

Les ouvrages d'accès à l'eau potable

Notes de cours



Lexique

PEVD	Pays en voie de développement
AEP	Alimentation en eau potable (ou, par extension, « eau potable »)
HSF	L'association Hydraulique Sans Frontières (http://www.hsf-h2o.org/)
lpcd	<i>liter per capita per day</i> , unité équivalente à l/jour/habitant

Licence et paternité

Ce document est distribué sous licence *Creative Commons Paternité – Partage à l'identique* (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/fr/>) à l'exception des annexes et des illustrations qui ne sont pas issues de l'association Hydraulique Sans Frontières qui restent distribués sous les licences respectives de leur auteurs.



Document rédigé par *Hydraulique Sans Frontières*.

Table des matières

1 Introduction.....	4
2 Aspects non techniques.....	5
2.1 Type d'intervention: urgence ou développement.....	5
2.2 Taille des villes, villages,	6
2.3 Niveau de développement.....	7
2.4 Habitudes locales.....	8
2.5 Niveau d'attente et qualité de service.....	9
2.6 Budget et frais de fonctionnement.....	10
3 Aspects techniques.....	12
3.1 Aspects généraux.....	12
3.1.1 L'organisation d'un réseau d'eau potable.....	12
3.1.2 Synthèse des types de réseaux.....	13
3.1.3 Les étapes dans la conception technique d'un réseau d'eau potable.....	13
3.2 Ressource et besoins en eau.....	13
3.2.1 Besoins.....	13
3.2.2 Eaux de surface.....	16
3.2.3 Eau de pluie.....	17
3.2.4 Eau souterraine peu profonde (nappe phréatique).....	18
3.2.5 Eau souterraine profonde.....	19
3.2.6 Les essais (hydrauliques) de puits et de forages.....	21
3.3 Systèmes d'alimentation en eau.....	22
3.3.1 Niveau 0: Marigot, eau de surface.....	22
3.3.2 Niveau 1: Puits.....	22
3.3.3 Niveau 2: Pompe à main.....	23
3.3.4 Niveau 3: Mini-réseau et borne-fontaines.....	24
3.3.5 Niveau 4: Réseau complet avec branchement particuliers.....	24
3.3.6 Synthèse.....	25
3.4 Gestion du réseau et recouvrement.....	25
3.4.1 Qui va gérer le réseau ?.....	25
3.4.2 Qui et comment payer ? ... et les populations pauvres ?.....	26
3.4.3 Le suivi des projets de développement.....	28
4 Annexes.....	29
4.1 Annexe 1 – Quelques liens.....	29
4.2 Annexe 2 – Réponses aux exercices.....	30
4.3 Annexe 3 – Guide pS-Eau: « Vous montez un projet d'approvisionnement en eau de boisson ? Avez vous pensé à ...? ».....	33

1 INTRODUCTION

Ce document constitue des notes du cours sur *les ouvrages d'accès à l'eau potable* dispensé dans le cadre du master SGE-SAGE à l'école nationale des Ponts-et-Chaussées.

Ce cours décrit les principaux critères (techniques et non techniques) qui influent sur le choix des systèmes d'alimentation en eau potable à mettre en œuvre dans les pays en voie de développement (PEVD). Ces critères sont comparés à ceux mis en œuvre de nos jours en France.

Le cours n'aborde pas tous les aspects techniques nécessaires au dimensionnement des systèmes d'alimentation (dimensionnement des canalisations, courbes de consommation, dimensionnement des châteaux d'eau, pressions minimales et maximales, ...); il n'est donc pas suffisant pour mener à bien, sur le plan technique, un projet complet d'alimentation en eau potable.

2 ASPECTS NON TECHNIQUES

« Il y a plusieurs tiers-mondes. »

Ce chapitre décrit les critères non techniques influant sur le choix des systèmes d'alimentation en eau potable à mettre en œuvre dans les pays en voie de développement.

2.1 TYPE D'INTERVENTION: URGENCE OU DÉVELOPPEMENT

Par missions d'urgence, on entend les missions se déroulant dans les pays en guerre (camps de réfugiés) ou juste après une catastrophe naturelle (tremblements de terre, tsunami, ...). Dans ces missions il s'agit d'assurer avant-tout la survie des population.

Par missions de développement: on entend des missions ayant pour objectif d'améliorer plus durablement les conditions de vie des habitants.

Intervenir dans des missions d'urgence ou pour des projets de développement constituent deux métiers très différents: les quantités d'eau fournies, la qualité de cette eau, le mode de gestion du système sont très différents. D'ailleurs, ce ne sont généralement pas les mêmes associations/institutions qui réalisent ces deux types de mission:

- Urgence: médecins du monde, médecins sans frontières, solidarités, action contre la faim¹, ...
- Développement: la plupart des autres



Illustration 1: Camps de réfugiés dans la région de Kigali (source American Refugee Committee) – projet d'urgence



Illustration 2: Village sud-africain de Thabalebotho – projet de développement – 1700 habitants (source HSF)

¹ Ces associations font également, parfois des projets de développement



Illustration 3: Camps de réfugiés palestiniens - 1948 (source UNRWA)



Illustration 4: Camps de réfugiés palestiniens d'Asker aujourd'hui (source www.traveladventures.org)

2.2 TAILLE DES VILLES, VILLAGES, ...

Les tailles peuvent varier de quelques dizaines d'habitants (petit village) à des dizaines ou centaines de milliers de personnes (en une seule ville ou en plusieurs).

Le nombre de personnes à alimenter en eau potable a un impact sur le choix des solutions à mettre en œuvre, de deux manières:

- directement, car certaines solutions ne sont pas *faisables* à grande échelle (puits, pompage solaire,...)
- indirectement, car la taille des villes influe sur les attentes des populations (le niveau de qualité du service) et sur leur capacité (financière et technique) pour les atteindre

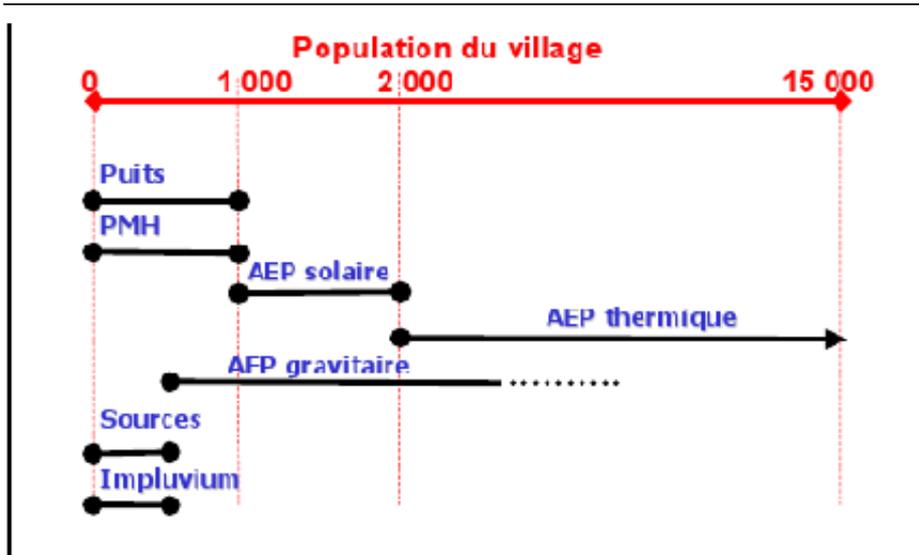


Illustration 5: Systèmes d'alimentation en eau potable couramment mis en place en fonction de la taille de la collectivité (source pS-Eau)



Illustration 6: Entrée de Bokidiawé - Sénégal - 7000 habitants (source HSF)

2.3 NIVEAU DE DÉVELOPPEMENT

La technicité locale (disponibilité de personnel qualifié, de technologies avancées,...) n'est pas la même en Afrique du Sud ou au Mali. EN outre, dans un même pays, des différences importantes existent entre régions (capitales et grandes villes / villages reculés). On ne mets donc pas en oeuvre les mêmes solutions partout.

