

SYNTHESE TECHNIQUE

| |
|---|
| <p>DISPOSITIFS RUSTIQUES D'ALIMENTATION ET DE TRAITEMENT DE L'EAU POTABLE POUR DES SERVICES DE PETITES TAILLES EN REGIONS DEFAVORISEES</p> |
|---|

MOLINIE Léa

E-mail:
lea.molinie@engref.agroparistech.fr

Juin 2009

RESUME

Ce travail présente des techniques « récentes » d'intérêt permettant de fournir de l'eau potable à des villages ruraux dans les pays en voie de développement, où l'accès à l'eau potable des plus démunis est un enjeu majeur en termes d'état de santé des populations et de réduction de la pauvreté.

MOTS CLES

Eau potable, Traitements de potabilisation, Techniques, Gestion, Villages, Rural, Rustique, Pompes manuelles, Désinfection, UV, Bornes fontaines, Pays en voie de développement

INTRODUCTION

Dans leur **Déclaration du Millénaire (2000)**, les Nations Unies ont défini des objectifs de développement qui visent à améliorer les conditions de vie d'ici à 2015. Au nombre de ces objectifs, celui de « réduire de moitié, d'ici 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas accès à l'eau potable ». **A ce jour, les Nations Unies estiment en effet que plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès à l'eau potable.**

Or, l'état de santé des populations et les problèmes spécifiques à la pauvreté sont inextricablement liés aux problèmes des ressources en eau (disponibilité, proximité, quantité et qualité). **Dans les pays en développement, 80% des maladies sont d'origine hydrique, et plusieurs millions de personnes meurent chaque année des suites de maladies diarrhéiques causées par des bactéries, parasites ou virus.**

Il apparaît donc urgent d'améliorer l'accès des populations démunies à l'eau potable. De nombreux acteurs de la communauté internationale sont mobilisés sur le sujet depuis longtemps déjà. **L'objectif de ce travail** est de s'intéresser plus particulièrement aux **actions menées auprès des populations les plus isolées, vivant dans de petites communautés en milieu rural, dans les pays en voie de développement.**

Il s'agira de présenter des **dispositifs parmi les plus prometteurs**, actualisés à l'échelle des 10 dernières années, pour permettre d'alimenter en eau potable (selon les normes de l'OMS) une population de 1 000 habitants maximum (soit entre 2 et 20 m³ d'eau potable par jour, si l'on considère des besoins en eau potable entre 2 et 20 L/jour/personne).

On s'intéressera à l'ensemble du cheminement, depuis le captage d'eau jusqu'au consommateur, en insistant plus particulièrement sur les aspects énergétiques permettant le fonctionnement des installations dans des contextes où le réseau électrique est inexistant.

On veillera également à identifier quelques règles incontournables pour amener à la réussite d'un projet, à bien prendre en compte les éléments de contexte géographiques et culturels, ainsi que les aspects socio-économiques. Ces éléments sont en effet très souvent à l'origine de l'échec de projets pourtant prometteurs sur le papier.

De plus, **en ce qui concerne les technologies « nouvelles », la plus grande prudence est de rigueur.** Trop de villages ont fait les frais « d'expérimentations technologiques » qui se sont révélées peu fiables. Ceci est d'autant plus grave que ces villages sont ainsi non seulement privés d'eau potable, mais également découragés dans leurs futures initiatives de développement.

Ce travail a été réalisé essentiellement sur la base d'une recherche bibliographique.

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| RESUME | 2 |
| MOTS CLES | 2 |
| INTRODUCTION | 3 |
| SOMMAIRE | 4 |
| BESOINS EN EAU POTABLE ET RISQUES POUR LA SANTE | 5 |
| APPROVISIONNEMENT EN EAU BRUTE | 6 |
| ○ EAU DE PLUIE | 7 |
| ○ EAUX DE SURFACE | 7 |
| ○ EAUX SOUTERRAINES | 8 |
| Le forage et la protection du captage | 8 |
| Les pompes | 9 |
| PlayPumps, le « pouvoir du jeu » | 10 |
| Les pompes à corde : l' « elephant pump » de PumpAid | 11 |
| Pompes éoliennes | 12 |
| ○ AUTRE INITIATIVE : COLLECTE DE ROSEE | 12 |
| SOLUTIONS DE TRAITEMENT | 13 |
| ○ TRAITER : POURQUOI ET COMMENT ? | 13 |
| Traiter : le risque microbiologique | 13 |
| Garantir la fiabilité des installations de traitement | 13 |
| Traitements de désinfection de l'eau | 14 |
| ○ STATION DE POTABILISATION CETIL | 15 |
| ○ SODIS : SOLAR WATER DISINFECTION, SOLUTION INDIVIDUELLE | 15 |
| ○ TRAITEMENTS PAR DESINFECTION UV | 16 |
| Fonctionnement théorique | 16 |
| UV Waterworks | 16 |
| Naiade | 17 |
| « 1001 fontaines pour demain » | 19 |
| ○ LES SOLUTIONS DE DISTRIBUTION D'EAU TRAITEE | 21 |
| AU-DELA DU TRAITEMENT DE L'EAU, ASSURER LA REUSSITE ET LA PERENNITE D'UN PROJET | 22 |
| ○ UNE APPROCHE SOCIALE INDISPENSABLE | 22 |
| ○ GARANTIR LA BONNE GESTION DES INSTALLATIONS DANS LE LONG TERME | 22 |
| ○ EDUQUER, ANIMER, ACCOMPAGNER | 23 |
| CONCLUSION | 24 |
| ANNEXES | 25 |
| ○ Annexe 1 : Les quantités d'eau potable nécessaire par jour selon les usages | 25 |
| ○ Annexe 2 : Exemples de coûts de projets de forage | 25 |
| PERSONNES RESSOURCES ET ENTRETIENS | 26 |
| BIBLIOGRAPHIE | 26 |

BESOINS EN EAU POTABLE ET RISQUES POUR LA SANTE

Pour survivre, un être humain doit ingérer en moyenne **2 litres d'eau potable par jour**.

On estime qu'en principe, 5 litres d'eau par jour et par personne sont nécessaires pour la boisson et d'autres usages : pour l'hygiène et la préparation des aliments. En effet, les préparations culinaires peuvent jouer le rôle de bouillon de culture et favoriser le développement de microorganismes présents dans l'eau. Certains, pathogènes, peuvent atteindre la dose infectante (quantité de microorganismes qui conduit à une maladie) et causer des intoxications alimentaires.

En réalité, **pour avoir un niveau correct d'hygiène et de confort, c'est d'un minimum de 20 à 50 litres d'eau par jour et par personne dont il faudrait disposer.**

(VILAND et MONTIEL, 2001 ; et Annexe 1)

On est bien loin de cette quantité dans de nombreuses régions déshéritées du monde, alors que dans les pays industrialisés, 400 à 500 litres d'eau sont parfois consommés par personne et par jour.

Si l'eau en soi est une nécessité absolue du maintien de la vie, **il faut encore que cette eau soit potable, saine**. L'eau potable est une eau qui ne contient pas d'agents pathogènes ou chimiques à des concentrations pouvant nuire à la santé.

C'est-à-dire qu'il doit s'agir d'une eau non contaminée par des virus, des bactéries, ou des parasites, dont l'ingestion peut être la cause de maladies graves, voire mortelles (diarrhées, dysenteries...) ; et exempte de substances toxiques et de quantités excessives de matières minérales ou organiques.

Dans les pays en voie de développement, le **risque microbiologique** est souvent le plus important. L'eau peut en effet être le véhicule d'un très grand nombre d'**agents pathogènes** :

- des bactéries, telles que le vibron cholérique (responsable du choléra), les salmonelles (agents de fièvres typhoïdes), les shigelles (responsables de dysenteries bacillaires), *Escherichia coli* (hôte habituel de la flore intestinale, généralement non pathogène, mais pouvant être à l'origine de gastroentérites graves ou de diarrhées sanglantes)...
- des virus : poliomyélite, hépatites A et E...
- des protozoaires : *Entamoeba histolyca* (agent de l'amibiase), Giardias, *Cryptosporidium* (responsable de diarrhées mortelles),...
- des vers intestinaux : dont sont porteurs près de 2 milliards de personnes (WHO, 2004), et qui sont responsables de taux élevés de morbidité et de mortalité.

Selon l'OMS, près de 3 millions de personnes meurent chaque année des suites de maladies diarrhéiques, la très grande majorité étant des enfants de moins de 5 ans.

(WHO, 2000)

Nous nous intéressons donc ici plus particulièrement à l'aspect de la qualité microbiologique des eaux, mais il ne faut pas oublier que ce n'est pas le seul paramètre à prendre en compte pour la fourniture d'eau potable destinée à la consommation humaine.

APPROVISIONNEMENT EN EAU BRUTE

Afin de s'approvisionner en eau brute en milieu rural, il existe trois possibilités :

- recueillir l'eau de pluie,
- prélever l'eau superficielle, des rivières,
- prélever dans la réserve d'eau souterraine.

Selon la source, les moyens de prélèvements de l'eau seront différents, de même que les traitements nécessaires pour rendre cette eau potable.

Il est **largement préférable d'utiliser des eaux souterraines**, car les eaux de surface sont particulièrement sensibles au milieu extérieur : elles présentent d'importants risques de pollution et sont souvent disponibles en quantités variables dans le temps. (GROS, 2002)
Les eaux souterraines présentent souvent une meilleure qualité que les eaux de surface, grâce à la filtration qu'elles subissent dans certains sols. En général, plus ces eaux sont profondes, plus elles sont claires et bonnes à la consommation. (VILAND et MONTIEL, 2001)

Toutefois, de telles ressources en eau ne sont pas toujours disponibles. C'est pourquoi le pS-Eau (Programme Solidarité Eau) préconise la démarche suivante lors de la réalisation d'un projet d'approvisionnement en eau potable : (VILAND et MONTIEL, 2001)

- **rechercher de préférence des ressources naturellement potables et protégées** (eaux profondes exploitées par forage ou sources aménagées)
- lorsque ces ressources existent, mettre en place des systèmes de protection passive pour que ces ressources restent non contaminées : périmètres de protection, réglementation des activités de surface
- si de telles ressources n'existent pas, mettre en place des **traitements de l'eau passifs où l'erreur humaine est la plus faible possible** (filtration sur sable)
- si ces traitements ne sont pas possibles, mettre en œuvre des traitements actifs de l'eau pour lesquels la formation du personnel en charge de ces traitements est primordiale.

