



Concevoir un réseaux d'eau pour un bourg rural



UNE PROPOSITION DU PROGRAMME MEDDEA

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
INTRODUCTION	5
I. DES NORMES ADAPTEES AUX RESEAUX D'ADDUCTION D'EAU POTABLE	5
II. LES BOURGS RURAUX	5
CHAPITRE 1 : CONSIDERATIONS GENERALES	7
I. HORIZON DU PROJET.....	7
II. MODE DE CALCUL DES BESOINS EN EAU.....	7
CHAPITRE 2 : LES ETUDES D'AVANT PROJET.....	9
I. LES ETUDES D'AVANT-PROJET SOMMAIRE (APS).....	9
1. Objet de l'étude d'avant-projet sommaire	9
2. L'étude de faisabilité socio-économique	9
2.1 Méthodologie de mise en œuvre de l'étude socio-économique	9
2.2 Contenu du rapport d'étude socio-économique	10
3. L'étude de faisabilité technique.....	11
3.1 Méthodologie de mise en œuvre des études de faisabilité technique.....	11
3.2 Contenu du rapport d'étude technique	12
4. L'étude financière.....	12
II. ETUDE D'AVANT-PROJET DETAILLEE (APD).....	13
1. Objet des études d'avant-projet détaillée.....	13
2. Méthodologie de mise en œuvre de l'établissement de l'APD.....	13
3. Contenu du rapport d'avant-projet détaillée	13
CHAPITRE 3 : LES SPECIFICATIONS TECHNIQUES.....	15
I. CONSIDERATIONS GENERALES DE CONCEPTION	15
1. Étude du terrain d'installation des ouvrages.....	15
2. Durabilité.....	15
3. Dispositifs pour mesures et analyses	15
4. Zone de couverture	15
5. Nombre de personnes par point d'accès à l'eau	16
6. Volume des pertes par fuites	16
7. Période et débit de pointe	16
8. Sources d'énergie	16
9. Etude hydraulique et électromécanique.....	17
9.1 Le réservoir	17
9.2 Les stations de pompage	17
9.3 Canalisation.....	17

II.	CAPTAGE	21
1.	Choix de la ressource en eau à capter.....	21
2.	L'évaluation des ressources en eau	22
3.	Rôle de la structure de captage	22
4.	Périmètre de protection.....	22
5.	Mode de captage de source.....	23
6.	Pompage en nappe	24
7.	Cours et étendues d'eau.....	26
III.	POMPAGE POUR RELEVAGE.....	27
IV.	TRAITEMENT	28
1.	Critère de potabilité d'une eau.....	28
2.	Traitement minimal	30
3.	Chaine de traitement.....	30
4.	Dispositifs de dosage de réactifs	31
5.	Décantation.....	33
5.1	Décantation statique	34
5.2	Décanteurs à plaques et tubes (Décanteur lamellaire)	35
6.	Filtration	36
7.	Désinfection.....	37
8.	Correction de pH	38
9.	Aération	38
10.	Boues de traitement	39
V.	RESERVOIRS.....	39
1.	Fonctions	39
2.	Volume et dimensions	39
3.	Emplacement	39
4.	Génie civil	40
5.	Equipement.....	40
VI.	CONDUITES ET RESEAU DE DISTRIBUTION	42
1.	Tracé	43
2.	Pression.....	43
3.	Conduites.....	43
4.	Equipement.....	44
5.	Choix des diamètres	45
6.	Pose des conduites	45
7.	Réseau de distribution	46
VII.	LES POINTS DE PUISAGE.....	46
1.	Les branchements collectifs.....	47

1.1	Kiosques à eau.....	47
1.2	Points de puisage gérées par un commerçant.....	47
1.3	Infrastructures à usages multiples	48
2.	Branchements partagés	48
3.	Branchements privés.....	49
3.1	Les branchements domestiques.....	49
3.2	Les branchements commerciaux	49
	LES OUVRAGES DE REFERENCE.....	50

Introduction

I. DES NORMES ADAPTEES AUX RESEAUX D'ADDUCTION D'EAU POTABLE

Dès le début du programme des normes techniques à appliquer pour l'étude et la réalisation de systèmes devant satisfaire durablement les besoins des usagers avaient été définies.

En effet, de nombreuses infrastructures installés n'arrivent pas à répondre aux besoins des bénéficiaires après quelques années, parfois tout juste après leur construction : quantité d'eau ou pression insuffisante, qualité d'eau distribuée ne répondant pas aux normes en vigueur...

Ce travail de définition a été fait en consultant les normes existantes ainsi que les pratiques du secteur de l'eau potable à Madagascar (bureau d'études, entreprise de travaux, gestionnaires de réseau d'eau, ministère de l'eau, Jirama...).

Au-delà des documents plus généraux du cadre légal, le document normatif en vigueur est le Manuel de procédures pour la mise en place des projets eau et assainissement établi et diffusé par le Ministère de l'Énergie et des Mines en 2005. Il a servi de base à l'établissement des normes décrites par la suite.

II. LES BOURGS RURAUX

Les bourgs ruraux sont ces petites villes ou gros villages où des activités économiques et administratives permettent à une partie importante de la population de ne plus dépendre uniquement de l'agriculture comme source de revenus. Ce sont souvent des chefs-lieux de commune (mais pas

seulement). Il émerge dans ces sites une demande pour des services qui ne sont plus tout à fait ceux du monde rural (le puits ou la borne-fontaine) et peut être pas encore tout à fait ceux de la ville (l'eau à tous les étages). Cette demande est en grande partie solvable.

Les conditions sont donc réunies pour la mise en place de réseaux d'eau dont l'eau serait vendue au volume suivant des normes moins contraignantes que celle du monde urbain mais permettant une meilleure qualité de service que celle commune dans le monde rural.

Chapitre 1 : Considérations générales

I. HORIZON DU PROJET

L'horizon du projet est le nombre d'années pour lesquelles le dimensionnement est fait. Le système doit être conçu pour qu'il continue de répondre aux besoins de la population jusqu'à l'horizon du projet.

Pour les bourgs ruraux, sites pour lesquels un affermage est envisageable la durée probable du contrat de ce type – 15 ans – est un horizon de projet raisonnable. Au vu des incertitudes diverses qui pèsent sur les évolutions tant de la population que de la demande choisir un horizon plus long est risqué.

L'accroissement de la population à Madagascar était estimée à 2,95 % en 2011 par l'Instat (www.instat.mg). On dimensionnera le captage, la conduite d'aménée, le réservoir et les dispositifs de traitement pour la population à l'horizon de projet.

En ce qui concerne le tracé et le dimensionnement du réseau de distribution, un travail est à faire avec la commune pour identifier les zones où la nouvelle population devrait s'implanter. Les futures zones habitées ne seront pas desservies dès la mise en place du réseau, mais on veillera à rendre possible les futures extensions et à anticiper l'augmentation de la demande dans les zones équipées.

Toutefois, les parties du système dont la durée de vie est inférieure à 15 ans doivent être dimensionnées pour cette durée de vie. Par exemple, une pompe sera dimensionnée pour une durée de 7 ans qui la durée de vie moyenne d'une pompe.

La mise en place de certains éléments du système d'adduction peut s'étaler dans le temps. Par exemple, il est possible de réaliser les ouvrages de captage (forages ou captages de source) au fur et à mesure de l'augmentation de la consommation.

II. MODE DE CALCUL DES BESOINS EN EAU

L'estimation des besoins en eau des localités à desservir se fait à l'horizon de projet adopté.

Par ailleurs, le volume d'eau nécessaire à l'alimentation d'une agglomération dépend notamment :

- ▷ de l'importance et du caractère de la localité à desservir ;
- ▷ des besoins municipaux, agricoles et industriels ;
- ▷ des habitudes de la population.

La consommation journalière des ménages branchés (branchements privés ou branchements partagés) et non branchés (kiosques à eau) devra être évaluée sur la base d'études socio-économiques

réalisées sur la population à alimenter. Il faudra déterminer les consommations à la mise en fonctionnement du réseau et à l'horizon de projet. La valeur de la demande est très variable d'un site à l'autre, suivant la taille du site, les habitudes et la volonté à payer des usagers, le nombre d'entreprises consommatrices d'eau, la disponibilité de l'eau hors du réseau...

Cependant, on donne comme valeurs indicatives les consommations respectivement de 15 à 20 litres, de 20 à 25 litres et de 35 à 50 litres par jour et par personne suivant les cas des branchements publics (kiosques à eau), semi-publics (ou branchement partagé) ou privés. Ces valeurs peuvent être utilisées en première approximation, cependant les valeurs à appliquer lors d'un dimensionnement plus précis doivent être issues d'enquêtes socio-économiques.

L'estimation de la consommation devra tenir compte des besoins des lieux publics et institutions. Les écoles et les centres de santé doivent être équipés de points d'eaux modernes, à raison de 2 l/jour/élèves et 50 l/jour/lit. On étudiera la possibilité d'alimenter en eau les marchés et les églises (2 l/visiteurs par exemple), les internats divers (30 l/jour/lit par exemple), etc.

Il faut également tenir compte des besoins spécifiques des employés de bureaux ou administrations (5 l/jour/personne), des artisans, des éleveurs, des agriculteurs, des industries (fabricant de produits laitiers, scierie, etc.), des unités hôtelières, etc.

Tableau 1: Consommation journalière des ménages et des institutions

Institutions	Besoins journaliers
Branchement particulier	35 à 50 l/j
Branchement partagé	20 à 25 l/j
Branchement publique	15 à 20 l/j
Écoles	2 l/élève
Centre de santé de base	50 l / lit
Marché – église	5 l/visiteur ou 2 500 l (quantité forfaitaire)
Internat	30 l / lit
Bureaux	5 l / personne ou 200 l (quantité forfaitaire)

Chapitre 2 : Les études d'avant projet

I. LES ETUDES D'AVANT-PROJET SOMMAIRE (APS)

1. Objet de l'étude d'avant-projet sommaire

L'étude d'avant-projet sommaire (APS) permet d'évaluer la faisabilité du projet. Elle a pour objet de :

- ▷ comprendre et connaître les caractéristiques socio-économiques du site pour en déduire les besoins en eau ainsi que la capacité et la volonté des ménages à payer le service ;
- ▷ identifier les options techniques possibles et leurs coûts respectifs ;
- ▷ évaluer le prix de l'eau et des branchements et évaluer la rentabilité du service.

L'étude de faisabilité comprend donc trois parties :

- ▷ l'études de faisabilité socio-économique ;
- ▷ l'étude de faisabilité technique ;
- ▷ l'étude financière.

Le résultat des études d'APS est présenté au maître d'ouvrage pour que ce dernier puisse valider les options techniques, organisationnelles et financières proposées.

2. L'étude de faisabilité socio-économique

Elle vise à connaître les caractéristiques des localités visées. Son objectif est de :

- ▷ identifier les bénéficiaires potentiels du projet : la population (les ménages), les entreprises qui pourraient être concernés par le projet, les institutions publiques ou privées présentes ;
- ▷ connaître la capacité et la volonté à payer des usagers vis-à-vis du service à mettre en place, que ce soit sur les coûts des branchements ou sur le tarif de l'eau ;
- ▷ estimer les besoins en eau des usagers en partant des quantités d'eau utilisées actuellement ;
- ▷ comprendre les problèmes actuels d'eau et d'assainissement ainsi que les améliorations souhaitées par les habitants.

La connaissance de ces paramètres permet de concevoir un projet qui correspond aux besoins des usagers du site et d'estimer les tarifs qui pourront être acceptés.

2.1 Méthodologie de mise en œuvre de l'étude socio-économique

Elle se base sur des enquêtes effectuées dans les localités objets du projet.

Le test des questionnaires

Les enquêtes quantitatives utilisent des questionnaires préétablis qui sont à adapter à chaque site. Une visite préalable de reconnaissance est nécessaire pour cela et les fiches doivent être testés avant leur utilisation.

Le dénombrement des corps de bâtiments

La population officielle des localités est rarement à jour. L'étude socio-économique démarre donc par le dénombrement des tous les corps de bâtiments du site. Les ménages, les entreprises ainsi que les institutions publiques sont alors recensés. Les nom et prénoms du chef de famille ou du responsable de l'entreprise, le secteur d'activité, le nombre de personnes vivant dans le ménage, ainsi que les modes d'accès à l'eau sont notés sur une fiche de recensement.

Ce dénombrement permet de connaître l'effectif des ménages, de la population et des entreprises du territoire étudié. Ces chiffres permettent la réalisation d'un échantillonnage pour la réalisation des enquêtes quantitatives.

Echantillonnage

Après avoir recensé tous les corps de bâtiment, un échantillonnage est à faire pour identifier les ménages et les entreprises à enquêter.

Pour les entreprises, il est préférable de faire une enquête exhaustive si leur nombre le permet. Par contre, l'échantillonnage est toujours nécessaire pour les ménages. L'enquête de tous les ménages serait en effet trop longue et coûteuse pour une information d'une précision inutile.

La réalisation des enquêtes

Les enquêtes sont effectuées auprès des ménages échantillonnés et des entreprises locales consommatrices d'eau utilisant un questionnaire spécifique pour chaque type de futur client.

Les informations obtenues sont ensuite saisies et analysées avec un logiciel d'analyse statistique tel que Sphinx.

Interviews semi-structurés et groupes de discussion dirigés

En plus de l'enquête quantitative, des interviews semi-structurées auprès des personnes informateurs clés (maire, responsables de la santé, responsables d'écoles, notables, ...) ainsi que des groupes de discussion avec les femmes, les ménages modestes et les ménages aisés permettent de mieux connaître les caractéristiques socioculturelles et économiques du lieu ainsi que les souhaits de certaines catégories vis-à-vis du nouveau service.

2.2 Contenu du rapport d'étude socio-économique

La partie socio-économique de l'APS doit présenter :

Une description de la localité

- ▷ Une description générale de l'ensemble de la zone à alimenter (situation géographique, administrative, croissance démographique, potentialités de développement économique...)
- ▷ une carte de la zone à alimenter au 1/2000 qui mentionne les bâtiments, les entreprises, les infrastructures publics, les routes et pistes et autres éléments marquants du site ;

- ▷ le recensement de la population à raccorder au réseau de distribution d'eau (ménages, entreprises, bâtiments publics).

Les caractéristiques des ménages et des entreprises consommatrices d'eau

- ▷ Une segmentation socio-économique des ménages en fonction de critères socio-économiques, de la consommation en eau, de la capacité et de la volonté à payer l'eau ;
- ▷ le calcul de la consommation actuelle en eau ;
- ▷ la capacité à payer l'eau par segment (possibilité de recours au microcrédit, capacité à payer des dépenses courantes, fréquence de facturation possible) ;
- ▷ la volonté à payer l'eau par segment (volonté à payer le raccordement et les factures suivant le service proposé, fréquence de facturation désiré) ;
- ▷ et éventuellement une présentation d'outils marketing à mettre en place pour développer l'alimentation en eau pour ces usagers (types et montant des tarifications, promotion...).