Les différences de niveau de développement se traduisent ainsi par:

- l'existence (ou non) de standards nationaux :
 - l'Afrique du sud a défini sa volonté d'amener 25 l/p/j à chacun de ses habitants, via des bornes fontaines situées à moins de 200m de chaque habitation
 - standards de qualité des eaux distribuées
 - cahier des charges techniques édités à l'échelle nationale (Afrique du sud, CCTG en France,...)
- technicité des fontainiers (pour la gestion technique)
- niveau d'éducation des villageois (pour les gestions administrative et financière)
- structures administratives ou associatives présentes sur place
 - l'Afrique du Sud dispose d'un gouvernement centralisé et organisé, construit sur les structures de l'ancien gouvernement d'*apartheid*
 - le Sénégal a une structure administrative disposant généralement de peu de moyens; le pays a défini un système de gestion basé sur des *ASUFOR* (associations des usagers de forages) = gestion associative des équipements d'alimentation en eau potable

Dans un projet de développement, on s'appuie, bien-sûr, sur les standards existants.

Il est important de s'assurer que les « acteurs locaux » auront les capacités suffisantes pour s'occuper le projet, une fois celui-ci terminé (cf. chapitre 3.4).

2.4 HABITUDES LOCALES

Les pays / populations ont des habitudes, des solutions techniques qui, sans être inconnues des autres pays, n'y sont pas forcément utilisées ou maîtrisées:

- les puits et le nomadisme au Sahara
- les forages profonds en Afrique de l'Ouest
- le stockage de l'eau de pluie en Palestine
- les canalisations en PEHD en Palestine (qui n'y sont pas utilisées)
- les borne-fontaines prépayées en Afrique du Sud
- le ballons antibélier en France,...

Dans la mesure du possible, on met en place des techniques/solutions qui sont connues localement. Lorsqu'un système existe sur place, on s'appuie sur celui-ci pour l'améliorer et l'on met en oeuvre des systèmes éprouvés localement (borne-fontaines en Afrique de l'Ouest,...). On évite les expérimentations techniques ou sociales: l'introduction de technologies ou de marques inconnues localement, de systèmes de gestion complexes, ... Des innovations peuvent, bien sûr, être amenées (tuyaux PEHD, réservoirs circulaires par exemple), mais avec prudence.



Illustration 8: Borne fontaine prépayée (Afrique du Sud)



Illustration 7: Un autre modèle de borne fontaine prépayée (Afrique du Sud)



Illustration 9: Borne-fontaine au Sénégal (source HSF)

2.5 NIVEAU D'ATTENTE ET QUALITÉ DE SERVICE

Par qualité de service croissante:



- Puits (avec ou sans pompe à main) ou forage
- Borne-fontaines
- Branchements individuels
- Amélioration de la quantité et de la disponibilité de l'eau (fréquence et durée des coupures), desserte de zones excentrées
- Pays développés: pour les communes au-delà d'environ 5 000 / 10 000 habitants, sécurisation de l'alimentation en eau (doublement des ressources et/ou interconnexions avec des collectivités voisines) et amélioration de la qualité de l'eau distribuée (nitrates, pesticides,...) et défense incendie

Dans une ville de 10 000 habitants, les attentes sont plus élevées (branchements individuels) que dans un village de 500 habitants (pompe à main).



Illustration 10: Puits traditionnel en Afrique (source HSF)



Illustration 11: Branchement individuel dans une habitation au Sénégal (source HSF)

2.6 BUDGET ET FRAIS DE FONCTIONNEMENT

Le budget disponible pour l'investissement est bien-sûr un élément limitant, plus encore que dans les *pays du Nord*. La capacité de la communauté à mobiliser une participation à ce budget est primordiale; car elle reflète la capacité qu'elle aura à mobiliser des fonds pour le remplacement ou la réparations des équipements mis en place, ou pour payer les factures d'énergie (diesel ou électricité).

Un village de petite taille, purement agricole, aura des difficultés à payer l'énergie d'une pompe (électrique ou diesel), notamment dans les périodes de *soudure*. Le paiement des réparations est encore plus problématique. C'est pourquoi le niveau de service apporté doit être adapté aux capacités financières du village afin d'assurer la pérennité de son fonctionnement.

	puits modernes	puits et pompe manuelle	forage et pompe manuelle	forage motorisé	réseau avec bornes-fontaines	réseau avec branchements domiciliaires
Investissement (FF)	20 000 30 000	30 000 40 000	60 000 80 000	100 000 200 000	500 000 2 000 000	1 000 000 5 000 000
Soit par usager (FF)	200	200	350	150	500	1 000
Entreprises	locales	locales	nationales	étrangères	nationales	nationales
Charges récurrentes annuelles (FF)	50 100	200 500	200 500	5 000 10 000	10 000 30 000	30 000 100 000
Contraintes de renouvellement	négligeables	faibles	faibles	fortes	fortes	fortes

Tableau 1: coûts d'investissement et de fonctionnement suivant le niveau de service - année 1997 (source pS-Eau)

Notons que certains bailleurs utilisent, pour comparer l'efficacité de leurs subventions (et donc pour décider de leur soutien financier), des ratios de type « coût d'investissement par habitant » (en d'autres termes « nombre de personnes desservies / k€ investi »). Ces ratios présentent l'avantage de rationaliser le choix des projets. En revanche, ils doivent être utilisés avec prudence car les contextes socio-économiques sont différents d'un pays à l'autre et, dans un même pays, d'une région à l'autre.

3 ASPECTS TECHNIQUES

3.1 ASPECTS GÉNÉRAUX

3.1.1 L'organisation d'un réseau d'eau potable

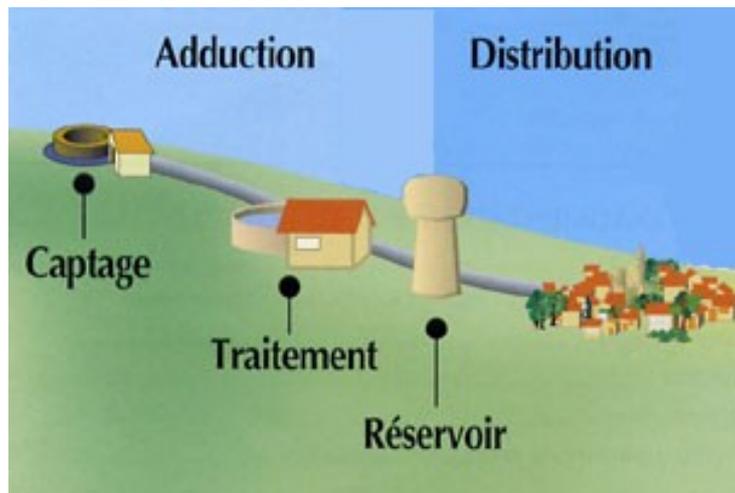


Illustration 12: Schéma de principe de l'alimentation en eau potable (source DDAF modifiée)

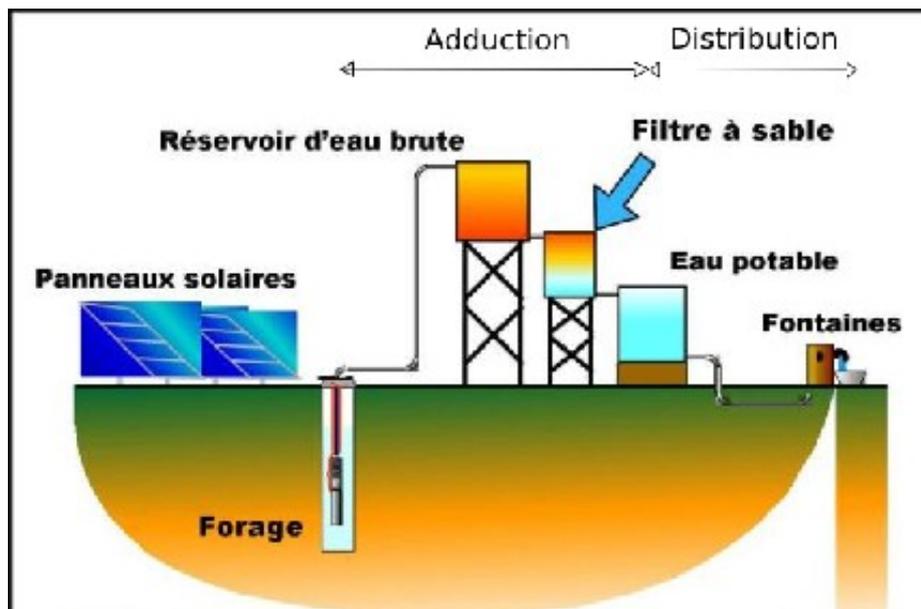


Illustration 13: Schéma de principe d'une alimentation en eau potable avec borne-fontaines (source pS-Eau modifiée)