De plus, tout village possède déjà son propre système d'approvisionnement en eau, probablement perfectible, mais validé par plusieurs décennies de fonctionnement. Avant de bouleverser ce système et d'en installer un autre, il est important d'analyser soigneusement ce qui existe déjà, et pour quelles activités l'eau est actuellement utilisée. C'est seulement sur la base de l'analyse du système d'approvisionnement en eau actuel qu'un système amélioré peut être proposé, et il faudra bien prévoir les changements induits à tous niveaux. (COLLIGNON, 1997)

Quelle que soit la solution adoptée, la **sensibilisation des populations** reste des plus importantes en vue de réduire les risques de contamination de l'eau durant son transport et son stockage à domicile.

Avec un recul de presque 20 ans dans le domaine de l'approvisionnement en eau dans les pays en développement, il apparaît comme essentiel chaque fois que cela est possible, de **prévoir des ouvrages différents pour l'alimentation en eau des humains et du bétail**.

○ EAU DE PLUIE

Selon le pS-Eau, « les eaux de pluie correctement collectées peuvent être une source provisoire ou complémentaire d'alimentation en eau ». (VILAND et MONTIEL, 2001) La collecte d'eau de pluie devient de plus en plus importante dans l'approvisionnement en eau pour tous. Et ce, plus particulièrement dans les **régions arides ou semi-arides**, où il est parfois nécessaire de stocker l'eau pendant plusieurs mois.

« En zone rurale, ces eaux sont le plus souvent relativement exemptes de polluants. Leur potabilité dépend des précautions prises pour les récupérer et les stocker. Etant faiblement minéralisées, elles ne doivent pas être stockées dans des récipients métalliques. Il faut également éliminer les premières eaux, et que le réservoir ou la citerne soient brossés à l'eau chlorée à 20 ppm une fois par an avant la période des pluies (hivernage). » (VILAND et MONTIEL, 2001)

Au Brésil, le gouvernement a lancé un programme pour la construction d'un million de réservoirs souterrains pour le stockage des eaux de pluie collectées dans le pays, avec l'appui d'organismes comme l'UNICEF et l'IRCSA (Association International des Systèmes de Captage des Eaux de Pluie). (NWP, 2006)

Les projets de récolte de l'eau de pluie se développent également beaucoup en Inde. Et ce aussi bien dans les campagnes, que dans les villes. On notera notamment les projets du Rotary Club of Bombay Metropolitan, ou encore du Centre for Science and Environment. (Rotary Club, CSE)

D'un point de vue social, les différences entre hommes et femmes, riches et pauvres, sont décisives pour l'usage de ces systèmes.

Au Burkina Faso, par exemple, un système de collecte et réservoir ont été créés sur le toit de la maison du chef de famille, le seul à posséder un toit en tôle propice à l'installation du système. Il s'en est suivi que les femmes se sont vues dépossédées de leur responsabilité de gestion de l'eau dans la famille, et sont devenues dépendantes du bon vouloir du mari pour la fourniture d'eau. Et comme pour préserver la qualité de l'eau, seuls les villageois possédant un toit en tôle pouvaient bénéficier d'une installation, le système est vite devenu un symbole de statut. Une information et des discussions avec les bénéficiaires des installations auraient pu permettre de mettre en place un système mieux adapté à leurs besoins. (IRC)

○ EAUX DE SURFACE

Les eaux superficielles, ou eaux de surface (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots), **doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques.** Elles ne peuvent être utilisées sans traitement.

De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques, et les pollutions accidentelles et chroniques. (VILAND et MONTIEL, 2001 ; RéFEA)

« Les systèmes de captage de l'eau de surface sont des grands systèmes communaux d'approvisionnement en eau qui collectent et stockent l'eau qui ruisselle sur un endroit précis du paysage. Un tel système nécessite soit un affleurement de roches soit une surface du sol compactée ou riche en argile. Dans la première configuration, on aura recours à un barrage

en maçonnerie de pierre. Dans la seconde il sera fait appel à un barrage semi-circulaire en terre à base d'argile. Le second système ne sert que rarement pour l'approvisionnement en eau potable, car la qualité de l'eau est généralement très médiocre. Cependant, ce type de barrage peut être utilisé pour les usages autres, ce qui permet de diminuer la pression sur les sources d'eau de bonne qualité qui seront ainsi destinées exclusivement à l'alimentation. » (RéFEA)

○ EAUX SOUTERRAINES

Le forage et la protection du captage

« Selon la profondeur de l'aquifère, les modes d'exploitation seront différents :

- Les aquifères peu profonds (3 à 10 m) sont exploités traditionnellement par des puits (puisards, séanes, boullis), des sources, des puits profonds ou des puits buisés. L'inconvénient étant que ces ouvrages, en contact direct avec les éléments souillés de surface, supposent pour une utilisation en eau de boisson un traitement similaire à celui des eaux de surface.
- Les aquifères profonds (supérieurs à 10 m), sont captés par des ouvrages conçus et exécutés pour éviter tout contact entre l'eau de consommation et les déchets qui sont à la surface du sol : puits couverts, fermés, équipés de pompes à mains. »

(VILAND et MONTIEL, 2001)

Cependant, selon le contexte local, la nature de la protection de surface de l'ouvrage n'est pas toujours à mettre en rapport direct avec la profondeur de l'aquifère.

Il est essentiel d'apporter toutes les précautions nécessaires à la réalisation d'un ouvrage de captage. Un ouvrage de captage est réalisé pour plusieurs décennies : une fois réalisé, il ne peut pas être retouché. Le soin apporté à sa réalisation conditionne la qualité de l'eau récupérée et donc le traitement à mettre en place. (GROS, 2002)

Il arrive en effet que l'eau prélevée présente une pollution microbienne même quand la nappe qui est exploitée en eau exempte. Il faut donc pour éviter que cela n'arrive, **garantir qu'aucune eau de ruissellement ne puisse pénétrer dans les ouvrages de captage**. Il faut également s'assurer qu'aucun récipient susceptible d'être posé à terre ou contaminé ne soit plongé dans la source d'eau.

Aux abords du forage, il est essentiel d'éviter la stagnation des eaux non utilisées, par un système de rigole de drainage sur la couverture bétonnée du puits, permettant d'entraîner les eaux non utilisées vers une rigole d'évacuation, et un puisard qui facilite l'infiltration des eaux non utilisées. Au-delà de la dalle bétonnée, un anti-bourbier constitué de blocs de cailloux ou de graviers est aménagé pour éviter la formation de mare autour du point d'eau.

« Le périmètre de forage doit être clos par un mur de protection, destiné à empêcher le passage de tout animal, même de petite taille, dont le cadavre ou les déjections pollueraient l'eau. » (GROS, 2002) Ce mur doit être équipé d'une porte, pour limiter le nombre des utilisateurs présents simultanément sur la zone de captage.

Pour de plus amples informations sur les protections de captage, le lecteur pourra se référer notamment à l'ouvrage « guide pratique » du pS-Eau (VILAND et MONTIEL, 2001).

Les puits d'eau sont construits par creusement manuel, par forage manuel ou par forage mécanique. Le forage manuel est moins cher et plus sûr que le creusement manuel d'un trou étroit profond, mais l'utilisation de tarières ou de systèmes à godets est limitée aux formations de terre assez tendres. De nouveaux développements sont les méthodes « Rota-sludge » et « Stone-hammer » qui permettent de pénétrer dans des formations de terre

dures ou semi-dures. « En Tanzanie, des trous de 10 cm de diamètre et de 25 m de profondeur ont été percés en 2 ou 3 jours avec la foreuse à boue rotative (Rota-sludge) pour le coût total d'environ 250 US\$. » (NWP, 2006)

Selon les sources, et selon les méthodes employées, le coût d'un projet de forage d'un puits varie entre 4 000 et 20 000 US\$. (Annexe 2 : NWP, 2006 ; charitywater.org)

Les pompes

Afin de pomper l'eau depuis les forages ou puits ainsi réalisés, de nombreux systèmes existent. Parmi les pompes utilisées sur des forages en milieu rural dans les pays en voie de développement, on citera notamment :

- les pompes à moteur,
- les pompes manuelles à tringle (India Mark II, ABI),
- les hydropompes à bras (pompe type ABI Vergnet ASM),
- les hydropompes à pied (pompe Vergnet),
- les hydropompes à roue (Hydrovolanta),
- les pompes à corde.

Le choix d'une **pompe manuelle** est souvent un choix à privilégier aux pompes à moteur :

- des matériaux locaux peuvent être utilisés pour la fabrication, permettant ainsi la réparation avec des pièces locales et facilitant l'appropriation par les populations,
- ces pompes sont généralement plus solides et plus fiables que les pompes à moteur,
- l'éloignement des populations rurales fait que presque toujours les villages ne sont pas desservis en électricité, et il est parfois difficile de trouver les carburants adaptés,
- les problèmes de vol sont plus fréquents avec les pompes à moteur¹.