Un bilan reprend

- ▷ La consommation actuelle en eau de l'ensemble des usagers ;
- ▷ la volonté à payer le raccordement des ménages et entreprises ;
- ▷ la volonté à payer des factures périodiques des ménages et entreprises.

3. L'étude de faisabilité technique

L'étude technique de l'avant-projet sommaire consiste à identifier toutes les solutions possibles pour améliorer l'accès à l'eau potables des localités en question et d'estimer leur coût.

Cette étude doit comprendre :

- ▷ un diagnostic de la situation actuelle en termes d'eau potable ;
- ▷ un diagnostic des ressources en eau existantes aux alentours du site du projet ;
- ▷ une estimation des besoins en eau ;
- ▷ un descriptif de toutes les solutions possibles ;
- ▷ le coût estimatif du projet.

Les solutions techniques proposées doivent être conçues pour répondre aux présentes spécifications techniques.

3.1 Méthodologie de mise en œuvre des études de faisabilité technique

La réalisation des études techniques doit suivre les étapes suivantes :

- ▷ une reconnaissance accompagnée d'une cartographie du site ;
- ▷ une phase de documentation qui consiste à réunir tous les documents disponibles concernant le site à étudier : cartes, pluviométrie, PCD, PCDEA, ... ;
- ▷ une étude sur terrain pour voir en détail la quantité et la qualité des ressources en eau, la topographie, le tracé du réseau, la géologie du terrain, les situations foncières, un diagnostic détaillé de la situation existante (dans le cas d'une réhabilitation) ;
- ▷ une analyse des données obtenues et des propositions de solution ;

3.2 Contenu du rapport d'étude technique

L'étude technique doit comprendre :

- ▷ une description des ressources en eau ;
- ▷ une description de la situation existante ;
- ▷ une analyse des besoins en eau ;
- ▷ un descriptif des solutions proposées qui comprend :
 - ✓ la ressource en eau adoptée pour chaque solution ainsi que le mode de captage et le descriptif de l'ouvrage de captage,
 - ✓ le traitement à adopter selon la qualité de la ressource en eau avec un descriptif des ouvrages et des équipements à mettre en place,
 - ✓ l'estimation de la capacité du réservoir de stockage et le descriptif de l'ouvrage et des équipements,
 - ✓ l'estimation des nombres de points d'eau à mettre en place : les points d'eau collectifs et les branchements institutionnels,
 - ✓ le calcul des conduites d'adduction et de distribution qui sont à établir avec des logiciels de type Epanet ou autres,
 - ✓ le résultat de la conception des équipements de pompes d'il y en a,
 - ✓ une estimation des coûts de chaque solution.

Ce rapport doit être complété par les éléments suivants :

- ▷ une carte d'ensemble du site étudié
- ▷ les plans de tous les ouvrages
- ▷ des plans pour les périmètres de protection de la ressource en eau
- ▷ le tableau de calcul du réseau d'eau ou des extraits des résultats de la simulation Epanet ou d'autres logiciels.

4. L'étude financière

L'étude financière consiste à estimer la rentabilité économique du projet sur la base de tarifs considérés comme acceptables lors de l'enquête socio-économique.

Cette étude est basée sur un plan d'affaires prenant en compte toutes les charges y compris l'amortissement des infrastructures et les taxes ainsi que les recettes d'exploitation.

L'étude doit faire ressortir le taux de rentabilité et les comptes d'exploitation annuels.

II. ETUDE D'AVANT-PROJET DETAILLEE (APD)

1. Objet des études d'avant-projet détaillée

Les études d'avant-projet détaillé sont des études techniques approfondies de la variante adoptée lors de la validation des études d'APS. L'objectif est de décrire le plus précisément et de la manière la plus détaillée possible le réseau et toutes les infrastructures à mettre en place.

2. Méthodologie de mise en œuvre de l'établissement de l'APD

Il s'agit de :

- ▷ effectuer des études de terrain pour avoir les informations et données nécessaires :
 - ✓ mesure de débit et études hydrogéologiques des captages,
 - ✓ levés topographiques des tracés de la ligne d'adduction et du réseau de distribution avec levés de détails des ouvrages (captages, ouvrage de traitement, réservoirs),
 - ✓ si nécessaire, des études géotechniques sur les sites d'implantation des ouvrages de génie-civil ;
- ▷ établir sur la base des informations recueillies (APS, études sur terrain, ...) le dossier d'avant-projet détaillé qui doit comprendre au moins :
 - ✓ une étude des ressources et une adéquation de celles-ci avec les besoins en eau,
 - ✓ une délimitation du périmètre de protection immédiat de la source à capter,
 - ✓ une évaluation des besoins en eau de la population, des entreprises et des institutions publiques,
 - ✓ une étude hydraulique du réseau d'adduction et de distribution d'eau,
 - ✓ un descriptif détaillé des infrastructures à mettre en place avec les plans détaillés, les notes de calcul ainsi que les spécifications techniques des ouvrages,
 - ✓ une estimation du coût de l'aménagement proposé avec le devis descriptif, les définitions des prix et le bordereau de détail estimatif des travaux ;
- ▷ faire valider par la commune et le ministère chargée de l'Eau les études réalisées.

3. Contenu du rapport d'avant-projet détaillée

Le document de l'APD doit contenir :

- ▷ un rappel de l'évaluation des besoins en eau ;
- ▷ une note descriptive détaillée de chaque ouvrage du système :
 - ✓ le captage y compris la définition de l'aire de protection à mettre en place,
 - ✓ le transport y compris les brise-charge éventuels,
 - ✓ le traitement,
 - ✓ le stockage,
 - ✓ la distribution,
 - ✓ le puisage (le branchement privé type et le modèle de kiosque à eau) ;
- ▷ le coût total du projet récapitulé dans un tableau ;

- ▷ un programme de réalisation compatible ;
- ▷ une description de la provenance des matériaux locaux.

En annexe seront portés :

- ▷ les notes de dimensionnement des ouvrages (note de calcul des diamètres des conduites, note de calcul du ferrailage des ouvrages en génie-civil...) ;
- ▷ le sous-détail des prix pour la détermination des prix unitaires ;
- ▷ le tableau de métré permettant de calculer les quantités ;
- ▷ le bordereau de détail quantitatif ;
- ▷ le bordereau de détail estimatif des coûts ;
- ▷ le plan de masse de l'ensemble du projet ;
- ▷ les plans détaillés des sites d'ouvrages (à partir des levés de détail) ;
- ▷ les plans des ouvrages (de forme et de ferrailage y compris accessoires) ;
- ▷ les plans des réseaux (profil et plan de masse des lignes d'adduction et de distribution, indiquant la position de l'ensemble des accessoires) ;
- ▷ le plan de détail de chaque passage particulier : traversée de thalweg, passage sous route goudronnée, traversée de rivière, ... ;
- ▷ le plan des périmètres de protection ;
- ▷ les spécifications techniques des travaux ;
- ▷ les procès-verbaux relatifs aux servitudes de passage.

Les notes de calcul feront apparaître les hypothèses de dimensionnement faites et le cas échéant une justification de leur écart par rapport aux normes.

Les plans seront réalisés avec un logiciel de dessin assisté par ordinateur adéquat, ils seront fournis en format papier sur A4 ou A3 de manière à permettre une bonne lisibilité sans rendre trop difficile la reproduction des supports.

Chapitre 3 : Les spécifications techniques

I. CONSIDERATIONS GENERALES DE CONCEPTION

1. Étude du terrain d'installation des ouvrages

- ▷ La conception doit tenir compte de l'aspect fonctionnel de l'ensemble des installations, des futures extensions, du drainage des sites, des routes d'accès ;
- ▷ il faut également prévoir toutes les dispositions pour permettre et faciliter les opérations de maintenance par un opérateur ;
- ▷ on prévoira l'ensemble des mesures nécessaires à la protection des sites contre les vols et le vandalisme (équipements dans des emplacements verrouillés, choix des sites, présence éventuelle d'un gardien) ;
- ▷ on veillera d'autre part à prévoir les espaces de stockage pour les produits consommables (produits chimiques, substrat de filtration) ;
- ▷ enfin, une attention particulière doit être portée aux conditions de sûreté, à la protection des installations électriques, aux modes de construction en zone inondable.

Pour chacune des études réalisées, les techniques employées ainsi que, si besoin, les notes de calculs associées devront être clairement exposées.

2. Durabilité

D'une façon générale, la conception, les matériaux et les équipements utilisés doivent fournir stabilité et durabilité, tout en garantissant la conservation de la qualité de l'eau.

3. Dispositifs pour mesures et analyses

Des dispositifs de comptage doivent être prévus aux endroits appropriés, notamment à l'aval immédiat du réservoir (compteur principal), et avant chaque branchement aux consommateurs.

Il faudra également faire en sorte que la prise d'échantillons d'eau en vue d'analyses soit possible aux points critiques du système, notamment à l'amont et à l'aval de la chaîne de traitement, entre chaque unité de traitement, et à l'aval du réservoir.

4. Zone de couverture

La zone de couverture est prédéterminée par le maître d'ouvrage, et est définie comme un ensemble de localités dans un ou plusieurs *fokontany*. Le maître d'œuvre a l'obligation de mettre en place des accès à l'eau du réseau (branchement privé, branchement partagé, kiosque à eau, ...)

pour chaque habitation contenue dans cette zone, *excepté* pour les zones présentant une densité trop faible, c'est-à-dire **moins de 25 personnes dans un rayon de 100 mètres**.

5. Nombre de personnes par point d'accès à l'eau

Dans le Manuel de procédures du ministère de l'Énergie et des Mines il est prévu « *qu'une borne-fontaine desserve 200 personnes en milieu urbain et entre 50 et 100 en milieu rural* ».

Il est prévu de promouvoir des branchements privés et des branchements partagés, chaque robinet d'un kiosque à eau devra alors pouvoir alimenter **100 personnes**. Cela implique, à raison de deux seaux par personne et d'une minute par seau, que chaque kiosque à eau soit ouvert environ **quatre heures par jour**.

Selon les normes ministérielles, le rayon d'influence d'un équivalent point d'eau est de 250 mètres. **On devra donc placer les kiosques à eau de manière à ce qu'aucune habitation faisant partie de la zone de couverture ne soit distante de plus de 250 mètres du point d'eau moderne le plus proche.**

6. Volume des pertes par fuites

En plus des critères de croissance, d'horizon de projet et de consommation, il faut tenir compte des pertes dans le réseau par fuites. Le volume de production devra être égal à 1,25 fois la consommation totale à l'horizon de projet, c'est-à-dire qu'on considère **20% de perte d'eau dans le réseau**. On tiendra compte de cette majoration pour le débit de la source, la conduite d'amenée et le réservoir.

7. Période et débit de pointe

Il importe de définir les coefficients horaires de débit, qui traduisent les variations de consommation pendant la journée. Le réseau sera dimensionné pour le débit maximal horaire journalier, appelé débit de pointe.

On appliquera des coefficients de pointe différents entre kiosques à eau et les branchements privés ou partagés. En effet, la consommation aux kiosques est très concentrée, du fait des horaires d'ouvertures, tandis que la consommation aux branchements est mieux répartie sur la journée.

On choisira les coefficients de pointe suivants :

- ▷ **deux fois la consommation moyenne pour les branchements privés ;**
- ▷ **trois fois pour les branchements partagés ;**
- ▷ **quatre fois pour les kiosques à eau.**

Ces coefficients seront vérifiés, notamment à l'aide d'enquêtes sur le terrain ciblé.

8. Sources d'énergie

On peut envisager les sources d'énergie suivantes (liste non restrictive) : réseau d'électricité de la Jirama, réseau d'électricité local, groupe électrogène dédié, énergie renouvelable (solaire ou éolienne), etc.

Une source d'énergie devient nécessaire si certains procédés ont été choisis : procédés de pompage, de mélange, d'injection, de lavage des filtres... Le choix de ces procédés devra tenir compte du coût local de l'énergie et de la volonté et capacité à payer des ménages pour le service.

9. Etude hydraulique et électromécanique

Le système est composé d'un ou plusieurs captages éventuellement équipés d'une station de pompage, d'un ou plusieurs réservoirs, de canalisations, d'accessoires divers dont la robinetterie et de branchements permettant de livrer l'eau aux usagers.

9.1 Le réservoir

Les fonctions générales assurées par les réservoirs sont multiples et de nature à la fois technique et économique.

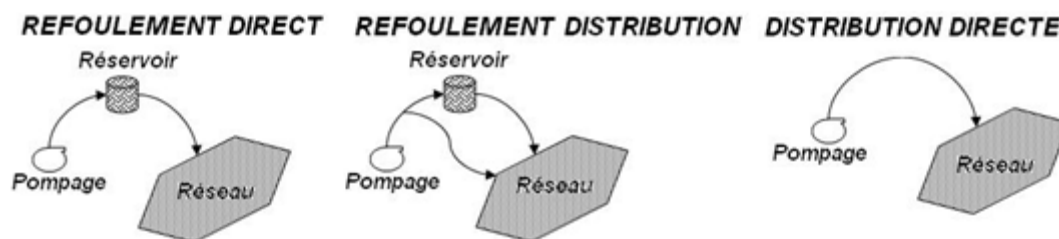
On distingue :

- ▷ les réservoirs au sol, enterrés ou semi-enterrés, qui s'intègrent très facilement dans l'environnement, dont les coûts de construction restent en général modérés, et qui présentent la meilleure accessibilité ;
- ▷ les réservoirs surélevés ou châteaux d'eau, dont la construction s'impose en zone plate, mais qui sont onéreux plus difficiles d'accès.

9.2 Les stations de pompage

Le plus souvent les pompes refoulent dans les réservoirs à partir du captage ou de la station de traitement. Il arrive cependant qu'elles assurent également une desserte directe sur le réseau. On parle alors de refoulement distribution. Dans certains cas même, il n'y a pas de réservoir, la distribution étant entièrement assurée par des pompes.

Figure 1 – trois formes de distribution



La capacité de l'installation de pompage est déterminée par la consommation moyenne du réseau et par la capacité des réservoirs. Toutefois, le débit ne sera pas toujours assuré par une pompe unique mais éventuellement par plusieurs groupes, dont le nombre, judicieusement choisi, permettra de suivre le plus près possible l'évolution de la demande.

9.3 Canalisation

De nombreux types de tuyaux sont disponibles pour constituer les diverses conduites. On peut les classer en fonction du matériau constitutif. Chaque matériau présente des avantages et inconvénients spécifiques.

