne soient acheminées vers d'autres procédés de traitement.

PRINCIPE

L'eau passe successivement à travers un lit de gravier puis de sable plus fin. Lors de son parcours, l'eau brute se débarrasse d'une partie de sa charge solide. Les particules les plus grosses sont les premières à être arrêtées puis, la granulométrie du lit filtrant diminuant, c'est au tour des particules plus fines d'être retenues. L'intérêt de ce type de filtre repose sur sa capacité de rétention de la matière solide (la taille des interstices est élevée). Cela lui permet de fonctionner relativement longtemps avant de se colmater. Il revêt un intérêt particulier pour le traitement des eaux très turbides (plus de 500 NTU), car il permet de réduire de 60 à 90 % de la matière en suspension et de limiter en aval les risques de colmatage des procédés. Le nettoyage doit intervenir lorsque la perte de charge est trop importante ou la turbidité résiduelle élevée. On procède alors à un nettoyage par injection d'eau propre à une vitesse plus élevée.

En raison de leur simplicité, deux types de filtres sont communément utilisés : les filtres à flux horizontal ou les filtres à flux vertical. Le fonctionnement de ces filtres est présenté ci-dessous.

Figure 1

FILTRE GROSSIER À FLUX HORIZONTAL

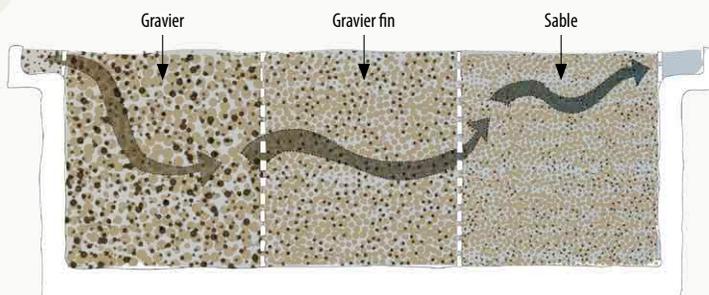
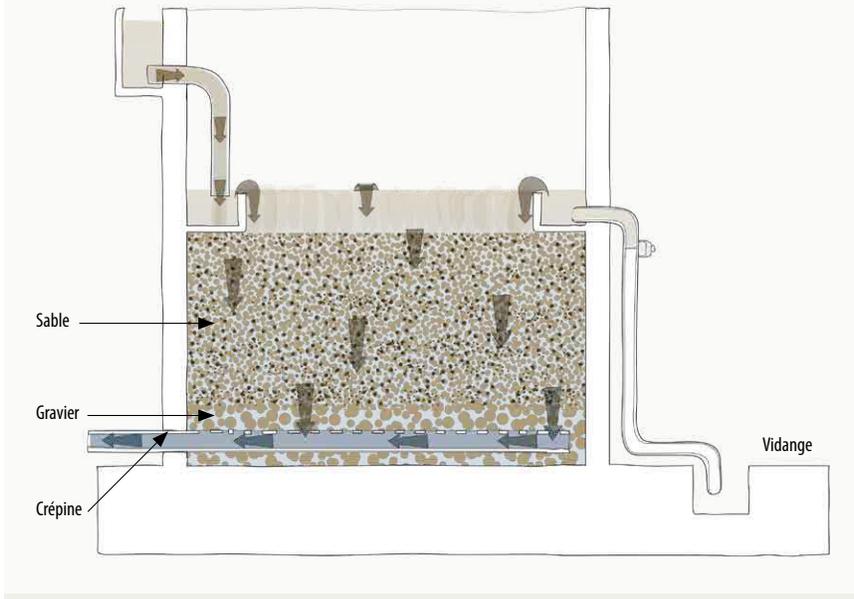


Figure 2

FILTRE GROSSIER À FLUX VERTICAL**NETTOYAGE DES FILTRES**

Le nettoyage des filtres consiste à faire passer l'eau traitée à travers le lit filtrant afin d'entraîner les particules solides retenues dans le matériau filtrant. Le temps de lavage est d'environ 20 à 30 minutes. Il est également possible de procéder à un rétrolavage (injection de l'eau en sens inverse).

La fréquence de nettoyage des filtres augmente si le gravier est étalé en couches fines (ou, dans le cas des filtres horizontaux, si la longueur du lit filtrant n'est pas grande). Il est possible de jouer sur l'épaisseur du lit filtrant pour augmenter ou réduire la fréquence de nettoyage, suivant les coûts de la main-d'œuvre ou des matières premières.

La longueur du lit filtrant est une donnée importante du dimensionnement des filtres horizontaux. Elle est déterminée d'après la balance entre les coûts de construction et la fréquence de nettoyage.

Par exemple, des lits filtrants suffisamment longs ne nécessitent d'être nettoyés que tous les deux à cinq ans.



Le filtre grossier est le seul procédé permettant de prétraiter les eaux très turbides avant leur filtration sur sable. Il peut aussi être le préalable à une filtration classique de type floculation.



FICHE 2

AÉRATION PRÉLIMINAIRE

Ce procédé consiste à multiplier les interactions entre l'air et l'eau afin d'oxyder les substances qui y sont dissoutes, telles que le fer. L'aération a également pour but d'oxygéner l'eau pour en dégazer le CO_2 ou les autres gaz dissous. Cette étape conduit à réduire les mauvaises odeurs et les goûts indésirables de l'eau.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une méthode simple consiste à installer un diffuseur, comme un pommeau de douche, à l'entrée des réservoirs ou en amont de la filtration. L'oxydation favorise la formation de précipités qui décantent au fond des bassins de traitement ou sont éliminés au cours de la filtration. Ils seront recueillis dans la station de potabilisation lors de l'étape de décantation ou durant la filtration.

Il existe trois techniques de diffusion :

- en cascade ;
- dispersion de l'eau dans l'air ;
- dispersion de l'air dans l'eau.

Pour les unités traitant des volumes d'eau importants, il est préférable d'installer un bassin d'oxydation avant les étapes de traitement. De cette manière, il est possible d'atteindre un taux de réduction de la quantité de fer dissous compris entre 80 et 100 %.

QUAND METTRE EN ŒUVRE UNE PHASE D'OXYDATION ?

L'oxydation de l'eau est nécessaire dès lors que celle-ci présente de fortes concentrations en fer dissous. Les eaux souterraines en sont souvent naturellement chargées.

Lorsque la concentration en fer commence à avoisiner les 0,3 mg/l, il faut envisager une phase d'aération préalable. Si le fer ne devient toxique qu'à des concentrations très élevées, sa présence donne toutefois à l'eau un goût désagréable, tâche le linge et les ustensiles de cuisine, de sorte que les usagers se détourneront peu à peu de la source d'eau concernée.

FER ET MANGANÈSE

Le fer est présent dans l'eau sous plusieurs formes :

- **forme précipitée** : il sera éliminé aisément lors de la décantation ;
- **forme dissoute** : l'oxygénation facilitera la formation de précipités d'oxyde de fer, décantables plus facilement ;
- **forme complexée** : le fer sous cette forme est difficile à éliminer.



Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau influencent ces mécanismes (forme du fer dans l'eau). D'une façon générale, la précipitation du fer est d'autant plus rapide que le pH est élevé et l'eau presque saturée en oxygène.

Le problème est similaire pour le manganèse, pour lequel l'oxydation est plus difficile à réaliser. On peut envisager une élimination biologique ou le recours à un oxydant puissant (permanganate de potassium – KMnO_4 –, difficile à utiliser).

LE BASSIN D'OXYDATION

Il s'agit d'un simple bassin de section ronde ou rectangulaire, disponible en béton ou en inox. L'arrivée d'eau se fait à une trentaine de centimètres minimum au-dessus du niveau de l'eau, de manière à prolonger au maximum le contact eau/air.

Le fractionnement de l'arrivée d'eau en une multitude de jets peut se faire en utilisant des systèmes multi-jets (de type pommeaux de douche) ou des tubes en PVC perforés sur la longueur. Si la pression est suffisante, il est possible d'aménager ces trous sur le dessus du tube de façon à ce que l'eau jaillisse vers le haut avant de retomber dans le bac.

D'autres types de bassins d'oxydation existent, comme les bassins verticaux dans lesquels l'eau ruisselle à travers un lit de gravier non noyé, ou les bassins avec des cloisons horizontales percées de trous au travers desquels l'eau s'écoule.

Il existe également d'autres moyens d'oxydation :

- passage de l'eau sur un lit de cailloux ;
- cascade en béton ;
- cascade en tube PVC ;
- systèmes de type « pommeau de douche ».

La réalisation d'un bassin d'oxydation est une technique simple, peu coûteuse et qui nécessite peu de matériel. Il ne faut donc pas hésiter à la mettre en place.



Cascade d'aération en béton



FICHE 3

INJECTION DU COAGULANT ET MÉLANGE

Cette étape conditionne le bon fonctionnement des phases ultérieures de floculation et de décantation. Plusieurs procédés de mélange sont envisageables, plus ou moins performants et complexes.

PRINCIPE

Cette opération a pour but de permettre un mélange rapide et efficace des réactifs avec les eaux à traiter. Les concentrations des réactifs doivent être homogènes dans tout le volume d'eau, et le mélange suffisamment rapide avant que ne s'amorce la phase de floculation.

Les réactifs ajoutés au cours de cette étape sont les coagulants et, le cas échéant, la chaux (pour corriger le pH de l'eau).

Le mélange se fait en dissipant une quantité d'énergie donnée dans le bassin de mélange afin que les turbulences générées dispersent le(s) réactif(s) dans le volume d'eau. Ces turbulences permettent aux molécules du coagulant et aux colloïdes suspendus dans l'eau brute de s'entrechoquer : c'est le début de la coagulation.

UN PEU DE THÉORIE

La formule théorique qui traduit les procédés de mélange est celle du gradient hydraulique, ou gradient de vitesse G :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}}$$

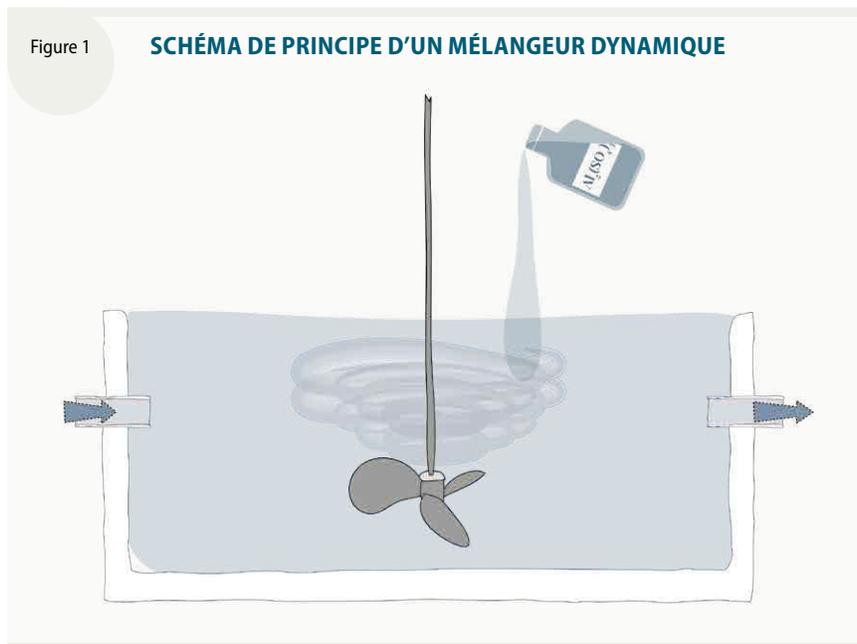
Avec : P : puissance (W ou N.m/s⁻¹)
 μ : constante de viscosité dynamique de l'eau
(10⁻³ N.s/m² à 20°C)
 V : volume du bassin de mélange (m³)

G exprime la « puissance » dissipée dans le volume de mélange en relation avec la probabilité de rencontre des particules. Pour obtenir une bonne coagulation, il est nécessaire de générer un gradient de vitesse G compris entre 300 et 1 000 s⁻¹.

La puissance dissipée dans le volume d'eau peut provenir soit d'une turbine alimentée par un moteur électrique (mélange dynamique), soit des conditions d'écoulement (mélange hydraulique).

MÉLANGE DYNAMIQUE

Le mélange dynamique suppose l'apport d'énergie *via* un moteur ou une moto-pompe. L'eau est le plus souvent brassée avec un agitateur rotatif (hélice immergée) entraînée par un moteur, la plupart du temps électrique.



Cette technique donne de bons résultats mais reste relativement chère. Il faut en effet acheter le moteur et payer l'énergie consommée par ce dernier. De surcroît, les pannes sont plus fréquentes.

MÉLANGE PAR DISSIPATION D'ÉNERGIE CINÉTIQUE

L'énergie cinétique est créée à partir du déversement de l'eau dans le bassin de mélange depuis une certaine hauteur, ou par une pompe de refoulement (pompe amenant l'eau brute).

On utilise pour la calculer la formule suivante :

$$P = Q \times \rho \times g \times \Delta H$$

Avec : Q : débit (m^3/s)

ρ : masse volumique de l'eau (kg/m^3)

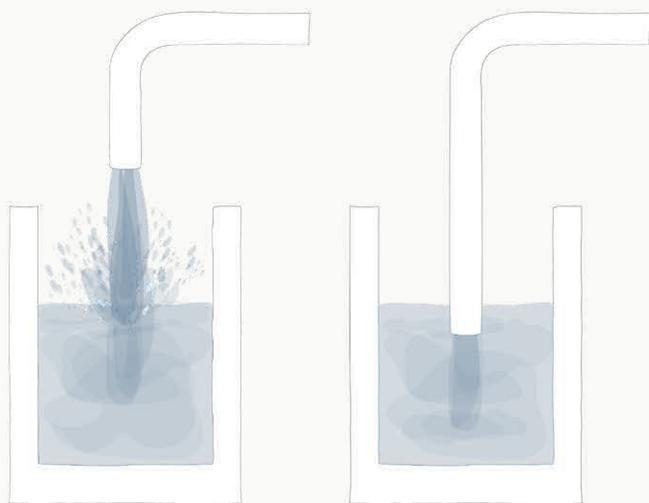
g : accélération de la pesanteur

ΔH : perte de charge (m)

La perte de charge est la hauteur de la chute de l'eau. Le temps de séjour est de 30 secondes.

Figure 2

MÉLANGEURS UTILISANT L'ÉNERGIE CINÉTIQUE



MÉLANGE HYDRAULIQUE

Le mélange est assuré par une succession de plaques perforées faisant obstacle au courant et créant des écoulements turbulents. Le temps de séjour dans ce type de mélangeur est plus long (une minute environ).

Il est primordial de dimensionner rigoureusement le bassin afin de déterminer le nombre adéquat de plaques ainsi que le volume et la vitesse nécessaires au bon mélange du coagulant. Pour rappel, le bassin ne doit pas être le siège d'un début de floculation.

