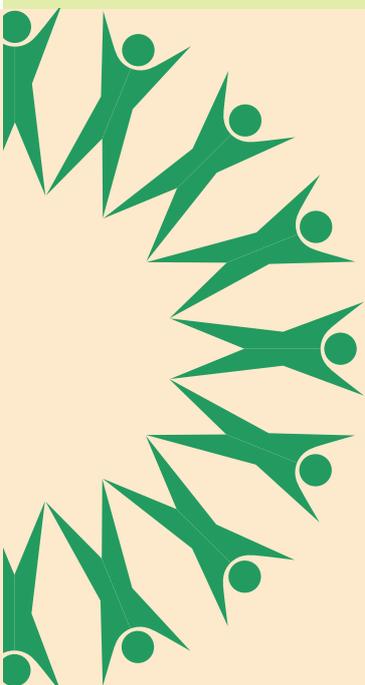




POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE



RETOUR D'EXPÉRIENCE D'UN PROGRAMME DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE AU MAROC

Réalisation



Fondation Energies pour le Monde
146- rue de L'Université - 75007 Paris
www.energies-renouvelables.org



IES-UPM
Instituto de Energia Solar
Universidad Politécnica de Madrid

1. Introduction

Ce document recense les leçons apprises suite à la mise en place d'un programme de pompage d'eau potable dont les équipements ont fait appel à l'énergie photovoltaïque. Il a concerné 20 localités isolées du milieu rural du sud du Maroc dans les provinces de Ouarzazate et Zagora. Ce programme photovoltaïque, opérationnel depuis 1997, s'est déroulé dans le cadre de la coopération européenne par le biais d'ONGs et a fourni de l'eau potable à des villages d'environ 500 habitants. Chaque système de pompage solaire, de 2 kWc, est relié à un réseau de distribution qui achemine l'eau jusqu'aux maisons. Ce projet, qui jusqu'à présent a permis de distribuer plus d'un million de mètres cubes d'eau, peut être considéré comme une référence dans le domaine du pompage photovoltaïque, pour les raisons suivantes :

- Excellent fonctionnement technique des installations (tous les systèmes fonctionnent de façon satisfaisante depuis leur installation),
- Assez bonne gestion des systèmes, qui a conduit à :
 - Une plus grande disponibilité des données opérationnelles (données quotidiennes des volumes d'eau pompée par chaque village et données mensuelles des volumes d'eau consommée au sein de chaque habitation). Ces données ont été recueillies et enregistrées de façon systématique depuis novembre 1997.
 - Le prix de l'eau, conformément aux tarifs établis avec la population, permet de faire face aux frais d'entretien des installations.

Ces systèmes de pompage photovoltaïque comportent également des systèmes de purification de l'eau basés sur l'injection de chlore. Le chlore est injecté à la sortie de la pompe juste avant l'entrée du réservoir. L'introduction progressive des doses de chlore dans l'eau a fortement

aidé à son acceptation sociale. Cela vaut la peine d'être souligné puisque dans le monde de l'aide au développement, la qualité sanitaire de l'eau n'est pas, à ce jour, l'une des priorités de l'aide aux populations rurales.

Ces villages ont été l'objet d'une évaluation continue et exhaustive, de façon à ce que tous les avatars historiques, tant techniques, sociaux ou de gestion, ainsi que toutes ses données opérationnelles soient connues et aient été enregistrées et analysées. Cela a conduit à une série de leçons associées à :

- La nécessité de prendre en considération les aspects techniques non seulement des pompes photovoltaïques mais également des infrastructures de captage, de stockage et de distribution de l'eau.
- Les quantités d'eau réellement consommées.
- L'utilisation des données opérationnelles pour pouvoir détecter les éventuelles fuites dans la distribution de l'eau et pour permettre un dialogue entre la population et une organisation externe en charge de l'entretien.
- Les procédures techniques pour la vérification de la qualité des systèmes *in-situ*.