Le choix d'un type de canalisation devra se faire en fonction de nombreux critères parmi lesquels :

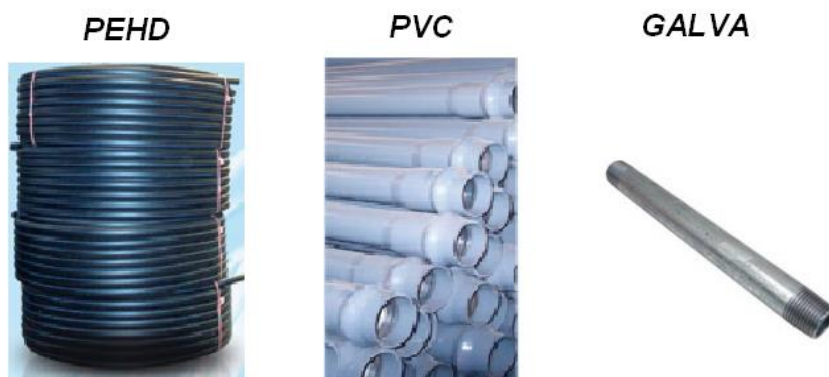
- ▷ les conditions d'utilisation (la pression) ;
- ▷ la nature des réseaux déjà existants ;
- ▷ la proximité des usines de fabrication ;
- ▷ les usages locaux ;
- ▷ les facilités d'approvisionnement en pièces spéciales et en pièces de rechange ;
- ▷ les facilités d'entretien et de modification,
- ▷ la qualification des exploitants ;
- ▷ le coût.

Les principaux matériaux employés sont :

- ▷ la fonte ductile ;
- ▷ le béton armé à âme tôle ;
- ▷ l'acier ;
- ▷ le PVC ;
- ▷ le polyéthylène haute densité (PEHD).

Trois types de matériaux uniquement sont conseillés par Méddea : le PVC, le PEHD et l'acier galvanisé. Ces matériaux ont l'avantage d'être courants à Madagascar, leur utilisation est bien connue et leur coût est raisonnable, les tuyaux plastique étant en particulier fabriqués sur l'île.

Figure 2 – Différentes tuyauteries suggérées



Robinetterie

On distingue les pièces spéciales ou pièces de raccordement qui permettent de réaliser les dispositions du réseau et les accessoires qui sont nécessaires au fonctionnement et à l'exploitation du réseau.

Parmi **les pièces de raccordement**, on peut mentionner :

- ▷ les coudes qui permettent d'effectuer les changements de direction ;
- ▷ les téés qui permettent la prise d'une canalisation secondaire sur une canalisation principale ;
- ▷ les croix (même rôle que les téés) ;
- ▷ les cônes ou réducteurs, pour raccorder des tuyaux de diamètres différents ;
- ▷ les manchons droits, pour raccorder deux tuyaux coupés, ou constituer un joint de démontage ;
- ▷ les bouts d'extrémité bride-emboîtement ou bride-uni, pour la mise en place des appareils hydrauliques à bride ou les plaques pleines en vue d'obturer la conduite.

Les principaux organes accessoires d'un réseau d'alimentation sont les suivants :

- ▷ les vannes et robinets qui ont pour fonction d'isoler une conduite. On distingue :
 - ✓ le robinet quart de tour, pour les petits diamètres et principalement les branchements,
 - ✓ les robinets-vannes pour les petits diamètres,
 - ✓ les vannes-papillon pour les gros diamètres ;
- ▷ Les ventouses, disposées dans les points hauts, qui ont pour rôle d'évacuer l'air contenu dans les conduites. En principe, elles sont constituées par un flotteur sphérique en caoutchouc logé dans le corps métallique. En position normale, le flotteur obture un orifice placé à la partie supérieure de l'appareil. Quand il y a accumulation de l'air, le flotteur descend et libère l'orifice par lequel l'air peut s'échapper. En pratique on leur préférera là où cela est possible des simples purges à air munies d'un robinet quart de tour ;
- ▷ Les purges, des robinets placés aux points bas des canalisations pour en permettre les vidanges. L'eau est de purge est éloignée de la canalisation de manière à éviter des phénomènes érosifs ;
- ▷ Les clapets qui ont pour fonction d'empêcher le retour de l'eau en sens inverse de l'écoulement prévu ;
- ▷ Les stabilisateurs et réducteurs de pression qui permettent de maintenir la pression dans une plage fixée, à l'amont ou à l'aval de l'appareil.

Figure 3: Différents accessoires disponibles sur le marché



Les branchements

Les branchements constituent le raccordement des clients au réseau de distribution. Ils sont constitués des éléments suivants :

- ▷ un collier de prise ;
- ▷ un tuyau de branchement ;
- ▷ un robinet avant compteur ;
- ▷ un compteur avec ses pièces de montage ;
- ▷ un clapet anti-retour.

On distingue :

- ▷ les branchements standards (\varnothing 20 mm)

- ▷ les branchements spécifiques (\emptyset supérieur à 20 mm)

Le calibre du branchement est calculé pour transiter le débit maximum prévu à la perte de charge admissible dans l'installation desservie. Cette dernière dépend de la pression disponible sur le réseau et celle qu'on souhaite au point de puisage le plus défavorisé.

Critère de dimensionnement

Le réseau doit être dimensionné pour transiter les débits les plus forts instantanées et assurer, en chaque point, une pression satisfaisante. Pour s'en assurer on utilisera un outil informatique professionnel, par exemple le logiciel gratuit Epanet.

II. CAPTAGE

1. Choix de la ressource en eau à capter

La sélection de la ressource en eau à utiliser doit être basée sur les critères suivants : qualité et quantité d'eau, proximité avec la zone à alimenter, possibilité d'acheminement gravitaire, possibilité de mise en place d'un périmètre de protection, facilité d'accès, utilisation actuelle.

- ▷ On choisit une ressource en eau dont la quantité permet de satisfaire les besoins en eau de la population. Le débit constaté de la ressource en période d'étiage doit permettre de satisfaire la demande à l'horizon de projet, majorée d'une marge de sécurité de 10 %. On veillera à analyser le comportement de la source pendant la période d'étiage, cette dernière étant différente pour chaque ressource et à déterminer.
- ▷ On choisit une ressource en eau de la meilleure **qualité** possible. Les principaux critères de qualité à vérifier sont la teneur en **coliformes fécaux** (test bactériologique coliformes totaux), **la turbidité, le pH, et enfin l'odeur et la couleur de l'eau**. On prendra particulièrement garde à la teneur en fer de l'eau sur les hautes terres, et à la salinité sur les terrains sédimentaires. On sera également attentif à l'environnement de la ressource, pour détecter les risques de pollutions : proximité du bétail, de latrines, cultures avec ou sans engrais ou pesticides, nature des roches et proximité d'activités industrielles polluantes... La qualité de l'eau peut être variable au cours de l'année : période d'épandage, pollutions plus concentrées pendant l'étiage, turbidité en saison des pluies. Il faudra anticiper ces variations par le biais d'enquêtes et de mesures. Une ressource en eau de qualité imparfaite n'est pas inutilisable, mais son utilisation imposera l'emploi de traitements plus ou moins coûteux.
- ▷ Il existe de plus deux critères de choix pour la ressource, directement liés au coût des travaux et de l'exploitation :
 1. la proximité de la ressource : plus elle est proche de la zone à alimenter, moins le coût de l'adduction sera important ;
 2. la possibilité de réaliser une adduction gravitaire, déterminée par l'écart d'altitudes entre ressource et la zone à alimenter, sera à rechercher.
- ▷ On vérifiera que la mise en place d'un **périmètre de protection** autour de la ressource est possible. Le périmètre de protection est une zone vierge de culture (seules les cultures arboricoles sont tolérables) et interdite au passage des hommes et des animaux, qui doit protéger la

ressource de toute contamination, et qui doit être mise en place en même temps que le captage. Il doit donc être entouré sur un rayon suffisant d'un terrain disponible, c'est-à-dire possédée, achetable ou louable par la commune.

- ▷ L'**accessibilité** de la ressource est un critère important car elle détermine le coût de transport des personnes et matériaux liés à la construction et l'entretien des ouvrages.
- ▷ On vérifiera enfin si la ressource est complètement **disponible**, ou si une partie de son débit est déjà utilisée : autre réseau AEP, agriculture... Le cas échéant, il faudra entrer en discussion avec les utilisateurs actuels pour déterminer les détails d'exploitation.

2. L'évaluation des ressources en eau

Dans tous les cas, il faut étudier aussi exactement que possible le régime hydrologique des points de captage, notamment lorsqu'il s'agit de sources dont le rendement peut être très variable en cours de l'année.

Il convient de s'assurer, par des jaugeages répétés sur une assez longue période, que le débit du point d'eau en saison sèche permet de fournir la quantité d'eau nécessaire.

Si le débit du cours d'eau est insuffisant pendant cette saison, il est souvent possible de constituer une réserve à l'aide d'un barrage-réservoir.

Les eaux souterraines présentent généralement une bonne qualité microbiologique et sont peu vulnérables aux pollutions externes. Toutefois, il faut faire exception des cas tels que celui des karsts ou des certains contextes fracturés (infiltration et circulation rapides de l'eau), ou encore des nappes superficielles non protégées par des terrains réalisant une filtration naturelle.

Cette bonne qualité microbiologique de l'eau souterraine, particulièrement si elle est exploitée par des forages, en fait une ressource idéale pour la consommation humaine. Le principal risque est celui de la contamination chimique, en particulier pour la présence de minéraux toxiques en quantité (arsenic, fluor, manganèse et fer par exemple) dans des contextes très spécifiques.

Pour les ouvrages de captage d'eau souterraine des essais de pompage permettent de déterminer la capacité de la nappe.

3. Rôle de la structure de captage

On mettra en place une structure de captage, dont le rôle est de prélever la quantité d'eau nécessaire, tout en assurant une certaine protection de la ressource, et en prévenant l'entrée des débris et des matières en suspension les plus importants. Il faudra prévoir les dispositifs nécessaires à la non-obturation des dispositifs de filtration.

4. Périmètre de protection

On mettra systématiquement en place un périmètre de protection autour de la ressource captée. Les périmètres de protection proposés doivent assurer une sécurité optimale des eaux distribuées sans pour autant avoir une extension excessive, incompatible avec les contraintes de coût ou d'occupation du territoire.

Un périmètre de protection est composé de :

- ▷ un périmètre immédiat, ayant pour fonction de protéger la ressource en eau, d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et de l'environnement, d'éviter que des déversements de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage. Il est nécessaire de protéger la ressource avant, pendant et après la période des travaux.
- ▷ un périmètre de protection rapproché, ayant pour but de protéger le captage vis-à-vis de la migration souterraine de substances polluantes
- ▷ un périmètre de protection éloigné, qui complète le précédent. Même au-delà du périmètre de protection rapproché, on veillera à la non-proximité d'équipements polluants, en particulier s'ils sont enterrés (latrines à fosses non étanches par exemple).

Dans la plupart des cas, il sera judicieux de conserver ou créer une couverture végétale du bassin versant, à base d'arbres, de buissons et d'herbes, pour stabiliser le sol contre l'érosion, et dans une certaine mesure augmenter la capacité de rétention d'eau du sol. On évitera l'utilisation de pins (semblent jouer un rôle dans l'acidité de l'eau) et d'eucalyptus (semblent avoir une influence néfaste sur les débits des sources). On évitera toutefois la présence d'arbres à moins de 10 m du captage, pour prévenir tout risque de détérioration des ouvrages et conduites liée au développement des racines.

Le choix du périmètre de protection devra être défini au cas par cas pour chaque ressource utilisée, en tenant compte des recommandations ci-dessous. Le choix du périmètre de protection devra être justifié.

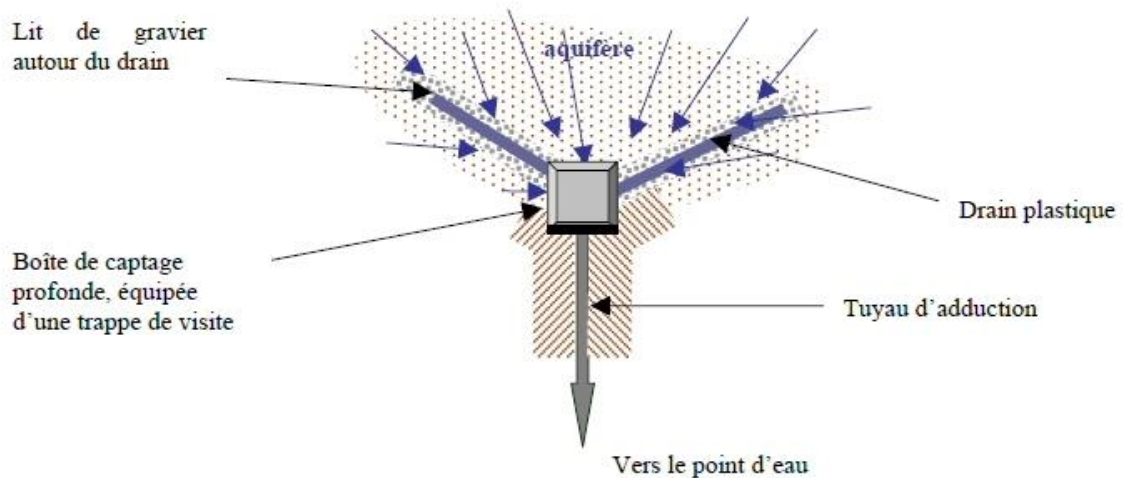
5. Mode de captage de source

Une source est une zone d'affleurement d'une nappe d'eau souterraine. La qualité de l'eau de ce type de ressource est généralement bonne juste à l'affleurement, en particulier en ce qui concerne la pollution liée aux matières organiques. On prendra garde cependant à l'utilisation de pesticides dans la zone environnante : s'il existe des activités agricoles en amont, on réalisera des tests de présence de nitrites/nitrates en plus des tests bactériologiques, turbidité et pH. On sera attentif également à la nature des sols, ayant une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau.

C'est la mise en place des équipements de captage qui garantira sa non-contamination. Un captage est composé d'un drain et d'une chambre de captage, et est entouré d'un périmètre de protection.

- ▷ Le rôle du **drain** est de diriger le maximum d'eau vers l'ouvrage de captage. Il s'agit d'une zone déblayée puis remblayée avec un substrat perméable et filtrant (gravier roulé par exemple), équipée de drains crépines, protégée des eaux de surface par un couvert étanche (béton habituellement), et limitée coté aval par une paroi guide (en béton ou maçonnerie habituellement) jusqu'à la chambre de captage. Dans la mesure du possible, on fera en sorte que le drain soit situé à quelques mètres de profondeur (3 m de préférence, 1 au moins), pour éviter une contamination de l'eau captée par l'eau superficielle. On choisira les caractéristiques du drain (emplacement, forme, volume) tel que le maximum d'eau puisse être captée (captage de source diffuse par drain large, rabattement de la nappe plaçant le drain en profondeur). On prendra les précautions nécessaires pour ne pas altérer la ressource pendant les phases d'excavation et de construction, en évitant notamment mises en charge de la nappe et altérations des couches imperméables supportant l'aquifère.