On utilise la même formule que précédemment pour dimensionner le bassin :

$$P = Q \times \rho \times g \times \Delta H$$

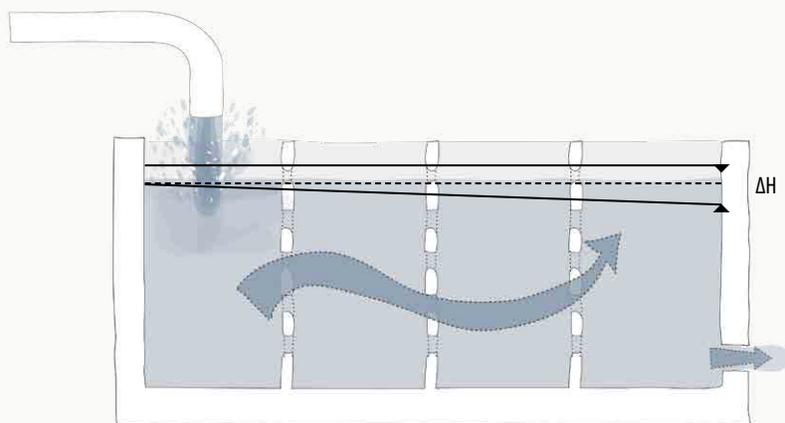
La perte de charge correspond à la perte de charge totale sur l'ensemble du bassin (voir la figure 3 page suivante).

INJECTION DES RÉACTIFS

Il existe deux solutions pour injecter les réactifs : ceux-ci peuvent soit être injectés dans le bac de mélange, soit directement *via* le tuyau d'arrivée d'eau. Cette dernière solution présente l'avantage de favoriser le mélange dans le tuyau et lors de la chute de l'eau. Le dosage s'effectue grâce à des robinets de réglage du débit. Des vannes en position « ouvert/fermé » permettent d'arrêter ou de redémarrer l'ajout, sans modifier le dosage.

Figure 3

BASSIN DE MÉLANGE AVEC PAROIS PERFORÉES





FICHE 4

COAGULATION/FLOCCULATION

La turbidité de l'eau est, dans une large mesure, due à la présence de colloïdes. Les colloïdes sont des particules plus lourdes que l'eau mais si fines qu'elles restent en suspension. Il existe plusieurs techniques pour s'en débarrasser.

PRINCIPE

Les colloïdes ne peuvent décanter pour deux raisons principales :

- ils sont si légers que leur vitesse de décantation est extrêmement faible, et ils sont entraînés par le moindre mouvement d'eau ;
- ils portent des charges électriques négatives en surface qui les empêchent de s'agglomérer.

Pour compenser ces deux effets, on a tout d'abord recours aux **réactifs**. Il s'agit le plus souvent du sulfate d'alumine, aussi appelé alun. Mélangé rapidement à l'eau brute, ce réactif a pour effet de déstabiliser les colloïdes en annulant les charges portées à la surface. Ce phénomène est appelé **coagulation**.

Dans un second temps, une agitation plus lente de l'eau favorise les chocs entre colloïdes. Au cours de ces chocs, les colloïdes à présent neutres s'agglomèrent et forment des particules plus grosses mais plus fragiles, appelées floccs. Cette étape est appelée **floculation**.

D'UN PEU PLUS PRÈS...

Pour mieux comprendre ces phénomènes, observons les mécanismes électrostatiques à l'échelle microscopique. À l'état initial, la particule colloïdale négative est entourée de cations monovalents. La charge globale demeure négative, et les particules se repoussent.

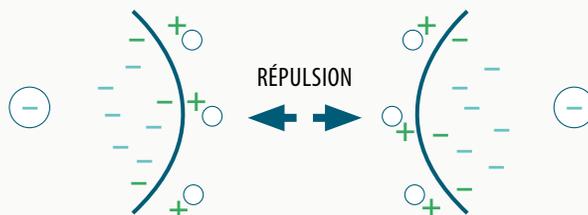


CHARGE ÉLECTRIQUE Somme des charges qui composent une particule (protons : charge positive et neutrons : charge négative). Lorsque deux éléments séparés portent une charge du même signe, ils se repoussent.

CATION Ion portant une ou plusieurs charge(s) positive(s) sous l'effet de la perte d'un ou de plusieurs électrons. Un cation monovalent comprend une charge positive, et un cation trivalent en comprend trois.

Figure 1

EFFET DE RÉPULSION DES COLLOÏDES DÙ À LEUR CHARGE

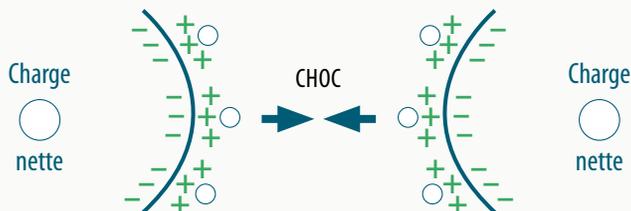


Trop de coagulant produit l'effet inverse : les particules deviennent positives et se repoussent les unes les autres.

Un coagulant est un cation trivalent, c'est-à-dire qu'il possède trois charges positives. Il va occuper la place des cations monovalents autour de la particule. Il en résulte la neutralisation de la charge nette négative, et donc la diminution des forces de répulsion.

Figure 2

NEUTRALISATION DE LA CHARGE NÉGATIVE ET DES FORCES DE RÉPULSION PAR L'AJOUT D'UN RÉACTIF (CATION TRIVALENT)



RÉACTIFS UTILISÉS

Le réactif le plus utilisé est l'alun (sulfate d'alumine) $Al_2(SO_4)_3$, commercialisé sous forme de poudre, de pastilles ou de granulés. Son utilisation est limitée par le pH de l'eau, qui doit être compris entre 6,8 et 7,5. En dehors de cet intervalle, la floculation se fait difficilement et les doses à utiliser sont plus importantes.

Si le pouvoir tampon de l'eau n'est pas assez important, on opte pour le chlorure ferrique. Ce dernier est actif dans un domaine de pH plus large, compris entre 5 et 9. On peut également utiliser un tampon chimique comme la chaux.



POUVOIR TAMPON Capacité d'une solution à absorber ou à neutraliser des chocs ou changements (comme la capacité à absorber une certaine quantité d'acide ou de base, sans que son pH ne change de plus d'une unité).



La solubilisation des coagulants minéraux (sulfates de fer et d'alumine) engendre une acidification de l'eau.

DIFFÉRENTS TYPES DE MÉLANGEURS

Si la coagulation nécessite une grande vitesse d'agitation, la floculation requiert en revanche une agitation très lente.

- **Coagulation** : on utilise un mélange avec une turbine rapide et des mélangeurs statiques.
- **Floculation** : le mélange est plus lent et peut s'effectuer soit avec une turbine lente (figure 3), soit avec des floculateurs à barrières ou des mélangeurs à chicanes (figure 4).



Il y a deux impératifs pour une bonne coagulation : la vitesse doit être suffisante pour permettre la floculation, mais pas trop élevée afin d'éviter de briser les flocs. Il est en effet plus dur de faire grossir le floc une fois celui-ci brisé, et il devient alors difficile de l'éliminer par décantation.

Figure 3

FLOCCULATION MÉCANIQUE À AGITATION LENTE

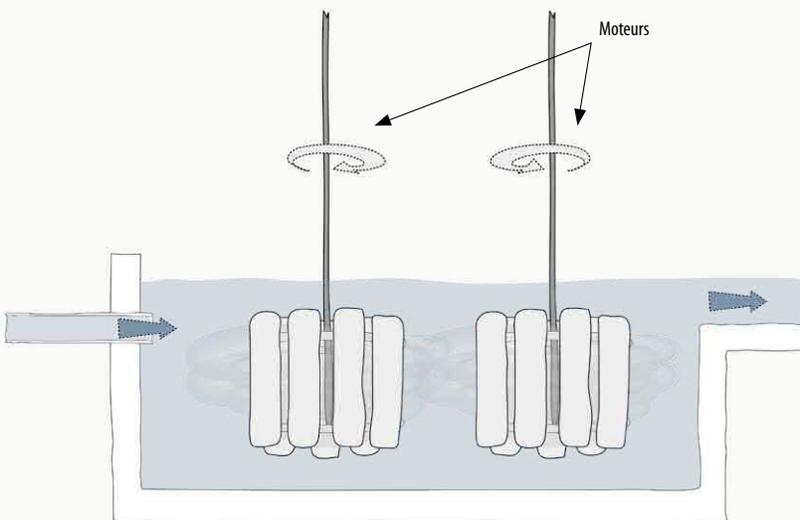
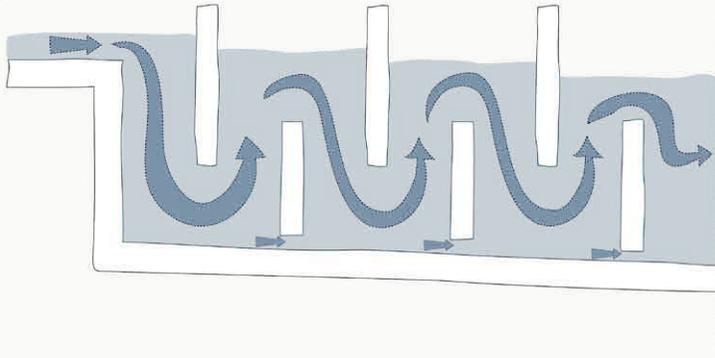


Figure 4

FLOCCULATION HYDRAULIQUE PAR SYSTÈME DE CLOISONS





FICHE 5

DÉCANTATION

Une fois les floccs formés, il faut ensuite les retirer. La réduction de la vitesse d'écoulement entraîne leur sédimentation dans le fond du bassin de décantation, où se forme ainsi un lit de boues. La vidange permettra de les éliminer.

PRINCIPE

La décantation consiste à créer des conditions d'écoulement permettant la chute par gravité des particules préalablement flocculées. Cette descente se fait à une vitesse donnée dépendant des caractéristiques de chaque particule : c'est la **vitesse de décantation**.

● Décanteurs statiques

Dans les décanteurs statiques à **flux vertical**, les particules sont retenues si leur vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascensionnelle du liquide. Dans les décanteurs statiques à **flux horizontal**, les particules sont retenues si le temps qu'elles mettent à tomber est inférieur au temps mis par l'eau pour parcourir toute la longueur du décanteur.

Qu'il s'agisse des décanteurs à flux vertical ou de ceux à flux horizontal, un paramètre important est la **surface horizontale des décanteurs**. L'inconvénient de ce type de bassin apparaît dès lors que l'on envisage de traiter de gros volumes, puisque l'on est alors obligé d'atteindre des surfaces de bassin très grandes, ce qui est à la fois très cher et très encombrant.

La configuration de l'entrée et de la sortie d'eau du décanteur doit également favoriser les conditions d'écoulements laminaires afin de ne pas perturber la descente des particules.

● Décanteurs lamellaires

Les décanteurs lamellaires permettent de diminuer de façon notable le volume du bassin. Des plaques en plastique installées transversalement drainent le flux et ralentissent l'écoulement. Elles permettent également de créer un écoulement laminaire dans lequel les particules sédimentent plus rapidement. Un décanteur lamellaire peut être considéré comme un empilement de décanteurs à flux horizontal dont la surface hydraulique est égale à la surface d'une plaque, et dont la hauteur d'eau correspond à la distance entre deux plaques (voir figure 3 p. 165).

Figure 1

DÉCANTEUR STATIQUE À FLUX VERTICAL

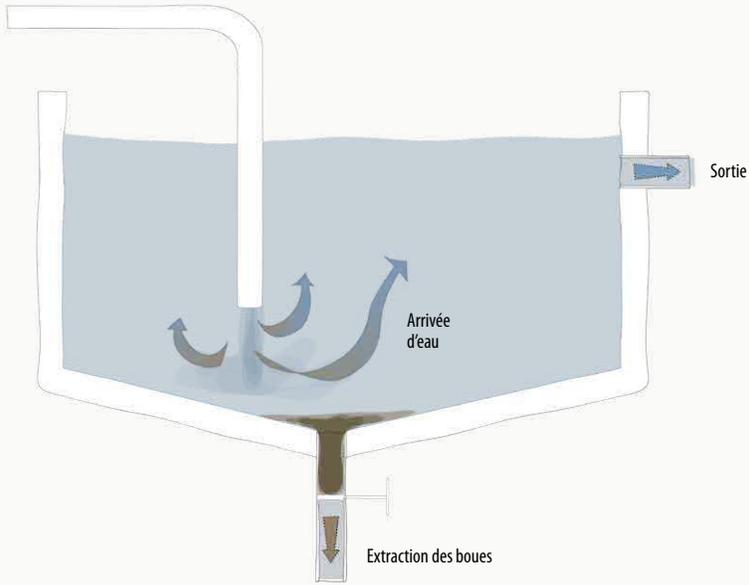


Figure 2

DÉCANTEUR STATIQUE À FLUX HORIZONTAL

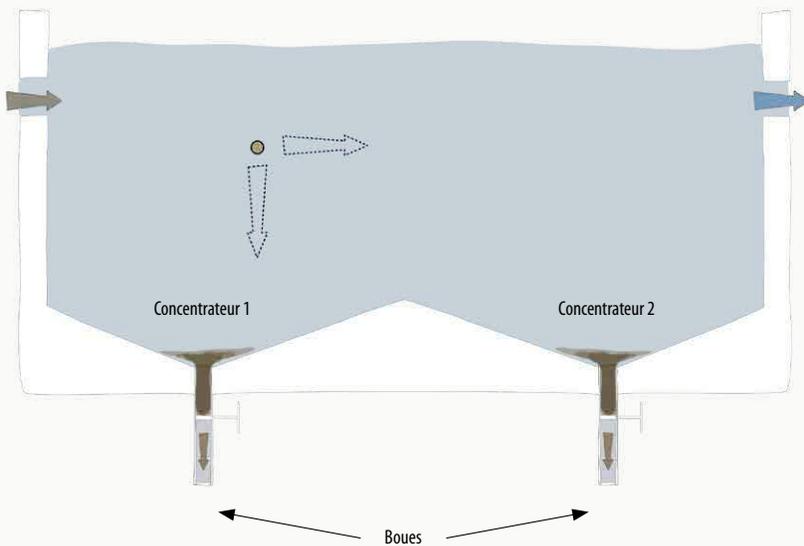
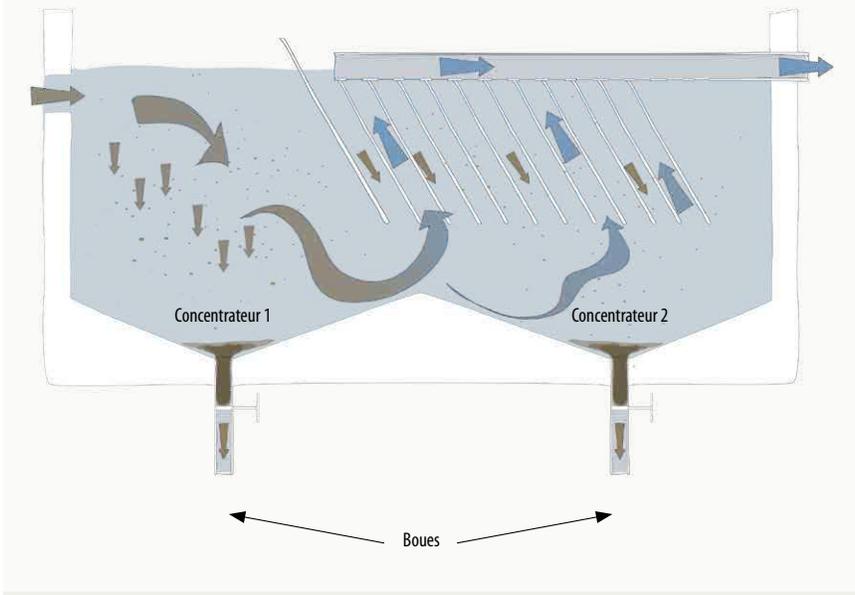


Figure 3

DÉCANTEUR LAMELLAIRE



L'inclinaison des plaques permet d'augmenter la surface efficace pour la décantation d'une particule. Un angle de 60° permet d'optimiser le flux et le glissement des boues vers le fond du bassin.