Ces leçons peuvent être considérées comme valables et devraient être disséminées parmi les principaux acteurs de l'industrie photovoltaïque européenne, de la coopération au développement (ONG, institutions, etc.) et des administrations chargées du développement rural et de l'approvisionnement en eau. C'est précisément l'objectif principal du projet financé par la Commission européenne « Best practices for PV water pumping and purification programmes. Lessons from a selected experience in Morocco (NNE5-2000-35) » à partir duquel est construit le présent document. Ces leçons formeront la base expérimentale

qui conduira au produit final de ce projet, des « guidelines » pour l'installation de systèmes de pompage d'eau potable faisant appel à l'énergie photovoltaïque, tout en prenant en considération les aspects techniques, sociaux et de gestion.

La plupart du temps, notre travail a pu s'effectuer sans encombre. Nous profitons de ces quelques lignes pour exprimer notre plus grande reconnaissance aussi bien envers les habitants des localités qu'envers les trois ONGs impliquées dans ce projet. L'accueil exceptionnel dont nous avons fait l'objet, même lorsque nous avons émis des critiques, nous fait conclure cette introduction en manifestant notre désir de continuer à étudier, au moyen d'évaluations futures, le devenir de ce projet, avec la conviction que nous disposons de tous les ingrédients nécessaires pour réussir et pour occuper une place de choix dans l'ensemble du panorama international.

2. Présentation du programme de pompage photovoltaïque dans la vallée de Dra'a.

Ce programme d'approvisionnement en eau potable au moyen de systèmes photovoltaïques s'est déroulé dans les provinces de Ouarzazate et de Zagora (au sud du Maroc). C'est une région pré-désertique avec des villages de 100 à 2 000 habitants qui se ravitaillent en eau à des puits artisanaux de généralement 150 centimètres de diamètre et de 15 à 30 mètres de profondeur et qui ont régulièrement connu de graves problèmes d'approvisionnement en eau, amenant les populations à prendre conscience de sa valeur et du soin dont son usage doit faire l'objet.

Sous les auspices de la Commission européenne et des ONGs, une espagnole, CIPIE, et une marocaine, Tichka, ont facilité le développement d'un programme d'approvisionnement en

eau consistant en l'installation de 20 systèmes de pompage photovoltaïque qui débuta en février 1997. Chaque système se compose d'un générateur photovoltaïque de 0,8 à 3,1 kWc, d'un convertisseur DC/AC à fréquence variable, d'un réservoir d'eau et d'un réseau de distribution qui conduit l'eau jusqu'aux habitations. La puissance totale installée au cours du programme dépasse les 40 kWc. Un régime de tarifications progressives régissant le prix de l'eau consommée a été établi. La consommation d'eau et le prix payé sont systématiquement enregistrées mensuellement et abonné par abonné. De plus, un débitmètre a été installé à la sortie de chaque pompe photovoltaïque dont le relevé s'effectue de façon quotidienne. La comparaison effectuée des données pour l'eau pompée et des données pour l'eau consommée a permis de détecter une fuite d'eau dans le réseau de distribution, ce qui montre l'importance que revêt l'enregistrement systématique de ce type d'information dans les projets d'approvisionnement en eau par énergie photovoltaïque. De surcroît, le système de pompage inclut la potabilisation de l'eau basée sur l'injection de chlore.

Il faut mentionner que les cinq premiers villages qui bénéficièrent de pompes photovoltaïques connurent une période transitoire qui consista en un système identique à celui mentionné, mais sans distribution dans chaque habitation. Pendant cette période transitoire et ainsi que l'exige le projet (distribution interne, robinets, WC, ...), l'objectif était de démontrer aux populations que le nouveau système était fiable pour générer la confiance nécessaire devant permettre à chaque usager de changer de comportement. Cette période fut importante pour le présent travail puisqu'elle a permis d'analyser le système des fontaines communautaires qui fournissaient l'eau gratuitement et dont la consommation était limitée par l'effort exigé pour se rendre jusqu'au point d'approvisionnement et transporter l'eau jusqu'à l'habitation.

Tout en respectant les schémas traditionnels de gestion de l'eau, les systèmes photovoltaïques sont gérés par des organisations locales. Ces associations présentes au sein de chaque village :

- sont responsables du forage des nouveaux puits,
- sont fortement impliquées dans l'installation des pompes photovoltaïques (chantiers civils, construction du réservoir d'eau, etc.),
- ont en charge la sécurité et l'entretien basique des installations (la majeure partie des systèmes photovoltaïques bénéficie de la présence permanente d'un gardien qui les protège contre les vols éventuels),
- sont responsables de l'enregistrement des données de consommation en eau et du coût des quittances correspondantes. Il faut souligner que l'usage répété de ces données à des fins de recherches a été apprécié par les associations et par la population. Le sentiment que les données enregistrées ont un intérêt pour le monde extérieur a accru la motivation de telle sorte que toutes les données recueillies lors des visites périodiques sont considérées comme un mode de liaison permanent avec l'extérieur.