Figure 4 – Captage d'une source



- ▷ Le rôle de la **chambre de captage** est de protéger la ressource à partir du moment où elle affleure. C'est pourquoi le bassin de captage devra être à l'abri des eaux de ruissellement et des pluies, et par conséquent couvert, étanche, et dans la mesure du possible à l'écart des fortes zones de ruissellement (on évitera par exemple la proximité des lits de cours d'eau ou les sillons de ruissellement). On cherchera à réaliser un ouvrage suffisamment haut pour éviter qu'il soit submergé par les eaux de ruissellement, en plaçant son sommet à un mètre au dessus du sol au minimum. On pourra équiper l'ouvrage de captage de crépines et d'un dessableur si nécessaire, à condition de protéger les équipements du vol, et de mettre en place un entretien régulier des ouvrages de dessablage. On équipera la chambre de captage d'un dispositif de trop plein, capable d'évacuer le débit maximal de la source, et d'un dispositif de vidange permettant d'évacuer les sables.
- ▷ Le **périmètre de protection rapproché** à mettre en place est une zone de 20 m vers l'amont, 5 m latéralement de part et d'autre, et 2 m vers aval. Ces valeurs sont des minima, et il faudra justifier les choix fait en pratique, notamment d'après des études sur la topographie et la nature du terrain. En particulier, pour les sources à débit supérieur à un moment donné à 4 l/s, on prendra des précautions supplémentaires. Lorsque « l'amont » n'est pas nettement défini (cas des sources émergeant sur faibles pentes) on élargira le périmètre pour prendre en compte l'incertitude. Le périmètre sera signalé par un panneau et délimité par une clôture ou une haie vive. L'ouverture dans la clôture ou haie vive sera conçue de manière à empêcher le passage des animaux (ouverture en chicane par exemple). Si nécessaire, le captage sera bordé en amont d'un fossé d'au moins 50 cm de profondeur, pour dévier les eaux de ruissellement.

6. Pompage en nappe

Une nappe est un écoulement d'eau souterraine caractérisée par son épaisseur, sa profondeur, sa qualité d'eau, son coefficient d'emmagasinement et sa vitesse de renouvellement. Elle peut être libre ou captive.

Des précautions particulières s'appliquent à l'exploitation de ce type de ressource :

- ▷ La qualité de l'eau de ce type de ressource est semblable à celle décrite pour le cas des sources. On suivra donc les recommandations du paragraphe précédent. On prendra particulièrement garde à la teneur en fer dans les nappes alluviales.
- ▷ On devra veiller à ne pas surexploiter la nappe : son niveau doit rester stable d'une année sur l'autre. Des essais de pompage doivent être réalisés sur chaque point de production et avant leur équipement. La méthode d'essai doit être clairement indiquée dans les spécifications du projet. Elle doit inclure un pompage d'essai sur le maximum de rabattement prévu (au moins 1,5 fois la quantité prévue) et un pompage constant à 1,5 fois la capacité de pompe à installer pendant 8 heures.
- ▷ On évaluera la dureté de l'eau, car une eau particulièrement agressive implique un choix particulier pour les pompes et équipements associés.

Protection de la ressource :

- ▷ **Périmètre de protection immédiat** : les ouvrages de captage d'eau souterraine doivent être parfaitement étanches pour éviter de contaminer les ressources en eau captées en introduisant eau de ruissellement ou d'une nappe située au dessus de la nappe ressource.
- ▷ **Périmètre de protection rapproché** : le choix du périmètre de protection devra être justifié par des études concernant notamment la topographie du site, la nature des terrains et la profondeur du forage. On respectera cependant une distance minimale de 10 m autour du point de forage pour le périmètre rapproché, constituant une zone vierge de culture, d'élevage, de latrines, de trous à ordures et autres sources de pollution. Cette valeur est adaptée aux milieux poreux et non aux milieux fracturés ou karstiques : pour ces derniers, il sera nécessaire d'établir des périmètres de protection plus importants. Pour les pompages à faible profondeur (inférieur à 5 m), on étendra ce périmètre à 20 m.
- ▷ **Profondeur** : on fera en sorte qu'il existe une profondeur minimale de 2 m entre le sol et le toit de la nappe exploitée (ou entre le sol et le fond des latrines si elles sont présentes), sur toute l'étendue des zones habitées. Comme pour le périmètre de protection, il faut réévaluer ces valeurs pour les cas des milieux fracturés ou karstiques.

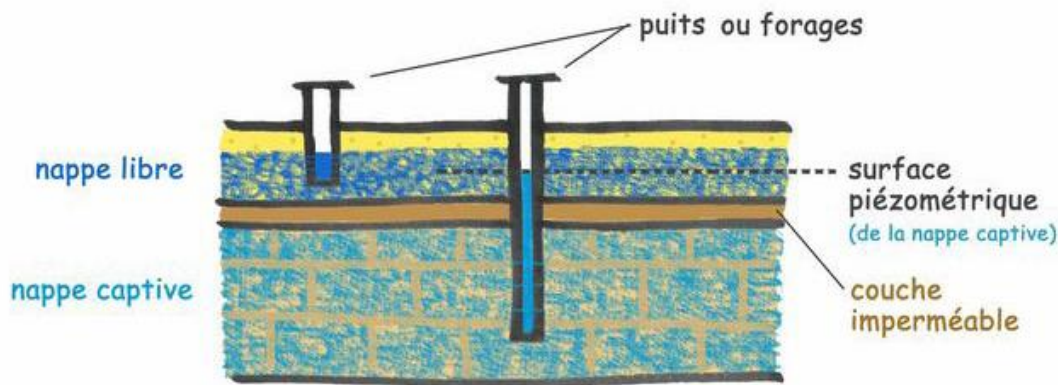
L'ouvrage de pompage devra respecter les caractéristiques de conception qui suivent :

- ▷ **Tubages** : le matériau utilisé pour le tubage doit avoir une qualité qui puisse résister à la corrosion et à la pression. Le matériau le plus utilisé pour les forages peu profond est le PVC. Le bas du tubage doit être constitué d'un tube plein sur 0,5 m à sa base pour servir de décanteur ; le haut du tubage doit être placé au minimum à 0,5 m au dessus du sol, ou au dessus du plus haut niveau d'inondation le cas échéant.
- ▷ **Crépines du tubage** : les crépines doivent avoir le coefficient d'ouverture le plus élevé possible et être en contact avec le massif filtrant. Les orifices doivent comporter des lèvres lisses, sans ébarbures. La vitesse recommandée de pénétration de l'eau dans la crépine ne doit pas excéder 3 cm/s. Elle doit être faite en matériau de qualité qui puisse résister à la corrosion. Les crépines doivent être placées telles qu'elles restent complètement immergées quelque soit le mode d'exploitation.
- ▷ **Massif filtrant** : le gravier utilisé pour le massif filtrant doit être composé de particules bien arrondies, lisses et uniformes, dimensionnées de manière appropriée, et composé de 95 % d'un matériau non soluble (calcaire à proscrire). Le gravier doit être lavé avant le placement. Le massif de gravier doit être placé dans une opération continue. Il doit avoir son niveau supé-

rieur au moins 2 m au dessus du toit aquifère et de la zone crépinée. L'épaisseur du massif filtrant ne doit pas être en dessous de 100 mm et il est inutile de dépasser 200 mm.

- ▷ **Cimentation** : il est indispensable de protéger le forage des pollutions extérieures. Un bouchon d'argile ou un mélange de bentonite et ciment peut être coulé au dessus du massif filtrant jusqu'à la surface du sol pour éviter toute communication entre la surface et la zone captée. Si du lait de ciment est utilisé, ce dernier doit être séparé du massif filtrant par un bouchon d'argile, de façon à ce que le ciment ne colmate pas le massif filtrant. Dans le cas d'un forage profond, un bouchon d'argile est installé au dessus du massif filtrant sur quelques mètres et un deuxième bouchon est mis en place sur les deux derniers mètres avant la surface.
- ▷ **Développement** : tous les forages doivent être développés.

Figure 5 – Profil piézométrique d'un forage



7. Cours et étendues d'eau

Il est possible de capter l'eau des rivières, lacs naturels ou artificiels, et autres eaux superficielles. Cependant, leur captage implique des précautions particulières :

- ▷ La variabilité saisonnière et annuelle des quantités d'eau est particulièrement forte pour ce type de ressource, et une grande attention doit donc être portée à l'étude des périodes d'étiage. Comme ces ressources sont bien visibles, on pourra se fier à des témoignages de la population. On prendra garde également aux autres usagers de l'eau : agriculture, élevage, autres réseaux d'eau potable, éventuellement hydroélectricité et débits réservés pour l'environnement.
- ▷ La qualité de ces eaux est généralement mauvaise, et son utilisation impliquera donc des traitements relativement coûteux.
- ▷ En particulier, à Madagascar, les étendues d'eau non courantes présentent fréquemment des fortes teneurs en fer.
- ▷ La variabilité saisonnière de la qualité de ces eaux est également forte : la turbidité augmente en saison des pluies, bien que ce phénomène puisse garder une ampleur limitée si le couvert végétal du bassin versant est suffisant.

L'ouvrage de captage doit respecter les caractéristiques de conception suivantes :

- ▷ On capte les eaux superficielles à la profondeur telle que l'eau soit de la meilleure qualité. Cela dépend de la quantité de corps flottants, et des variations verticales de la turbidité, salinité et autres paramètres de qualité. Dans le cas d'un captage en surface, il convient de mettre en place des équipements de dégrillage afin de stopper les corps flottants, suivi d'un micro-tamissage. Dans le cas d'un captage en profondeur, un micro-tamissage par crépine est suffisant.
- ▷ Dans le cas où le niveau d'eau varie fortement, on pourra utiliser des captages sur flotteur.
- ▷ La vitesse de l'eau dans les crépines ne devra pas dépasser 3 cm/s.
- ▷ Dans la plupart des cas, il est nécessaire de protéger les crépines : par exemple par l'utilisation d'un massif filtrant en gravier ou enrochement, ou en plaçant les crépines au fond d'un puisard d'aspiration.
- ▷ On pourra placer un dé-sableur grossier (simple fosse étanche permettant une première décantation par exemple) si nécessaire, par exemple si une station de pompage se situe immédiatement à l'aval du captage.
- ▷ Pour la réalisation de l'ouvrage, on pourra envisager l'utilisation de structures en gabion, moins coûteuses que celles en béton.
- ▷ Dans le cas des rivières, on placera le captage en amont des villages et des autres sources de pollution dans la mesure du possible.
- ▷ On prendra garde aux risques d'érosion au niveau des berges, de part et d'autre de l'ouvrage. On pourra protéger la berge par des enrochements.
- ▷ **Périmètre de protection** : on justifiera le choix des périmètres de protection par des études concernant notamment la vitesse de dilution des pollutions dans le cours ou l'étendue d'eau. On pourra chercher à maîtriser l'usage de l'eau en installant des zones réservées : par exemple, dans le cas des rivières, zones pour lessive à l'aval de la prise d'eau, zone d'alimentation pour le bétail très à l'aval.

III. POMPAGE POUR RELEVAGE

Il peut être nécessaire de relever par pompage le niveau d'eau dans le système.

Cette opération est à réaliser si possible à l'aval du système de traitement, et doit être réalisée à l'amont d'un réservoir.

La station de pompage doit être conçue de façon à maintenir la qualité de l'eau.

- ▷ **Emplacement et protection** : la station doit être élevée à au moins 50 cm au dessus du plus haut niveau d'inondation connu. Le site doit être accessible, et être protégé de l'intrusion des animaux. La station doit être placée sur un site permettant le drainage correct des eaux de surfaces.
- ▷ **Conception** : la construction doit être durable, résistante aux intempéries, et disposant de portes pouvant être verrouillées. Le sol doit être apte à drainer l'eau, de façon à ne jamais risquer de détériorer la qualité de l'eau.

- ▷ **Choix du type de pompe :** on choisira une pompe de type immergée, pour éviter tout problème de cavitation.
- ▷ **Pompes submersibles :** le câble électrique doit être fermement fixé sur le tuyau de canalisation verticale à intervalle de 6 m au maximum. Si possible, on placera la pompe au dessus de la zone crépinée, et non au même niveau, pour garantir une répartition uniforme de la vitesse de l'eau dans les crépines, permettre le bon refroidissement de la pompe et prévenir les risques de chocs entre la pompe et les parois crépinées. Dans le cas contraire, on placera une jupe sur la pompe pour réorienter les lignes de courants sous le moteur. Pour limiter les pertes de charge, on choisira pompe et tubage tels qu'il y ait 25 mm de jeu entre eux. Un espace plus grand compromettrait le refroidissement de la pompe.
- ▷ **Tuyaux de refoulement :** les tuyaux de refoulement doivent être conçus de sorte que la perte de charge par frottement soit réduite au minimum. Ils doivent inclure des vannes de commande situées au dessus du plancher de l'abri de la pompe, et être également protégés contre l'entrée de toute source de contamination. Les tuyaux de refoulement doivent être équipés d'un clapet anti-retour. Toutes les tuyauteries, vannes et appartenances exposés doivent être protégés des dommages et correctement ancrés.
- ▷ **Vannes :** Pour le pompage d'eau de surface, le système de pompage doit être équipé de vannes à l'amont et à l'aval, de façon à permettre les opérations de maintenance et réparation.
- ▷ **Mesures :** le système de pompage peut être équipé de manomètres à l'amont et à l'aval.
- ▷ **Temps de fonctionnement des pompes :** il doit être choisi en fonction des recommandations constructeurs et des caractéristiques de la nappe. Dans le cas d'un raccordement au réseau de la Jirama, on tiendra compte des différentes périodes de tarification journalière (3 périodes : heures normales, pleines et creuses).

IV. TRAITEMENT

La qualité d'une eau brute est rarement suffisante pour pouvoir la consommer telle quelle sans traitement. Cette partie décrira le dimensionnement de certaines solutions techniques adaptées pour produire une eau répondant aux normes malgaches.

1. Critère de potabilité d'une eau

Le système AEP doit fournir aux usagers de l'eau consommable sans danger dans le long terme. L'eau livrée doit respecter les normes malgaches.

Il est indispensable de vérifier le respect de ces normes non pas à un moment donné, mais tout au long de l'année. En effet certaines pollutions sont saisonnières, comme celles liées à l'élevage ou l'agriculture, ou bien comme l'augmentation possible de la turbidité à la saison des pluies. Les équipements à mettre en place doivent rendre l'eau potable tout au long de l'année.

Les indicateurs à vérifier régulièrement sont listés ci-dessous. Ils sont à vérifier à la sortie du réservoir comme au niveau du branchement le plus éloigné.