3.1.2 Synthèse des types de réseaux

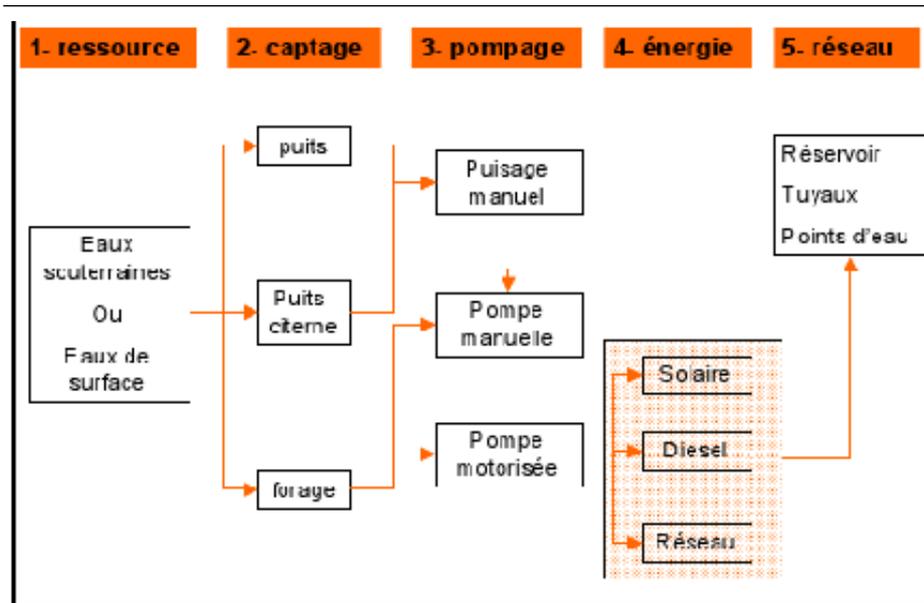


Illustration 14: Schéma des principaux systèmes d'alimentation en eau potable rencontrés dans les PEVD (source pS-Eau)

3.1.3 Les étapes dans la conception technique d'un réseau d'eau potable

Les étapes sont:

1. trouver de l'eau (avant de définir le reste)
2. définir les conditions de traitement / d'adduction / de distribution, etc...

Il paraît évident qu'il faut trouver de l'eau avant de penser à la distribuer aux populations. Pourtant on rencontre couramment des projets pour lesquels beaucoup d'efforts (financiers, techniques, temps,...) ont été mis dans l'aspect « pompage » et « réseau », alors que la ressource et son captage sont fragiles. Quand on parle de « ressource », il faut penser à sa qualité, à sa quantité et à sa régularité. La réflexion sur les modalités de distribution ne doit être menée que si une ressource sûre a été trouvée.

3.2 RESSOURCE ET BESOINS EN EAU

Analyse parallèle de la ressource et des besoins pour déterminer s'il y a suffisamment d'eau disponible.

3.2.1 Besoins

Besoins des populations humaines

de 7 à 150 l/pers./j

La norme OMS de survie pendant quelques jours est de 7 litres d'eau/pers./jour (cette valeur a été revue à la hausse, elle était auparavant de 3 à 5 litres).

La norme OMS pour les projets de développement est/était de 25 l/pers./j. Dans un projet de développement (long

terme), on considère *généralement* que le volume minimal nécessaire est d'environ 25 ou 30 l/pers/jour².

Toutefois, s'il n'y a pas de frein particulier à la consommation (prix, disponibilité,...) la consommation peut être plus élevée et atteindre des standards européens (150 l/pers/j). En zone rurale, dans les PEVD, des consommations importantes entraînent des problèmes (coûts importants, inégalités, altération de la ressource, ...), on essaie dans ce cas de rationaliser (de diminuer) la consommation afin de mieux la répartir.

L'estimation des besoins nécessite de répondre aux questions suivantes:

- Combien d'eau ont les populations actuellement ?
- Quel sont les standards du pays, de la "sous-région" ?
- Quelle est la situation locale, les aspirations au niveau du village / de la ville ? Ces aspirations sont à mettre en balance avec la *solvabilité* de la communauté.

2 Ces 25 l ne sont pas tous utilisés pour la boisson ou l'alimentation (pour lesquelles la qualité de l'eau doit être très bonne), mais il est préférable (à notre sens... car il y a débat sur la question) de ne pas apporter un volume plus faible (10-15 l) en comptant sur la population pour panacher la source d'eau en fonction de ses besoins (eau de boisson à la pompe à main et eau pour la toilette à la rivière). Mélanger des sources d'approvisionnement de bonne qualité et de moins bonne qualité présente des risques sanitaires (contamination) et le risque que les familles les moins solvables conservent les anciennes sources d'eau alors que les plus riches adoptent les nouvelles.

Table 1. Some standard water requirements
<p>Standard: All people have safe access to a sufficient quantity of water for drinking, cooking and personal and domestic hygiene. Public water points are sufficiently close to shelters to allow use of the minimum water requirement.</p> <p>Key indicators At least 15 Lpcd is collected.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Flow at each water collection point is at least 0.125 litres per second. • There is at least 1 water point per 250 people. • The maximum distance from any shelter to the nearest water point is 500 metres. <p>Guidelines</p> <p><i>Individuals</i> Minimum 'survival' allocation: 7 Lpcd (sustainable for only a few days)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drinking: 3-4 Lpcd • Food preparation, cleanup: 2-3 Lpcd <p>Medium term allocation: 15-20 Lpcd (sustainable for a few months)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drinking: 3-4 Lpcd • Food preparation, cleanup: 2-3 Lpcd • Personal hygiene: 6-7 Lpcd • Laundry: 4-8 Lpcd <p><i>Other needs</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Health Centres: 5 litres per out-patient; 40-60 litres per in-patient • Hospital (with laundry facilities): 220-300 litres per bed • Schools: 2 litres per student, (10-15 litres per student if water-flushed toilets). • Feeding Centres: 20-30 litres per patient • Camp Administration: (Staff accommodation not included) 5 Lpcd • Staff accommodation: 30 Lpcd • Mosques: 5 litres per visitor • Sanitation (hand-washing, cleaning latrines etc.): depends on technology. <p><i>Livestock and agriculture</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Cattle, horses, mules: 20-30 litres per head • Goats, sheep, pigs: 10-20 litres per head • Chickens: 10-20 litres per 100 • Vegetable gardens: 3-6 litres per square metre <p>Actual values depend on many variables (such as cultural practices and climate) that should be assessed by specialists</p>

Tableau 2: Quelques besoins en eau définis par l'OMS, pour des objectifs de très courts terme (quelques jours) à moyen terme (quelques mois)

Besoins des populations animales

Durant la saison sèche, les troupeaux de bovins (les plus gros consommateurs d'eau) peuvent être emmenés en transhumance ou abreuvés dans les marigots (encore faut-il le vérifier ou le suggérer).

En revanche, il faut prêter attention aux besoins des ovins, caprins, équins, asins et porcins qui sont moins « mobiles ».

En cas de pénurie de la ressource en eau, et notamment en saison sèche, il est préférable de les alimenter à d'autres sources d'eau... lors de la conception du projet, il sera alors nécessaire de discuter de la question.

Notons qu'il est parfois difficile d'obtenir le recensement des troupeaux.