Toutefois, les pompes manuelles se révèlent parfois mal adaptées à certaines situations locales, du fait d'une **utilisation intensive**, de **conditions climatiques difficiles**, et de difficultés en ce qui concerne la prise en charge de ce bien collectif par les populations locales : coût élevé de pièces détachées importées, manque d'expertise au niveau local, difficulté de constituer une épargne collective pour assurer l'entretien ou le renouvellement du matériel... Dans les pays en voie de développement, de nombreuses pompes à main installées sont ainsi hors d'usage. Cependant, ces problèmes sont moins importants que ceux rencontrés avec les électropompes. **Beaucoup de problèmes de maintenance sont résolus par le choix de technologies mieux adaptées.** (NWP 2006)

Pour l'introduction de pompes manuelles en milieu rural, il est donc nécessaire de choisir un modèle de pompe **robuste, fiable et bien accepté par les populations locales**. Les opérations de maintenance doivent être simplifiées et les conditions de fabrication adaptées aux moyens techniques des pays utilisateurs. (RéFEA)

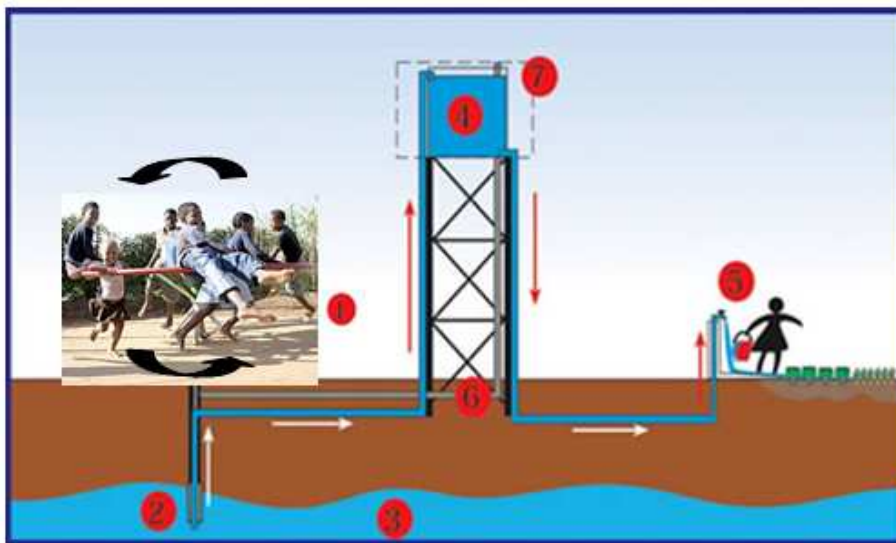
Nous nous intéresserons ici plus particulièrement aux concepts de « PlayPumps » et de pompes à corde. **Le lecteur trouvera dans la bibliographie plus de données sur d'autres pompes d'intérêt, notamment les hydropompes Vergnet, particulièrement intéressantes pour les pays en voie de développement, et bénéficiant d'un large retour d'expérience.**

¹ Entretien réalisé avec le Dr. Didier BASSET, CHU de Montpellier, novembre 2008

PlayPumps, le « pouvoir du jeu »

PlayPumps International est une organisation américaine, travaillant en partenariat avec l'organisation Roundabout Water Solutions en Afrique du Sud, qui propose **un système de pompage d'eau original, utilisant « le pouvoir du jeu »**. (site web playpumps.org)

Les enfants, en jouant à faire tourner un tourniquet (1), actionnent en fait une pompe (2). L'eau pompée dans le sous-sol (3) est recueillie dans un réservoir de 2500 litres (4), à 7 mètres au-dessus du sol. L'eau est ensuite mise à disposition de la population à un robinet (5). L'eau en excès est rejetée dans le sol via le forage (6) (ce qui peut être discuté d'un point de vue des risques de contamination de la ressource en eau). (Figure 1)



*Figure 1 : Principe de fonctionnement de la « PlayPump »
Source : site web PlayPumps International, retouche par Léa Molinié*

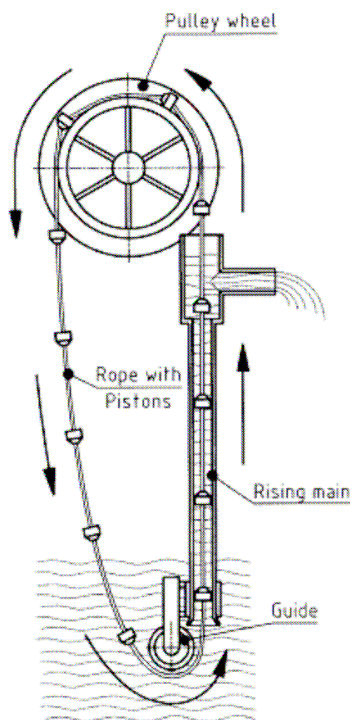
La pompe permet de produire jusqu'à 1 400 litres d'eau par heure, à 16 rpm (rotations par minute), à une profondeur pouvant aller de 40 à 100 mètres sous terre.

Les 4 faces du château d'eau sont utilisées comme panneaux d'affichage : deux faces comme support de messages publicitaires, et deux faces pour l'affichage de messages d'information sur la santé et d'éducation. C'est le revenu généré par la publicité qui permet de financer la maintenance de la pompe. Cette maintenance est assurée par des équipes locales formées par l'organisation Roundabout Outdoor. Le développement du système a été permis par la mise en place de nombreux partenariats avec des gouvernements, ONG, compagnies, fondations...

Les bénéfices annexes avancés par l'organisation, sont le fait que les enfants peuvent rester à l'école, plutôt que de participer à la corvée d'eau. Cela soulage également les femmes d'une tâche pénible, et favorise ainsi la scolarisation des jeunes filles.

PlayPumps International fournit des écoles et des communautés en Afrique. Les premières pompes ont été installées au milieu des années 1990, et déjà plus de 1 000 systèmes ont été installés dans des communautés d'Afrique du Sud, du Lesotho, du Mozambique, du Swaziland et de la Zambie. Le projet de l'organisation serait d'installer 4 000 « PlayPumps » dans 10 pays d'Afrique sub-saharienne d'ici à 2010, ce qui permettrait d'approvisionner en eau claire près de 10 millions de personnes.

Les pompes à corde : l' « elephant pump » de PumpAid



Le principe de la pompe à corde repose sur une corde munie de pistons en plastique fixés à intervalle régulier, qui remontent l'eau au travers d'un tube en PVC jusqu'à la surface. (Figure 2) La pompe à corde présente une alternative intéressante aux pompes à piston pour des puits allant jusqu'à 35 m de profondeur.

Ces pompes peuvent fournir un débit de **40 L/min pour 10 m de profondeur (soit 10 m³/j pour 4 h de fonctionnement journalier)**. Le coût varie entre 20 et 90 US\$ selon le modèle, pour la pompe uniquement. (NWP 2006)

Ce système donne lieu à de **nombreuses déclinaisons de mise en œuvre** : le fonctionnement de la pompe peut être assuré grâce à une manivelle, ou encore adapté pour être actionné par un mécanisme de bicyclette.

Figure 2 : Principe de fonctionnement d'une pompe à corde, illustration © Karl Erpf, RWSN-SKAT, avril 2005

Source :

<http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation.2005-11-15.9470332592/file>

Pump Aid a ainsi adapté un système chinois de plus de 2 000 ans, la technologie d'exhaure « chain and washer pump », en un système de pompage d'eau robuste, durable et pouvant être fabriqué à partir de matériaux locaux : l' « **elephant pump** ». (site web pumpaid.org)

Lorsque l'on tourne la manivelle de la pompe, l'eau est remontée par des godets ou « pistons » en plastique fixés sur une corde. **Le système peut pomper de l'eau à une profondeur de 50 m, avec un débit d'environ 1 L/s.**

La pompe étant fabriquée à partir de matériaux faciles à trouver localement (fibres végétales, plastique...), cela assure une **facilité pour trouver des pièces de rechange**. Notamment, la marge d'erreur prévue en termes d'espacement et de capacité des pistons fixés à la corde permet une grande marge de manœuvre pour le choix des pièces de rechange. La pompe peut ainsi être entretenue par les utilisateurs eux-mêmes.

Une « elephant pump » coûte environ 500 £ pour le matériel et la construction, et a une durée de vie estimée à 50 ans. Une pompe peut fournir 40 L d'eau à 250 personnes chaque jour. L'installation d'une pompe peut permettre d'approvisionner en eau une école de près de 500 enfants. Les écoles sont souvent un facteur central pour l'installation d'un forage.

Pump Aid a été développée par trois enseignants vivant au Zimbabwe. Aujourd'hui, l'organisation est active au Zimbabwe et au Malawi, avec un projet pilote au Mozambique. Connaissant bien les problématiques locales, Pump Aid insiste beaucoup sur **l'appropriation de la technologie** par les populations et leur **implication dans les projets** pour en assurer la réussite : la population locale participe à la construction du puits et de la pompe, et des ateliers de formation sur l'entretien et la réparation de la pompe sont organisés. Des opérations d'éducation sur l'hygiène sont également menées, et les communautés sont incitées à utiliser le surplus d'eau pour la création de jardins potagers. **Le but étant que lorsque PumpAid se retire du site, la population soit capable d'assurer seule la maintenance et la réparation du système.**

D'autres exemples témoignent de l'intérêt de cette technologie. **Au Nicaragua**, 50 000 pompes à corde ont été installées depuis 1990. Depuis que l'importation de pompes à piston a été remplacée par la production locale de pompes à cordes, la couverture de l'alimentation en eau dans les zones rurales a augmenté de 23% en dix ans, ce qui représente une croissance trois fois plus forte que dans les pays voisins. Le nombre de pannes a diminué, les utilisateurs pouvant assurer eux-mêmes la maintenance et les réparations. **Plus de 90% des pompes à cordes montées sur des puits communautaires et domestiques continuent à fonctionner sans appui extérieur.** (NWP, 2006)

Pompes éoliennes

« Dans plusieurs pays, des éoliennes à bas-coût sont utilisées pour actionner des pompes à piston : les éoliennes de Mira Mar au Pérou, les moulins de Poldaw en Afrique, et les moulins Baptist en Bolivie... Au Nicaragua, des pompes à corde sont combinées avec des éoliennes de conception moderne d'origine néerlandaise (CWD2000), produites localement et entretenues par les utilisateurs. Ces systèmes peuvent fournir un débit de 60 L/min à 10 m de profondeur, pour un coût d'installation de 450 à 800 US\$ (AMEC, Nicaragua). » (NWP, 2006)