Tableau 2 – Critère de potabilité d'une eau

Elément	Limites	Remarques
Chlore	Entre 0,5 et 2 mg/l à la sortie du réservoir, et entre 0,2 et 2 mg/l au branchement le plus éloigné	Ces valeurs permettent une désinfection efficace tout en limitant les désagréments dus au chlore (goût, odeurs, effets néfastes à long terme)
Turbidité	5 NTU au maximum	La valeur de 5 NTU est choisie pour limiter les besoins en chloration et la production de sous produits de chloration néfastes
pH	Entre 6 et 9	Le pH doit être mesuré sur place car il a tendance à changer avec le stockage

En plus de ces analyses très régulières de l'eau, on procédera avant la mise en place du réseau et éventuellement annuellement à une analyse physico-chimique et bactériologique complète de l'eau auprès d'un organisme agréé.

Le respect des 3 critères ci-dessus permettent de déclarer une eau potable au moment de l'analyse, sauf dans les cas suivants :

- ▷ L'**odeur** de l'eau est désagréable ou prononcée, ou bien l'eau présente une coloration. Dans ce cas on réalisera des analyses permettant d'en trouver la cause. De même si à l'issue du traitement un **goût** prononcé persiste.
- ▷ La **température** de l'eau est supérieure à 25 °C. Dans ce cas l'eau n'est pas utilisable.
- ▷ La salinité de l'eau est prononcée dans la région, dans ce cas on réalisera en plus des analyses de conductivité et de taux de fluor.
- ▷ La ressource en eau se situe dans une zone, ou sous son influence, d'utilisation importante d'engrais (**agriculture intensive**) ou soumise à une forte **pollution urbaine** (nombreuses latrines, eaux usées). Dans ce cas, on réalisera en plus des analyses de présence de **nitrites** et **nitrites**.
- ▷ La ressource est potentiellement soumise à une **pollution industrielle**, ou d'autre ordre. Dans ce cas, on réalisera les analyses permettant de quantifier l'influence de cette pollution particulière.
- ▷ La ressource est située dans une zone d'**exploitation minière**. Dans ce cas, on réalisera des analyses plus approfondies par exemple sur les métaux lourds ou l'arsenic.

Pour ces analyses complémentaires, les indicateurs à respecter sont les suivants, au niveau du réservoir et du branchement le plus éloigné :

Tableau 3: Normes limites de potabilité

Elément (unité)	Limites maximum	Remarque
Conductivité (µS/cm)	3 400 en zone côtière, 2 500 sur les hautes terres	Au-delà de 2 000, l'eau a un goût salé et peut être rejetée par les consommateurs. Cependant, sur les côtes, ils y sont souvent habitués.
Fluor (mg/l)	8 en zone côtière, 3 sur les hautes terres	
Nitrates (mg/l)	100	
Nitrites (mg/l)	3	
Fer (mg/l)	4,5	Au-delà de 2 mg/l il faut s'attendre à des réticences sérieuses de la population
Manganèse (mg/l)	1,5	Au-delà de 0,5 mg/l il faut s'attendre à des réticences sérieuses de la population
Arsenic (micro g/l)	50	

Pour les éléments non mentionnés dans ces tableaux, on se réfèrera au décret ministériel 2003-941 ou aux normes de l'OMS.

La plupart des analyses ci-dessus peuvent être réalisées sur le terrain, par colorimétrie (ou conductimètre pour la conductivité). En cas d'impossibilité d'analyse sur le terrain, on fera appel aux organismes agréés : on pourra réaliser le test bactériologique à l'Institut Pasteur d'Antananarivo, et la Jirama propose un test physico-chimique complet si besoin, l'INSTN permet de faire l'analyse de la présence de certains métaux lourds ou de l'arsenic.

2. Traitement minimal

Quelque soit la ressource utilisée et la nature du réseau, on mettra en place au minimum une désinfection de l'eau. Dans le cas d'une eau potable, cette désinfection est tout de même nécessaire pour garantir la conservation de la qualité de l'eau dans le réseau, et permet aussi une marge de sécurité vis-à-vis de pollutions inattendues (introduction d'eau souillée suite à rupture de conduite ou dans le réservoir, changement de qualité de l'eau de la source...).

3. Chaîne de traitement

Si besoin, et en complément de la désinfection, on mettra en place une chaîne de traitement des eaux à l'amont des consommateurs, permettant d'atteindre les critères de potabilité décrits ci-dessus. On dispose des procédés suivants :

- ▷ La décantation, avec ou sans l'injection de produits chimiques. En éliminant une partie des matières en suspension, la décantation permet de diminuer la turbidité, ainsi que d'autres pollutions dans une moindre mesure. Elle est sans effet sur les pollutions dissoutes.
- ▷ On peut compléter le traitement par décantation en plaçant à sa suite un système de filtration. Ce dernier ne doit être utilisé sans décantation préalable que dans les rares cas où l'eau est suffisamment claire pour ne pas entraîner le colmatage trop fréquent du filtre.
- ▷ On peut aussi placer dans cette chaîne de traitement des systèmes d'aération ou de correction de pH.
- ▷ La désinfection prend place à la fin de la chaîne de traitement, à l'amont du réseau de distribution.

D'une façon générale, les dispositifs de traitement doivent être construits de manière à pouvoir être mis hors service indépendamment les uns des autres, et sans perturber l'approvisionnement en eau. De plus, on veillera à installer des systèmes de vidange et de trop plein sur tous les ouvrages qui en ont besoin.

On placera la chaîne de traitement en amont du réservoir, si possible sur le même site que ce dernier, pour limiter les déplacements des techniciens et les mesures de protection.

4. Dispositifs de dosage de réactifs

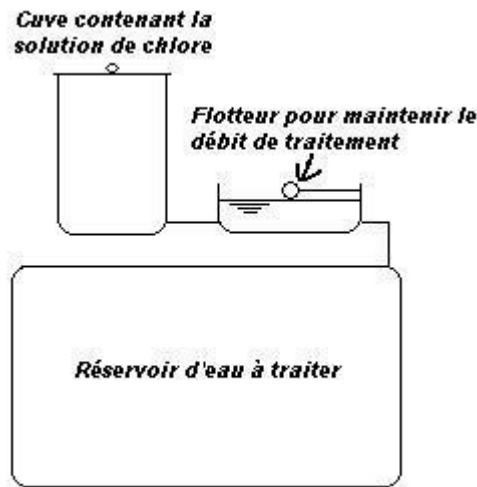
L'utilisation de réactifs additionnels dans la chaîne de traitement est nécessaire au moins pour la désinfection. Le réactif doit être dosé de façon à ce que la quantité injectée soit proportionnelle au débit d'eau arrivant au réservoir. Le système doit être conçu de façon à être précis, sans toutefois nécessiter d'interventions trop fréquentes d'un opérateur. Il est important que le dosage soit régulier pour garantir l'efficacité de l'opération.

Le réactif est dilué par l'opérateur à la concentration voulue dans une cuve dédiée.

■ Pour un débit constant ou ayant une variation saisonnière

On pourra utiliser un système de cuve à charge constante. Il est composé d'un bac de volume important contenant la solution à doser connecté à un contenant plus petit dont le niveau est maintenu par un robinet à flotteur. Un débit constant est obtenu avec cette charge constante. Il peut être réglé avec une vanne de réglage. La solution à doser est alors versée gravitairement dans le flux d'eau à traiter.

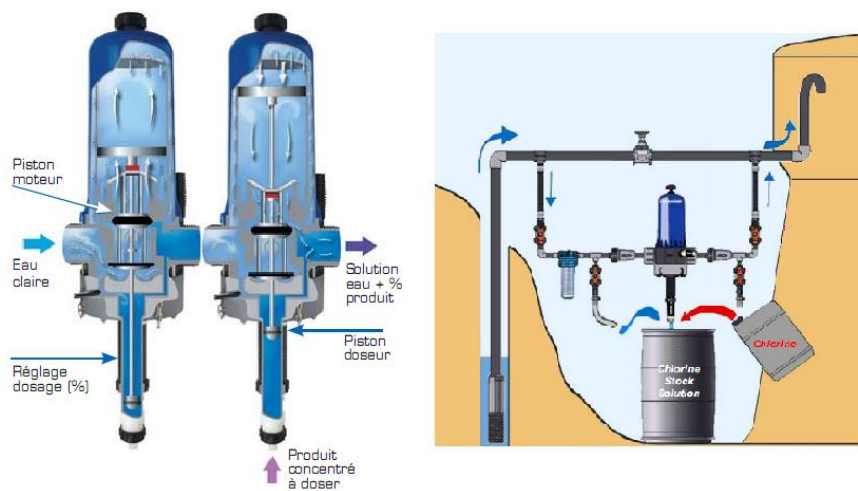
Figure 6 – Mode de chloration si le débit d'eau brute est constant



■ **Pour un débit variable (par exemple si l'exhaure utilise une énergie renouvelable)**

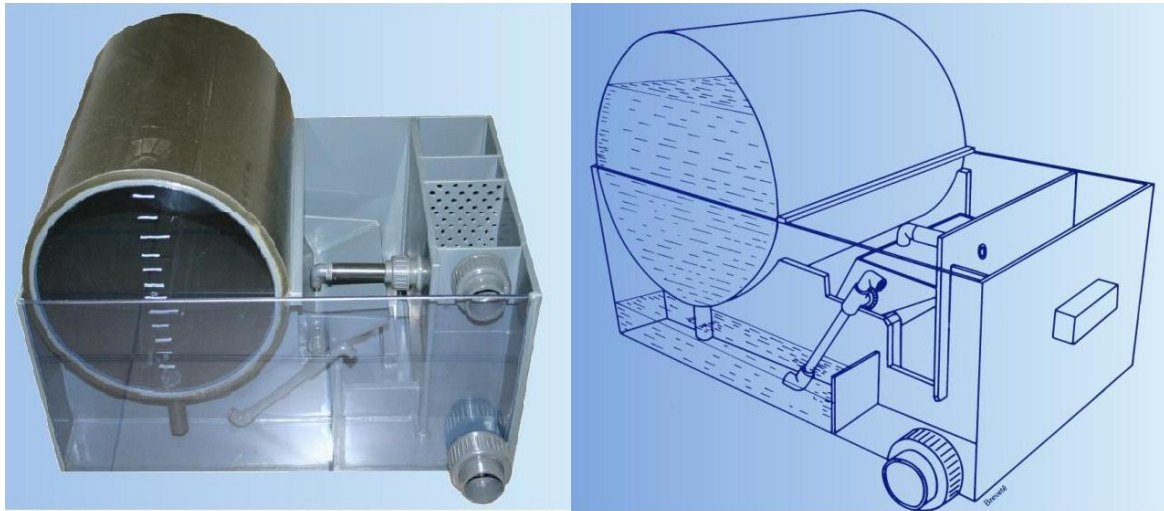
Si le débit d'eau brute est variable, il faut mettre en place un dispositif plus complexe. Il existe par exemple le système de dosage à pompe piston entraîné hydrauliquement nommé de **type Dosatron**. Le modèle de Dosatron étant d'autant plus coûteux que le débit d'eau est important, on étudiera la possibilité de le brancher sur une dérivation du débit principal, par exemple de 1/3 du débit total, le flux rejoignant ensuite le réservoir. Le Dosatron est actuellement disponible auprès de quelques fournisseurs à Madagascar. Cependant, le problème suivant est signalé : dans le cas fréquent et difficilement évitable de présence d'air dans les conduites, l'irrégularité rapide du débit peut rendre le dosage très imprécis. Ainsi, l'utilisation de ce système imposerait des précautions particulières au niveau de la conduite d'amenée : limiter les points hauts et y placer des ventouses par exemples. Ce système, qui se place en ligne sur le réseau, c'est-à-dire sous pression, génère des pertes de charge de l'ordre de 0,5 bars.

Figure 7 – Le Dosatron : chloration à débit variable



Système Garhin : Ce système conçu par chaudronnerie plastique est composé de deux godets basculants sur le même axe : l'un est entraîné par le flux d'eau brute, tandis que l'eau entraîne un flux d'une solution de chlore. Initialement fabriqué en Alsace, ce système est coûteux. Mais compte tenu de sa simplicité, un transfert de technologie vers des ateliers à Madagascar, où il pourrait être fabriqué pour un coût intéressant est intéressant. La fondation Practica travaille actuellement sur ce transfert de technologie.

Figure 8 – Le système Garhin



Il faut également prévoir les dispositifs qui permettront de vérifier le dosage des réactifs juste avant le départ dans le réseau de distribution.

5. Décantation

Un système de décantation permet aux particules en suspension contenues dans l'eau de se déposer au fond de l'ouvrage. Un système d'évacuation des boues doit être prévu, et il est possible d'ajouter des réactifs, dits coagulants ou flocculants, pour optimiser le processus.

- ▷ **Bassin de décantation** : la vitesse hydraulique se situe classiquement entre 0,3 et 0,8 m/h. Des dispositifs d'arrivée doivent être conçus pour distribuer l'eau également et à vitesse uniforme (paroi de diffusion). Les dispositifs de sortie doivent éviter aussi bien le passage de matières en suspension que celui de matériaux flottants, en couplant des déversoirs et des orifices noyés par exemple.
- ▷ **Collecte et drainage des boues** : des collecteurs pour drainer les boues doivent être prévus. Les bassins doivent également être équipés des moyens pour les rincer. Les fonds des bassins doivent être inclinés vers le drain au moins de 45 degrés. L'entrée et l'évacuation des boues doivent tenir compte des risques d'obstruction. Les vannes doivent être placées en dehors du réservoir pour faciliter leur accessibilité.
- ▷ **Unité de coagulation** : l'utilisation d'un coagulant préalablement à la décantation, classiquement le sulfate d'alumine, permet d'optimiser le processus : en effet le coagulant fonctionne comme un liant capable de rassembler les particules en suspension, de les alourdir et donc d'accélérer leur chute. Le coagulant doit être correctement mélangé aux eaux à traiter : pour

cela, il faut maintenir une agitation forte, soit à l'aide d'un mélangeur mécanique, soit par le placement de coudes le long de la conduite, d'obstacles, de chicanes, de chutes ou de changement de direction sur le trajet de l'eau. On peut par exemple injecter le coagulant dans la conduite d'amenée en aval du décanteur, et placer une série de coudes à 90° pour produire le mélange. Le dimensionnement précis est basé sur la valeur du gradient de vitesse : de 100 à 200 s⁻¹.

- ▷ **Unité de floculation** : entre la phase de coagulation et celle de décantation, il est possible de prévoir une phase dite de floculation, caractérisé par une vitesse de mélange modérée, permettant le rassemblement des particules en suspension (on parle de création de floccs). La valeur du gradient de vitesse doit s'étendre entre 20 et 100 s⁻¹. On prendra garde à maintenir la valeur du gradient de vitesse voulue jusqu'à l'entrée dans le décanteur, faute de briser les floccs formés. Compte tenu des vitesses de mélange, il faut prévoir pour l'unité de floculation un système de drainage et de collecte des boues, de manière semblable à celui du bassin de décantation.