Ainsi, pour favoriser la concentration des boues, le plancher du bassin doit avoir une pente minimale de 60° .

CONCENTRATION ET EXTRACTION DES BOUES

Quel que soit le type de décanteur, les floccs s'accumulent dans le fond en y formant un lit de boues qu'il est nécessaire d'extraire régulièrement (fréquence d'extraction de quelques heures à quelques jours, en fonction de la concentration en matières en suspension).



Ne pas confondre **vidange** du bassin et **système d'extraction** des boues. La vidange du bassin est effectuée lors du nettoyage de la station et a pour but d'éliminer l'eau et les boues contenues dans le bassin de décantation. L'extraction des boues, ou vidange des boues, permet d'éliminer périodiquement une partie des boues par vidange (un quart du volume du décanteur peut être vidangé chaque semaine).

L'extraction des boues entraîne une perte d'eau brute. Pour la minimiser, il faut que la concentration des boues soit la plus importante possible. C'est pourquoi, des concentrateurs en forme d'entonnoir sont généralement installés dans le fond des décanteurs, avec une pente de 50 à 60°. Les boues sont ensuite extraites en ouvrant les vannes de chaque concentrateur.



Il faut apporter un soin tout particulier aux conditions d'entrée de l'eau dans le décanteur afin d'éviter de briser les flocs et de ne pas perturber la sédimentation des particules. Il est également nécessaire de prévoir des concentrateurs de boues de façon à limiter les pertes en eau (voir fiche 7 p. 169).



FICHE 6

FILTRATION SUR SABLE

La filtration sur sable est le dernier procédé de clarification. Les étapes de coagulation/floculation et de décantation ont permis d'éliminer la plupart des matières en suspension, mais il en subsiste une fraction qu'il faut éliminer avant de pouvoir procéder à la désinfection de l'eau et à sa distribution. La filtration sur sable permet de réduire la turbidité liée à cette fraction de matières en suspension.

PRINCIPE

Deux systèmes sont utilisés dans la vallée du fleuve Sénégal : la filtration rapide sous pression et la filtration rapide à l'air libre. Le traitement de l'eau est essentiellement physique et repose sur la rétention des particules en suspension dans l'épaisseur de sable. L'efficacité du filtre repose donc sur le choix d'une granulométrie et d'une vitesse de passage adaptées. Le colmatage peut être très rapide si la turbidité est très importante, ou la vitesse trop grande.

Le colmatage dépend de la source d'eau utilisée et de la présence ou non d'une préfiltration avant l'étape du filtre à sable. Par exemple, un filtre à sable utilisé après floculation pour retenir les floccs s'encrasse plus vite. Il ne faut pas dépasser une vitesse de 2 à 3 m³/h. Le filtre se colmate toujours peu à peu. Certains indicateurs permettent de surveiller ce colmatage : pression importante, débit moindre, ou encore augmentation du niveau de l'eau au-dessus de la surface du sable (perte de charge lors du passage du filtre). Il est préférable de ne pas attendre l'apparition de ces signes pour effectuer un rétrolavage.

DESCRIPTION

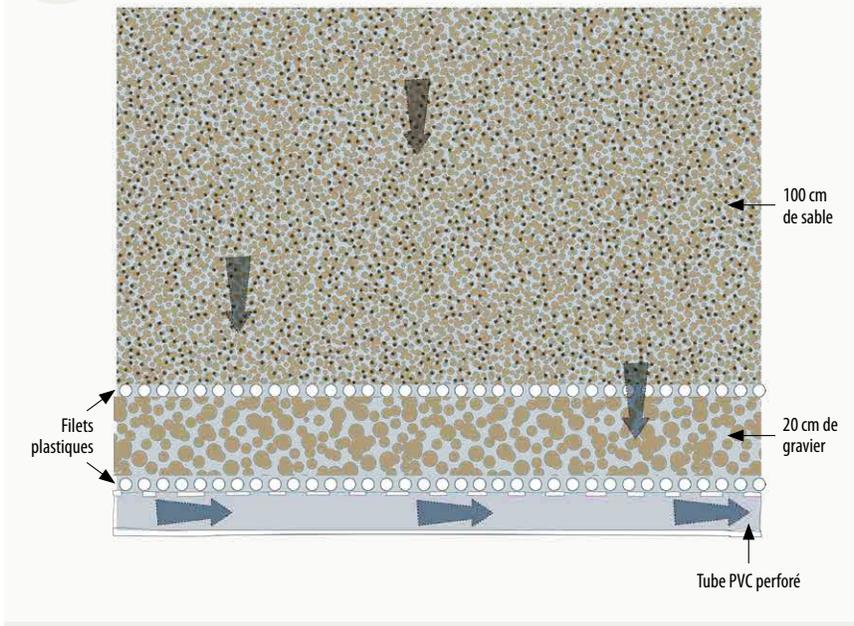
Ce système de filtration est constitué de trois parties importantes : le **milieu filtrant**, le **gravier de support** et le **fond du filtre**. Le tout est contenu dans un réservoir, dont la taille est adaptée aux volumes à traiter (voir figure 1 page suivante).

RÉTRO LAVAGE

L'intérêt de ce type de filtre est d'être facilement nettoyable par injection d'eau propre en sens inverse, *via* le système de collecte de l'eau filtrée : c'est ce que l'on appelle le rétrolavage. Les eaux remontent alors au travers du filtre, chassant les impuretés vers un canal collectant les eaux usées. Le rétrolavage provoque parfois

Figure 1

PRINCIPE D'UN FILTRE À SABLE



une réorganisation du substrat, les matériaux les plus gros se rassemblant vers la surface et les plus fins vers le fond du filtre.

Il est impératif que le système de drain (tube PVC + couche de gravier) soit efficace, dans la mesure où il détermine la bonne circulation, dans la totalité de la masse filtrante, de l'eau utilisée lors du rétrolavage.

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les opérations de mise en route, d'arrêt et de rétrolavage de la filtration sur sable nécessitent du temps et requièrent un savoir-faire. C'est une technique qui a presque toujours besoin d'être associée à d'autres systèmes de traitement (floculation ou sédimentation). De plus, la filtration étant essentiellement mécanique, une étape de désinfection par ajout de dérivés chlorés reste indispensable pour éliminer les germes pathogènes.

Les systèmes de filtre à sable permettent de traiter de grands volumes d'eau et des eaux assez turbides. Les matériaux de construction sont courants et peu onéreux, et les données relatives à la conception et à la construction sont disponibles dans bien des pays, de même que des opérateurs qualifiés.

Le procédé de filtration sur sable est un système simple, facile d'entretien et très largement utilisé, mais qui requiert malgré tout la maîtrise de certaines opérations de fonctionnement.



FICHE 7

COLLECTE ET ÉLIMINATION DES BOUES DE TRAITEMENT

Toute station de potabilisation produit des boues qui s'accumulent et qu'il faut éliminer régulièrement. Rares sont les ouvrages qui abordent le sujet. Pourtant, même pour les petits systèmes, les volumes produits peuvent être importants.

LES BOUES

Les boues sont constituées des matières en suspension décantées, d'eau et de produits de traitement résiduels. L'étape la plus productrice de boues est celle de la **décantation**, qui produit des boues prenant principalement la forme de floccs sédimentés plus ou moins concentrés.

Les boues de traitement peuvent contenir des substances toxiques, et sont notamment très chargées en sels métalliques (aluminium ou fer) à cause des coagulants utilisés pour la floculation.

LA COLLECTE

Dès la floculation, des particules sédimentent et se déposent au fond du bassin. Les bassins de floculation doivent donc être pourvus de systèmes de vidange permettant de les nettoyer. Les volumes prévus pour accueillir les boues doivent de plus être suffisamment importants pour faire face à des eaux très turbides, sans que cela nécessite de nettoyer les bassins trop souvent.

Vidanger régulièrement les bassins de traitement permet d'éviter l'apparition de certaines réactions chimiques dans les boues stagnantes.

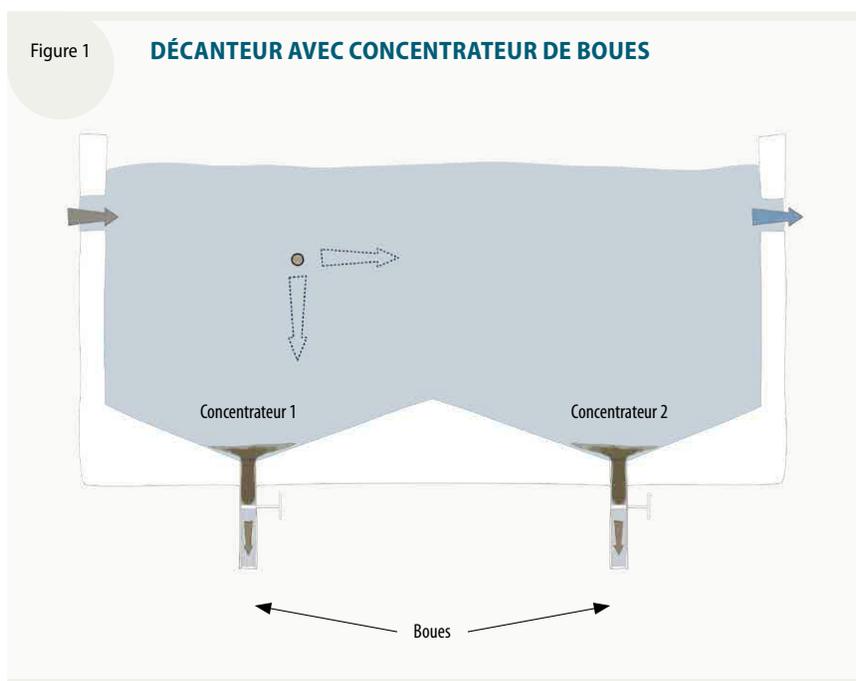


S'il n'est pas prévu de système de collecte et de concentration des boues, il sera alors nécessaire de les retirer et de les éliminer manuellement. Cette méthode présente plus de risques d'accumulation des boues en raison de sa difficulté et du temps qu'elle requiert.

Les boues sont collectées grâce à des pans inclinés permettant de les drainer vers les tuyaux de sortie. Si, dans certains cas (floculation), ce système est suffisant, dès lors que l'on entre dans la phase de décantation, il est indispensable de concentrer les boues avant de les éliminer afin de limiter les pertes en eau. Un dispositif de concentration en « V » ou en tête de diamant est la seule façon de les éliminer efficacement.

CONCENTRATION DES BOUES

Dans le bassin de décantation, les volumes de boues sont souvent importants. Lors de leur élimination, un volume d'eau non négligeable est perdu, notamment lorsque le nettoyage est fait régulièrement. De ce fait, il est conseillé de mettre en place un système de concentration des boues afin de diminuer leur teneur en eau. Des collecteurs en forme d'entonnoir, avec des pentes de 50 à 60°, permettent de diviser celle-ci par 10 ou 20. Les volumes gagnés peuvent être importants.



QUE FAIRE DES BOUES ?

Les boues peuvent être acheminées vers un bassin de collecte équipé d'un dispositif de drainage. Lorsque le bassin est plein, il faut extraire les boues et les amener par camion vers des zones de remblais. Principalement composées de matière minérales, elles font de mauvais fertilisants mais peuvent être utilisées d'autres façons : ainsi, au Vietnam, où les boues contiennent beaucoup de latérite, elles sont utilisées comme peinture rouge.



Il ne faut pas contaminer la ressource en eau juste avant de la traiter.

Il est aussi tout à fait possible de déverser les boues dans une rivière ou un cours d'eau passant à proximité (voir le paragraphe suivant). En revanche, il est déconseillé de les réinjecter dans la mare servant de source d'eau brute ou en amont de la prise d'eau.

PROBLÈMES DE POLLUTION

Si le fer et l'aluminium sont faiblement toxiques et n'ont pas de graves répercussions sur la santé humaine, ils sont en revanche mauvais pour les sols argileux (ils détruisent leur capacité d'échange des cations) et peuvent les déstructurer.



Station de Breun (Mauritanie)
© En Haut

LES GRANDES FAMILLES DE STATION

- 
- 175 • **Famille 1** – Delta Irrigation, mini-station de Ross-Béthio, Sénégal
 - 178 • **Famille 2** – AECID, station de Tékane, Mauritanie
 - 181 • **Famille 3** – Alizés, station de Guidakhar, Sénégal
 - 184 • **Famille 4** – Alizés bis, station de Thiago, Sénégal
 - 187 • **Famille 5** – Aicha Mauritanie, stations de Breun et de Ziré, Mauritanie
 - 194 • **Famille 6** – Pepam IDA, station de Thillé Boubacar, Sénégal
 - 198 • **Famille 7** – Aicha Sénégal, station de Bokhol, Sénégal
 - 202 • **Famille 8** – PaceaS, station de Diawara, Sénégal



FAMILLE 1

DELTA IRRIGATION

MINI-STATION DE ROSS-BÉTHIO, SÉNÉGAL

Production moyenne : 5 m³/j

COAGULATION/FLOCCULATION

- **Modèle** : pas de bassin de mélange ni de flocculateur.
- **Description** : injection hydraulique de coagulant dans la conduite d'eau brute. Le mélange est assuré par le biais de la turbulence dans la conduite.
- **Appréciation** : mélange efficace.

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse hydraulique (Venturi).
- **Description** : pompe fonctionnant sans électricité *via* un système d'aspiration causée par un rétrécissement de la conduite, qui génère une chute de pression. Le débit d'aspiration varie en fonction de la quantité d'eau qui traverse le système.
- **Appréciation** : injection efficace.

DÉCANTATION

- **Modèle** : décanteur statique à flux vertical (fonctionnement par *batch*).
- **Description** : les décanteurs statiques *batch* fonctionnent en trois séquences. La première correspond au remplissage du décanteur et à l'injection de sulfate d'alumine. La deuxième correspond à un temps d'attente, la décantation à proprement parler, et la troisième à la reprise de l'eau décantée vers l'étape de filtration.
- **Caractéristiques** :
 - citerne en plastique ;
 - volume total : 2 m³.
- **Appréciation** : décantation moyennement efficace.
 - La durée de décantation est de 3 h 30 pour une eau brute d'environ 100 NTU.
 - Jusqu'à 300 NTU en eau brute, l'eau en sortie du décanteur est de bonne qualité.