Au Sénégal, de nombreuses pompes éoliennes ont été installées dans les années 1980. Faute d'entretien et de réparation, la plupart ont rapidement cessé de fonctionner. Il aura fallu la volonté d'entrepreneurs locaux, pour créer une entreprise, VEV (Wind for Water), afin d'assurer la maintenance de ces éoliennes, en partenariat avec ENDA (Environmental Development Action in the Third world), AREED (UN's African Rural Energy Entreprise Development program) et E+CO. Ceci illustre la nécessité de recourir à des technologies dont l'entretien puisse être réalisé localement, ainsi que la nécessité d'assurer un suivi des projets réalisés. (site energycures.org)

○ **AUTRE INITIATIVE : COLLECTE DE ROSEE**

Des chercheurs de l'université Pascal Paoli de Corse et du CNRS travaillent sur la collecte de la condensation de vapeur d'eau atmosphérique. Et ce notamment grâce à l'utilisation de plastiques radiatifs, qui permettent de condenser jusqu'à 0,6 litres d'eau par m². Ainsi, une « usine à rosée » est en phase de test (mars 2007) dans le désert du Néguev en Israël. Ce système permettrait de recueillir plusieurs mètres cubes d'eau par nuit. Couplé à des capteurs photovoltaïques, ce système pourrait même permettre de produire eau et électricité en plein désert. Les applications possibles de cette technologie ne sont pas encore mentionnées. (I Raggiagli di l'Università, 2007 ; bulletinsélectroniques.com, 2007)

SOLUTIONS DE TRAITEMENT

○ TRAITER : POURQUOI ET COMMENT ?

Traiter : le risque microbiologique

Les eaux de surface, mais aussi les eaux de forage, doivent être considérées comme étant à risque du point de vue microbiologique : contaminées, ou susceptibles d'être contaminées. L'eau est en effet vecteur de nombreux pathogènes : bactéries, virus et parasites.

La garantie microbiologique de l'eau est la première et la plus importante des obligations à prendre en compte lors de la mise à disposition d'eau destinée à la consommation humaine. Il faut donc mettre en place des traitements de désinfection de l'eau, et la ressource doit être protégée par des périmètres de protection pour maintenir dans le temps la qualité initiale de l'eau.

Le risque microbiologique est le plus important. Nous nous intéresserons donc plus particulièrement ici à l'aspect de la qualité microbiologique des eaux, mais il ne faut pas oublier que ce n'est pas le seul paramètre à prendre en compte pour la potabilité de l'eau. Il faudra bien évidemment s'assurer que ces eaux sont chimiquement potables avant d'envisager l'exploitation de la ressource pour l'approvisionnement en eau potable.

Garantir la fiabilité des installations de traitement

Pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine dans les zones rurales des pays en voie de développement, la **fiabilité des installations** de traitement est primordiale. Il faut assurer la fiabilité totale du traitement, pour éviter toute panne de la désinfection. On recherchera toujours les systèmes les plus **simples**, les plus **légers d'utilisation et d'entretien**, et surtout les plus fiables. Il faut également **minimiser le risque de mauvaise manœuvre ou d'erreur humaine**.

Il faut apporter une attention particulière aux éléments pouvant induire des désagréments (goût, couleur) pouvant détourner l'utilisateur vers une eau de plus mauvaise qualité : présence dans l'eau de fer, manganèse, chlorures, et mauvais goût lié à la chloration d'eaux présentant de trop fortes concentrations en matière organique...

L'éloignement des populations rurales fait que presque toujours, les villages ruraux ne sont pas desservis en électricité. Il faut alors choisir des traitements consommant peu ou pas d'électricité, ou alors penser aux énergies renouvelables, notamment à l'énergie photovoltaïque. Les solutions modulaires peuvent alors présenter un intérêt. (CHAY, 2005)

Dans tous les cas, il est essentiel de s'assurer qu'une **bonne gestion des installations** sera garantie : cela passe par la formation d'un comité de l'eau représentatif de la population et pouvant garantir les intérêts des plus défavorisés (économiquement ou socialement), la formation de la population locale pour qu'elle puisse assurer seule la maintenance et la réparation des installations, avec si nécessaire la création d'un réseau de vente des pièces détachées nécessaires, et la constitution d'une épargne collective permettant le remplacement ou le renouvellement à terme du matériel.

Traitements de désinfection de l'eau

La désinfection de l'eau peut être obtenue par différents procédés de traitement :

- traitements physico-chimiques et physiques (ébullition, sédimentation, filtration, avec ou sans coagulation), assurant l'élimination mécanique des microorganismes,
- traitements par des agents désinfectants (chlore et dérivés, ultra-violet (UV), ozone, permanganate de potassium, sels d'argent...), assurant la destruction ou l'inactivation des microorganismes pathogènes.

La protection de l'eau « à la source », voire son traitement préalable, sera nécessaire à l'assurance d'une bonne désinfection sans réaction secondaire. Tous les procédés de traitement devraient comporter une filtration préalable.

Dans le cas de l'utilisation de chlore à des fins de désinfection, le problème de la formation des « produits secondaires » potentiellement nocifs n'est pas tant imputable au chlore en soi, qu'à la présence concomitante de matières organiques.

En ce qui concerne les moyens de traitement adaptés au contexte des pays en voie de développement en zone rurale et limités à quelques paramètres essentiels, on retiendra :

- les traitements de **clarification** pour les eaux de surface, selon différents procédés en fonction de la turbidité de l'eau :
 - filtration directe,
 - traitement de coagulation avec sulfate d'alumine,
 - filtration lente gravitaire,
 - ou encore filtration lente horizontale souterraine(les deux derniers traitements permettent en plus de la clarification de l'eau une élimination par rétention et/ou concurrence vitale des germes pathogènes, et donc l'obtention d'une eau potable pour la consommation humaine) ;
- les traitements de **déferri-sation** pour les eaux souterraines ;
- les traitements de **désinfection** pour toutes les eaux (contaminées ou risquant d'être contaminées) : UV et chloration essentiellement, nécessitant une eau exempte de MES.

Nous ne détaillerons pas ici ces procédés. Le lecteur pourra cependant se reporter à la bibliographie présentée à la fin du présent document pour obtenir plus d'informations sur ces techniques. Ces traitements sont notamment très bien décrits dans des ouvrages publiés par l'OMS, ou sur le réseau RÉFEA.

D'une manière générale, la plus grande prudence est toujours de rigueur en ce qui concerne les technologies « nouvelles ». C'est pourquoi, le travail s'attache à présenter quelques techniques « récentes » ou « innovantes » de désinfection de l'eau d'intérêt pour les zones rurales des pays en voie de développement, sur lesquelles un premier retour d'expérience positif existe déjà. Il est essentiel de bien analyser le contexte du pays où l'on réalise le projet.

○ STATION DE POTABILISATION CETIL

La société CETIL (Chaudronnerie et Tôlerie d'Indre-et-Loire) conçoit et fabrique des unités de traitement d'eau robustes, à destination des pays en voie de développement, depuis près de 20 ans. Ce procédé est utilisé par des ONG depuis plusieurs années déjà².

Ces stations, qui peuvent être fixes ou mobiles, permettent de fournir de l'eau potable à partir d'un pompage en rivière ou d'un forage qui doivent être systématiquement considérés comme bactériologiquement suspects. Elles sont à destination :

- des entreprises qui ont de gros chantiers éloignés des grandes villes et se heurtent aux problèmes du ravitaillement en eau potable pour leurs « installations campements »,
- de villes et villages pour l'approvisionnement en eau potable,
- des ONG qui ont besoin d'eau potable pour couvrir un problème sanitaire important auprès des populations en détresse.

Ces stations fonctionnent selon les trois étapes de traitement suivantes :

- Filtration sur silex : procédé physique permettant d'éliminer les particules en suspension dans l'eau par percolation à travers un écran constitué par une masse de silex finement concassé. La masse filtrante colmatée se nettoie simplement par contre-courant.
- Stérilisation : obtenue par injection d'hypochlorite de calcium (chlore) au moyen d'un groupe de dosage comprenant un bac de préparation et une pompe doseuse à débit réglable.
- Déchloration : obtenue par un passage du débit total sur un filtre garni de charbon actif qui absorbe l'excès de chlore et élimine les odeurs, couleurs et saveurs, en finalisant la filtration. L'eau traitée peut ensuite être stockée quelques temps en bâches étanches.

Les stations mobiles, montées sur plateformes, peuvent assurer une production d'eau potable variant de 1 à 20 m³/h. Elles sont transportables en gabarit routier.

Les stations fixes, en container offrant un emballage pour le transport et un abri pour l'exploitation sur site, peuvent fournir jusqu'à 2000 m³/j.

Les stations sont automatiques, seuls un point d'eau et une alimentation électrique sont nécessaires. L'entretien comprend le lavage des filtres, le contrôle de la teneur en chlore de l'eau, et représente environ 1 heure de travail par semaine pour une personne, sans formation spécifique. Le principe de fonctionnement des stations, entièrement automatisées et composées uniquement d'éléments électromécaniques, en facilite la maintenance.

○ SODIS : SOLAR WATER DISINFECTION, SOLUTION INDIVIDUELLE

Le système SODIS utilise l'**irradiation solaire** pour détruire les agents pathogènes dans l'eau. Des bouteilles transparentes en plastique PET (polyéthylène téréphtalate) en bon état, remplies d'eau contaminée, sont exposées en plein soleil pour 6 heures ou pendant 2 jours si le temps est nuageux. Les rayons solaires désinfectent l'eau par deux mécanismes synergiques : la **radiation à un spectre solaire UV A** (longueur d'onde de 320-400 nm) et une augmentation importante de la température de l'eau.