- **Dimensionnement pratique des unités de coagulation et de floculation** : Le gradient de

vitesse est égal à : $G = \sqrt{\frac{P_{total}}{\mu V}}$, ou P_{total} est la puissance dissipée par frottement visqueux dans

le système de coagulation ou de floculation, « v » est le volume d'eau contenue dans le système, et « μ » est la viscosité dynamique de l'eau. L'expression de P_{total} dépend de la méthode utilisée : par exemple, pour un dispositif basé sur la circulation de l'eau en chicanes dans des bassins successifs reliés par des pertuis (trous), P_{total} est la somme des puissances dissipées dans chacun des pertuis. En plus du critère du gradient, pour le système de floculation en chicanes, on s'assurera que la vitesse de passage dans les pertuis successifs diminue graduellement, de 0,8 à 0,03 m/s. Le schéma suivant montre un exemple de tel dispositif.

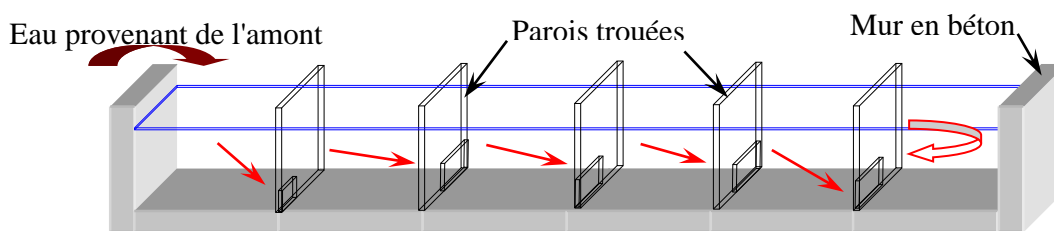


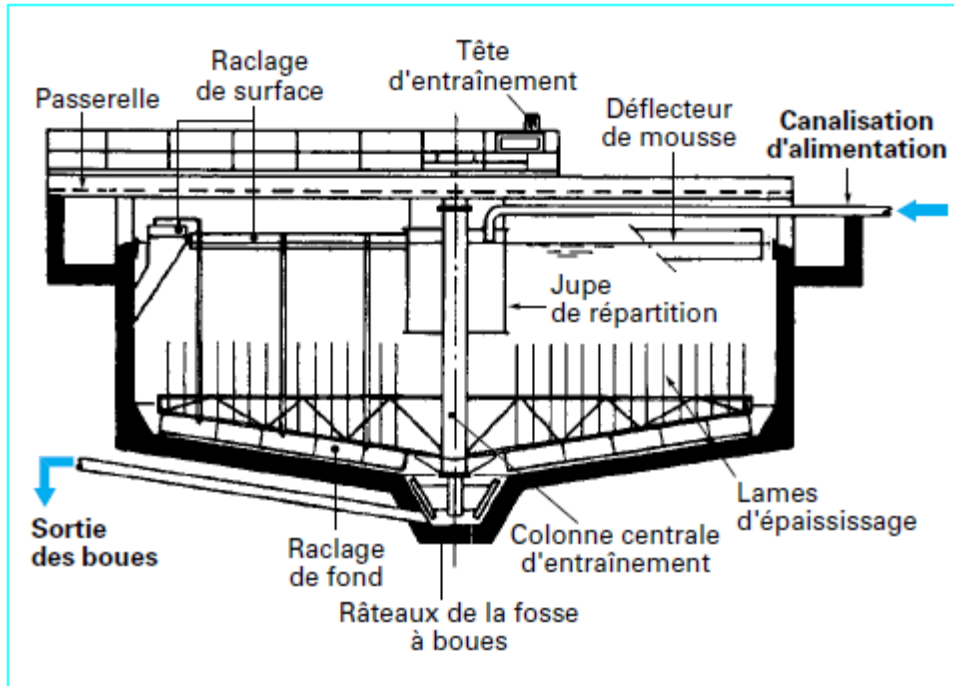
Figure 9 – Mélange par circulation de l'eau en chicanes

5.1 Décantation statique

Ce mode de décantation s'applique surtout au cas du dessablage et du traitement des eaux pluviales caractérisées par des suspensions de fines particules en faible concentration. On a souvent recours au préalable à une étape de coagulation. Les appareils combinent alors les fonctions de conditionneur et de clarificateur. Ils sont cylindriques et la plupart d'entre eux sont munis d'un équipement de raclage ou de herses pour assurer ou améliorer la récupération et l'épaississement des boues. Leur conception générale est relativement identique d'un décanteur à l'autre. Le principe fait appel à une répartition de la suspension à décantier à partir d'une unité centrale munie

d'une jupe de répartition. L'effluent décanté est récupéré à la périphérie alors que les boues sont extraites dans un puits central.

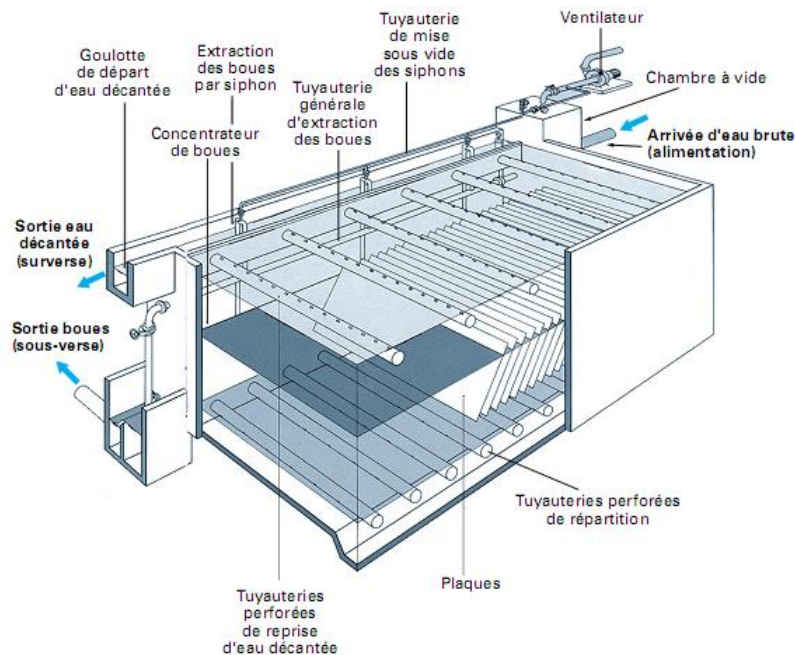
Figure 10 – Vue en coupe d'un décanteur statique (source : Techniques de l'Ingénieur)



5.2 Décanteurs à plaques et tubes (Décanteur lamellaire)

La décantation en tubes ou entre plaques inclinées est plus rapide que la décantation classique. En effet, les boues se forment assez rapidement sur la génératrice inférieure d'un tube ou sur les plaques d'un faisceau de plaques parallèles, puisque les particules suivent un chemin relativement court pour y parvenir. L'angle d'inclinaison sur l'horizontale Θ , assurant le glissement des boues, et donc leur évacuation, est un paramètre capital car il ne faut pas atteindre des vitesses à partir desquelles le régime devient turbulent, pour éviter la remise en suspension des particules. En principe, les plaques sont inclinées à 45 ou à 60 et leur écartement est de l'ordre de 10 cm. Des décanteurs lamellaires à plaques ont été mis en œuvre avec succès dans des pays en développement comme le Cambodge.

Figure 11: Vue en perspective d'un décanteur lamellaire (source : Techniques de l'Ingénieur)



6. Filtration

La filtration consiste à faire passer l'eau au travers d'un substrat qui va retenir les particules en suspension et certaines particules dissoutes.

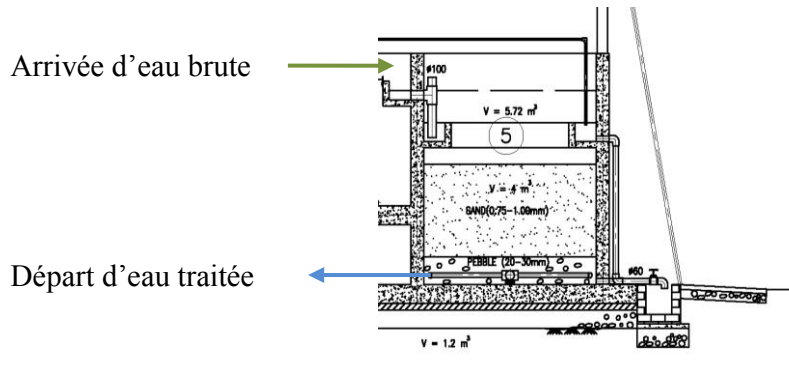
- ▷ **Filtration rapide** : elle s'applique à des eaux d'une turbidité maximale de 20 NTU, pour éviter des colmatages trop fréquents. La vitesse de l'eau doit être comprise en 4 et 8 m/h. La profondeur minimale de l'unité de filtration doit être de 1,2 m. Un déversoir de débordement sera installé. Les matériaux filtrants à utiliser sont des sables silicieux ou d'autres matériaux normaux approuvés. L'épaisseur des matériaux de filtration sera calibrée entre 60 cm et 100 cm. Le lit du filtre est composé de matériaux de dimension entre 0,7 et 0,8 mm et le coefficient d'uniformité ne doit pas dépasser 1,6. Des graviers sont utilisés comme matériaux de support. Les graviers doivent être de 2,5 cm de diamètre et 20 cm d'épaisseur à partir du fond du filtre, du plancher de buselures ou de la génératrice supérieure des drains selon les cas. Le filtre doit être dimensionné de telle sorte que la distribution de l'eau de lavage sera égale en tous points du filtre et la vitesse de filtration à l'entrée du filtre sera la même.
- ▷ **Filtration rapide sous pression** : les critères relatifs à la vitesse de filtration, les détails structuraux, la vitesse hydraulique et la composition des matériaux donnés pour le filtre rapide gravitaire s'appliquent également aux filtres à pression. Chaque filtre doit être équipé de manomètres permettant de lire la perte de charge qu'il génère ainsi que d'un indicateur de débit.

Un arrangement de tuyauterie aussi simple que possible peut accomplir ces buts.

Le collecteurs d'eau de lavage doivent être placés au moins 20 cm au-dessus de la surface des matériaux filtrants. Le système de dessous de drain doit recueillir efficacement l'eau filtrée et distribuer uniformément l'eau de retro-lavage. Une vanne d'évacuation d'air sera installée sur le point

le plus élevé de chaque filtre avec un moyen d'observation de l'eau usagée pendant le retro-lavage.

Figure 12: Schéma de principe d'un filtre à sable (source : Gret Cambodge)



Les filtres doivent être équipés d'un système de rétro-lavage, permettant de nettoyer efficacement le substrat une fois colmaté.

- ▷ On préconise d'éviter l'utilisation de pompe, et d'étudier les possibilités de lavage gravitaire : mise en place des filtre dans un point bas, utilisation de filtre ascendants, mise en place d'une seconde conduite plus grande dédiée au lavage reliant le réservoir au filtre, lavage avec les eaux du réservoir ou avec les eaux brutes, etc.
- ▷ Les filtres seront lavés pas moins de 10 minutes. On préconise en général pour un bon retro-lavage une vitesse de 15 m/h, ou de trois fois la vitesse de filtration.

7. Désinfection

La désinfection se réalise grâce à l'injection de chlore, habituellement sous forme d'hypochlorite de calcium ou d'hypochlorite de sodium.

La chloration doit être telle il y ait au moins 0,5 mg/l au niveau de la sortie de réservoir, et 0,2 mg/l au niveau du branchement le plus éloigné. Le taux de chlore résiduel libre minimum acceptable dans le réseau est donc de 0,2 mg/l.

On cherchera à s'approcher de ces valeurs minimales, et dans tous les cas on évitera de dépasser 2 mg/l.

Pour les procédés d'injection et de dosage du chlore, se référer à la partie « dispositifs de dosage de réactifs ».

L'injection se fera de telle sorte que le bon mélange du chlore avec les eaux à traiter soit effectif. Dans les cas où le dispositif de dosage ne suffit pas à produire le mélange, on pourra par exemple injecter le chlore dans la conduite en amont du réservoir, et prévoir le passage dans un ou plusieurs coudes.

On veillera à prévoir les dispositifs permettant la mesure de la concentration de chlore avant le départ dans le réseau de distribution, au niveau de la sortie du réservoir.

On étudiera la possibilité de produire localement la solution de chlore, par électro-chloration à partir d'une solution de sel. Des appareils le permettant sont distribués à Madagascar.

8. Correction de pH

L'injection de lait de chaux permet de corriger le pH, mais aussi de neutraliser l'éventuel caractère corrosif de l'eau.

Il faut savoir que :

- ▷ l'injection de coagulant augmente l'acidité de l'eau ;
- ▷ la correction de pH peut être nécessaire pour garantir l'efficacité de la chloration ;
- ▷ certains processus de déferrisation ou de démantanisation, en particulier biologiques sont plus efficaces dans certaines plages de pH.

9. Aération

L'aération est employée pour aider à :

- ▷ enlever les goûts spécifiques et les mauvaises odeurs dues aux gaz dissous de la décomposition des matières organiques,
- ▷ à réduire ou à éliminer des quantités répréhensibles d'anhydride carbonique, sulfure d'hydrogène...,
- ▷ introduire de l'oxygène pour aider à la précipitation du fer et/ou du manganèse.

Les systèmes d'aération peuvent être basés sur des tuyaux perforés, des cascades, des pulvérisateurs, etc.

La matière employée pour l'unité d'aération doit être résistante à l'agressivité de l'eau et des gaz dissous. La protection contre la perte de l'eau par pulvérisation doit être prise en considération et assurée.

Figure 13 – Système d'aération d'une eau (source : Gret Cambodge)



10. Boues de traitement

Si nécessaire, on veillera à prévoir le devenir des boues issues du traitement de l'eau. Ces boues peuvent contenir d'importantes teneurs de métaux (en particulier si du sulfate d'alumine est utilisé pour la coagulation ou si elles sont issues d'une station de traitement du fer et du manganèse). La solution la plus simple est de prévoir un bassin dans le quel elles peuvent se déshydrater.

V. RESERVOIRS

Cette partie décrit les critères de dimensionnement, de positionnement, de conception et d'équipement des réservoirs.

1. Fonctions

Un réservoir de stockage est nécessaire lorsque le besoin horaire maximal de la population est supérieur au débit horaire de la ressource captée : le réservoir stocke l'eau pendant la période de demande faible, et se vide pendant la période de demande forte.

Un réservoir permet également le maintien pendant un certain temps de l'alimentation en eau en cas de coupure à l'amont (entretien, casse, ...). Le réservoir joue également un rôle de régulateur de pression dans le réseau, et un rôle de mise en pression du réseau pour le cas des systèmes avec pompage.