Autres besoins

- Écoles, Mosquées, dispensaires, marchés, lorsqu'ils amènent des populations et du bétail de l'extérieur du village
- Maraichage et agriculture³
- Industrie



Illustration 15: Maraichage irrigué par un goutte à goutte à partir du réseau d'eau potable dans un village sénégalais (source HSF)

RISQUES:

=> répartition inégale de l'eau en cas de sous-estimation des besoins. Les zones basses sont alimentées les premières.

=> mise en dépression des canalisations: problèmes sanitaires (possibilité d'entrées d'eau souillée) et entrée d'air dans les canalisations (il faut ensuite le faire ressortir par des ventouses (ou par des robinets s'il n'y a pas de compteurs))

³ Le maraichage et l'agriculture ne nécessitent pas de disposer d'une eau d'aussi bonne qualité que l'eau de boisson, aussi est-il préférable d'étudier des méthodes d'approvisionnement distinctes (et moins coûteuses) pour les besoins de ce type: eaux de surface ou puits.

3.2.2 Eaux de surface

Eau disponible en grande quantité

Eau sensible aux pollutions (bactériologiques)

Nécessité de s'informer des activités en amont et de faire des analyses (recherche de coliformes fécaux)

Traitement

Si un traitement est à envisager :

- situations d'urgence: (décantation en bâches souples) + chloration



Illustration 16: Citerne souple pour l'alimentation en eau en situation d'urgence (source CITAF)



Illustration 17: Citernes souples utilisées par l'armée française dans des unités mobiles de traitement de l'eau (source CITAF)

- projets de développement:
 - Solutions collectives:
 - ➔ Décantation dans la retenue (prises d'eau en rivière)
 - ➔ Filtres à sable
 - ➔ Chloration
 - Solutions individuelles: filtres ou chloration à la maison

La communauté doit s'approprier ce traitement. **Celui-ci est généralement considéré comme superflu par les populations locales**, comme c'est parfois le cas en France⁴. Il est alors nécessaire de sensibiliser et de former lors de la mise en place de la solution et d'assurer ensuite un accompagnement.

=> Dans les projets de développement, on essaie d'éviter les eaux de surface.

4 cahier n°10 de pS-Eau « Chloration en milieu rural dans les pays en voie de développement »
http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cahier10_chloration.pdf

3.2.3 Eau de pluie

Solution qui utilise des baches béton construites à côté / sous les habitations pour stocker l'eau pendant la saison des pluies.

Le volume de stockage est généralement très important. Il dépend de la régularité des pluies (une ou deux saisons des pluies). C'est donc une solution coûteuse et qui nécessite un savoir-faire technique (étanchéité de la réserve).

Exercice:

Quel volume de stockage d'eaux de pluie faut-il prévoir pour satisfaire aux besoins d'une famille, alors que sous ce climat il n'y a qu'une seule saison des pluies ?

Qualité de l'eau

Conservation au frais (pas de réserves en tôle ou en matières plastiques), à l'abri de la lumière. Moustiquaires et filtres sur les entrées.

Penser à un nettoyage périodique.

Attention aux moyens de puisage et à l'assainissement (afin de ne pas contaminer l'eau stockée).

=> une solution "de dernier recours" (Palestine)

3.2.4 Eau souterraine peu profonde (nappe phréatique)

Vocabulaire: Quelle différence y a t il entre un puits et un forage ?

Captée généralement par des puits (des forages peuvent aussi être réalisés).

Il faut prêter attention aux variations de niveau / productivité du puits pendant l'année.

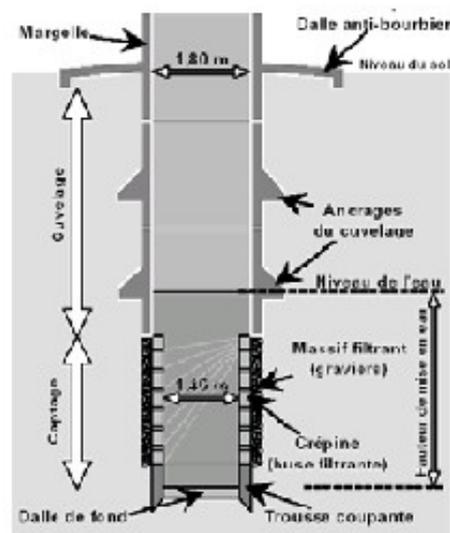


Illustration 18: Schéma de principe d'un puits moderne (source pS-Eau)

Capacité

La capacité des puits dépend de la zone dans laquelle ils sont réalisés. Par exemple, au Sénégal, dans les zones qui ne sont pas propices (c'est à dire toutes les zones exceptées la Casamance et la cote atlantique), la capacité des puits est de l'ordre de 1 m³/h.

La capacité dépend également du rabattement que l'on peut avoir sur le puits (sans l'assécher), c'est à dire de la manière dont il a été réalisé (profondeur sous le niveau de la nappe, pertes de charges dans le massif filtrant et les crépines).

Exercice:

Une pompe à main permet d'extraire un débit d'environ 1,5 m³/h. Quelle population peut-on alimenter (si le puits a une capacité suffisante) ?

Dans une zone du Sénégal défavorable à la construction des puits, quelle population peut-on alimenter à partir d'un puits dont la capacité est de 1 m³/h à l'aide d'une pompe à main ? à l'aide d'une pompe électrique ou diesel (quel volume de stockage est alors nécessaire) ?

Principes de fonçage des puits: « le puits moderne »

Comment creuse-t-on les puits ?⁵

Qualité

Meilleure que celle des eaux de surface.

Les risques de pollution sont:

- depuis la surface (le long du cuvelage du puits)
- par le biais d'autres puits (pollution de la nappe phréatique)
- par les moyens de puisage (corde,...), ainsi que lors du transport ou puisage individuel
- par un assainissement problématique (pollution de la nappe phréatique)

=> une solution généralement adéquate pour les petites communautés, à employer sous réserve que les risques de pollution soient maîtrisés.

3.2.5 Eau souterraine profonde

Captée généralement par forages (ou puits au Sahara)

Nécessite des engins de puisage (pompe à main, motopompe)

Capacité

A titre d'exemple, en Afrique de l'Ouest, un forage profond a une profondeur de 150/200m et peut fournir 60 m³/h (pour un rabattement de 5m au bout d'un an en pompage continu). Ces valeurs sont très variables d'une région à l'autre et même d'un forage à l'autre.

Exercice:

⁵ Se référer à http://www.interaide.org/pratiques/pages/eau/techniques/161_puits.pdf

Un groupement de villages dispose d'un forage de capacité 60 m³/h.

Quelle population maximale peut-on espérer desservir ?

Quel volume le château d'eau aurait-il dans ce cas ?

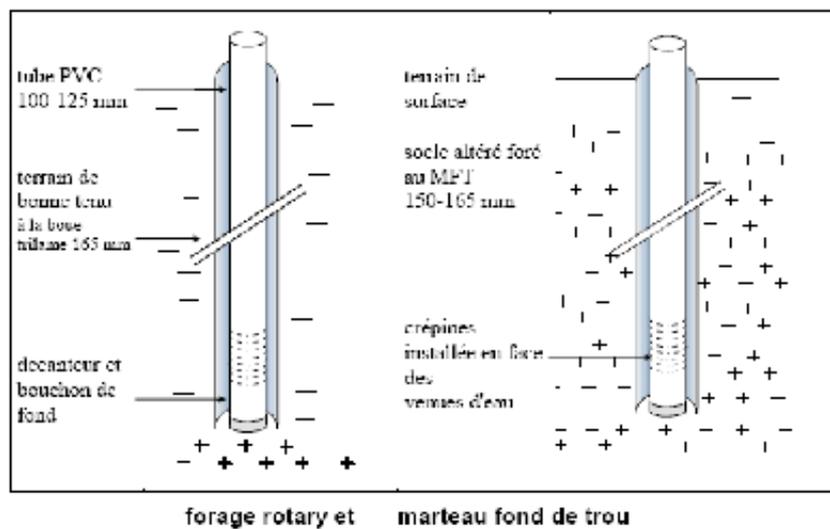
Principes de creusement des forages

Il existe deux grandes techniques de forage:

- le « marteau fond de trou » (MFT)
- le « rotary » (ou *trilame* ou *tricone*)

Les terrains durs ou compacts sont forés au « marteau fond de trou ». Avec ce système, l'impulsion est donnée par le *marteau* situé au fond du forage. Ce système permet ainsi d'obtenir facilement des forages verticaux. Les copeaux sont évacués par l'air comprimé injectés dans le forage. Il y a possibilité de descendre un tubage à l'avancement sur quelques mètres.