Ce procédé ne peut toutefois s'appliquer qu'à des eaux « claires », de turbidité inférieure à 30 NTU, et ne s'adresse qu'à une désinfection de l'eau à l'échelle domestique.

Cette technologie s'est vue décerner un prix par SIMAVI, et des organismes tels que SANDEC la diffusent dans beaucoup de pays en voie de développement.

(Waternunc, 2005 ; NWP, 2006)

² Entretien réalisé avec Stéphane Vantouroux et Frédéric le Bret sur le stand CETIL à POLLUTEC, en décembre 2008

○ TRAITEMENTS PAR DESINFECTION UV

Fonctionnement théorique

Le procédé consiste à reproduire, en l'amplifiant, le phénomène d'émission d'UV par le soleil. On utilise les **UV C (longueur d'onde 254 nm)**, germicides, qui pénètrent au cœur de l'ADN et perturbent le métabolisme des cellules jusqu'à leur destruction (BioUV). Pratiquement, il s'agit de faire circuler l'eau à potabiliser le long de lampes UV, en assurant un temps d'exposition de l'eau suffisant pour assurer l'élimination des pathogènes.

La conformation classique consiste à faire circuler l'eau le long de lampes UV protégées par des gaines en quartz, le tout étant contenu dans un réacteur cylindrique.

La lampe à UV est dimensionnée en fonction de la transmittance (transparence aux UV) de l'eau à traiter, de son débit (pour assurer un temps d'exposition suffisant), et de sa qualité globale. Il faut changer la lampe et nettoyer la gaine de quartz tous les ans.

Les coûts d'investissement et d'installation annoncés par les constructeurs varient entre 500 et 6 000 €, en fonction du dimensionnement. Le prix de la lampe, à remplacer annuellement, est compris entre 75 et 250 €. La consommation d'électricité (20 à 100 Watts) est faible. (GROS, 2002)

Une filtration préalable est le plus souvent nécessaire. En effet, les matières en suspension présentent dans l'eau à traiter absorbent le rayonnement UV et se déposent sur la gaine de quartz. La présence de fer dans l'eau à désinfecter est également nuisible au bon fonctionnement de la désinfection, la coloration induite absorbant une partie des UV.

La désinfection UV n'apportant aucun effet rémanent, elle doit être effectuée directement au point d'utilisation. Il faut prévoir une source d'énergie pour assurer le fonctionnement de la lampe, par exemple au moyen de panneaux solaires.

UV Waterworks

Le docteur Ashok Gadgil, du Lawrence Berkeley National Laboratory, a mis au point un système de désinfection de l'eau par ultraviolets : UV Waterworks. Ce système, primé à de multiples reprises au niveau international, est **aujourd'hui distribué par WaterHealth International**. Ce système, coûtant entre 300 et 1 500 US\$, est idéal pour de petites communautés ou dans le cas d'urgences humanitaires. (Waternunc, 2006 ;CBS, 1996)

Le système permet de s'affranchir de plusieurs facteurs rendant les lampes UV difficilement utilisables dans les pays en voie de développement :

- le design coaxial des systèmes classiques, imposant une maintenance fréquente et délicate,
- la nécessité d'une alimentation en eau sous pression, ce qui n'est pas toujours réalisable.

Dans ce système, l'eau coule par gravité, ce qui permet une alimentation manuelle du système. Le système est conçu pour permettre un traitement uniforme de la lame d'eau, qui subit une irradiation aux UV C à 254 nm pendant environ 12 secondes (avec une dose nominale de 120 mJ/cm², soit trois fois la dose requise par l'OMS).

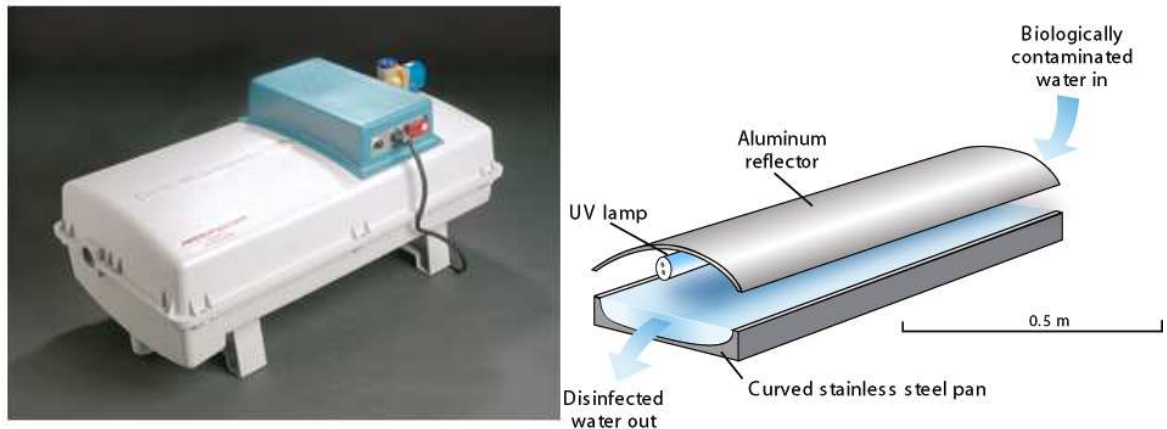


Figure 3 : Système UV Waterworks (Photo : © Robert Couto, CSO ; schéma GADGIL, 2008)
 Source photo: <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/EETD-Gadgil-water-filter.html>

Le système permet de désinfecter environ 60 L/min, sans possibilité de fourniture d'eau non potable en cas de défaillance du système. Le système requiert une alimentation électrique de 60 W ($/m^3/h$). L'électricité nécessaire à l'alimentation du système peut ainsi être obtenue grâce à une batterie de voiture ou à une cellule photovoltaïque. (GADGIL, 2005 et 2008)

Le système dans sa partie métallique a une durée de vie estimée à 15 ans, la lampe devant être remplacée régulièrement (1 à 2 ans). Une maintenance doit être assurée tous les 3 mois, par des techniciens formés sur place.

Le coût de la désinfection de l'eau est inférieur à 4 centimes de US\$ par m^3 d'eau, comprenant le coût de l'électricité, des consommables, et l'amortissement. Dans le cas où l'on alimente une communauté de 1000 personnes, le coût total annuel, comprenant l'électricité, la maintenance, le remplacement des consommables et l'amortissement du système, est inférieur à 2 US\$ par personne et par an.

Le système a été testé par plusieurs laboratoires indépendants, dans 5 pays ; et testé sur le terrain en Inde et en Afrique du Sud. Il a également été certifié en 2001 par le California Department of Health Services, ainsi que par les services sanitaires des Philippines et du Mexique. (GADGIL, 2005)

WaterHealth fonctionne aujourd'hui en créant des stations de potabilisation d'eau, conçues pour fournir 20 litres d'eau potable par jour et par personne à une population de 3 000 habitants. Les habitants viennent chercher l'eau, ou des systèmes de livraison sont parfois mis en place. Différents modes de financement d'une telle structure sont envisageables selon le contexte local. (site web de WaterHealth)

Naiade

Nedap, société hollandaise leader dans les domaines de l'électronique et de l'efficacité énergétique, a créé un système mobile de purification d'eau spécialement conçu pour les pays en voie de développement, nommé Naïade. La diffusion de cette technologie se fait notamment en partenariat entre Nedap et CleanWaterNow.

Le système consiste en **une filtration de l'eau et une désinfection par UV**, pouvant être alimentée en eau manuellement. L'alimentation électrique de la lampe (75W) est assurée par un panneau solaire. Une alimentation de secours, en cas de temps nuageux par exemple, est prévue sous la forme d'une batterie de type voiture (12V, 50Ah) encastrée à l'intérieur de l'appareil. **Naïade peut produire 2 500 L d'eau potable par jour (10h de fonctionnement)**, soit les besoins quotidiens en eau de boisson d'un village de 500 habitants.

La durée de vie de la lampe UV est de 12 000 heures de fonctionnement, il faudra donc la remplacer environ tous les trois ans. Les filtres sont lavables, et leur remplacement est envisagé tous les 2 ans. Un système ne permettant pas la délivrance d'eau en cas de défaillance de la désinfection est prévu.

Le Naïade revient à 3800 €, pour une durée de vie estimée à 10 ans. Soit un investissement de 0,01 cts € pour 10 L d'eau par habitant pour un village de 250 habitants. Ce tarif inclut l'amortissement, l'utilisation, l'entretien et les services. (Waternunc 2005)

Testée par divers laboratoires de recherche sur l'eau, tels ATIRA en Inde et UNESCO-IHE & KIWA aux Pays-Bas, la technologie Naïade a remporté le Prix Européen de l'Environnement en 2004. L'épurateur Naïade est utilisé aujourd'hui en Afghanistan, Bolivie, Brésil, Colombie, Ghana, Inde, Madagascar, Pakistan, Rwanda, Sri Lanka, Soudan, Tanzanie, Ouganda et Zimbabwe.

L'appareil a notamment été installé dans le village pilote de Panjkosi, 4500 habitants, dans le Penjab Indien, par des entrepreneurs locaux. Le coût évoqué ici est de 400 000 roupies l'appareil, soit près de 7000€ (en 2006). Dans un pays où le salaire annuel moyen est de 500 US\$, ce coût est à comparer au bois ou au kérosène économisé pour bouillir l'eau, mais également au tarif des bonbonnes des multinationales (environ 60 roupies pour 20 litres).

La mise en place de l'appareil s'est accompagnée d'une démarche sociale. Une assistante sociale a été formée à l'utilisation et au maintien de la machine, et chargée de convaincre les villageoises, car ce sont les femmes qui gèrent l'eau, d'adopter la technologie. Il s'agissait aussi de convaincre le plus important propriétaire terrien de la zone de l'intérêt du projet, et de lui vendre la technologie, afin de faire valeur d'exemple. (Waternunc, 2006)



Figure 4: Naïade en Inde, opération Clean Water Now (Photo © cleanwaternow)

Source : http://www.waternunc.com/gb2005/good_news02_Nedap.htm

« 1001 fontaines pour demain »

Dans de nombreux villages, la seule source accessible pour abreuver les populations est représentée par de l'eau de surface. Ces sources, bien que consommées par les villageois, présentent en général un taux élevé de contamination organique.