Au total, les systèmes photovoltaïques de ce programme approvisionnent plus de 10 000 personnes en eau potable ; les premières pompes installées ont actuellement plus de cinq ans de fonctionnement continu ; le volume total de l'approvisionnement en eau est supérieur à un million de m³ ; et le projet vient de s'étendre à 30 nouveaux villages. À titre d'exemple, le tableau 1 résume les caractéristiques des installations dans un des villages (Iferd). Il faut noter que le programme comprend également la construction de latrines et un enseignement sur la santé particulièrement destiné aux femmes qui sont les principales responsables de l'hygiène et de l'usage de l'eau dans les habitations.

Iferd	
Personnes	622
Habitations	61
Bétail	15 vaches et 400 chèvres
Générateur photovoltaïque	2,5 kWc
Réservoir d'eau	50 m ³
Tarif	- Taux fixe de 4.2 Dh par compteur (1Dh ≈ 0,1 Euro). - Tarification progressive : 1 Dh/m ³ pour la consommation de base (≤1 m ³ /personne et par mois) 5 Dh/m ³ pour les consommations supérieures
Revenus moyens mensuels pour l'achat de l'eau	1 626,5 Dh/mois (= 156 euros/mois)
Eau pompée depuis le point d'approvisionnement opérationnel	Total : 32 515 m ³ Moyenne quotidienne : 21,9 m ³ /jour

Tableau 1. Caractérisation de Iferd

Ce système « Puits + chloration » est représentatif des régions sans plan d'eau superficiel où il faut creuser des puits ou des forages pour l'approvisionnement en eau des populations, et où la source de contamination principale est bactériologique. Dans les puits d'une certaine profondeur, les sources de contamination sont habituellement et principalement localisées dans les systèmes de distribution et de stockage.

Le système d'approvisionnement photovoltaïque en eau est composé de :

Sous-système	Description
Ressource	Eau souterraine récupérée au moyen d'un forage (diamètre d'environ 15 cm) ou d'un puits (60 cm<diamètre<200 cm) à une profondeur située entre 10 et 100 mètres et qui est distribuée tout au long de l'année sans problème de contamination chimique.
Captage	Une moto-pompe d'une puissance de 200 à 500 W associée à un système d'alimentation photovoltaïque (pour pouvoir fournir environ 40 litres par personne et par jour).
Conduit	Tuyauterie de polyéthylène avec un débitmètre fixé en sortie de moto-pompe ou à l'entrée du réservoir.
Stockage	Réservoir surélevé en béton d'une capacité supérieure à 3 fois la consommation totale quotidienne.
Distribution	Tuyauterie de polyéthylène qui relie la sortie du réservoir à chaque habitation (pourvu d'un compteur et d'une distribution interne)
Transport	-
Traitement	-
Evacuation	Puits noirs et canalisations pour éviter la formation de flaques

Les pompes photovoltaïques devinrent opérationnelles en février 1997 (voir figure 1) une fois menés à bien les travaux d'infrastructure des puits, des réservoirs et des conduits les reliant. Depuis, chaque population a avancé dans les travaux d'infrastructure pour la distribution et la

consommation d'eau et dans la mise en place d'une organisation locale spécialement chargée de gérer cette nouvelle ressource.

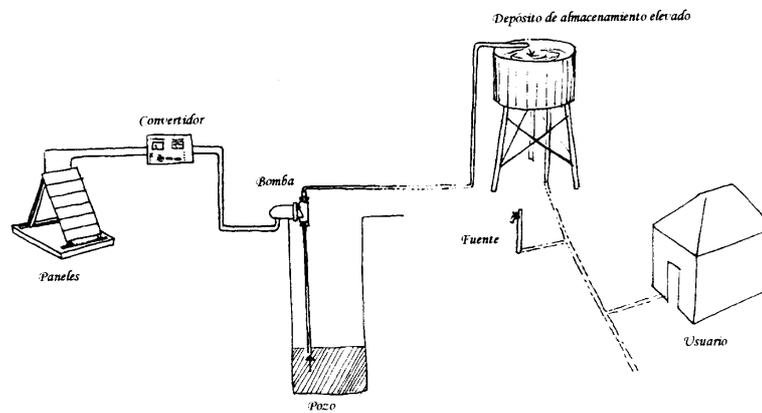


Figure 1. Système de pompage photovoltaïque type dans la vallée de Dra'a.