Les terrains plus meubles sont forés au *rotary*. Les parois sont alors maintenues par de l'eau ou des mélanges liquides de type bentonite, lors du creusement, pour éviter l'effondrement du forage. L'utilisation de bentonite nécessite une phase de *développement* du forage plus poussée (afin de nettoyer la boue de bentonite).



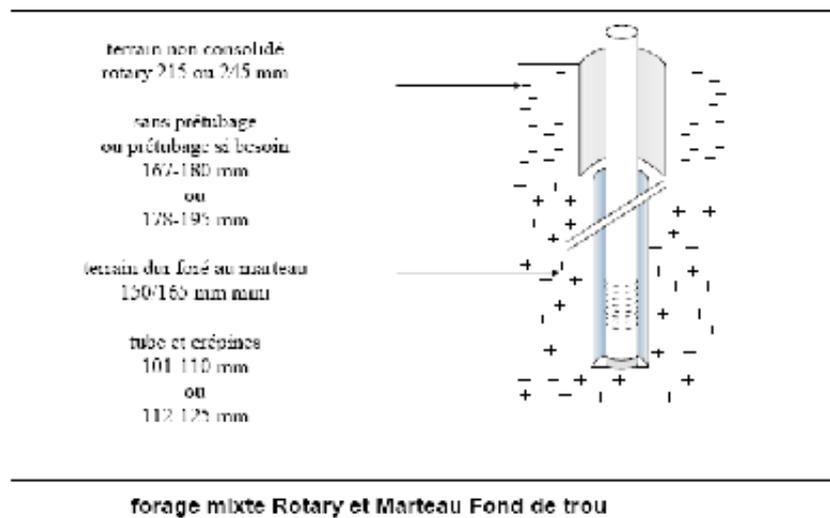


Illustration 19: Trois exemples de conception courantes de forage d'eau potable (source ACF)

Le tubage est mis en place après forage. Une partie crépinée est placée au droit de l'aquifère à capter. Il est recommandé (source ACF⁶) de tuber l'ensemble du forage, même dans les terrains durs (socle,...). En revanche, il arrive que dans les terrains très durs (granite peu fracturé) aucun tubage ne soit mis en place sur la partie basse du forage. En cas de doute, consulter un hydrogéologue.

Les deux dernières étapes (mise en place du massif filtrant et développement) sont indispensables et doivent être contrôlées car il n'est pas rare que des *économies* soient faites sur le massif filtrant:

- mise en place d'un massif filtrant:

Un massif filtrant (gravier) est mis en place entre le tubage (*casing*) et le sol. Celui-ci évite l'érosion des parois du sol par entrainement des fines. Afin d'éviter le transit de pollution depuis la surface, le gravier est surmonté d'une couche d'argile puis d'un bouchon béton.

- développement du forage:

Le développement du forage consiste à pomper à fort débit et à alterner les phases de pompage et d'arrêt afin d'éliminer les particules fines autour du forage. Une méthode courante (l'air-lift) consiste à envoyer de l'air comprimé dans le forage. Cela permet également de bien mettre en place le gravier du massif filtrant.

6 [http://irc-eh-field-guide.com/EH_PORTABLE_LIBRARY/EH%20KEY%20REFERENCES/WATER/Drilling/Drilling%20General%20Reference/Drilling%20\(ACF%20-%20French\).pdf](http://irc-eh-field-guide.com/EH_PORTABLE_LIBRARY/EH%20KEY%20REFERENCES/WATER/Drilling/Drilling%20General%20Reference/Drilling%20(ACF%20-%20French).pdf)



Illustration 20: Foreuse au Burkina Faso (source Les amis du Burkina)

Qualité

Normalement, si la nappe captée est profonde (n'est pas la nappe phréatique) et qu'un bouchon a été réalisé au-dessus de la zone crépinée, alors il n'y a pas de pollution anthropique

En revanche, il faut faire attention à la qualité chimique des eaux (pollution *géologique*: fluor, arsenic, métaux, ...), voire à la pollution agricole si des produits phytosanitaires sont utilisés (pesticides, nitrates). Notons que les critères de potabilité de l'eau sont bien moins contraignants dans les PEVD qu'en Europe et qu'il est encore rare de s'y préoccuper de la pollution d'origine agricole.

=> Solution privilégiée pour les projets de développement.

3.2.6 Les essais (hydrauliques) de puits et de forages

Ils sont à réaliser lors de la saison la plus défavorable (fin de saison sèche)

Dès que l'on cherche à installer une pompe autre qu'une pompe à main (c'est à dire dès que l'investissement et la population raccordée sont importants), il est indispensable de procéder à des essais de pompage.

Ils consistent à installer une pompe en fond de puits/forage et de pomper par paliers de débits croissants jusqu'à assèchement (dénoyage de la pompe); pendant le pompage, la baisse du niveau d'eau est suivi. Il est ensuite possible d'en déduire le rabattement à un débit donné pour un pompage continu.

L'analyse dans les milieux continus (sable ou milieu très fracturé) est aisée. En revanche, dans les milieux fracturés de type granite (grosses fractures productives), l'analyse est plus complexe; il est alors absolument indispensable d'être aidé d'un hydrogéologue connaissant bien ce type de milieu.

3.3 SYSTÈMES D'ALIMENTATION EN EAU

Quelques niveaux de service sont décrits ici, mais toutes les étapes intermédiaires sont possibles.

3.3.1 Niveau 0: Marigot, eau de surface

C'est la situation que l'on rencontre dans certains villages très défavorisés ou lorsque le sous-sol n'est pas propice à la réalisation de puits (Afrique du Sud).

Les principaux problèmes de ce type de puisage sont la mauvaise qualité de l'eau (pollution par ruissellement lors des pluies et par les autres personnes venant puiser, animaux), la faible quantité disponible et les distances importantes à parcourir).



Illustration 22: Puisage de l'eau dans des trous d'eau en surface - Afrique du Sud (source HSF)

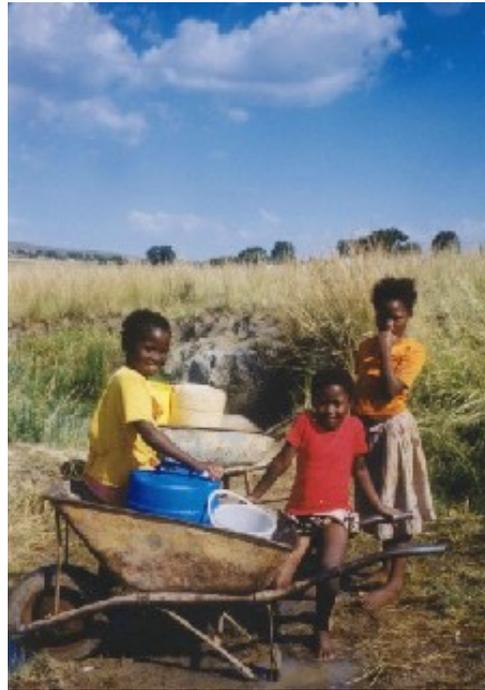


Illustration 21: Enfants allant puiser dans des trous d'eau - Afrique du Sud (source HSF)

3.3.2 Niveau 1: Puits

On trouve généralement des puits dans les villages africains lorsque le sous-sol permet d'obtenir de l'eau à faible profondeur. Leur aménagement est plus ou moins abouti (margelle, fermeture, ...)



Illustration 23: Puits aménagé au Sénégal (source HSF)



Illustration 24: Puits traditionnel en Afrique (source HSF)

Les puits présentent les désavantages suivants:

- pollution de l'eau (par d'autres puits pollués, par un mauvais assainissement)
- pollution de l'eau lors du puisage ou lors du transport (cordes trainant sur le sol, mains sales,...)
- nécessité de transporter l'eau
- risque de tarissement en saison sèche
- risque de pollution de la nappe une fois abandonnés (nécessité de les fermer)

Il est préférable (lorsque l'infrastructure en place le permet) d'équiper les puits de pompes à main.