L'objectif proposé par « 1001 fontaines pour demain » est donc d'apporter à ces sources un traitement bactéricide à faible coût afin d'éliminer une partie importante des risques de maladie, en parallèle à des programmes d'éducation à l'hygiène permettant de progresser vers le même objectif.

Pour ce faire, UV+Solaire a développé une station autonome de production d'eau potable, fonctionnant à l'énergie solaire, destinée aux pays en voie de développement. Cette station est mise en œuvre dans le cadre des projets menés par l'association « 1001 fontaines pour demain ».

Le concept « 1001 fontaines pour demain » permet d'installer auprès des petites communautés isolées (villages, écoles, centres de soins) des pays en voie de développement une station (« fontaine ») leur permettant de produire leur eau de boisson conforme aux critères de l'OMS, sans infrastructures ni compétences spécifiques, et sans attendre l'installation d'un réseau de distribution.

« 1001 fontaines pour demain » travaille actuellement au Cambodge et à Madagascar. Contrairement à beaucoup d'initiatives qui apportent une solution à tel ou tel village, « 1001 fontaines pour demain » a pour ambition, par sa démarche méthodique de projets de terrain, de proposer une approche applicable à grande échelle et dans de nombreux pays. Cela passe par l'étude des contextes locaux, des phases de tests sur le terrain, et la formation de réseaux.

CHAY LO, le co-fondateur de l'association « 1001 fontaines pour demain », a été honoré, le 6 novembre 2007, lors du Congrès Mondial de la Junior Chamber International, à Antalya en Turquie, comme l'un des dix jeunes les plus remarquables de la planète.



Le « Petit Opérateur Privé » part faire sa tournée de ventes

Figure 5 : livraisons d'eau en bonbonnes par l'association « 1001 fontaines pour demain »

Source : http://www.1001fontaines.com/fr/01_vision/30_organisation.php

« 1001 fontaines pour demain » : Unité de purification par UV

Alimentée par un panneau solaire, cette unité de purification par rayonnement UV C a un débit de **600 à 800 L/h**, pour un fonctionnement prévu en moyenne de 4 heures par jour.

Totalement autonome et relativement simple de fonctionnement, elle est adaptée à des villages de 500 à 2 000 personnes, fournissant entre 2 et 5 litres par jour et par personne d'eau de bonne qualité. La technologie de purification par UV a été retenue car fiable et facile à mettre en œuvre. L'alimentation par panneaux solaires permet une autonomie complète, donc une implantation dans des lieux reculés. Cette unité est conçue pour qu'un opérateur sans qualification particulière puisse l'entretenir au quotidien et effectuer lui-même les petits dépannages.

La station comprend :

- une alimentation solaire (environ 0,5 m² de panneaux et une batterie) pour une autonomie de fonctionnement de 5 jours,
- une petite pompe qui assure la circulation de l'eau dans l'appareil,
- une batterie de cinq filtres (un lavable 60µ, quatre consommables 20µ 10µ 5µ et 1µ) destinés à éliminer les impuretés pouvant limiter l'effet bactéricide du rayonnement UV C,
- une chambre de stérilisation UV C avec cellule photoélectrique contrôlant en permanence l'intensité du rayonnement,
- un module électronique assurant les fonctions de commande et de surveillance de l'unité : l'automatisme programmé en atelier garantit le niveau de rayonnement UV C pour une bonne stérilisation de l'eau traitée tout au long de la vie de l'unité. La production d'eau non stérile est impossible. En cas de panne, un module défectueux est simplement remplacé par un nouveau.

Certains villageois ont déjà l'habitude de faire subir à l'eau qu'ils consomment une floculation et une décantation sommaires à l'aide de sulfate d'alumine que l'on trouve sur les marchés. Afin que l'eau à purifier soit suffisamment claire pour ne pas colmater très rapidement les filtres et permettre une efficacité maximale du rayonnement UV C, la fontaine comporte habituellement en amont une cuve où l'eau brute subit préalablement une floculation et une décantation et un filtre à sable pour clarifier l'eau à traiter.

Le procédé de stérilisation UV C n'est efficace que pour éliminer les contaminations bactériologiques à l'exclusion de toute pollution chimique. En outre, contrairement au traitement chloré, la stérilisation UV C n'a aucune rémanence, c'est-à-dire que l'eau produite peut- être facilement recontaminée sans un certain nombre de précautions.

L'eau produite ne peut donc pas être transportée dans des conduites qui risqueraient de la recontaminer. Elle est conditionnée en **bonbonnes de 20 litres** soigneusement désinfectées avant et scellées après chaque remplissage. Les opérateurs sont formés et assistés régulièrement par des techniciens pour appliquer convenablement ce procédé et vérifier la qualité de l'eau.

L'objectif est de fournir de l'eau de bonne qualité, pour un coût aussi bas que possible, pour un nombre maximum de bénéficiaires : moins de 1 centime d'euro par litre.

Les premières études, réalisées par l'association en 2004, ainsi que les expériences-pilotes menées au Cambodge depuis 2005, montre que ces appareils pourraient être installés au sein de petites communautés pour moins de 10 000 euros (dans le cadre d'un déploiement important, coût incluant les frais de formation de l'opérateur et sa rémunération dans la phase initiale). Sur la base d'un tel coût et d'hypothèses de consommations minimales, l'investissement pourrait donc se situer en dessous de 10 euros par bénéficiaire.

« 1001 fontaines pour demain » : Garantir la pérennité de la solution

« Il ne s'agit pas d'installer du matériel qui sera hors d'état de fonctionner après quelques mois, faute d'entretien ou de pièces de rechange, mais de créer une véritable activité économique. » (1001 fontaines pour demain)

Pour garantir le caractère durable d'une telle solution, il est nécessaire d'y associer un mode d'exploitation garantissant que les coûts d'exploitation et de maintenance peuvent effectivement être couverts par la communauté bénéficiaire. « 1001 fontaines pour demain » passe par la création, au sein de chaque village, d'une **micro-activité de « petit opérateur privé »**. L'approche mise en œuvre correspond à la philosophie « entrepreneuriale » où les bénéficiaires contribuent en « achetant » des bonbonnes d'eau purifiée à un « prix de marché ». (OSEO, 2006) Chaque site d'exploitation emploie ainsi deux à quatre personnes, et permet de s'appuyer sur une activité économique pour sortir de la pauvreté.

Dans cette approche, l'idée est de créer une véritable activité économique de production et de vente d'eau potable, le rôle de l'opérateur étant alors, pour le bénéfice de sa communauté :

- d'assurer l'approvisionnement du site en eau « brute »,
- de produire de l'eau purifiée et de l'embouteiller en bonbonnes de 20 litres,
- de distribuer et vendre ces bonbonnes au sein du village, à un prix suffisamment bas pour permettre l'acquisition pour les gens du village, mais suffisamment élevé pour lui permettre de vivre, lui et sa famille, et de couvrir les coûts de maintenance de son outil de production, ainsi que le remplacement éventuel du matériel au bout de dix ans.

o LES SOLUTIONS DE DISTRIBUTION D'EAU TRAITEE

Tel que défini dans les objectifs du Millénaire, l'« accès à l'eau potable » vise à fournir aux populations une quantité d'eau potable (selon les normes de l'OMS) couvrant l'intégralité de ces besoins (estimés entre 20 et 50 litres/jour/personne) **au plus près possible de son point de consommation**, en s'appuyant donc sur des réseaux d'adduction d'eau.

Dans les petites communautés rurales, de tels réseaux ne peuvent pas toujours être mis en place, ces techniques étant souvent trop onéreuses. La solution imaginée par l'association « 1001 fontaines pour demain » vise à proposer une alternative pour les populations isolées, en leur permettant de satisfaire leur besoin le plus essentiel, à savoir l'eau de boisson (2 à 5 L/j/pers), en contrepartie d'un investissement très limité, à partir d'eau de surface, et selon un procédé qui puisse être maîtrisé par les villageois eux-mêmes.

C'est également le cas de la plupart des technologies présentées dans le présent document.

« 1001 fontaines pour demain » propose la vente de bonbonnes d'eau potable, tandis que les solutions de forage proposent plutôt des approvisionnements collectifs, sous forme de bornes fontaines. Dans le cas de Naiade, il n'y aura pas forcément modification des modalités d'approvisionnement en eau (reportage France2, août 2008), mais il existe alors un moyen de traiter cette eau.

Bien entendu, cette solution visant à n'assurer que la satisfaction d'un besoin vital d'eau de boisson, elle ne peut se substituer à des projets plus complets visant à assurer une distribution d'eau plus importante (de 30 à 50 litres par jour) via un réseau d'adduction d'eau.

AU-DELA DU TRAITEMENT DE L'EAU, ASSURER LA REUSSITE ET LA PERENNITE D'UN PROJET

o UNE APPROCHE SOCIALE INDISPENSABLE

Si à première vue, le principe de la desserte en eau de zones rurales paraît « *relativement simple : apporter de l'eau potable (un bien unique), en service individuel ou collectif (forage ou borne-fontaine), à un prix « acceptable »* » (Etienne, 2003) ; il faut en réalité régler une quantité considérable de choix pratiques, liés entre eux, et dont la solution dépend d'un accord collectif difficile à trouver, parfois provisoire, et qui devra s'ajuster à l'expérience.