Figure 1

ÉVOLUTION DE LA TURBIDITÉ DANS LE DÉCANTEUR (pour une eau brute de 102 NTU)

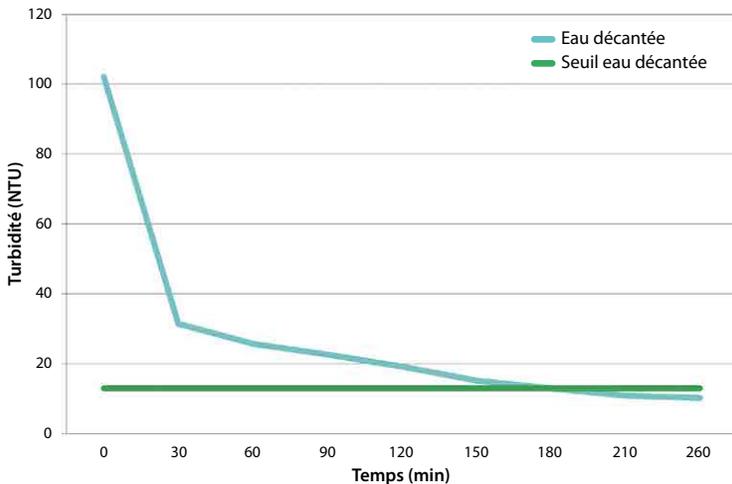
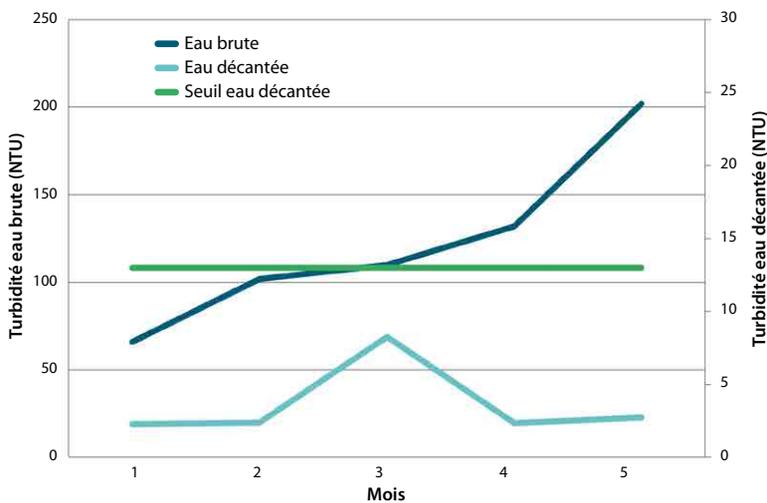


Figure 2

TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU DÉCANTÉE (pendant l'hivernage)



FILTRATION

- **Modèle** : filtre à sable sous pression.
- **Description** : La pompe de reprise aspire l'eau décantée dans le décantateur et l'envoie dans le bassin de stockage à travers le filtre à sable sous pression.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de filtres : 1 ;
 - diamètre du filtre : 60 cm ;
 - hauteur de sable : 45 cm ;
 - granulométrie : de 0,5 à 0,8 mm.
- **Appréciation** : filtration efficace.
 - La turbidité de l'eau filtrée est inférieure à 3 NTU.
 - La vitesse de filtration (8,84 m/h) respecte les valeurs recommandées (comprises entre 5 et 10 m/h).



Station de Ross-Béthio (Sénégal)

COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	0	250 000	400 000	2 250 000	300 000	0	3 200 000
FCFA/m ³	0	50 000	80 000	450 000	60 000	0	640 000

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	12 500	44 963	1 108	7 354	21 565	87 490
FCFA/m ³	83	300	7	49	144	583

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



FAMILLE 2

AECID

STATION DE TÉKANE, MAURITANIE

Production moyenne : 60 m³/j

COAGULATION/FLOCULATION

- **Modèle** : pas de bassin de mélange ni de flocculateur.
- **Description** : le mélange entre les intrants et l'eau brute s'effectue directement dans le bassin de décantation.
- **Appréciation** : mélange peu efficace (mélange non homogène).

INJECTION

- **Modèle** : bac d'ajout.
- **Description** : le sulfate d'alumine est injecté dans le décanteur à partir d'un bac disposé en bordure du bassin. La quantité à injecter est calculée en fonction du dosage et du volume des décanteurs.
- **Appréciation** : injection peu efficace (dosage approximatif).



Injection de sulfate d'alumine, station de Tékane (Mauritanie)

DÉCANTATION

- **Modèle** : décanteur statique à flux vertical (fonctionnement par *batch*).
- **Description** : les décanteurs statiques *batch* fonctionnent en trois séquences. La première correspond au remplissage du décanteur et à l'injection de sulfate d'alumine. La deuxième correspond à un temps d'attente, la décantation à proprement parler (4 à 8 heures), et la troisième à la reprise de l'eau décantée vers l'étape de filtration.

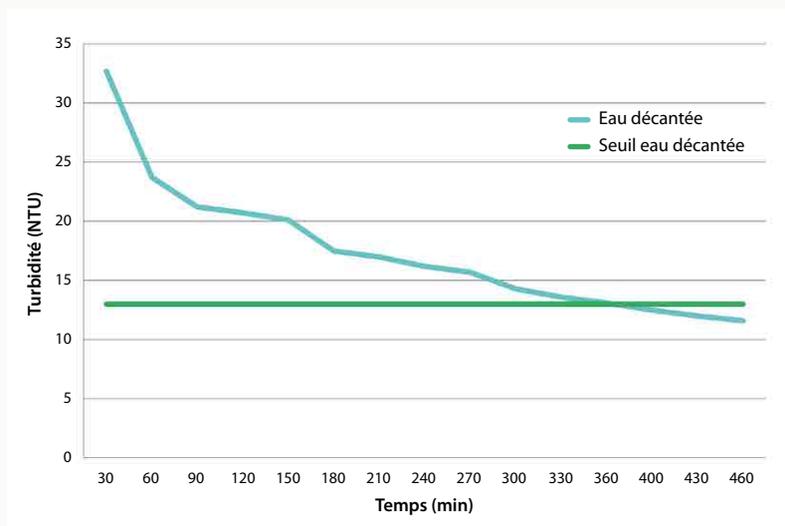


Décanteurs de Tékane (Mauritanie)

Figure 1

ÉVOLUTION DE LA TURBIDITÉ DANS LE DÉCANTEUR

(pour une eau brute de 183 NTU)



- **Caractéristiques :**

- nombre d'unités : 2 décanteurs en béton armé de forme cylindrique ;
- volume total : 40 m³.

- **Appréciation :** décantation moyennement efficace. Pour une eau brute de 183 NTU, le temps de décantation est de 6 heures.

FILTRATION

- **Modèle :** filtre à sable sous pression.

- **Description :** ces deux filtres sont associés à une bêche de reprise en amont.

- **Caractéristiques :**

- nombre de filtres : 1 ;
- diamètre du filtre : 30 cm ;
- hauteur de sable : 110 cm ;
- granulométrie : non connue, car le filtre n'est pas accessible (filtre encastré).

- **Appréciation :** filtration peu efficace.

La turbidité de l'eau filtrée est supérieure à 5 NTU.

- La surface de filtration est trop faible pour un débit de 10 m³/h, ce qui engendre une vitesse de filtration (141 m/h) supérieure aux valeurs recommandées (comprises entre 5 et 10 m/h).
- Le filtre s'encrasse rapidement malgré les rétrolavages.

COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	0	550 000	5 000 000	5 000 000	500 000	5 500 000	16 550 000
FCFA/m³	-	13 750	125 000	125 000	12 500	137 500	413 750

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	75 000	92 000	42 300	18 352	23 736	251 388
FCFA/m³	63	77	35	15	20	209

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



FAMILLE 3 ALIZÉS

STATION DE GUIDAKHAR, SÉNÉGAL

Production moyenne : 20 m³/j

COAGULATION

- **Modèle** : cuve de transit.
- **Description** : le mélange de l'eau brute avec le coagulant (sulfate d'alumine) s'effectue dans la conduite d'eau brute (injection sur conduite), puis dans la cuve.
- **Appréciation** : coagulation efficace.

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse hydraulique (Dosatron).
- **Description** : reliée à la conduite d'eau brute, la pompe utilise la pression de l'eau comme source d'énergie. La quantité de réactif injectée est proportionnelle au débit du flux d'eau entrant.
- **Appréciation** : injection efficace.

FLOCCULATION

- **Remarque** : la floculation est assurée par la cuve de transit et le décanteur.

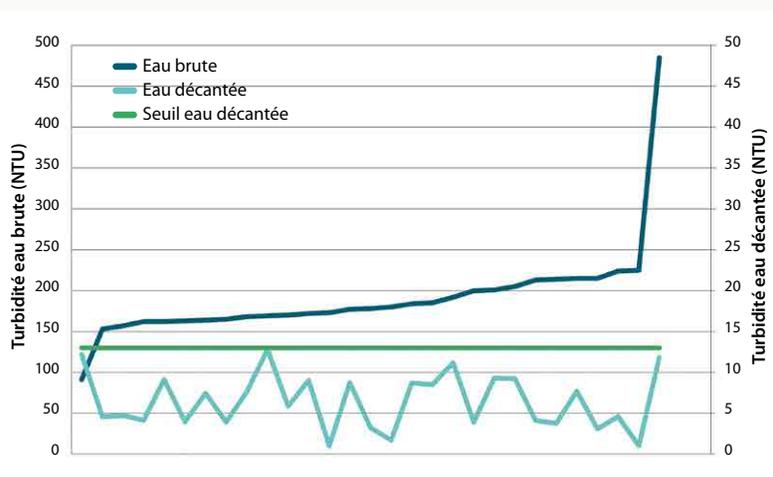
DÉCANTATION

- **Modèle** : décanteur statique à flux ascendant et descendant.
- **Description** : le décanteur est divisé en deux compartiments reliés par un orifice situé en bas du mur de séparation. Le surnageant du décanteur est recueilli par le trop-plein vers le bassin d'eau clarifiée.
- **Caractéristiques** :
 - nombre d'unités : 2 décanteurs ;
 - volume total : 20 m³.
- **Appréciation** : décantation efficace.

- L'eau décantée est inférieure à 13 NTU.
- La vitesse de décantation respecte les valeurs recommandées.
- Le temps de séjour est supérieur aux valeurs recommandées (320 minutes contre 240).

Figure 1

TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU DÉCANTÉE (pendant l'hivernage)



FILTRATION

- **Modèle** : filtre à sable sous pression.
- **Description** : les filtres sont associés à une bache de reprise en amont.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de filtres : 2 ;
 - diamètre du filtre : 50 cm ;
 - hauteur de sable : 45 cm ;
 - granulométrie : de 0,5 à 0,8 mm.
- **Appréciation** : filtration efficace.
 - La turbidité de l'eau filtrée inférieure à 5 NTU.
 - La vitesse de filtration (10,19 m/h) est légèrement supérieure aux valeurs limites recommandées (comprises entre 5 et 10 m/h).
 - Le massif filtrant a plus de cinq ans et doit être remplacé.

COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	0	1 750 000	3 750 000	3 000 000	2 100 000	5 250 000	15 850 000
FCFA/m ³	-	87 500	187 500	150 000	105 000	262 500	792 500

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	75 000	0	9 192	30 387	60 417	174 997
FCFA/m ³	125	-	15	51	101	292

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



Station de Guidakhar (Sénégal)



FAMILLE 4

ALIZÉS BIS

STATION DE THIAGO, SÉNÉGAL

Production moyenne : 80 m³/j

COAGULATION

- **Modèle** : bassin de mélange (saturateur à chaux reconverti).
- **Description** : le mélange du coagulant dans l'eau s'effectue dans le bassin par dissipation de l'énergie provoquée par la chute d'eau et la turbulence dans le bassin.
- **Caractéristiques** :
 - volume total : 1,15 m³;
 - hauteur de la chute d'eau : 0,8 m.
- **Appréciation** : coagulation moyennement efficace.
 - Le gradient de vitesse est faible.
 - Le temps de séjour est élevé.

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse électrique.
- **Description** : le coagulant est introduit dans le bassin de mélange par injection à partir de la pompe doseuse.
- **Appréciation** : injection efficace.

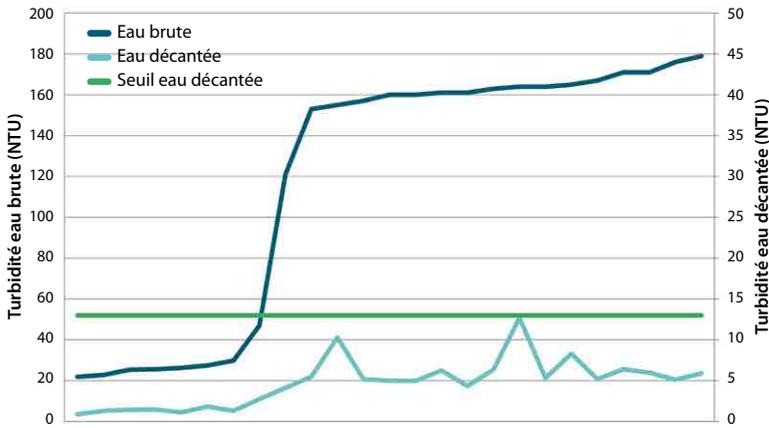
FLOCCULATION/DÉCANTATION

- **Modèle** : flocculateur/décanteur statique à flux ascendant.
- **Description** : le flux d'eau est ascendant dans les bassins. Les floccs se forment durant la première partie de l'ascension avant de décanter lorsqu'ils ont atteint une taille et une masse critiques. L'eau décantée est reprise en surface grâce à des tuyaux en PVC perforés appelés collecteurs. Un lit de boues repose au fond du décanteur et améliore la décantation.
- **Caractéristiques** :
 - nombre d'unités : 2 décanteurs ;
 - longueur/largeur/hauteur : 5 m × 3 m × 3,23 m ;
 - volume total : 43 m³.

- **Appréciation** : décantation moyennement efficace.
 - Le temps de séjour est élevé (793 minutes) et la vitesse de décantation est faible (0,22 m/h). La combinaison des deux paramètres donne des résultats moyennement efficaces.
 - La vitesse de l'eau au niveau des diffuseurs du décanteur est supérieure aux valeurs recommandées (0,45 m/h contre 0,1 m/h). Cela a pour effet de briser les floccs et de créer des turbulences au niveau du lit de boues.

Figure 1

TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU DÉCANTÉE (pendant l'hivernage)



Station de Thiago (Sénégal)

FILTRATION

- **Modèle** : filtre à sable sous pression.
- **Description** : les filtres sont associés à une bêche de reprise en amont.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de filtres : 2 ;
 - diamètre du filtre : 90 cm ;
 - hauteur de sable : 45 cm ;
 - granulométrie : de 0,5 à 1,2 mm.
- **Appréciation** : filtration efficace.
 - La turbidité de l'eau filtrée est inférieure à 2 NTU.
 - La vitesse de filtration (5,11 m/h) respecte les valeurs recommandées (comprises entre 5 et 10 m/h).

COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	250 000	3 700 000	8 200 000	5 400 000	500 000	2 700 000	20 750 000
FCFA/m ³	3 125	46 250	102 500	67 500	6 250	33 750	259 375

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	185 000	159 060	133 862	43 790	68 072	589 784
FCFA/m ³	77	66	56	18	28	246

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



FAMILLE 5

AICHA MAURITANIE

STATIONS DE BREUN ET DE ZIRÉ, MAURITANIE

Production moyenne Breun : 180 m³/j

Production moyenne Ziré : 120 m³/j

COAGULATION

- **Modèle** : bassin de mélange à compartiments.
- **Description** : bassin de mélange de 4 compartiments avec plaques en Plexiglas trouées.
- **Appréciation** : coagulation efficace.
 - **Breun** : faible gradient de vitesse : la chute d'eau de 1,1 m initialement prévue n'est pas réalisée. L'injection de réactifs se fait dans la conduite d'eau brute en amont, ce qui favorise un mélange rapide. Le temps de séjour dans le bassin respecte les valeurs recommandées. Même avec un gradient de vitesse plus faible que prévu, le mélange est bon. Un gradient de vitesse de 41 semble être correct. Le temps de séjour (110 minutes) est élevé, mais reste dans la moyenne.
 - **Ziré** : le principe est le même qu'à Breun, mais l'injection se fait *via* un Dosatron. Le gradient de vitesse est faible pour tous les débits étudiés du fait de la faible chute d'eau. Malgré cela, le mélange est efficace. Le Dosatron permet un bon mélange dans la conduite d'amenée de l'eau brute.

Tableau 1

GRADIENTS DE VITESSE ET TEMPS DE SÉJOUR EN FONCTION DU DÉBIT

Bassin de mélange (Breun) et Dosatron (Ziré)

PARAMÈTRES	UNITÉ	CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT	RÉSULTATS 10 M ³ /H	RÉSULTATS 9 M ³ /H	RÉSULTATS 8 M ³ /H
BASSIN DE MÉLANGE					
Gradient de vitesse (G)	s ⁻¹	250 < G < 500	52	50	47
Temps de séjour (Ts)	s	60 < Ts < 120	57	64	71
DOSATRON					
Gradient de vitesse (G)	s ⁻¹	250 < G < 500	373	388	403
Temps de séjour (Ts)	s	60 < Ts < 120	10,6	11,8	13,3

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse électrique pour Breun et mécanique pour Ziré (Dosatron).
- **Description** : le coagulant est introduit dans le bassin de mélange *via* la pompe doseuse.
- **Appréciation** : injection efficace.

FLOCCULATION

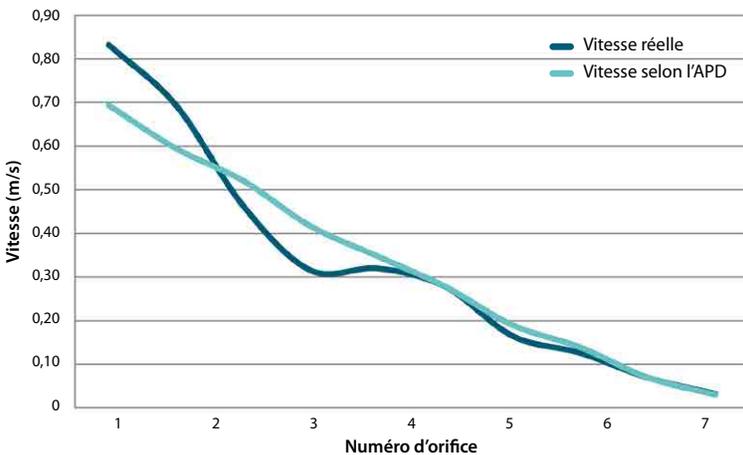
- **Modèle** : flocculateur à bacs.
- **Description** : le passage du flux d'eau s'effectue dans les neuf bacs de flocculation à travers des orifices situés successivement en haut et en bas des bacs. Leur dimension augmente progressivement pour diminuer la vitesse de l'eau au fur et à mesure de la formation des floccs.
- **Appréciation** :

Breun : flocculation efficace.

- Bonne formation des floccs pendant le passage de l'eau dans les différents compartiments du flocculateur.
- Le gradient de vitesse est faible ($8,5 \text{ s}^{-1}$ alors qu'il devait être au minimum de 25 s^{-1}).
- La vitesse de l'eau diminue au fur et à mesure de son avancée à travers le flocculateur.

Figure 1

VITESSES RÉELLE ET SELON L'APD* DE L'EAU DANS LE FLOCCULATEUR DE BREUN (pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{h}$)



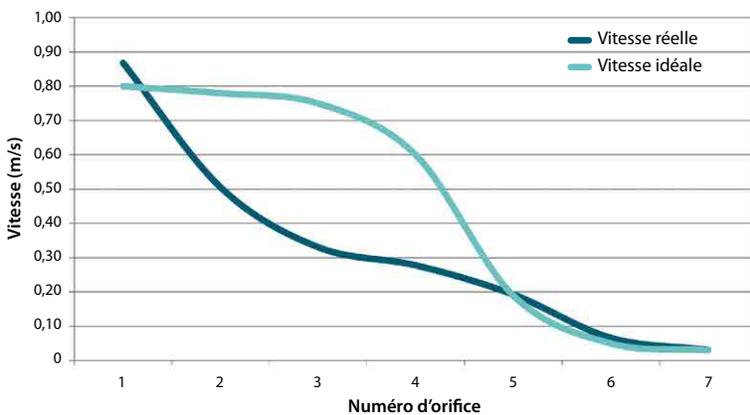
* Avant-projet détaillé.

Ziré : floculation moyennement efficace.

- Pour un débit de $10 \text{ m}^3/\text{h}$, le dimensionnement du floculateur n'est pas optimal. Le débit a donc été diminué à $8 \text{ m}^3/\text{h}$. Dans ce cas, la décantation est bonne et il n'y a plus de floccs en surface. La turbidité en sortie du décanteur est inférieure à 10 NTU.
- La vitesse de l'eau à travers le floculateur décroît au fur et à mesure de son passage dans les compartiments. La floculation devrait théoriquement être bonne : or, pour un fonctionnement à $10 \text{ m}^3/\text{h}$, on observe des floccs en surface du décanteur, ce qui prouve que ceux-ci manquent de densité.
- Le temps de séjour est légèrement inférieur aux valeurs recommandées (15 minutes).

Figure 2

VITESSES IDÉALE ET RÉELLE DE L'EAU DANS LE FLOCULATEUR DE ZIRÉ



Station de Breun (Mauritanie)



Station de Ziré (Mauritanie)

DÉCANTATION

- **Modèle** : décanteur lamellaire à flux ascendant.
- **Description** : des plaques installées transversalement drainent le flux et ralentissent l'écoulement. Elles créent un écoulement laminaire dans lequel les particules sédimentent plus lentement. Les lamelles multiplient la surface de décantation jusqu'à quatre fois plus qu'un décanteur statique.

- **Appréciation** :

Breun : décantation efficace.

- L'eau décantée est inférieure à 10 NTU, quelle que soit sa turbidité.
- La vitesse de décantation est inférieure aux valeurs recommandées (0,27 m/h contre 0,5).
- Le temps de séjour respecte tout juste les valeurs recommandées.

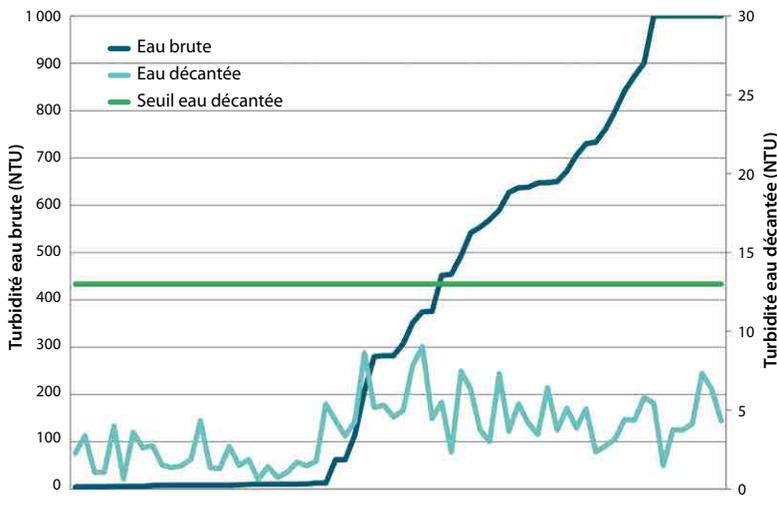
Tableau 2

VITESSE DE DÉCANTATION ET TEMPS DE SÉJOUR POUR LE DÉCANTEUR DE BREUN

PARAMÈTRES	UNITÉ	CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT	RÉSULTATS
Vitesse de décantation (Vv)	m/h	$0,5 < Vv < 1$	0,27
Temps de séjour (Ts)	h	$2 < Ts < 4$	1,99

Figure 3

TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU DÉCANTÉE, BREUN (pendant l'hivernage)



Ziré : décantation efficace pour un débit de 8 m³/h, peu efficace pour un débit de 10m³/h (cf. graphique).

- À 10 m³/h, la décantation pour une eau brute de 180 NTU est mauvaise : l'eau en sortie du décanteur est supérieure à 30 NTU. En comparant la variation des différents paramètres entre le fonctionnement à 10 m³/h et à 8 m³, il est possible de préciser les critères de dimensionnement du flocculateur et du décanteur afin d'affiner les critères déjà existants.
- La vitesse de décantation est plus faible pour les trois débits.
- Le temps de séjour est plus faible.



Décanteur lamellaire, station de Ziré (Mauritanie)

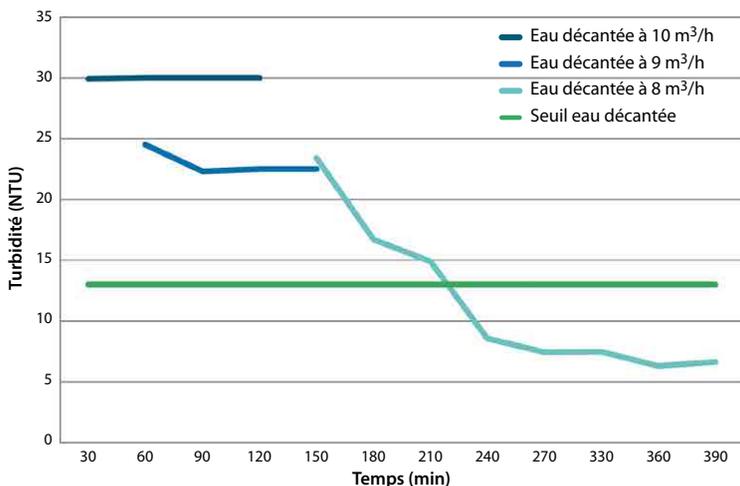
Tableau 3

VITESSE DE DÉCANTATION ET TEMPS DE SÉJOUR POUR LE DÉCANTEUR DE ZIRÉ À DIFFÉRENTS DÉBITS

PARAMÈTRES	UNITÉ	CRITÈRES DE DIMENSIONNEMENT	10 M ³ /H	9 M ³ /H	8 M ³ /H
Vitesse de décantation (Vv)	m/h	$0,5 < Vv < 1$	0,22	0,20	0,17
Temps de séjour (Ts)	h	$2 < Ts < 4$	1,4	1,5	1,72

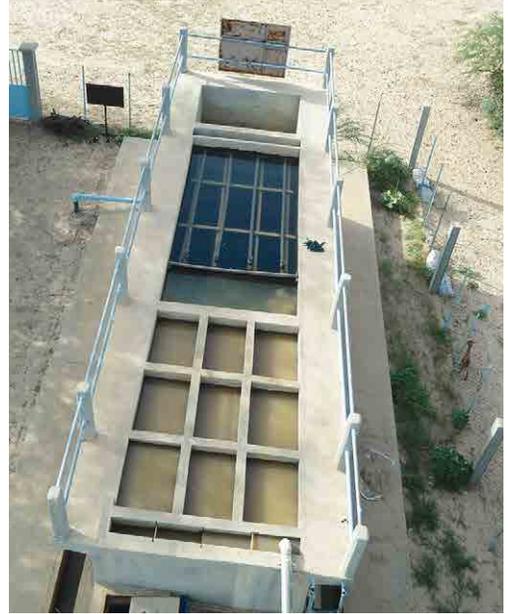
Figure 4

TURBIDITÉ DE L'EAU DÉCANTÉE, ZIRÉ (pour une eau brute de 83 NTU)



FILTRATION

- **Modèle** : filtre à sable à l'air libre.
- **Description** : l'eau traverse un massif filtrant sous pression atmosphérique. Elle est recueillie plus bas grâce à une crépine qui l'envoie à la bache d'eau claire.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de filtres : 1 ;
 - hauteur de sable : 80 cm ;
 - granulométrie : de 0,9 à 1,2 mm.
- **Appréciation** : filtration efficace.
 - La turbidité de l'eau décantée est inférieure à 5 NTU.
 - La vitesse de filtration est un peu faible.



Station de Breun (Mauritanie)

COÛTS D'INVESTISSEMENT

Breun

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	2 500 000	2 500 000	7 100 000	4 600 000	11 500 000	6 600 000	34 800 000
FCFA/m ³	13 889	13 889	39 444	25 556	63 889	36 667	193 333

* Inclut le local technique et la clôture.

Ziré

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	2 500 000	2 000 000	7 600 000	9 250 000	6 500 000	3 250 000	31 100 000
FCFA/m ³	20 833	16 667	63 333	77 083	54 167	27 083	259 167

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

Breun

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	150 000	600 000	172 800	95 708	177 224	1 195 732
FCFA/m ³	28	111	32	18	33	221

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.

Ziré

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	150 000	1 035 000	225 822	198 092	225 062	1 899 038
FCFA/m ³	42	288	63	55	63	509

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



FAMILLE 6

PEPAM IDA

STATION DE THILLÉ BOUBACAR, SÉNÉGAL

Production moyenne : 180 m³/j

COAGULATION

- **Modèle** : bassin de mélange en béton avec flocculateur.
- **Description** : le mélange de l'eau brute avec le coagulant (sulfate d'alumine) s'effectue dans la conduite d'eau brute (injection sur conduite), puis dans le bassin de mélange.
- **Caractéristiques** :
 - volume total : 0,4 m³ ;
 - hauteur de chute d'eau : 40 cm.
- **Appréciation** : coagulation efficace.
 - L'eau et le sulfate se mélangent rapidement.

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse électrique.
- **Description** : le coagulant est introduit dans la conduite d'amenée d'eau brute via la pompe doseuse qui l'achemine jusqu'au bassin de mélange.
- **Appréciation** : injection efficace.

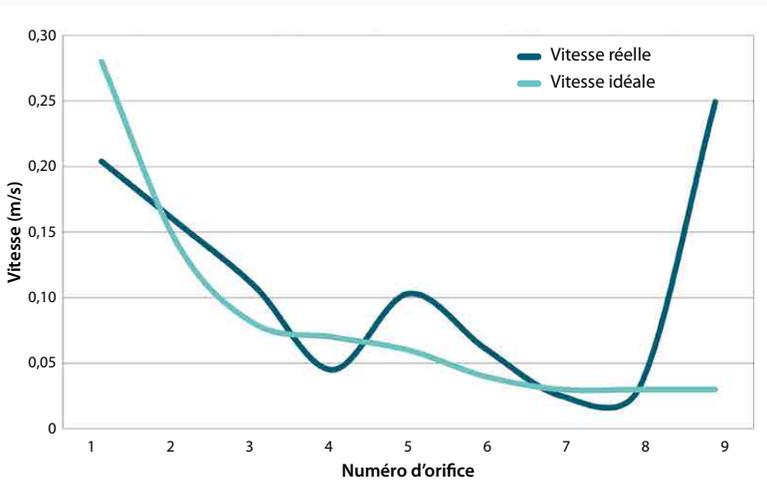
FLOCCULATION

- **Modèle** : flocculateur à bacs.
- **Description** : le passage du flux d'eau s'effectue dans les neuf bacs de flocculation à travers des orifices situés successivement en haut et en bas des bacs. Leur dimension s'accroît progressivement pour diminuer la vitesse de l'eau au fur et à mesure de la formation des floccs.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de bacs : 9 ;
 - dimension des bacs : variable ;
 - volume total : 11 m³.