2. Volume et dimensions

Le volume du réservoir doit correspondre au volume tampon nécessaire pour satisfaire la demande tout au long d'une journée, plus une marge de sécurité, destinée à garantir la continuité de l'alimentation en eau en cas de panne. On dimensionnera ce volume pour le cas le plus défavorable : demande journalière à l'horizon de projet, pour le débit d'étiage maximal annuel. Le choix du volume sera vérifié avec la simulation informatique du réseau. Le dimensionnement exact sera déduit d'une comparaison de la courbe de consommation totale et du débit d'alimentation du réservoir.

En l'absence de données fiables sur les courbes de consommations, on pourra choisir le volume du réservoir égal à **30 % de la demande journalière**.

3. Emplacement

On choisira l'emplacement du réservoir selon au moins trois critères :

- ▷ Critère de **zone** : le réservoir doit être implanté dans une zone facile d'accès et disponible, et sur un terrain stable capable de supporter le poids du réservoir sur le long terme.
- ▷ Critère **d'altitude** : l'altitude du réservoir doit lui permettre d'alimenter gravitairement tout le réseau de distribution, en tenant compte des extensions potentielles. S'il n'existe pas d'emplacement raisonnable à l'altitude nécessaire, il faudra concevoir le réservoir sur une tour. Dans le cas où le réseau de distribution s'étend sur des zones d'altitudes très différentes, on pourra étudier la possibilité de réaliser plusieurs réservoirs à des altitudes différentes.

- ▷ Critère de **distance** : un réservoir placé à proximité du réseau de distribution permet de limiter le coût des conduites. En effet, les conduites à l'aval du réservoir sont dimensionnées pour le passage du débit maximal, alors que celle à l'amont le sont seulement pour le passage du débit moyen. On cherchera donc à placer le réservoir au plus proche du réseau de distribution, idéalement au centre.

L'emplacement du réservoir devra correspondre au choix optimal, en termes de coût notamment, vis-à-vis des trois critères ci-dessus.

4. Génie civil

Les considérations de génie civil précises dépendent de la taille et du type de réservoir à construire. On donne ici des considérations d'ordre générales :

- ▷ Les réservoirs seront construits en béton et en acier, ou pour les parties les moins sollicitées en maçonnerie de moellons ou de briques.
- ▷ Enterrement : on calera de préférence le niveau du fond de la cuve à l'altitude du sol. Si l'enterrement du réservoir est l'option choisie, on veillera à ce qu'au maximum 50 % de la cuve soit sous le niveau du sol, on prendra particulièrement garde à garantir l'étanchéité de l'extérieur des parois, et on maintiendra au moins 20 m de distance avec toute source de contamination possible (cultures, habitations, latrines, etc.).
- ▷ On prendra garde à garantir l'étanchéité des parois, à l'intérieur et à l'extérieur, en utilisant du béton et des enduits correctement dosés, pouvant contenir des additifs imperméabilisants (sicalite, sicalatex...).
- ▷ On veillera particulièrement à l'étanchéité au niveau des reprises de bétonnage, en appliquant des couches intermédiaires fortement dosées en ciment et/ou contenant des additifs imperméabilisants. On pourra aussi réaliser un décapage avant les reprises de bétonnage.
- ▷ Des goussets seront placés aux angles, pour augmenter la solidité à cet endroit critique et pour faciliter le nettoyage.
- ▷ Le toit doit être conçu de manière à permettre le drainage des eaux de pluie. Les ouvertures pratiquées dans le toit devront l'être de façon à prévenir toute entrée d'eau de ruissellement.
- ▷ Un réservoir circulaire est en théorie moins cher qu'un réservoir rectangulaire, du fait de la répartition régulière des charges, et d'une surface moindre pour envelopper le même volume.
- ▷ Dans le cas du réservoir circulaire, on pourra concevoir le toit du réservoir en coupole, de façon à limiter les efforts en traction sur le béton. Dans ce cas, la partie supérieure des parois du réservoir devra être dimensionnée et ferrillée de manière à supporter les efforts latéraux transmis par la coupole.
- ▷ La dalle de couverture et les murs de la cuve pourront être désolidarisés pour éviter les efforts liés à la dilatation différentielle de ces deux parties.

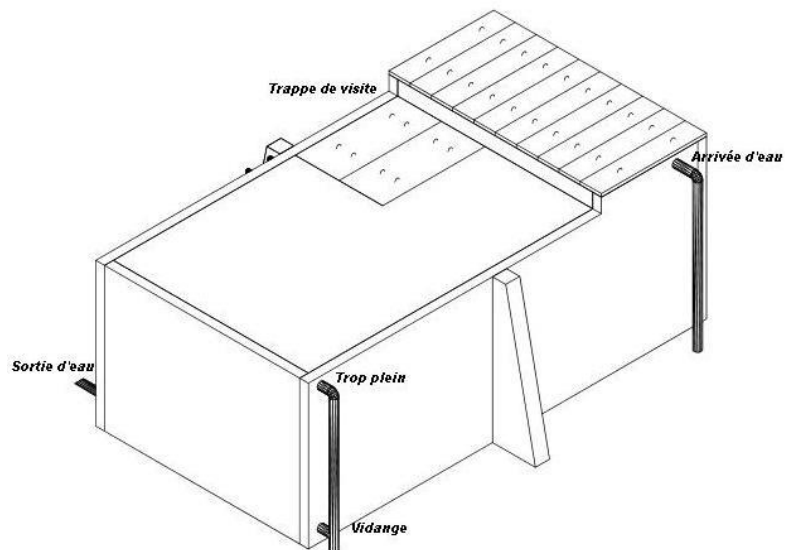
5. Equipement

D'une manière générale, l'ensemble des équipements doit permettre de conserver l'étanchéité du réservoir et de limiter l'introduction de corps étrangers et l'exposition à la lumière.

Le réservoir devra comporter les équipements suivants :

- ▷ Un système d'entrée et sortie d'eau à sens unique, garantissant la bonne circulation de l'eau et limitant les zones d'eaux mortes. En particulier l'orifice d'entrée sera placé de manière à provoquer un jet noyé, avec une vitesse de l'ordre de 1 à 1,5 m/s. De plus, l'entrée et la sortie seront suffisamment espacées. L'entrée et la sortie du réservoir seront confondues dans le seul cas d'un système de refoulement-distribution, qui peut être approprié si le captage est plus proche de la zone à alimenter que le réservoir.
- ▷ Une aération permettant la fonction de régulation de pression et le maintien de la qualité de l'eau. Cette aération devra être protégée de la pluie, de la poussière, des animaux, et de l'intrusion de tous corps étrangers. On peut par exemple placer un tuyau vertical se terminant par un « U » vers le bas, et protégé par une grille.
- ▷ Une trappe de visite permettant l'entretien du réservoir. Cette trappe devra être de taille suffisante pour le passage d'un opérateur, et sa conception doit garantir sa parfaite étanchéité. Elle devra pouvoir être verrouillée par clef.
- ▷ Un système de trop plein évitant les débordements. Comme le système d'aération, le trop plein doit prévenir toute intrusion liquide ou solide dans le réservoir. Dans le cas d'un captage par pompage, le trop plein doit pouvoir évacuer le débit maximal des pompes. Dans le cas d'un captage de source sans pompage, le trop plein doit pouvoir évacuer le débit arrivant au réservoir lorsque le niveau de l'eau est au maximum dans l'ouvrage de captage (en tenant compte du trop plein équipant le captage). Dans le cas d'un captage en rivière sans pompage, le trop plein doit pouvoir évacuer le débit arrivant au réservoir lorsque le niveau de la rivière est maximal. Un système d'évacuation des eaux doit être prévu si besoin au bout du trop-plein (évitant la stagnation de l'eau aux alentours et la possibilité à la population de se servir en eau à ce niveau, si le réservoir est dans la zone d'habitations à alimenter). On étudiera la possibilité de sur-dimensionner le trop plein pour qu'il fasse aussi office d'aération, évitant ainsi de mettre en place un dispositif dédié à cette dernière.
- ▷ Un système de vidange commandé par vanne. Le dispositif d'évacuation des eaux de vidange pourra être commun avec celui des eaux de trop-plein.
- ▷ Un compteur, dit compteur principal, doit être installé immédiatement à l'aval du réservoir.

Figure 14 – Equipements hydrauliques dans le réservoir



Réservoir enterré



Réservoir sur tour



Réservoir sur sol

Figure 15 – Différents type de réservoir

VI. CONDUITES ET RESEAU DE DISTRIBUTION

Cette partie décrit la conception des conduites d'amenée et réseaux de distribution, jusqu'aux extrémités du réseau.

1. Tracé

Les conduites devront suivre des trajectoires les plus rectilignes possibles, c'est-à-dire qu'on limitera au maximum les changements de direction. Les conduites devront être distantes de 2 mètres de toute source de pollution intense (latrines non étanches, dépotoir, etc.). De plus, on prendra garde à la stabilité du sol sur lequel on installe les conduites, en évitant en particulier les zones de fort ruissellement, de passage de véhicules, d'érosion ou d'effondrement. Pour les conduites longeant les routes, on évitera de les enterrer sous la partie « roulante », et on les placera plutôt en dehors de la route.

2. Pression

La pression au niveau du consommateur doit se situer entre 5 m CE et 60 m CE. La valeur minimale de 5 m permet au consommateur muni d'un branchement privé d'équiper sa maison d'un système de distribution d'eau complexe (plusieurs robinets, douche, service à l'étage, etc.). Au dessus des 60 m CE, il y a des risques d'endommagement des robinets et d'autres éléments des branchements.

Par ailleurs, la pression en tout autre point du réseau doit se situer entre 3 m CE et 90 m CE. La pression minimale de 3 m CE est choisie pour éviter l'entrée d'air ou d'eau extérieure au réseau par les fuites, tandis que la valeur maximale de 90 m CE correspond à la tolérance des conduites PN10 avec une marge de sécurité de 10 %.

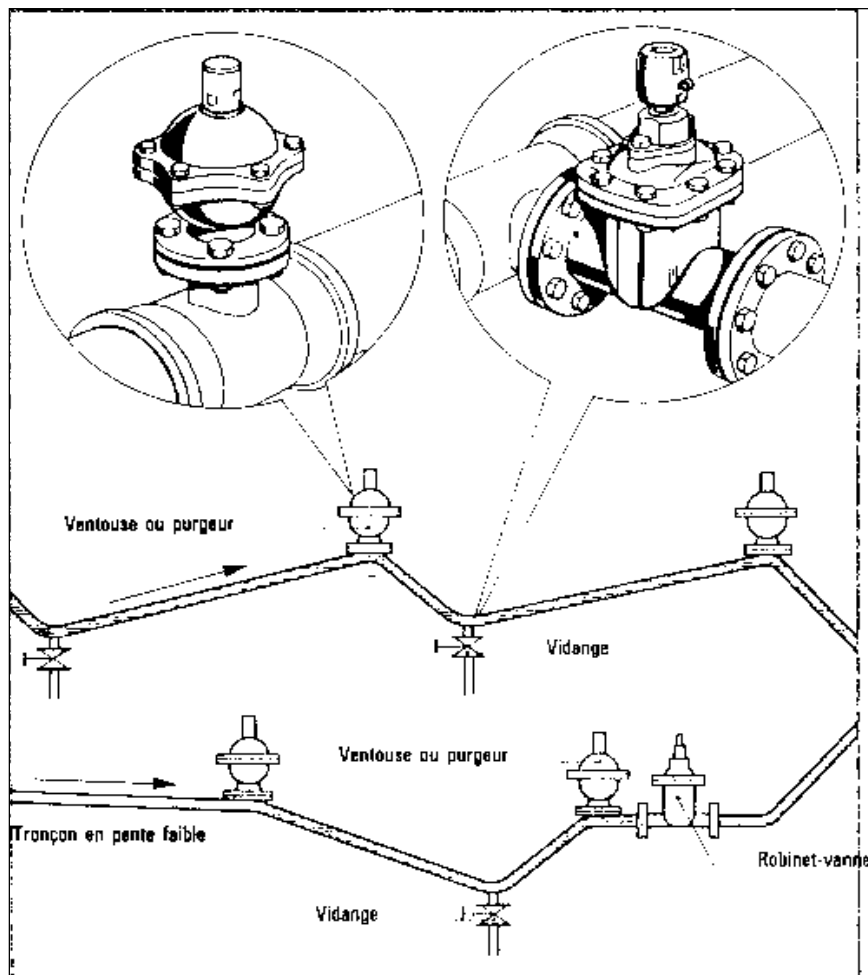
3. Conduites

- ▷ **Matériaux** : les conduites de diamètre extérieur inférieur ou égal à 90 mm seront en PEHD, celles de diamètre extérieur supérieur seront en PVC. L'acier galvanisé sera utilisé pour les portions non enterrées, tandis que les conduites enterrées sous des voies de circulation de véhicules seront entourées d'un fourreau constitué par une conduite PVC. Le PEHD présente l'avantage d'être livré en rouleaux de 50 ou 100 m, contre des barres de 6 m pour le PVC, ce qui signifie moins de jonctions, donc un temps de pose plus faible et moins de risque de fuites. Par contre le PEHD est environ 10 % plus cher à l'achat à section équivalente, mais ce coût sera en partie compensé par les économies de main d'œuvre.
- ▷ **Classe des conduites** : la classe des conduites détermine leur résistance à la pression et aux éléments extérieurs susceptibles de l'endommager. On choisira des conduites de classe PN10, capables de résister à 100 m CE, soit une marge de sécurité de 10 % pour la pression maximale de 90 m CE (marge principalement choisie pour tenir compte des surpressions transitoires ou coups de bélier). Pour les pressions inférieures à 50 m CE, on pourra utiliser des conduites de classe de PN6 (là encore cela revient à prendre une marge de sécurité de 25 %), en tenant compte de la fragilité de ces dernières (tamisage fin du remblai par exemple).
- ▷ **Raccords** entre les tronçons de conduite : raccords à compression pour le PEHD, tuyaux emboîtés avec joint pour le PVC.

4. Equipement

- ▷ **Evacuation d'air** : l'accumulation d'air dans les points haut du réseau peut interrompre la distribution et même endommager les conduites. On placera donc sur les points des dispositifs pour évacuer l'air. L'utilisation de systèmes manuels est recommandée.
- ▷ **Vidange** : pour permettre le nettoyage des conduites, on placera des vidanges aux points bas des conduites. On prévoira aussi les systèmes d'évacuation des eaux si nécessaires.
- ▷ **Brise-charges** : pour éviter l'emploi de conduites hautes pressions, on pourra placer sur le réseau des brises charges, sous la forme de bassins à surface libre.
- ▷ **Protection contre les coups de bélier** : on sera attentif aux éventuels problèmes de coup de bélier, en particulier lors des arrêts des éventuelles pompes.
- ▷ **Ancrages** : tous les tés, réducteurs, coudes, impasses et autres connections doivent être ancrés si nécessaire.