3.3.3 Niveau 2: Pompe à main

L'installation d'une pompe à main sur un puits (ou sur une source ou un forage) permet d'éviter la pollution de la nappe phréatique depuis la surface du puits (chute d'objets ou pollution par les cordes et seaux)

En revanche, il est alors nécessaire de disposer d'un modèle de pompe pour lequel les pièces détachées sont aisément disponibles (magasin disposant d'un petit stock) et d'un artisan local sachant les réparer. Il faut également s'assurer que la collectivité peut mobiliser une somme d'argent pour payer les réparations.



Illustration 25: Pompe à main en Afrique-du-Sud (source HSF)

Question:

Jusqu'à quelle profondeur peut-on extraire de l'eau avec une pompe à main ?

3.3.4 Niveau 3: Mini-réseau et borne-fontaines

Un réseau distribuant l'eau par le biais de borne-fontaines limite la longueur de canalisations à poser (et donc l'investissement, les fuites et le temps de séjour). En revanche, les populations doivent encore se déplacer pour obtenir l'eau potable.

Lorsque un système de distribution mixte (borne-fontaines et branchements particuliers) existe, le coût de l'eau à la borne-fontaine peut être nettement supérieur au coût au branchement particulier (notamment si l'on ne considère pas le surplus de canalisations nécessaires aux branchements particuliers). Ceci est d'autant plus vrai lorsque la proportion d'habitants utilisant les borne-fontaines est limitée. En effet, le fontainier facturant l'eau se paie sur le prix de l'eau vendue: le système de vente par borne-fontaines n'est donc rentable que lorsqu'un volume important est vendu.

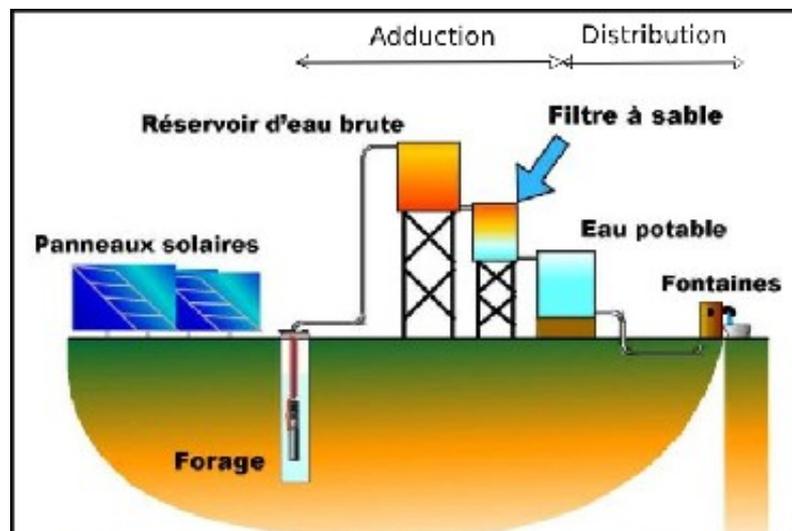


Illustration 26: Schéma de principe d'un réseau d'alimentation en eau potable basé sur des borne-fontaines (source ps-eau modifiée)

Exercice:

Dans un village, si le coût de revient de l'eau est de 175 Fcfa/m³ et si la bassine de 20 l est vendue 10 Fcfa, quelle population doit desservir une borne fontaine pour assurer un revenu de 1500 Fcfa/jour à son fontainier ?

3.3.5 Niveau 4: Réseau complet avec branchement particuliers

Un réseau amenant l'eau chez les particuliers par le biais de branchements individuels nécessite un investissement plus important à la fois pour payer la pose de canalisations et pour payer les compteurs et regards (si le paiement au volume est retenu, ce qui est conseillé).

Les fuites sont plus importantes (car le linéaire de réseau est plus important).

Le paiement au volume (compteurs) est fortement recommandé pour les branchements particuliers car le risque de *gaspillage* est trop important (en cas de paiement au forfait). Le paiement au volume nécessite de mettre en place une infrastructure complexe pour gérer le réseau et la facturation.

3.3.6 Synthèse

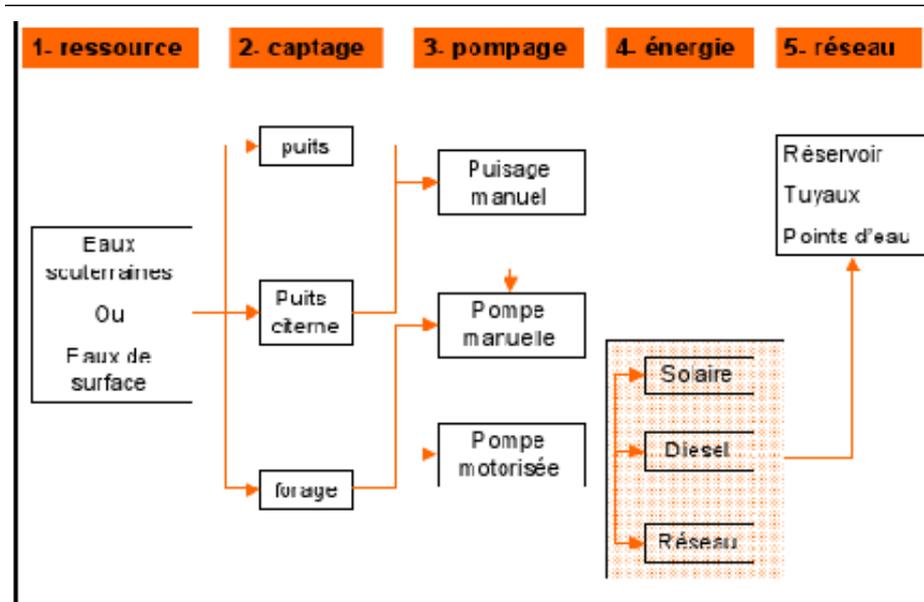


Illustration 27: Schéma des principaux systèmes d'alimentation en eau potable rencontrés dans les PEVD (source pS-Eau)

3.4 GESTION DU RÉSEAU ET RECOUVREMENT

3.4.1 Qui va gérer le réseau ?

Les projets de développement ont été souvent critiqués pour leur manque d'appropriation par les populations/structures locales.

L'exemple classique est celui d'une campagne de création de forage avec installation de pompes à main menée à l'échelle d'un pays ou d'une région, pour laquelle on retrouve les pompes à main en panne quelques années plus tard (et les habitants ayant retrouvé leurs anciens modes de puisage).

Structure administrative

Il est indispensable de penser, dès la conception du projet, aux structures qui en seront propriétaires et à leur mode d'organisation.

Lorsque les collectivités locales (communes) sont suffisamment structurées c'est vers elles que l'on se tourne naturellement. Malheureusement, dans de nombreux pays en voie de développement ce n'est pas le cas. Ainsi on met souvent en place (ou l'on s'appuie sur) des structures associatives ou sur des structures élues pour l'occasion.

Ainsi au Sénégal en 1990, l'Etat a mis en place un schéma de gestion des forages et réseaux d'eau ruraux basé sur:

- une association d'usagers, composée de membres élus: l'ASUFOR (association des usagers de forage), qui peut déléguer tout ou une partie de la gestion du service d'eau potable: production, distribution et facturation;
- un gestionnaire délégué ou exploitant délégué privé qui assure au jour le jour le fonctionnement du forage et du réseau, la facturation et la gestion financière (en fonction des compétences qui lui ont été déléguées)

Ce type de schéma, formalisé au Sénégal avec l'ASUFOR, se retrouve couramment dans les projets de développement. Dans tous les cas, il faut s'informer auprès des autorités sur les modalités de gestion dans l'eau dans le pays où l'on travaille, afin de s'assurer de la légalité et de la pérennité de la structure mise en place.