- **Appréciation** : floculation peu efficace.
 - La vitesse d'entrée du coagulateur est faible : non-respect des dimensions de l'orifice.
 - Le gradient de vitesse est faible, mais cela ne semble pas entraîner de problème à l'étape de floculation.
 - Le temps de séjour est supérieur aux valeurs recommandées (45 minutes contre 20), ce qui engendre une cassure des floccs formés.
 - La vitesse de l'eau dans les bassins de floculation ne respecte pas les valeurs recommandées : on observe une forte accélération due au fait que les tuyaux du dernier compartiment du flocculateur ne sont pas positionnés suffisamment bas.
- **Remarque** : en raison des différents éléments susceptibles d'entraîner la cassure des floccs (tuyaux mal positionnés dans le bac de mise en charge, temps de séjour élevé, accélération des vitesses dans le flocculateur, etc.), la floculation n'est efficace que lorsque la turbidité de l'eau brute est faible (inférieure à 20 NTU).

Figure 1

VITESSES RÉELLE ET SELON L'APD* DE L'EAU DANS LE FLOCCATEUR (pour un débit de 15 m³/h)



* Avant-projet détaillé.

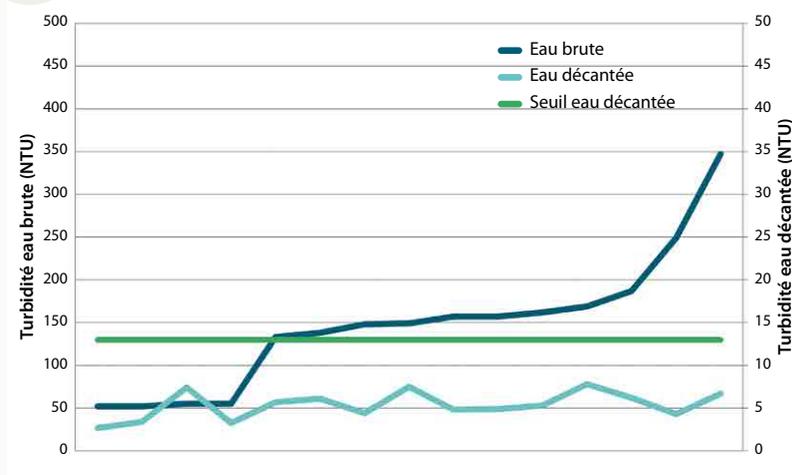
DÉCANTATION

- **Modèle** : décanteur statique à flux ascendant.
- **Description** : l'eau arrive au décanteur par un diffuseur situé au fond de celui-ci. Le flux d'eau remonte et les floccs redescendent avant l'arrivée de l'eau en surface. L'eau décantée est ensuite reprise par les collecteurs en haut de bassin, relié au bassin d'eau clarifiée.

- **Caractéristiques :**
 - nombre d'unités : 2 décanteurs ;
 - longueur/largeur/hauteur : 8,12 m × 2,95 m × 2,80 m ;
 - volume total : 50 m³.
- **Appréciation :** décantation moyennement efficace du fait de l'importance du temps de séjour et de la faible vitesse de décantation.
 - La vitesse de décantation à 0,33 m/s ne respecte pas les valeurs recommandées.
 - Le temps de séjour est élevé (626 minutes pour un maximum de 240).

Figure 2

TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU DÉCANTÉE



FILTRATION

- **Modèle :** filtre à sable sous pression.
- **Description :** les filtres sont associés au bassin d'eau clarifiée en amont.
- **Caractéristiques :**
 - nombre de filtres : 3 ;
 - diamètre du filtre : 90 cm ;
 - hauteur de sable : 45 cm ;
 - granulométrie : de 0,5 à 0,8 mm.
- **Appréciation :** filtration moyennement efficace.

Le dimensionnement des filtres à sable n'est pas conforme.

 - La vitesse de filtration est élevée (10,74 m/h) à cause du débit élevé de la pompe (20 m³/h au lieu des 15 m³/h initialement prévus).
 - À 15 m³/h, la vitesse de filtration respecte les critères de dimensionnement (8 m/h).



Bassin de mélange et flocculateurs de Thillé Boubacar (Sénégal)

COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	1 800 000	8 500 000	19 500 000	12 000 000	26 000 000	12 500 000	80 300 000
FCFA/m³	10 000	47 222	108 333	66 667	144 444	69 444	446 111

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	150 000	450 941	311 702	235 750	102 207	1 250 600
FCFA/m³	28	84	58	44	19	232

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



FAMILLE 7

AICHA SÉNÉGAL

STATION DE BOKHOL, SÉNÉGAL

Production moyenne : 240 m³/j

COAGULATION

- **Modèle** : bassin de mélange (saturateur à chaux reconverti).
- **Description** : le mélange du coagulant dans l'eau s'effectue dans le bassin par dissipation de l'énergie provoquée par la chute d'eau.
- **Caractéristiques** :
 - volume total : 1 m³;
 - hauteur de chute d'eau : 0,8 m.
- **Appréciation** : coagulation efficace.
 - Le gradient de vitesse respecte les valeurs recommandées.
 - Le temps de séjour respecte les valeurs recommandées.

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse électrique.
- **Description** : le coagulant est introduit dans le bassin de mélange *via* la pompe doseuse.
- **Appréciation** : injection efficace.

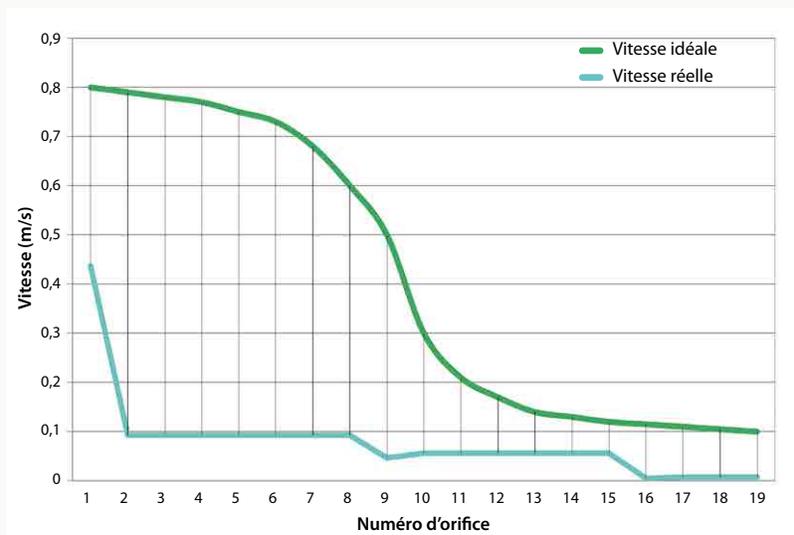
FLOCCULATION

- **Modèle** : flocculateur à chicanes avec écoulement horizontal et vertical.
- **Description** : la circulation de l'eau entre les compartiments (ici en Inox) se fait au travers d'ouvertures aménagées successivement en haut et à la base des cloisons.
- **Caractéristiques** :
 - nombre d'unités : 18 compartiments;
 - matériau : tôles en aluminium;
 - volume total : 5,4 m³.
- **Appréciation** : flocculation efficace.
 - De gros floccs se créent en début de sédimentation dans les derniers compartiments du flocculateur.

- Le gradient de vitesse est inférieur aux valeurs recommandées (16 s^{-1} contre 25 s^{-1}).
- Le temps de séjour est supérieur aux valeurs recommandées (30 secondes contre 20).
- La vitesse d'entrée et de sortie de l'eau du flocculateur est inférieure aux valeurs recommandées (orifices du flocculateur légèrement surdimensionnés).

Figure 1

VITESSES IDÉALE ET RÉELLE DE L'EAU DANS LE FLOCCULATEUR



DÉCANTATION

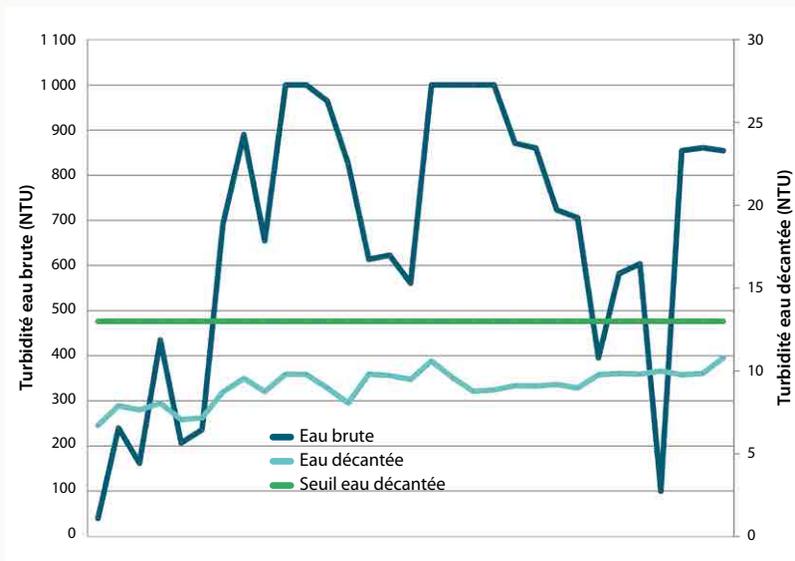
- **Modèle** : décanteur statique à flux horizontal (longitudinal).
- **Description** : les particules flocculées sédimentent sur la longueur du décanteur.
- **Caractéristiques** :
 - nombre d'unités : 2 décanteurs ;
 - longueur/largeur/hauteur : $5,85 \text{ m} \times 1,95 \text{ m} \times 2,15 \text{ m}$;
 - volume total : 100 m^3 .
- **Appréciation** : décantation efficace.
 - La vitesse de décantation et le temps de séjour respectent les valeurs recommandées.
 - La vitesse horizontale ($2,5 \text{ m/h}$) est inférieure aux valeurs recommandées.

FILTRATION

- **Modèle** : filtre à sable sous pression.
- **Description** : les filtres sont associés à une bêche de reprise en amont.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de filtres : 6 ;
 - diamètre du filtre : 90 cm ;
 - hauteur de sable : 45 cm ;
 - granulométrie : de 0,5 à 0,8 mm.
- **Appréciation** : filtration efficace.
 - La turbidité de l'eau filtrée est inférieure à 5 NTU.
 - La vitesse de filtration (5,24 m/h) respecte les valeurs recommandées (comprises entre 5 et 10 m/h).
- **Remarque** : pour une turbidité en eau décantée supérieure à 20 NTU, l'eau filtrée dépasse les 5 NTU.

Figure 2

TURBIDITÉ DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU DÉCANTÉE



COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	6 000 000	7 000 000	15 500 000	14 000 000	500 000	4 500 000	45 500 000
FCFA/m ³	25 000	29 167	64 583	58 333	2 083	18 750	197 917

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	185 000	333 749	169 440	75 525	103 987	867 701
FCFA/m ³	26	46	24	10	14	121

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



Station de Bokhol (Sénégal)



FAMILLE 8

PACEPAS

STATION DE DIAWARA, SÉNÉGAL

Cette station est actuellement configurée pour une production de 20 m³/h. En remplaçant les pompes d'eau brute et de reprise et en déplaçant les compartiments du flocculateur, la station peut théoriquement fonctionner avec un débit deux fois supérieur, de 40 m³/h. Lors des visites sur site, le débit de la pompe d'eau brute était réglé à 45 m³/h, soit plus du double du fonctionnement prévu. Les relevés correspondent à ce débit de fonctionnement. Il a cependant été décidé d'analyser également les valeurs pour un fonctionnement à 40 m³/h et à 20 m³/h.

COAGULATION

- **Modèle** : bassin de mélange en béton avec flocculateur.
- **Description** : le sulfate d'alumine est ajouté à l'arrivée de la conduite d'eau brute.
- **Appréciation** : coagulation efficace. L'eau et le sulfate se mélangent rapidement.

INJECTION

- **Modèle** : pompe doseuse électrique.
- **Description** : le coagulant est introduit dans le bassin de mélange/coagulation *via* la pompe doseuse.
- **Appréciation** : injection efficace.

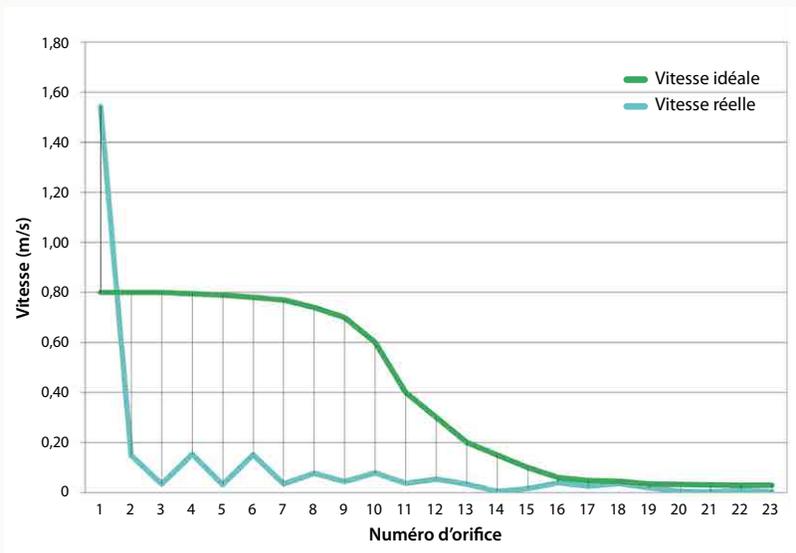
FLOCCULATION

- **Modèle** : flocculateur à chicanes avec écoulement vertical.
- **Description** : la circulation de l'eau entre les compartiments se fait à travers des orifices aménagés à la base et en haut des cloisons. La taille des orifices est de plus en plus grande au fil du parcours de l'eau pour réduire progressivement la vitesse d'agitation entre l'entrée et la sortie du bassin.
- **Caractéristiques** :
 - nombre d'unités : 22 compartiments ;
 - matériau : tôles en plastique ;
 - longueur/largeur : 3,95 m × 2,9 m.

- **Appréciation** : floculation moyennement efficace.
 - Le gradient de vitesse est inconnu : la différence de hauteur d'eau entre les bassins est négligeable (du fait de problèmes d'étanchéité entre les chicanes).
 - Le temps de séjour est supérieur aux valeurs recommandées (42 minutes pour un débit de 45 m³/h et 95 minutes pour un débit de 20 m³/h – valeurs recommandées comprises entre 15 et 20 minutes).
 - La vitesse à l'entrée du flocculateur est supérieure aux valeurs recommandées (2,8 m/s pour un débit de 45 m³/h, et 1,2 m/s pour un débit de 20 m³/h – valeurs recommandées comprises entre 0,8 et 0,1 m/s).
 - Les orifices sont mal dimensionnés : pas de diminution progressive de la vitesse de l'eau.