La sélection de technologie peut faire une grande différence pour l'approvisionnement en eau et pour la réduction de la pauvreté. Mais la technologie ne répond qu'à une partie du problème. Le plus difficile n'est pas toujours de trouver de l'eau, ni même de construire de bons ouvrages. Il est d'intégrer ces ouvrages dans une démarche de développement global, durable et maîtrisé par les principaux intéressés : les usagers et les communautés locales. Bien d'autres difficultés vont donc apparaître. Il faut se poser les bonnes questions afin que les projets d'approvisionnement en eau répondent au mieux aux attentes des populations et correspondent à des objectifs réalisables et durables. (COLLIGNON, 1997)

L'adoption d'une démarche impulsée par la demande à l'échelon communautaire accroît sensiblement la probabilité que les systèmes d'approvisionnement en eau soient durables. L'existence d'une organisation officiellement chargée de gérer le système d'approvisionnement en eau, ainsi que l'éducation des populations, et notamment la formation dispensée aux comités d'eau en matière d'exploitation et d'entretien, contribuent fortement à la pérennité du système. (Katz, Sara, PNUD 1997)

Au-delà des démarches participatives, il faut donc concevoir l'organisation nouvelle du service à l'intérieur des logiques locales, en cherchant à bâtir des procédures modernes de gestion qui soient cohérentes avec la culture politique des intéressés, avec la manière dont ils conçoivent leurs rapports sociaux. Cela passe par un renforcement de l'ingénierie sociale des projets et par des solutions institutionnelles propres à chaque contexte. (Etienne, 2003)

Ce travail doit toujours être accompagné d'humilité et de compréhension pour servir les populations en fonction de leurs besoins, demandes, habitudes et traditions au lieu d'essayer de les adapter aux processus conventionnels ou à l'évolution technologique. (Macchiavelli, 2008)

o GARANTIR LA BONNE GESTION DES INSTALLATIONS DANS LE LONG TERME

Au-delà de l'existence de solutions techniques, l'exploitation et la maintenance des ouvrages sont les contraintes majeures des projets d'hydraulique villageoise. Pour garantir la pérennité des installations, il faut que la communauté se sente et soit impliquée dans le projet, et puisse organiser l'exploitation et la maintenance des installations, avec la mise en place d'un système de mobilisation et de gestion des fonds du village à ces fins. (VILAND et MONTIEL, 2001)

Les systèmes d'exploitation, de gestion et de maintenance des ouvrages rencontrés le plus couramment mettent en relation trois principaux groupes d'acteurs : le comité de point d'eau, les artisans réparateurs, et les dépositaires de pièces détachées (VILAND et MONTIEL, 2001) :

- Le comité de point d'eau est désigné par la population. Il doit veiller à collecter les fonds nécessaires au bon fonctionnement du système, sans attendre la panne avant de mobiliser les fonds nécessaires au dépannage.

- Les artisans réparateurs assurent l'entretien et la maintenance des équipements du point d'eau. Ils sont le plus souvent nommés par les villageois et formés par le fournisseur de matériel.
- Les réseaux de pièces détachées sont un maillon essentiel pour garantir la pérennité des installations : il faut pouvoir trouver sur place des pièces de rechange, en recourant essentiellement à des matériaux disponibles localement, et que les populations ont l'habitude de travailler.

Le véritable problème qui se pose à une communauté est celui du renouvellement du matériel. Les charges de renouvellement d'une pompe, par exemple, ne coûtent pas plus cher que les charges d'entretien, mais ces charges ne doivent être couvertes qu'à une échéance lointaine. C'est leur caractère exceptionnel qui rend leur financement difficile.

Il faut donc former les populations à la gestion financière, afin qu'elles soient en mesure de réunir les fonds nécessaires à la maintenance et au renouvellement des ouvrages. Ainsi, tout projet de construction ou d'amélioration des points d'eau doit intégrer cette logique économique : un ouvrage hydraulique est un investissement auquel la communauté villageoise participe, et il génère des charges récurrentes que cette communauté devra finalement supporter entièrement elle-même. (COLLIGNON, 1997)

L'appropriation des installations par les populations est un facteur incontournable et essentiel. Une participation financière directe des usagers (sous la forme d'une contribution volontaire) est souvent citée dans la littérature comme étant un bon moyen de vérifier la pertinence du projet et son acceptation par la majorité des habitants, en « mesurant » par un outil économique l'importance qu'ils y attachent.

○ **EDUQUER, ANIMER, ACCOMPAGNER**

Il est toujours important de créer une animation sur l'éducation à l'hygiène des populations, notamment afin d'assurer le suivi de la qualité de l'eau et le maintien de sa salubrité, et en diminuant les facteurs favorisant les maladies hydriques. Il s'agit d'expliquer :

- les risques liés à l'eau,
- pourquoi le point d'eau doit être protégé,
- les mesures d'hygiène pour le transport, le stockage et l'utilisation de l'eau,
- l'entretien des récipients de stockage.

En ce qui concerne la collecte, le transport, le stockage et l'utilisation de l'eau rendue potable, il est très important d'éviter toute recontamination de l'eau, les procédés de stérilisation UV n'ayant aucune rémanence.

Il est important de promouvoir des récipients de stockage portant une ouverture (avec un couvercle adapté) pour le remplissage et un orifice muni d'un robinet à la base pour le prélèvement de l'eau. L'entretien régulier de ces récipients est important (brossage des parois à l'eau et au savon tous les deux jours, désinfection à l'eau chlorée (20 ppm pendant une demi-heure) puis rinçage à l'eau, deux fois par mois au moins).

Dans le cas des puits, il faut éviter qu'un récipient ayant été posé à terre ou manipulé dans de mauvaises conditions d'hygiène ne soit plongé dans le puits ou mis en contact de la source d'eau. De plus, un récipient ayant contenu de l'eau contaminée devra être lavé avant de pouvoir servir à contenir de l'eau potable.

Il faut également identifier les commerçants et producteurs de denrées alimentaires qui utilisent l'eau dans les produits qu'ils vendent, pour les amener à utiliser de l'eau potable.

Enfin, l'animation s'attachera à faire comprendre que chaque membre de la famille doit avoir un gobelet personnel rincé et rangé dans un endroit protégé après chaque usage. Cette notion est particulièrement difficile à faire passer puisque dans beaucoup de communautés boire dans un même gobelet est un signe de politesse.

L'impact de la sensibilisation à l'hygiène sur les comportements est difficile à maîtriser. Il faut profiter de l'installation de nouveaux équipements pour introduire de nouvelles pratiques d'hygiène, et avoir recours à des solutions concrètes pour expliquer les problèmes sanitaires. Cette sensibilisation est un travail long, nécessitant un soutien permanent des populations. Il est donc important d'identifier des personnes locales influentes qui, associées à l'animation dès le démarrage des travaux, prendraient le relais en tant qu'animateurs locaux (VILAND et MONTIEL, 2001) : notables, autorités religieuses, responsables villageois, enseignants, agents de santé, sages-femmes,... Ces personnes peuvent influencer le comportement des populations, tant dans les pratiques d'hygiène que dans la gestion des installations d'approvisionnement et de traitement de l'eau.

Il est également important que les femmes, en tant que principales intéressées, soient majoritaires au sein du comité. C'est en effet à elles qu'incombe la corvée d'eau, elles subissent les maladies des enfants et parfois leur mort. Elles seront les plus sensibles aux thèmes de l'amélioration de la santé. Mais il ne faut pas les limiter à leur rôle familial ; elles doivent être consultées pour les choix technologiques, l'emplacement des ouvrages, les contributions en espèces destinées à la réalisation l'exploitation et la maintenance des ouvrages. Il faut également veiller à ne pas risquer d'exclure certaines populations du fait d'une mauvaise maîtrise du contexte. (Le Bansais, 2006)

CONCLUSION

Ce document ne prétend pas poser toutes les questions indispensables, et encore moins présenter des « techniques miracles ». Il est impossible de traiter l'ensemble du sujet en quelques pages.

Ce document présente quelques techniques relativement récentes d'intérêt permettant de fournir de l'eau potable à des villages ruraux dans les pays en voie de développement, où l'accès à l'eau potable des plus démunis est un enjeu majeur en termes d'état de santé des populations et de réduction de la pauvreté, et sur lesquelles il existe des données de retour d'expérience, ou ayant fait l'objet de récompenses internationales d'innovation.

Certaines de ces techniques peuvent, idéalement, être fabriquées, fonctionner et être réparées facilement dans les conditions locales, à un prix abordable. La mise en place de systèmes de gestion efficaces permettant d'assurer la pérennité des installations est primordiale.

Enfin, il faut toujours se souvenir que : « en ce qui concerne les technologies « nouvelles », la plus grande prudence est de rigueur. Trop de villages ont fait les frais « d'expérimentations technologiques » qui se sont révélées peu fiables. C'est d'autant plus grave que ces villages sont ainsi non seulement privés d'eau, mais aussi découragés dans leurs futures initiatives de développement. » (VILAND et MONTIEL, 2001)

ANNEXES

- **Annexe 1 : Les quantités d'eau potable nécessaire par jour selon les usages**

| Utilisation de l'eau | Qualité recherchée | Quantité recherchée |
|---------------------------|--------------------------|---|
| Boisson et cuisine | Pas de bactéries | 5 à 10 L/j/pers |
| Hygiène et lessive | Importance limitée | 10 à 15 L/j/pers |
| Maraîchage | Pas trop de sels dissous | 10 m ³ /j/0,1 ha |
| Grande irrigation | Peu de sels dissous | 40 m ³ /j/0,5 ha |
| Elevage | Sans importance | 4 à 6 L/j/ mouton ou chèvre, 20 à 30 L/j/vache |

Source : COLLIGNON, pS-Eau 1997

- **Annexe 2 : Exemples de coûts de projets de forage**

| Type de forage | Coût du forage | Coût de diffusion |
|--|---|---|
| Cas général | | 4 000 à 12 000 US\$ |
| Foreuse manuelle Baptist/EMAS | 40 US\$ pour un forage de 20m (Bolivie) | 2 000 à 5 000 US\$ par projet (comprenant une formation pratique, des plans et l'équipement) |
| Foreuse à boue rotative (Rota-Sludge) | 30 US\$ en Inde 80 à 200 US\$ au Nicaragua | 5 000 à 20 000 US\$ par projet (comprenant une formation pratique, l'équipement et le forage de puits d'essai) |
| Foreuse au battage (Stone-hammer) | | 15 000 à 30 000 US\$ par projet (comprenant une formation pratique, l'équipement, les plans et des puits d'essai) |