Structure technique

Le niveau de compétence technique des fontainiers dépend bien-sûr du réseau mis en place.

Pour les pompes à main, il est fait appel à des artisans-réparateurs qui travaillent dans la région (ville voisine,...). On choisit dans ce cas un type de pompe à main couramment utilisé dans la région. Ces artisans ne sont pas nécessairement résidents au village car les interventions sont peu fréquentes.

Les pompes diesel présentent l'avantage d'être facilement réparables localement (les moteurs diesel sont identiques à ceux des camions) car il existe de nombreux mécaniciens. En revanche, ces moteurs nécessitent des frais de fonctionnement et d'entretien importants.

Les pompes électriques de forage ne se réparent généralement pas (sauf de petites pannes de fusibles, ...) et sont remplacées intégralement en cas de panne, mais l'installation électrique nécessite une compétence particulière.

Les travaux sur le réseau nécessitent des connaissances de fontainerie. Bien souvent, les fontainiers, même compétents, conservent des pratiques assez rudimentaires (réparation des fuites à l'aide de chambres à air, soudure des pièces PVC à la flamme). Ces pratiques à faible coût se justifient lorsque les ressources du village sont faibles et que les pressions dans le réseau sont basses. Si la pression dans le réseau dépasse quelques bars (château d'eau), les réparations et branchements faits sans pièces adéquates peuvent générer de fuites.

Il existe souvent des programmes de formation des fontainiers (ainsi que pour les mécaniciens, réparateurs,...) soit à l'échelle nationale, soit dispensés par des ONG. En revanche, il est préférable de ne pas investir dans un projet technologiquement trop complexe qui nécessitera des formations lourdes (électricité,...) alors que les structures ne sont pas en mesure de conserver le personnel formé (villages). Si des interventions ponctuelles sont nécessaires (électricité par exemple), on peut imaginer faire appel à des personnes / structures (parfois étatiques) existantes pour procéder aux réparations. Dans le village de Bokidiawé (Sénégal), les réparations électriques sur l'installation de pompage sont effectuées par la *Brigade des puits et forages* (structure étatique) et facturées au village, alors que les réparations des fuites sont faites par les fontainiers résidant au village.

3.4.2 Qui et comment payer ? ... et les populations pauvres ?

Le coût de l'eau

L'eau est gratuite, mais sa mise à disposition des populations a un coût:

- Remboursement des installations (puits, forage, canalisations, pompes, ...)
- Énergie
- Réactifs (si traitement)
- Amortissement pour réparations et remplacement des équipements (et éventuellement du *génie-civil*)
- Salaires

En Ile-de-France, le prix de l'eau (hors assainissement, taxes de l'agence de l'eau comprises) est en moyenne de 1,73 €TTC/m³ (année 2005).

Au Sénégal, le prix de l'eau est d'environ 175 Fcfa/m³ pour les branchements particuliers en zone rurale (soit 0,27 €TTC/m³).

Le recouvrement

Trois grands systèmes existent:

- le paiement ponctuel;
- le paiement au forfait;
- le paiement au volume.

Le **paiement ponctuel** consiste à mobiliser les ressources financières dans le village lorsque le besoin se fait sentir (remplacement d'une pompe, rénovation d'un puits,...). Cette méthode permet de ne pas dépendre du système bancaire,

d'éviter les détournements d'argent et ne présente pas de difficultés comptables (facturation,...). En revanche, elle ne peut plus s'appliquer lorsque les sommes à mobiliser sont trop importantes ou lorsqu'elles risquent d'intervenir dans une période où la collectivité dispose de peu de liquidités (collectivités rurales avant les récoltes), ou lorsque qu'une réserve doit être disponible pour faire face aux urgences ou aux réparations courantes. C'est pourquoi ce système *traditionnel* est recommandé pour les petites installations (puits, ...) car les sommes à mobiliser sont faibles et qu'elles ne doivent pas nécessairement être mobilisées dans l'urgence (période de soudure).

Le **paiement au forfait** (1500 Fcfa par famille et par mois par exemple) est relativement simple à mettre en place. En revanche, ce système présente certains désavantages:

- inégalités suivant la taille la famille et la consommation effective;
- n'incite pas aux économies d'eau, notamment lorsque les habitations disposent de branchements particuliers.

Ce système est recommandé lorsque les charges à recouvrir sont faibles et les consommations limitées (pompes à main et mini-réseaux avec borne-fontaines), mais que néanmoins le gestionnaire du réseau d'eau doit disposer d'une réserve financière pour faire face aux imprévus.

Le **paiement au volume** est aisé (techniquement) aux bornes-fontaines. Mais il nécessite néanmoins la présence d'un fontainier (qui vérifie le paiement), ce qui surenchérit le prix de l'eau. Notons que cela permet également de fixer des emplois au village.

L'installation de compteurs chez les particuliers nécessite un système de gestion plus complexe que le paiement au forfait ou le paiement à la borne-fontaine: releveurs capables de lire les index, service de facturation capable d'éditer les factures et d'assurer le recouvrement des impayés, fontainiers capables d'assurer l'entretien et le remplacement des compteurs. Ce système ne garantit pas l'absence de fraudes, notamment si des *branchements clandestins* sont effectués.

Et les plus pauvres ?

Il ne faut pas négliger les disparités au sein des populations d'une même ville ou village. Les familles pauvres (« the poorest of the poor »⁷) sont plus touchées par les maladies, par les corvées d'eau, aussi un projet de développement doit améliorer les confitions de vie du village ET des familles pauvres.

Il est indispensable de s'assurer et de rappeler aux partenaires du projet (y compris locaux) que les familles pauvres sont la priorité des actions de développement. Elles doivent impérativement avoir accès aux infrastructures que l'on met en place, même si elles n'ont pas de moyens financiers suffisants.

L'Afrique du Sud se veut novatrice sur le sujet. Elle a instauré au niveau national une tarification progressive. Les 25 premiers litres (par personne et par jour) sont gratuits et les volumes suivants sont payants (avec un prix de l'eau augmentant avec la consommation).

La mise en place d'un tel système de « facturation progressive » et de « financement croisé » est difficile, même avec le soutien d'une administration aussi organisée que l'administration sud-africaine. En effet, en Afrique-du-Sud, le système se résume dans la pratique à attribuer 6000 l gratuits par famille et par mois, sur la base d'une hypothèse de 8 personnes par famille (quelque soit la taille réelle de la famille). Ainsi les familles nombreuses sont lésées et les familles peu nombreuses avantagées. Un système équivalent existe au Sénégal (Dakar). Or, à Dakar, il est courant que certains compteurs desservent des immeubles entiers (pour économiser les frais de pose à la charge du propriétaire !) surenchérisant ainsi les factures d'eau.

L'installation d'un système évolué (branchements particuliers, voire même borne-fontaines) peut s'avérer rédhibitoire pour les familles les plus démunies (frais d'installation du compteur et regard d'un minimum de 20€). Le coût de l'eau à la borne-fontaine (ou au compteur) peut inciter certaines familles pauvres à conserver d'anciennes (mauvaises) pratiques (puisage d'eaux de surface,...). Il faut donc veiller à ce que les familles les plus démunies soient prises en compte. Cette prise en compte est difficile car les familles pauvres ne sont pas toujours *recensées* et elles ne souhaitent pas nécessairement se déclarer, pour des raisons de pudeur. L'implication de notables du village ayant de l'influence et une bonne connaissance des habitants de leur quartier est indispensable. Notons qu'au Sénégal des fonds existent pour aider les familles pauvres à payer les frais d'installation des compteurs individuels.

⁷ Expression sud-africaine très courante

3.4.3 Le suivi des projets de développement

Les projets de développement ont également été critiqués pour le manque de suivi (par les bailleurs et les associations) après la fin des travaux.

Les systèmes de gestion de l'eau nécessitent de créer des structures (administratives et techniques) gérant d'une manière *occidentale* l'amortissement des équipements, ... Ces structures ont besoin de temps (plusieurs années) pour se mettre en place, même avec un fort appui extérieur. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer des missions de suivi à intervalles réguliers. Par exemple, HSF et l'ADMVB, qui ont mis en place l'ASUFOR et le comité de gestion de Bokidiawé (Sénégal), organisent des missions tous les deux ans environ. Ces missions sont effectuées par des étudiants; elles permettent de réaliser un audit du fonctionnement de l'ASUFOR et de l'exploitant et de rectifier les dérives constatées.