Figure 1

VITESSES IDÉALE ET RÉELLE DE L'EAU DANS LE FLOCCULATEUR



DÉCANTATION

- **Modèle** : décanteur statique à flux horizontal (longitudinal).
- **Description** : le floc sédimente sur la longueur du décanteur. Les particules sont retenues si le temps qu'elles mettent à tomber est inférieur au temps mis par le flux pour sortir du décanteur.
- **Caractéristiques** :
 - nombre d'unités : 1 décanteur;
 - longueur/largeur/hauteur (moyenne) : 7,92 m × 3,95 m × 3,2 m;
 - volume total : 100 m³.

- **Appréciation** : décantation efficace.

Le débit s'élève à 45 m³/h alors que le décanteur est dimensionné pour un débit de 20 m³/h.

- Pour un débit de 45 m³/h :
 - le temps de séjour respecte les valeurs recommandées ;
 - la vitesse de décantation est supérieure aux valeurs recommandées (1,5 m/h contre 1 m/h) ;
- Pour un débit de 20 m³/h :
 - le temps de séjour est supérieur aux valeurs recommandées (307 minutes contre 240) ;
 - la vitesse de décantation respecte les valeurs recommandées (comprises entre 0,5 et 1 m/h) ;
 - la vitesse horizontale est inférieure aux valeurs recommandées (1,6 m/h contre 5 m/h).

FILTRATION

- **Modèle** : filtre à sable sous pression.
- **Description** : les filtres sont associés à une bêche de reprise en amont.
- **Caractéristiques** :
 - nombre de filtres : 3 ;
 - diamètre de filtre : 120 cm ;
 - hauteur de sable : 45 cm ;
 - granulométrie : de 0,8 à 1,2 mm.

- **Appréciation** : filtration moyennement efficace.

Le colmatage du massif filtrant est mal nettoyé.

- Pour un débit de 45 m³/h, la vitesse de filtration est supérieure aux valeurs recommandées.
- Pour un débit de 20 m³/h, la vitesse de filtration respecte les valeurs recommandées.

COÛTS D'INVESTISSEMENT

	COAGULATION/ FLOCCULATION	INJECTION	DÉCANTATION	FILTRATION	ÉNERGIE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA)	4 000 000	5 500 000	16 000 000	13 250 000	500 000	5 600 000	44 850 000
FCFA/m ³	13 333	18 333	53 333	44 167	1 667	18 667	149 500

* Inclut le local technique et la clôture.

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

	SALAIRES	ÉNERGIE	INTRANTS	MAINTENANCE	AUTRES*	TOTAL
Montant (FCFA/mois)	185 000	607 750	207 667	89 477	94 993	1 184 887
FCFA/m ³	21	68	23	10	11	132

* Inclut les frais de transport, de communication et le renouvellement des équipements tous les 5 à 7 ans.



Décanteur à flux horizontal de Diawara (Sénégal)



LISTE DES STATIONS DE POTABILISATION

RECENSÉES DANS LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

N°	STATION	PAYS	COMMUNE	POPULATION (2015)	ANNÉE DE RÉALISATION	PRODUCTION (M ³ /JOUR)	FAMILLE	FILIÈRE	DÉCANTEUR	FILTRATION
1	Birette	Mauritanie	Ndiago	6 250	2008-2014	300	Autre	Continue	Longitudinal	Rapide - filtre sous pression
2	Ziré	Mauritanie	Ndiago	3 000	2014	120	Aïcha Mauritanie	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre à l'air libre
3	Bouhajra	Mauritanie	Ndiago	400	2012	5	Yamaha	Continue	Pas de décanteur	Lente
4	Breun	Mauritanie	Rosso	5 000	2010	180	Aïcha Mauritanie	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre à l'air libre
5	Chigara	Mauritanie	Rosso	3 900	2014	120	Aïcha Mauritanie	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre à l'air libre
6	Keur Madiké	Mauritanie	Rosso	600	2001-2011	15	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
7	Bagdad	Mauritanie	Rosso	500	2002-2011	15	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
8	Guidakhar	Mauritanie	Rosso	700	2003-2011	20	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
9	Keur Mour	Mauritanie	Jidrel Mohguen	350	2004-2011	20	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
10	Jidrel Mohguen	Mauritanie	Jidrel Mohguen	450	2005-2011	15	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
11	Satara	Mauritanie	Jidrel Mohguen	1 100	2006-2011	25	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression



N°	STATION	PAYS	COMMUNE	POPULATION (2015)	ANNÉE DE RÉALISATION	PRODUCTION (M ³ /JOUR)	FAMILLE	FILIÈRE	DÉCANTEUR	FILTRATION
12	Thiambene	Mauritanie	Jidrel Mohguen	560	2007-2011	15	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
13	Fass	Mauritanie	Jidrel Mohguen	500	2008-2011	15	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
14	Nasra	Mauritanie	Tékane	1 500	2014	40	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
15	Medina Selam	Mauritanie	Tékane	800	2010-2011	15	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
16	Gani	Mauritanie	Tékane	2 200	2011-2011	20	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
17	Oum El Ghoura	Mauritanie	Tékane	3 500	2011-2012	40	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
18	Tékane	Mauritanie	Tékane	3 000	2011-2013	40	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
19	Lemleigue	Mauritanie	Tékane	250	2011-2014	8	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
20	Fanaye Niakouar	Mauritanie	Tékane	500	2011-2015	20	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
21	Dara Salam	Mauritanie	Tékane	1 300	2011-2016	40	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
22	Medina Fanaye	Mauritanie	Tékane	900	2011-2017	20	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
23	MBarwadji	Mauritanie	Tékane	260	2011-2018	8	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
24	Niang Boul	Mauritanie	Tékane	350	2011-2019	8	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
25	Lexeba	Mauritanie	Lexeba	750	2011-2020	25	AECID	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
26	Fanaye Walo	Sénégal	Fanaye Diéry	2 400		66	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
27	Khare	Sénégal	Bokhol	798	2007	60	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
28	Ndiakhaye	Sénégal	Mbane	800	2007	66	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
29	Bokhol	Sénégal	Bokhol	8 000	2008	240	Aïcha Sénégal	Continue	Longitudinal	Rapide - filtre sous pression



N°	STATION	PAYS	COMMUNE	POPULATION (2015)	ANNÉE DE RÉALISATION	PRODUCTION (M ³ /JOUR)	FAMILLE	FILIÈRE	DÉCANTEUR	FILTRATION
30	Thiangaye	Sénégal	Fanaye Diéry	2 811	2008	80	Alizés bis	Continue	Longitudinal	Rapide - filtre sous pression
31	Ndiakhkar	Sénégal	Gandon	1 576	2009	40	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
32	Mbane	Sénégal	Mbane	9 500	2011	180	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
33	Guia	Sénégal	Guédé village	3 270	1996	60	Alizés bis	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
34	Thiago	Sénégal	Mbane	1 238	2009	80	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
35	Mboyo Walo	Sénégal	Guédé village	1 284	1989	180	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
36	Ndiawdoune	Sénégal	Gandon	1 776	2001	20	Alizés	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
37	Guidakhar	Sénégal	Bokhol	1 123	2001-2009	20	Alizés	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
38	Diagambal	Sénégal	Diana	3 900	1994-2015	120	Alizés	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre à l'air libre
39	Mini station Ross Béthio	Sénégal		200	2015	5	Delta Irrigation	Batch	Vertical	Rapide - filtre sous pression
40	Diawara	Sénégal	Diawara	12 000	2011	300	PacepaS	Continue	Longitudinal	Rapide - filtre sous pression
41	Kassack Nord/ Kassack Sud	Sénégal	Ronq	3 100	2002	480	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
42	Mboubene	Sénégal	Diana	156	2011	470	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
43	Diana	Sénégal	Diana	1 091	2011	720	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
44	Gaé	Sénégal	Gaé	7 148	2011	470	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
45	Makhana	Sénégal	Gandon	1 170	2011	470	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente



N°	STATION	PAYS	COMMUNE	POPULATION (2015)	ANNÉE DE RÉALISATION	PRODUCTION (M ³ /JOUR)	FAMILLE	FILIÈRE	DÉCANTEUR	FILTRATION
46	Dialang	Sénégal		329	2011	70	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
47	Deby Tiguet	Sénégal	Diama	3 448	2011	200	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
48	Ross-Béthio	Sénégal	Ross-Béthio	11 588	2011	720	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
49	Ndioungue Mberesse	Sénégal	Diama	3 504	2011	200	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
50	Thilene	Sénégal	Diama	762	2011	200	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
51	Mboltogne	Sénégal	Diama	322	2011	470	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
52	Lampsar	Sénégal	Diama	1 876	2011	200	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
53	Ndiaye Nguent	Sénégal	Diama	2 881	2011	470	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente
54	Ndiatene	Sénégal	Ronq	1 089	2002	50	Autre	Continue	Vertical	Lente
55	Ndiayène Pendao	Sénégal	Ndiayène Pendao	1 935	2012	240	Pepam IDA	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre sous pression
56	Thillé Boubacar	Sénégal	Ndiayène Pendao	2 006	2014	180	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
57	Niandane	Sénégal	Niandane	4 839	2014	360	Pepam IDA	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre sous pression
58	Diatar	Sénégal	Guédé village	2 748	2014	180	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
59	Doue	Sénégal	Guédé village	2 921	2014	180	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression



N°	STATION	PAYS	COMMUNE	POPULATION (2015)	ANNÉE DE RÉALISATION	PRODUCTION (M ³ /JOUR)	FAMILLE	FILIÈRE	DÉCANTEUR	FILTRATION
60	Mbilor	Sénégal	Bokhol	980	2015	300	Pepam IDA	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre sous pression
61	Ndieurba	Sénégal	Guédé village	1 912	2015	240	Pepam IDA	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre sous pression
62	Sinthiou Amadou Maireme	Sénégal		769	2014	120	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
63	Dimatt-Diagnoum	Sénégal		4 500	2015	360	Pepam IDA	Continue	Lamellaire	Rapide - filtre sous pression
64	Diela	Sénégal		5 342	2014	300	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
65	Golmy	Sénégal		4 682	2014	180	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
66	Kounglhany	Sénégal		3 428	2014	120	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
67	Yafera	Sénégal		2 524	2014	120	Pepam IDA	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
68	Ronq	Sénégal	Ronq	4 151	1997	140	Saed	Continue	Vertical	Lente
69	Boudoum Est	Sénégal	Ronq	497	1997	25	Saed	Continue	Vertical	Lente
70	Diaouar	Sénégal	Ronq	2 340	1997	136	Saed	Continue	Vertical	Lente
71	Ouassoul	Sénégal	Ronq	985	1997	31	Saed	Continue	Vertical	Lente
72	Kheune	Sénégal	Ronq	2 049	1997	43	Saed	Continue	Vertical	Lente
73	Thiagar	Sénégal	Ronq	2 059	2004	20	Saed	Continue	Vertical	Rapide - filtre à l'air libre
74	Ndiawdoune Nar	Sénégal	Diana	500	2014	5	Yamaha	Continue	Pas de décanteur	Lente
75	Temeye	Sénégal	Mbane	1 479	2015	80	Alizés bis	Continue	Vertical	Rapide - filtre sous pression
76	Ndiawar	Sénégal	Guédé village	2 013	2015	600	Gorom-Lampsar	Continue	Lamellaire	Lente

ADSORPTION PHYSIQUE : phénomène de fixation d'éléments (molécules, ions) à la surface d'un élément solide (ici, le massif filtrant), lié à des liaisons faibles entre atomes ou molécules. Ce phénomène est réversible.

AÉRATION : procédé consistant à créer un contact optimal entre l'air et l'eau afin d'éliminer les gaz en excès contenus dans celle-ci, lutter contre les odeurs indésirables et introduire de l'oxygène pour assurer l'oxydation de certains composés, tels que le fer ou le manganèse.

ANION : ion portant une ou plusieurs charge(s) négative(s). Il comprend plus d'électrons que de protons. Par exemple, le chlorure Cl^- est un anion.

AQUIFÈRE : couche de roches perméables permettant l'écoulement d'une nappe souterraine.

BACTÉRIOSTATIQUE : substance inhibant la multiplication des bactéries sans les tuer.

BIOCIDE : produit destiné à détruire, à repousser ou à rendre inoffensifs les organismes nuisibles par une action chimique ou biologique.

BIOFILM : couche créée par l'agrégation de micro-organismes (bactéries, algues), dont l'activité permet de dégrader la matière organique.

BLOOMS ALGAUX : phénomène de prolifération exceptionnelle d'algues. Cette prolifération se traduit généralement par une coloration de l'eau en rouge, en brun, en brun-jaune ou en vert. Ce phénomène s'effectue lorsque l'eau est riche en nutriments (nitrates et phosphates en particulier), bien oxygénée et reçoit suffisamment de lumière.

CARBONATER/CARBONATATION DE LA CHAUX : phénomène de précipitation de la chaux à l'état solide (carbonate de calcium).

CATION : ion portant une ou plusieurs charge(s) positive(s) sous l'effet de la perte d'un ou de plusieurs électrons. Un cation monovalent comprend une charge positive (par exemple le sodium Na^+), et un cation trivalent porte trois charges positives (par exemple Al^{3+} , provenant du sulfate d'alumine introduit comme coagulant).

CHARGE ÉLECTRIQUE : somme des charges qui composent une particule (proton : charge positive et électron : charge négative). Lorsque deux éléments séparés portent une charge du même signe, ils se repoussent.

CHLORATION : procédé consistant à injecter une dose de chlore dans l'eau avant distribution afin d'éliminer ou de désactiver les éléments pathogènes (bactéries, virus, algues). Le chlore est un puissant oxydant et détient un pouvoir rémanent, raison pour laquelle il est largement utilisé dans le traitement de l'eau potable.

CHLORATION « CHOC » : procédé utilisé pour réduire de manière drastique les populations bactériennes (micro-algues ou autres micro-organismes). Le choc chloré résulte de l'introduction d'une solution fortement chlorée dans le système à désinfecter.

CLARIFICATION : étape du traitement de l'eau qui permet d'obtenir une eau limpide par l'élimination des particules en suspension (sable, limon, débris organiques, etc.), des matières colloïdales (argiles fines, bactéries) et d'une partie des matières dissoutes (matières organiques, sels, etc.).



Elle combine un ou plusieurs procédés de traitement : coagulation, floculation, décantation, flottation et filtration.

COAGULATION : phénomène par lequel certains constituants s'assemblent pour former une masse plus compacte. Le processus de coagulation est favorisé par l'ajout de sels métalliques (cations) permettant de réduire les répulsions créées par les anions.

COLLOÏDES : substances en suspension dans un liquide, suffisamment petites pour pouvoir se répartir de manière homogène dans celui-ci. Cette propriété provient de la force de gravité, négligeable sur ces particules. Les suspensions colloïdales sont nombreuses : éléments minéraux (argiles fines), êtres vivants (bactéries), protéines.

CONDUCTIVITÉ : mesure indirecte de la teneur en ions minéraux et organiques de l'eau. Elle donne une indication de la quantité de matière dissoute d'origine naturelle ou anthropique, qui influe sur les qualités gustatives (eau trop salée par exemple). Elle permet d'indiquer une pollution éventuelle de l'eau, mais en aucun cas de connaître la composition de cette dernière. Elle se mesure communément dans l'eau en microsiemens par cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

CONTRE-PUITS : puits réalisé aux abords d'un cours d'eau ou d'une étendue d'eau, dont il tire son approvisionnement.