Sources : NWP, 2006 et charitywater.org

PERSONNES RESSOURCES ET ENTRETIENS

Etienne Ducorps, ENGREF Montpellier

Entretien avec le Dr Didier Basset, CHU Montpellier, novembre 2008

Entretien avec Frédéric Le Bret et Stéphane Vantouroux, de CETIL, POLLUTEC, décembre 2008

BIBLIOGRAPHIE

1001 fontaines pour demain, [consulté le 27 janvier 2009]. *Pour qu'ils n'aient plus à boire...* « l'eau de la mare ». <http://www.1001fontaines.com/>

Bulletins-electroniques.com, [mis en ligne : 5/03/2007]. *Une usine à rosée en plein désert.* <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/41564.htm>

CBS Newsletter, Winter 1996. *UV Waterworks: Reliable, Inexpensive Water Disinfection for the World.* Pg.6. http://eetd.lbl.gov/newsletter/cbs_nl/NL9/waterworks.html

CETIL, Chaudronnerie et Tôlerie d'Indre-et-Loire, 2008. *Une équipe tournée vers demain.* www.cetil.fr

Charity Water, [consulté le 27/01/2009]. www.charitywater.org

CHAY L., 2005. *Etude pour la définition d'unités modulaires de potabilisation à destination des pays en voie de développement.* Rapport de stage long de deuxième année ENGREF auprès d'Opalium.

CleanWaterNow. <http://www.cleanwaternow.nl/>

COLLIGNON B. et al., 1997. *GUIDE : Vous montez un projet d'approvisionnement en eau de boisson ? Avez-vous pensé à... ?*. Guide pS-Eau
Disponible sur internet : http://www.pseau.org/outils/ouvrages/cahier9_eau_de_boisson.pdf

CSE centre for science and environment on Youtube, [mis en ligne: 24/10/2007]. *Rain Water Harvesting.* Issued in public interest by CSE.
<http://www.youtube.com/watch?v=wWnhYIIKY0U>
et <http://www.cseindia.org>.

Energy + Cures, clean energy for people and the planet, [consulté le 27 janvier 2009]. *Real stories, Wind Water for Life.* <http://energycures.org/realstories.php>

ETIENNE J., HENRY A., 2003. *Eau et assainissement en Afrique : croyances, modes et modèles.* Agence française de développement, Institut du développement durable et des relations internationales.
Disponible sur internet :
http://www.pseau.org/outils/ouvrages/afd_eau_assainissement_en_afrique_2003.pdf

GADGIL A, 2005. *Drinking water for poor communities in Developing Countries: Science, Technology, and Implementation.* Lawrence Berkeley National Laboratory.
www.ce.berkeley.edu/Courses/E11/Dr_Gadgil_Presentation.ppt

GADGIL A., 2008. *Affordable safe drinking water for poor communities in the developing countries.* Purdue Calumet, 23/10/2008.
http://www.purdue.edu/dp/energy/pdfs/Gadgil_Purdue_Global-water2008.pdf
et : <http://www.zyn.com/flcfw/fwnews/fwarch/fwb9610d.htm>
<http://www.lbl.gov/Education/ELSI/Frames/Sustain21-f.html>

<http://eetd.lbl.gov/IEP/archive/uv/pdf/ten-fags.pdf>

GROS J., 2002. *Comment alimenter en eau potable moins de 50 habitants ?*. Synthèse technique ENGREF / OIEau.

I Raggiagli di l'Università, 2007. *Projet ENR: des "usines à rosée" pour produire de l'eau potable*. N°51. http://www.univ-corse.fr/index.php?preaction=joint&id_joint=2790

IRC, [actualisé : 22/09/2008]. *Burkina Faso : de gérantes d'eau à « mendiants » d'eau* <http://www.fr.irc.nl/page/44792>

KATZ T., SARA J., 1997. *Assurer la pérennité de l'approvisionnement en eau en milieu rural : recommandations issues d'une étude mondiale*. PNUD-Banque Mondiale, Programme pour l'eau et l'assainissement.

Disponible sur internet : http://www.wsp.org/UserFiles/file/global_ruralstudy_fr.pdf

LE BANSAIS B., 2006. *Solutions innovantes pour l'amélioration de la couverture des services publics de base dans les quartiers mal lotis et les zones périphériques des grandes villes des pays en voie de développement : le cas des aides basées sur les résultats, l'implication des opérateurs indépendants*. Mémoire de stage ENGREF / Hydroconseil

MACCHIAVELLI ASCURINAGA A., 2008. *The management of water services in low-income areas of developing countries*. Mémoire pour l'obtention du mastère spécialisé de l'ENGREF, spécialité gestion de l'eau ENGREF, auprès de Suez Environnement.

Nedap. <http://www.nedapnaiade.com/>

NWP Netherlands Water Partnership, 2006. *L'eau : des solutions simples et économiques (Smart Water Solutions)*. 3^e édition.

Disponible sur internet :

<http://www.practicafoundation.nl/wp-content/uploads/PDF/nwp-sws-fr-v2-print1.pdf>

OSEO, 2006. *OSEO soutient l'innovation et la croissance des PME ; 1001 fontaines pour demain*.

http://www.oseo.fr/a_la_une/paroles_d_entrepreneurs/sur_france_info/1001_fontaines_pour_demain

PlayPumps International, 2008. *Kids play. Water pumps!*

<http://www.playpumps.org/site/c.hqLNIXOEKrF/b.2559311/k.BCFF/Home.htm>

PlayPumps on Youtube, [mis en ligne: 17/01/2008]. *National Geographic Feature on PlayPump Water Systems (video courtesy of National Geographic to PlayPumps International)*. http://fr.youtube.com/watch?v=uQu_Jppvzyk

PumpAid. <http://www.pumpaaid.org/The-Elephant-Pump.shtml>

RéFEA, [consulté le 27/01/2009]. *Réseau Francophone sur l'eau et l'assainissement, technologies à faible coût*. Fiches : systèmes de captage des eaux de surface, et pompes à main : généralités. Disponibles sur internet : <http://www.oieau.fr/ReFEA/module3.html>

Rotary Club on Youtube, [mis en ligne: 15/02/2008]. *RVM: Water Harvesting PART ONE: Rotary International*. From RVM - Rotary Video Magazine, issue 3.1.

<http://www.youtube.com/watch?v=SbllZKRIBnk&NR=1>

et <http://www.rotary.org>

VILAND M., MONTIEL A., 2001. *Eau et santé, guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain*. pS-Eau, collection Etudes et travaux, éditions du GRET, Ministère des Affaires Etrangères.

WaterHealth. <http://www.waterhealth.com/water-crisis/faq.php>

Waternunc.com, le portail de la Water Economy, mise à jour du 26 janvier 2009

- Waternunc, 2005 (mise en ligne février 2005). *SODIS (Solar Water Disinfection), la désinfection solaire de l'eau améliore la qualité microbiologique de l'eau potable*. http://www.waternunc.com/gb2005/good_news01_sodis.htm
- Waternunc, et Fred Geelen, bureau Publications Oxfam Novib, 2005 (mise en ligne août 2006). *L'épurateur d'eau Naiade*. http://www.waternunc.com/gb2005/good_news02_Nedap.htm
- Waternunc, Andrée-Marie Dussault, à Panjkosi, Punjab, 2006 (mise en ligne en août 2006). *L'énergie solaire au service des « sans-électricité »*. http://www.waternunc.com/fr2006/amd_purification-eau-Punjab-Inde_2006.php
- Waternunc, 2007 (mise en ligne novembre 2007). *Chay Lo, le co-fondateur de l'association « 1001 fontaines pour demain », reconnu comme l'un des dix jeunes « les plus remarquables de la planète »*. http://www.waternunc.com/gb2007/good_news_1001_fontaines_2007.htm
- Waternunc, Par Sarah Yang, Media Relations, Berkeley University of California, 2 juin 2003. *Researchers help bring clean water to households in developing nations*. http://www.waternunc.com/gb/good_news01_gadqil.htm

WHO, World Health Organization (OMS, Organisation Mondiale de la Santé), 2000. *Les maladies liées à l'eau*.

http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diarrhoea/fr/index.html

WHO, World Health Organization (OMS, Organisation Mondiale de la Santé), 2004. *Avec 75% des enfants protégés contre les parasites, le Cambodge est le premier pays à atteindre l'objectif*. Communiqués de presse 2004.

<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2004/pr46/fr/index.html>

BIBLIOGRAPHIE COMPLEMENTAIRE, NON CITEE DANS LE TEXTE

FLOW, For Love Of Water (Pour l'Amour de l'eau), 2008. Film documentaire américain, réalisé par Irena Salina. Diffusé sur ARTE le 18 novembre 2008

France 2, Reportage d'Arnauld Miguet, Dominique Marotel et Divya Dugar, diffusé le 21 août 2008. *Une eau purifiée pour des contrées reculées*.

<http://ma-tvideo.france2.fr/video/iLyROoafY1RF.html>

REPF K., 2005. *Le concept de la pompe à corde*. RWSN-SKAT.

<http://www.rwsn.ch/documentation/skatdocumentation.2005-11-15.9470332592/file>

SIMAVI. www.simavi.org

SODIS. www.sodis.ch

UN.

http://www.unesco.org/water/wwap/facts_figures/besoins_fondamentaux.shtml

<http://www.un.org/french/pubs/chronique/2005/numero2/0205p20.html>

VERGNET Groupe, [consulté le 27 janvier 2007]. *L'hydraulique rurale*.

http://www.vergnet.fr/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=45&Itemid=47