4 ANNEXES

4.1 ANNEXE 1 – QUELQUES LIENS

Vergnet	http://www.vergnet.fr/	<i>(fournisseur de pompes à main, matériel éolien et solaire)</i>
ReFEA	http://www.oieau.fr/ReFEA/module3.html	
Interaide	http://www.interaide.org/pratiques/index.htm	
pS-Eau	http://www.pseau.org/outils/biblio/liste.php?docu_collection_id=cahi_tech	
pS-Eau	http://www.pseau.org/outils/technologies/presentation.htm	

4.2 ANNEXE 2 – RÉPONSES AUX EXERCICES

Dans ces exercices, nous n'avons tenu compte que des besoins des populations humaines (pas d'animaux), nous n'avons tenu compte ni d'activités particulières (marchés, dispensaire,...), ni des coefficients de pointe (en été), ni de l'accroissement de la population. Les calculs sont donc (volontairement) simplifiés. Ils permettent de comparer, par le calcul, la faisabilité technique de chacun des grands types d'alimentation en eau potable (puits / forage, pompe à main / pompe électrique,...).

La formulation des exercices ne pose pas toutes les hypothèses pour les résoudre. Il est donc nécessaire de poser ses propres hypothèses. Les hypothèses posées ici sont des hypothèses « réalistes » mais qui, bien sur, devront être adaptées dans la pratique (si un projet réel doit être dimensionné): la consommation, le degré de sécurité de l'installation (heures de coupure) et les coefficients de sécurité à appliquer sur les dimensionnements,... sont tous des paramètres à adapter.

Exercice 1:

Quel volume de stockage d'eaux de pluie faut-il prévoir pour satisfaire aux besoins d'une famille, alors que sous ce climat il n'y a qu'une seule saison des pluies ?

Hypothèses: une famille de 5 personnes @ 30 l/j/pers, saison sèche de 8 mois

Volume utile minimum = $5 \times 30 \times (365 \times 8 / 12) = 36,5 \text{ m}^3$

(soit 60cm de profondeur utile sous une maison de 60 m², ou une surface de 20m² et de 2m de profondeur utile)

Cet exercice montre que le recours au stockage de l'eau de pluie peut nécessiter (suivant le climat) des volumes de stockage qui s'avèrent importants pour une famille.

Exercice 2::

Une pompe à main permet d'extraire un débit d'environ 1,5 m³/h. Quelle population peut-on alimenter (si le puits a une capacité suffisante) ?

Hypothèse: pompage manuel durant 8h par jour

Volume journalier extrait = $1,5 \text{ m}^3/\text{h} \times 8\text{h} = 12 \text{ m}^3$

Population desservie = $12\ 000 \text{ l} / 30 \text{ lpcd} = 400 \text{ personnes}$

Dans une zone du Sénégal défavorable à la construction des puits, quelle population peut-on alimenter à partir d'un puits dont la capacité est de 1 m³/h à l'aide d'une pompe à main ?'

Hypothèses: pompage manuel durant 8h par jour, le puits a un volume de stockage négligeable

Volume journalier extrait par une pompe à main = $1 \text{ m}^3/\text{h} \times 8\text{h} = 8 \text{ m}^3$

Population desservie par la pompe à main = $8000 \text{ l} / 30 \text{ lpcd} = 270 \text{ personnes}$

... à l'aide d'une pompe électrique ou diesel ?

Hypothèse: on considère qu'une coupure du pompage pendant 2h (une journée donnée) est possible sans perturber l'alimentation en eau

Volume maximal extrait par une pompe électrique = $1 \text{ m}^3/\text{h} \times 22\text{h} = 22 \text{ m}^3$

Population desservie par la pompe = $22\ 000 \text{ l} / 30 \text{ lpcd} = 730 \text{ personnes}$

Quel volume de stockage est alors nécessaire ?

Hypothèses: débit du puits de 1 m³/h, pompage 22h par jour, sous-tirage de l'eau par la population à un débit constant durant 4h, population desservie = population maximale = 730 personnes, une coupure du pompage (2h max) n'intervient pas durant la pointe de consommation (4h)

$$\text{Consommation journalière} = 730 \times 30 = 22 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume pompé allant directement à la population lors des 4h} = 4 \text{h} \times 1 \text{ m}^3/\text{h} = 4 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume à stocker} = 22 - 4 = 18 \text{ m}^3$$

Cet exercice montre qu'une pompe à main (sur un puits ou un forage) n'est adaptée que pour de petites communautés (env. 400 personnes maximum par pompe) et que l'alimentation de communautés plus importantes nécessite de multiplier les puits et les pompes (ce qui n'est économiquement pas raisonnable pour des populations importantes).

Il montre également que dans une situation de pénurie de la ressource en eau, le recours à un débit de pompage régulier mais de longue durée (quasicontinu) permet de maximiser le volume prélevé et la population desservie, mais que cela nécessite de disposer d'un volume de stockage.

Exercice 3

Un groupement de villages dispose d'un forage de capacité 60 m³/h. Quelle population peut-on espérer desservir ?

Hypothèse: consommation de 30 lpcd, coupure du pompage pendant 2h max par jour sans gêne pour les usagers

$$\text{Population desservie max} = 60 \text{ 000 l/h} \times 22 \text{h} / 30 \text{ lpcd} = 44 \text{ 000 personnes}$$

Quel volume le château d'eau aurait-il dans ce cas ?

Hypothèses: sous-tirage de l'eau par la population à un débit constant durant 4h, population desservie = population maximale = 44 000 personnes, une coupure du pompage (2h max) n'intervient pas durant la pointe de consommation (4h)

$$\text{Consommation journalière} = 44 \text{ 000} \times 30 = 1320 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume pompé allant directement à la population lors des 4h} = 4 \text{h} \times 60 \text{ m}^3/\text{h} = 240 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume à stocker} = 1320 - 240 = 1080 \text{ m}^3$$

Cet exercice montre qu'un forage (ou un puits) de bonne capacité permet d'alimenter une population très importante (attention tout de même au fait qu'aucun coefficient de pointe, sécurité, n'a été pris en compte).

Il montre également que pour tirer partie au maximum de la capacité d'un forage, il faut (en pompant à débit régulier) disposer d'un volume de stockage important.

Exercice 4

Dans un village, si le prix de revient de l'eau est de 175 Fcfa/m³ et si la bassine de 20 l est vendue 10 Fcfa, quelle population doit desservir une borne fontaine pour assurer un revenu de 1500 Fcfa/jour à son fontainier ?

Hypothèse: consommation de 30 lpcd

$$\text{Prix de revient de l'eau} = 175 \text{ Fcfa} / \text{m}^3$$

$$\text{Prix de vente de l'eau en bassine} = 1000 \text{ l} / 20 \text{ l} \times 10 \text{ Fcfa} = 500 \text{ Fcfa}$$

$$\text{Marge du fontainier par m}^3 \text{ vendu} = 500 - 175 = 325 \text{ Fcfa} / \text{m}^3$$

$$\text{Volume journalier à vendre pour garantir le salaire} = 1 \text{ 500} / 325 = 4,6 \text{ m}^3$$

Population desservie correspondante = $4\,600 / 30 = 150$ personnes

Ceci montre à quel point l'eau vendue à la bassine doit être « chère » si l'on veut qu'un fontainier puisse vivre de cette vente.

Exercice supplémentaire:

Si une population augmente de 2% par an, en combien d'années double-t-elle ?

$$N = \ln(2) / \ln(1,02) = 35 \text{ ans}$$

Ce qui montre toute l'incertitude des prévisions d'évolution de la population à +10 ou +20 ans.

4.3 ANNEXE 3 – GUIDE PS-EAU: « VOUS MONTEZ UN PROJET D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DE BOISSON ? AVEZ VOUS PENSÉ À ...? »