CRÉPINE : pièce sphérique ou cylindrique, évidée et percée de trous, servant à arrêter les corps étrangers à l'ouverture d'un tuyau d'aspiration.

DÉCANTATION : technique de séparation des éléments (matières en suspension, floccs) par effet de la gravité : les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau descendent au fond du décanteur, d'où elles sont ensuite régulièrement ôtées. L'eau clarifiée, située en partie haute du décanteur, est ensuite acheminée vers un filtre. On parle de décantation statique lorsque les particules tombent à leur propre vitesse dans le décanteur, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser d'autres procédés, comme par exemple les lamelles (décantation lamellaire), ou d'ajouter de

la matière, comme les boues (amélioration du contact avec d'autres particules).

DURETÉ DE L'EAU OU TITRE HYDROTIMÉTRIQUE (TH) : indicateur permettant de mesurer la minéralisation de l'eau par les ions calcium et magnésium, issus de la géologie environnante. La dureté de l'eau n'a pas de conséquences sur la santé, bien qu'il soit préférable qu'elle soit légèrement dure pour l'apport en minéraux. Une eau trop douce peut provoquer une corrosion des canalisations, alors qu'une eau trop dure peut provoquer des dépôts de calcaire.

EAU BRUTE : terme désignant l'eau prélevée à son état initial, avant traitement.

EAU CLARIFIÉE : eau dont la plupart des particules en suspension ont été éliminées. Elle est obtenue après les étapes de clarification (coagulation, floculation, décantation, filtration).

EAU DÉCANTÉE : eau issue du processus de décantation.

EAU TRAITÉE : eau ayant subi l'ensemble des traitements, exempte d'éléments pathogènes et qui peut être distribuée.

EAUX DE SURFACE : terme englobant toutes les masses d'eau (rivières, fleuves) qui circulent ou sont stockées à la surface des continents, en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages). Elles peuvent être douces, saumâtres ou salées, et sont en contact direct avec l'atmosphère.

ÉCOULEMENT LAMINAIRE : écoulement caractérisé par très peu de turbulences. L'eau s'écoule comme s'il s'agissait de fines lames d'eau coulant l'une sur l'autre sans se mélanger.

EFFET RÉMANENT : maintien, dans le temps, des effets d'une action ou d'un phénomène terminé. Par exemple, le chlore reste actif plusieurs jours, et peut donc traiter des pollutions intervenant après le point de traitement (fuites d'eau).

FLOC : agrégation d'un ensemble de particules formant un corps suffisamment dense pour être séparé de l'eau. Les floccs sédimentent beaucoup plus rapidement que les particules primaires dont ils sont formés.



FLOCCULATION : la floculation, qui intervient après l'étape de la coagulation, a pour objectif d'accroître la taille des agrégats formés par une lente agitation de l'eau et l'ajout d'adjuvants. Elle conduit à la formation d'amas de plus en plus volumineux, appelés « floccs », qui pourront ainsi décanter plus rapidement et être plus facilement retirés.

FLOTTATION : phénomène de séparation des corps solides et de l'eau par effet de densité. Les corps solides moins denses que l'eau remontent à la surface, où ils peuvent être récupérés.

GÂTEAU : dépôt de particules qui se fixe progressivement sur le milieu filtrant lors de la filtration, et qui constitue une couche poreuse assurant également un rôle de filtration.

HAUTES EAUX/BASSES EAUX : indique la hauteur ou le débit d'eau le plus élevé ou le plus faible de l'année.

HIVERNAGE : période correspondant à la saison des pluies dans les pays tropicaux.

INTRANTS : produits ajoutés dans l'eau afin d'en retirer certaines matières ou améliorer ses caractéristiques. Les intrants dont il est question dans ce guide sont majoritairement des coagulants (sulfate d'alumine), de la chaux pour stabiliser le pH et du chlore pour désinfecter l'eau.

ION : molécule ou atome portant une charge électrique soit positive (cation), soit négative (anion).

LESSIVAGE DES SOLS : transport par les eaux de surface, notamment la pluie, des éléments contenus dans le sol (par exemple, le fer présent dans le sol aux abords du fleuve Sénégal est transporté vers celui-ci lors des pluies).

MASSIF FILTRANT : couche de matériaux (gravier, sable, anthracite) mis en place dans les filtres pour retenir les particules les plus fines. Le massif filtrant se colmate petit à petit, améliorant dans un premier temps la filtration, mais empêche progressivement le passage de l'eau et perd ses propriétés de filtration. Il est nécessaire de procéder régulièrement au lavage du

massif filtrant (voir rétro-lavage) pour rétablir ses performances.

MATIÈRES EN SUSPENSION : ensemble des particules solides en suspension dans un liquide, dont la taille est comprise entre environ un micromètre et un centimètre. Elles se différencient des colloïdes de taille inférieure et des matières dissoutes (taille inférieure à 10 nm).

MATIÈRE ORGANIQUE : matière issue des êtres vivants et de leur dégradation : végétaux, animaux, micro-organismes, champignons vivants ou morts, déjections, humus.

NAPPE PHRÉATIQUE : nappe d'eau située à une faible profondeur et dans laquelle on peut puiser.

NTU : *nephelometric turbidity unity* ou unité de turbidité néphélogométrique (UTN). Unité de mesure de la turbidité.

OXYDATION : terme désignant la perte d'électrons d'une substance, qui modifie ses propriétés. Par exemple, l'oxydation du fer permet sa précipitation et son élimination. L'oxydation est souvent provoquée par l'oxygène.

OXYGÉNATION : processus consistant à oxygéner l'eau afin de permettre l'oxydation de ses composés (fer, manganèse) et leur précipitation en vue de leur élimination. L'oxygénation peut s'effectuer par exemple par le contact avec l'air (aération) ou par l'apport direct de dioxygène.

POUVOIR TAMPON : capacité d'une solution à absorber ou à neutraliser des chocs ou changements (comme la capacité à absorber une certaine quantité d'acide ou de base, sans que son pH ne change de plus d'une unité).

PRÉCIPITÉ : composé solide se formant dans une solution donnée à partir de un ou plusieurs éléments chimiques.

PROCÉDÉS DE TRAITEMENT : ensemble des technologies associées permettant de retirer ou de corriger un ou plusieurs paramètre(s) indésirable(s) de l'eau, en fonction de normes de qualité prédéfinies. Les procédés élémentaires destinés à traiter les eaux de surface sont nombreux. Selon



la qualité de l'eau recueillie à l'état brut, les processus de potabilisation peuvent être plus ou moins complexes.

QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE : stimuli qui se rapporte à la sphère sensorielle (goût, flaveur, odeur) et qui a une incidence sur la qualité de l'eau dans la mesure où elle influe sur l'acceptation des personnes à la boire. Une eau ayant une mauvaise qualité organoleptique ne sera pas bue, en dépit que cela ne présente pas de dangers sanitaires.

RENDEMENT DU RÉSEAU : ratio entre le volume d'eau distribué et le volume d'eau produit. La différence entre les deux peut être liée à des pertes en eau (fuites) et à l'utilisation d'eau pour l'entretien des ouvrages (nettoyage des réservoirs, rétrolavage des filtres, purges des conduites, etc.).

RÉTRO LAVAGE : opération consistant à retirer du massif filtrant les éléments accumulés lors de la filtration. De l'eau est injectée dans le filtre dans le sens inverse de son écoulement normal. Les eaux claires entraînent les particules accumulées et sont ensuite vidangées.

SALINITÉ : concentration en minéraux dissous dans l'eau. Elle se mesure à travers la conductivité.

SYSTÈME D'EXHAURE : dans le domaine de l'adduction d'eau, un système d'exhaure est une installation servant à extraire l'eau

depuis sa source. Les puits et les forages, mais aussi les équipements liés (massifs filtrants, crépines, pompes, tuyaux de refoulement), font partie des systèmes d'exhaure.

TAUX DE DESSERTÉ : ratio entre les personnes raccordées au réseau et la population totale.

TURBIDITÉ : généralement exprimée en unité de turbidité néphélogométrique (UTN ou NTU en anglais), la turbidité renvoie au trouble provoqué dans l'eau par des particules en suspension (l'argile et les limons par exemple), des précipités chimiques (le manganèse et le fer), des particules organiques (des débris de plantes) et des organismes divers. La turbidité peut être due à la mauvaise qualité de l'eau de source, à un mauvais traitement et, dans les réseaux de distribution, au remaniement de sédiments et de biofilms ou à l'intrusion d'eau souillée (fissures). À des niveaux élevés, la turbidité peut entraîner une coloration des matériaux (robinetterie, vêtements) et interférer avec l'efficacité des procédés de traitement.

VISCOSITÉ : propriété d'un fluide caractérisant sa résistance à l'écoulement. La viscosité est caractérisée par plusieurs grandeurs, dont la viscosité dynamique (la plus utilisée, mesurée en Pascal secondes), ou la viscosité cinématique (mesurée en m^2/s).

ARD DE SAINT-LOUIS, GRET (2018), *Atlas 2018 eau potable et assainissement – région de Saint-Louis*, Agence régionale de développement de Saint-Louis, Gret, 47 p.

BODIAN A., DEZETTER A., DIOP L., DEME A., DJAMAN K., DIOP A. (2018), "Future Climate Change Impacts on Streamflows of Two Main West Africa River Basins: Senegal and Gambia", *Hydrology*, 5 (1), 18 p., DOI : 10.3390/hydrology5010021

BODIAN A., DEZETTER A., DACOSTA H., ARDOIN-BARDIN S. (2013), « Impact du changement climatique sur les ressources en eau du haut bassin du fleuve Sénégal », *Revue de géographie du laboratoire Leïdi*, n° 11, p. 236-251.

DAVID F. (2017), *Durabilité des services d'eau en milieu rural – Rapport d'étude 1, Situation de référence en matière de durabilité des services d'eau en milieu rural, Mauritanie*, Mauritanie, ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Gret, 65 p.

FAYE C., DIOP S., MBAYE I. (2015), « Impacts des changements de climat et des aménagements sur les ressources en eau du fleuve Sénégal : caractérisation et évolution des régimes hydrologiques de sous-bassins versants naturels et aménagés », *Belgeo*, n° 4, DOI : 10.4000/belgeo.17626

GRET, KOSAN (2006), *Les petits réseaux d'eau potable – Guide technique* [CD], Gret.

GROUPEMENT CIMA/GENHY/ENVAL (2015), *Rapport diagnostic : étude pour l'élaboration d'une stratégie nationale d'amélioration de la qualité de l'eau potable au Sénégal*, Dakar, ministère de l'Hydraulique et de la Planification des Ressources en eau, DGPRE.

HYDROCONSULT INTERNATIONAL, GIC TUNISIE, SEMIS (2011), *Rapport d'avant-projet sommaire des unités de potabilisation – Pepam, sous-programme Pepam-Ida, régions de Saint-Louis, Matam et département de Bakel*, Sénégal, Direction de l'Hydraulique rurale, 55 p.

KANE G. (2015), *Caractéristiques des eaux de la vallée du fleuve Sénégal*, présentation dans le cadre du projet Aicha Saint-Louis, Sénégal, 27 avril 2015 (document non publié).

LEGENDBRE B. (2016), *Manuel des projets d'eau potable en milieu rural*, Sénégal, ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement, 86 p.

OMS (2017), *Directives de qualité pour l'eau de boisson*, 4^e éd. intégrant le premier additif, Genève, OMS, 539 p.

OMS, UNICEF (2017), *Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène – mise à jour 2017 et évaluation des ODD*, Genève, OMS, Unicef, 2017, 108 p.

ROGER G. (2011), *Analyser la demande des usagers – et futurs usagers – des services d'eau et d'assainissement dans les villes africaines*, PDM/pS-Eau, 185 p., Guide méthodologique n° 3.



TREILLE P. (1975), « Séparation gravitaire de l'eau et des suspensions solides », *La Houille Blanche*, n° 5-6, 317-323.

UN-WATER (2018), *Rapport de synthèse 2018 sur l'objectif de développement durable 6 relatif à l'eau et à l'assainissement : résumé*, UN-Water, 15 p.

UNICEF, OMS (2017), *Une eau potable gérée en toute sécurité*, Genève, OMS, 52 p.

WHO (2012), *Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage*, Geneva, WHO, 67 p.

WHO (2014), *Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene: exposures and impacts in low-and middle-income countries*, Geneva, WHO, 33 p.

POUR ALLER PLUS LOIN

COGELS F.-X. (1994), *La qualité des eaux de surface dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers*, Dakar, Orstom, 48 p.

DIOP K., LOSEILLE L. ET AL. (2015), *Manuel d'exploitation des petites stations de potabilisation dans la vallée du fleuve Sénégal : manuel pour les opérateurs de stations*, Gret, 2015, 38 p.

LAMAGAT J.-P., BADER J.-C. (2005), « Gestion intégrée des ressources en eau du bassin du Sénégal : Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs », in Le Goulven P., Bouarfa S., Kuper M. (eds.), *Gestion intégrée de l'eau au sein d'un bassin versant*, Montpellier, Cirad, 14 p.

LOSEILLE L., NAULET F., LE JEUNE T., DAVID F. (2016), *Des services d'eau potable performants : l'exemple de Dieuk, Breun et Tekeche : enseignements du projet d'Appui aux initiatives des communes en hydraulique et assainissement (Aïcha), Mauritanie*, Gret, 32 p., Cahier de capitalisation n° 4.

Éditions du Gret

45 bis avenue de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne Cedex, France.
Tél. : 33 (0)1 70 91 92 00 – www.gret.org

Éditions Quæ

RD10, 78026 Versailles Cedex, France.
Tél. : 33 (0)1 30 83 34 06 – www.quae.com

*Imprimé en décembre 2019
sur les presses de ISI PRINT (France)
Dépôt légal : janvier 2020*

POTABILISATION DES EAUX DE SURFACE EN AFRIQUE DE L'OUEST

Guide
pratique

Ce guide pratique, consacré aux procédés de potabilisation des eaux de surface des petites villes d'Afrique de l'Ouest, a été conçu sur la base de techniques testées et éprouvées par le Gret et ses partenaires dans la vallée du fleuve Sénégal. Il privilégie des descriptifs simplifiés et vulgarisés des savoir-faire et des techniques, et s'adresse à un public impliqué dans le choix de dispositifs de potabilisation : responsables publics, personnels techniques et praticiens d'organisations qui les appuient.

Alliant théorie et pratique, cet ouvrage décrit et analyse les principales technologies de potabilisation implantées dans la vallée du fleuve Sénégal afin d'apporter quelques clés pour faciliter le processus de sélection de dispositifs adaptés – processus qui peut également être appliqué à d'autres contextes d'Afrique de l'Ouest. Ce guide dispense également des recommandations pour optimiser leur conception et leur exploitation.

Enfin, deux séries de fiches, l'une apportant des notions techniques complémentaires sur les grandes étapes du traitement des eaux de surface, et l'autre présentant les grandes familles de station de potabilisation évoquées dans ce guide, viennent enrichir le propos.

Avec le financement de



DIFFUSION : Quæ

PRIX : 19 €

Le contenu de cette publication engage la seule responsabilité du Gret et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue des bailleurs.

ISBN : 978-2-7592-3117-1



9 782759 231171