Figure 16 – Equipements hydrauliques lors de la pose de conduite



5. Choix des diamètres

On dimensionnera les conduites à partir d'une simulation informatique (Epanet, WaterCAD ou autre), pour un débit correspondant au volume de production à 15 ans, pour une consommation modulée selon les résultats données par les études. On réalisera des simulations pour la population à l'horizon de projet (estimation faite en concertation avec la commune). Cette simulation sera aussi l'occasion de vérifier que le débit d'eau captée suffit à maintenir, compte tenu de la demande variable, une alimentation constante avec un réservoir dimensionné à 30 % de la demande journalière moyenne.

On construira le modèle en y incorporant un nombre suffisant de points d'eau virtuels permettant de décrire correctement le site à l'horizon de projet.

La simulation devra faire apparaître notamment le comportement du réseau en régime statique (pression maximale) et en heure de pointe (débits maximaux).

On évaluera l'impact économique d'un dimensionnement des conduites secondaires du réseau à un horizon plus court que les 15 ans choisis pour le reste du système.

Le choix des diamètres devra tenir compte des deux paramètres suivants :

- ▷ **Vitesse en heure de pointe** : la vitesse en heure de pointe est la vitesse de l'eau dans les conduites lorsque la demande est maximale, c'est-à-dire lorsque l'on applique le coefficient de pointe à la demande moyenne. Pour éviter les pertes de charge excessives et pour retarder l'érosion des conduites, la vitesse en heure de pointe maximale admissible dans les conduites est de 1,5 m/s, ou 2 m/s pour la conduite de distribution principale. Une vitesse minimale en heure de pointe de 0,5 m/s doit être maintenue pour éviter la détérioration de la qualité de l'eau (temps de séjour) et pour garantir l'auto-curage.
- ▷ **Pression** : On rappelle que la pression au niveau du consommateur doit se situer entre 5 m CE et 60 m CE, et que la pression en tout point du réseau doit se situer entre 3 m CE et 90 m CE. Au cas où la différence d'altitude entre le captage et l'emplacement optimal du réservoir est supérieur à 60 m (qui correspond à une pression statique de 60 m CE), on doit mettre en place des brises charges. De même, si on est obligé de mettre en place le réservoir à une altitude qui engendre des pressions supérieures à 60 m CE au niveau des consommateurs ou à plus de 90 m CE au niveau du réseau, on doit installer des réducteurs des pressions. Une autre option est d'installer un deuxième réservoir qui alimente les parties basses des localités à desservir qui jouera en même temps le rôle de brise charge.

6. Pose des conduites

- ▷ **Nature du sol** : on s'assure que le sol présente des conditions de stabilité suffisante pour garantir la pérennité des conduites. On prendra garde par exemple aux zones d'érosion (dans ce cas on peut utiliser des remblais spécifiques), ou aux zones marécageuses (dans ce cas on peut poser la conduite sur des plots stabilisés).
- ▷ **Profondeur des tranchées** : la profondeur minimale pour l'emplacement des tuyaux est de 0,6 m, ou bien 0,8 m en cas :
 - ✓ de franchissement de voie de circulation non goudronnée et suffisamment large pour laisser passer charrettes ou véhicules.

- ✓ de passage en rizière, pour limiter les risques de perçage des conduites par les bèches des paysans.
- ▷ La tranchée sera ouverte au dernier moment pour éviter les risques d'éroulements en cas de pluie. Si ce n'est pas possible, il faut placer des barrages de terre à l'intérieur de la tranchée aussi souvent que possible.
- ▷ **Largeur des tranchés** : une largeur minimale de 35 cm sera respectée pour des conduites de diamètre inférieur à 50 mm. Pour les tuyaux de diamètre supérieur, la largeur est de 30 cm plus le diamètre du tuyau.
- ▷ **Pose des tuyaux** : si le fond de la fouille n'est pas plan ou si le sol risque d'abîmer les tuyaux, le dépôt d'une couche de sable ou d'une couche de sol tamisée dans le fond du tranché est nécessaire. Lorsqu'il n'est pas possible d'enterrer les tuyaux, on peut utiliser les tuyaux en acier galvanisé, ou mettre en place un fourreau autour du tuyau ou bien protéger le tuyau plastique par une couche de béton ou de maçonnerie de 10 cm, qui peut, si nécessaire, être hors sol.
- ▷ **Fixations** : les conduites aériennes seront placées sur des dèes de maintien tous les 6 mètres au maximum.
- ▷ **Remblais** : on peut utiliser les déblais pour remblayer à condition que tous les éléments susceptibles d'abîmer les tuyaux soient éliminés, par tamisage. Après remblayage et tassement correct des tuyaux d'une couche de remblai de 30 cm, si possible, on effectuera la mise en eau du réseau pour détecter les fuites.
- ▷ **Test et désinfection** : la pression pour chaque point des tuyaux installés doit être vérifiée, ainsi que les fuites éventuelles lors de la mise en eau. Les tuyaux nouvellement installés ou réparés doivent être examinés, désinfecté avec du chlore et rincés.

7. Réseau de distribution

- ▷ **Conduites en impasse** : afin de fournir la plus grande fiabilité de service, de réduire les pertes et d'éviter les zones de stagnation, on veillera à réduire au maximum le nombre de conduites en impasse. Pour cela, on réalisera dès que possible les raccordements nécessaires afin de générer des débits dans la conduite. Lorsque l'on est obligé de placer une conduite en impasse, on prévoira une vidange.
- ▷ **Vanne de sectionnement** : on placera des vannes de sectionnement sur la conduite principale de distribution et sur les conduites secondaires, de façon à pouvoir isoler des secteurs lors des réparations et de l'entretien. On placera une vanne en tête de chacune de ces conduites, puis une tous les 350 m. Cette longueur peut être augmentée si un tronçon n'alimente pas, et n'alimentera pas à l'horizon de projet, plus de 50 ménages. Cette longueur ne devra tout de même pas excéder 1 500 m.

VII. LES POINTS DE PUISAGE

Les branchements permettent aux usagers d'accéder à l'eau potable distribuée par le réseau. Ils seront réalisés par un système à collier, sur les conduites secondaires ou tertiaires du réseau de distribution.

1. Les branchements collectifs

1.1 Kiosques à eau

On appelle kiosque à eau un point d'accès collectif à l'eau, placé à proximité immédiate de la voie publique. La gestion du kiosque est confié à une personne ou à un groupe de personnes, qui devra assurer la présence d'un fontainier pendant les heures d'ouvertures (6 h – 8 h et 15 h – 18 h, tous les jours, par exemple), chargé de faire payer l'eau, de contrôler l'état de la borne et de payer l'eau consommée au gestionnaire du réseau.

On rappelle qu'on doit placer un robinet pour chaque groupe de 100 personnes, et qu'aucune personne incluse dans la zone de couverture ne doit se trouver à plus de 250 mètres du kiosque à eau le plus proche.

Etant donnée la présence d'un fontainier, le point de puisage devra être incorporée à un kiosque mettant ce dernier à l'abri des intempéries.

Le kiosque pourra être une maisonnette de dimensions intérieures 3 x 3 x 2,5 mètres en maçonnerie de briques et toit en tôle. Le kiosque comportera une vanne d'arrêt, un compteur et une rampe de vannes de distribution installées à l'intérieur du local, les points de puisages seront placés en façade à une hauteur ergonomique pour le remplissage de seaux et un drainage des eaux de lavage ou de débord sera prévu.

On pourra envisager de multiplier le nombre de robinets si le kiosque est destinée à être très sollicitée (par exemple si elle alimente la limite maximale de 100 personnes, ou si elle est située en zone de marché). Dans ce cas, on dimensionnera de façon appropriée les conduites en amont, en considérant un débit de 0,2 l/s par robinet.

Le kiosque devra présenter les dispositifs permettant de limiter son utilisation : soit porte et volet pouvant être verrouillés, soit vanne et compteur sous clefs.

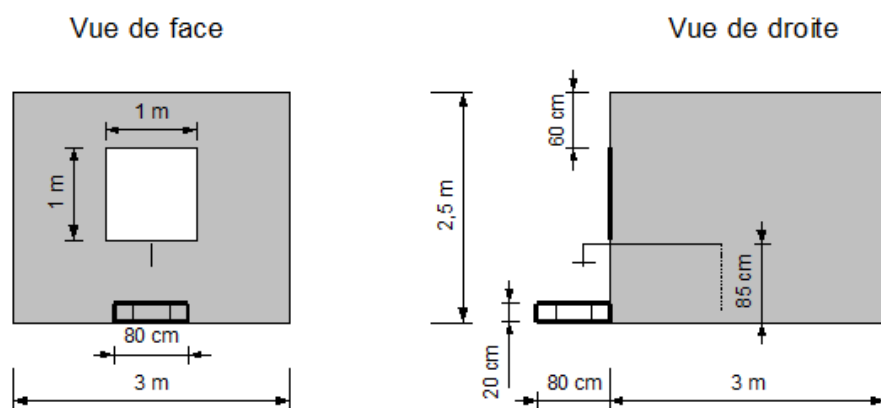


Figure 2 – Schéma du kiosque de distribution

1.2 Points de puisage gérées par un commerçant

Un point de puisage peut également être incorporé à une épicerie, si le commerçant en a fait la demande et si le processus de sélection l'a désigné. Dans ce cas le commerçant est responsable de la vente de l'eau, de l'état du point de puisage, et du paiement au gestionnaire du réseau de l'eau

consommée. L'avantage par rapport un kiosque à eau classique réside dans le fait que l'on dispose déjà d'un commerçant apte à gérer la vente de l'eau et de la structure du kiosque.

Un point de puisage géré par un commerçant suit les mêmes règles que les kiosques à eau classiques en termes de nombre de personnes alimentées (100) et de zone d'influence (250 m de rayon). Ce type de point de puisage peut donc remplacer un kiosque à eau classique.

1.3 Infrastructures à usages multiples

On pourra mettre en place des systèmes proposant plusieurs services liés à l'eau.

A la fonction point de puisage collectif peuvent s'ajouter les fonctions suivantes (liste non restrictive) :

- **Lavoirs** : on pourra mettre en place des espaces lavoirs, gérés par un lavandier. Pour faciliter le décompte de l'eau consommée, on placera des réservoirs au dessus des lavabos : ces réservoirs sont connectés au réseau, et sont remplis périodiquement par le lavandier, en ouvrant une vanne situé au dessus du réservoir. Les utilisateurs consomment à leur convenance l'eau du réservoir, en ouvrant ou fermant un robinet situé sous le réservoir. Ces derniers disposant d'une lecture de niveau, le décompte de l'eau consommée par le lavandier est aisé.
- **Douches** : on pourra proposer des douches, utilisables après paiement d'un prix forfaitaire par exemple. La douche devra comporter une partie sèche pour poser et suspendre les vêtements (à cette fin, cette partie devra être équipée d'un crochet mural). Elle devra être dans un espace clos, pouvant être verrouillé de l'intérieur.
- **Toilettes** : on pourra proposer des toilettes à prix forfaitaire également. Les latrines devront disposer de dalles hygiéniques et de fosses étanches et vidangeables, et être situés dans des espaces clos et pouvant être verrouillés de l'intérieur.

Tous ces services, y compris le kiosque à eau, doivent présenter les dispositifs permettant de limiter leur utilisation : portes fermés à clef pour les latrines et douches, vannes sous clef pour les bornes fontaines et les lavoirs.

2. Branchements partagés

Un branchement partagé est un branchement payé par un groupe de foyers, qui décident entre eux de sa gestion.

C'est un intermédiaire entre le branchement privé et le branchement collectif, dans le sens où l'eau est rapprochée des habitations sans les connecter directement. Ce type de branchement sera utile pour les ménages disposant de moyens financiers insuffisants pour se brancher directement, mais pouvant tout de même réaliser un certain investissement. Compte tenu de la proximité des conduites avec les habitations, la transition future vers les branchements privés est facilitée.

Le branchement pourra être constitué d'un tuyau galvanisé vertical sortant du sol puis coudé à 180° vers le bas. L'extrémité du tuyau se trouvera à 50 cm du sol environ. On équipera le robinet d'une vanne de sectionnement (vanne quart de tour par exemple).

Le robinet sera situé au dessus d'un massif en gravier de 40 cm de long et de large, et de 20 cm de profondeur, encadré sur toute la profondeur d'une structure en maçonnerie de briques.

On réalisera un regard en béton, scellé par une dalle en béton pouvant être verrouillée, dans lequel on équipera la conduite d'un compteur et d'une vanne de sectionnement (vanne à glissière par exemple). Le tuyau galvanisé vertical sera fixé dans ce regard en béton.

3. Branchements privés

3.1 Les branchements domestiques

Un branchement privé est installé pour tout foyer de la zone équipée, pourvu qu'il en ait fait la demande et qu'il en ait les moyens.

A l'aval du système de connexion, on placera une vanne de sectionnement et un compteur, accessibles au consommateur, disposés sur sa propriété, et protégés des intempéries et des dégradations. Le compteur devra être fiable et suffisamment précis, mais surtout bon marché.

3.2 Les branchements commerciaux

Les branchements commerciaux (agriculture, élevage, artisanat, industrie, hôtellerie) seront à réaliser au cas par cas, en concertation avec les structures concernées.

On pourra envisager de mettre en place un système de distribution des eaux brutes en parallèle au système de distribution d'eau traitée. En effet certains usages de l'eau ne nécessitent pas une eau traitée (agriculture, élevage, industries).

Les ouvrages de référence

Ce guide ne prétend pas regrouper l'ensemble des informations nécessaires à la conception de systèmes d'adduction d'eau potable.

Pour toutes informations techniques complémentaires, vous êtes invités à consulter l'un des ouvrages de la liste non exhaustive suivante :

- **EAU – ASSAINISSEMENT – HYGIENE POUR LES POPULATIONS A RISQUE**, Action Contre la Faim, édition Hermann
Un ouvrage très complet sur la conception de réseaux d'eau potable : réseaux gravitaires, méthodes de traitements, ouvrage de captage, construction de réservoir, forage, pompage...
- **A HANDBOOK OF GRAVITY-FLOW WATER SYSTEMS**, par Thomas D. Jordan Jnr., ITDG
Un ouvrage spécialisé dans la conception de réseaux gravitaires.
- **LES POMPES ET LES STATIONS DE POMPAGE**, co-effectué par la Sogreah et le Cemagref, La Documentation française
Un ouvrage spécialisé dans la conception des stations de pompage.
- **MANUEL DE PROCEDURE POUR LA MISE EN PLACE DES PROJETS EAU ET ASSAINISSEMENT**, Paepar (Projet pilote d'alimentation en eau potable et assainissement en milieu rural), juin 2005