Le système d'assainissement est composé de :

Sous-système	Description
Pompe d'injection	Pompe de dosage pourvue d'un contrôle de la fréquence d'injection pouvant injecter la dose adéquate de chlore pour un pompage au débit maximal.
Contrôle	Capteur qui contrôle la quantité d'eau pompée et émet un

	signal à la pompe d'injection qui régule la quantité de chlore pour rendre l'eau potable.
Interphase	Bague pour le conduit de distribution sur laquelle s'adapte l'injecteur
Stockage	Réservoir servant à stocker l'hypochlorite de sodium.
Alimentation énergétique	Système d'alimentation en électricité fonctionnant au moyen de l'énergie solaire photovoltaïque.

Le système d'assainissement a été conçu par l'IES suivant les conditions requises et se compose d'une pompe de dosage électronique à membrane alimentée sur du 12 V, pouvant injecter 1,5l/h à une pression de 12 bars. Elle est munie d'un capteur de réservoir vide et d'un signal de contrôle du rythme d'injection de 4-20 mA. Ce signal de contrôle est généré par un capteur de courant à effet Hall. Le principe de fonctionnement est le suivant : le capteur de courant est fixé dans la station de pompage d'eau en faisant passer un des câbles d'alimentation de la pompe à travers le dispositif à effet hall. Ce capteur émet un signal proportionnel au courant d'entrée de la pompe, proportionnel au volume d'eau pompée.

Ainsi, de façon à adapter au mieux le système, il faut simplement pouvoir injecter la bonne quantité de chlore par mètre cube d'eau. Le signal de contrôle peut s'effectuer au moyen d'un débitmètre. Le diagramme de fonctionnement de ce système de purification est présenté dans la Figure 2 :

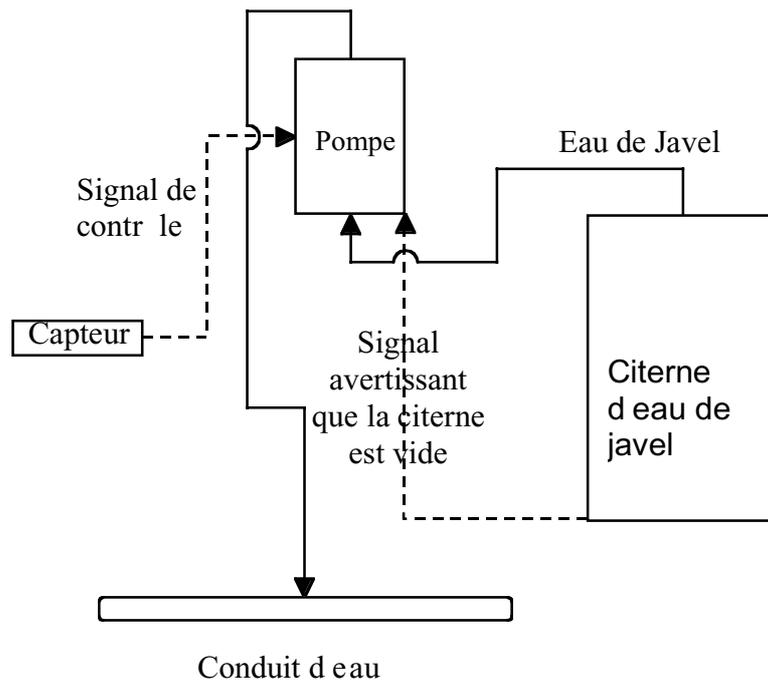


Figure 2. Diagramme du moyen de fonctionnement du système de purification

L'équipement est alimenté par un système photovoltaïque composé d'un générateur, d'une batterie et d'un régulateur qui le protège. Le schéma suivant indique comment ces composants se combinent ensemble (figure 3).

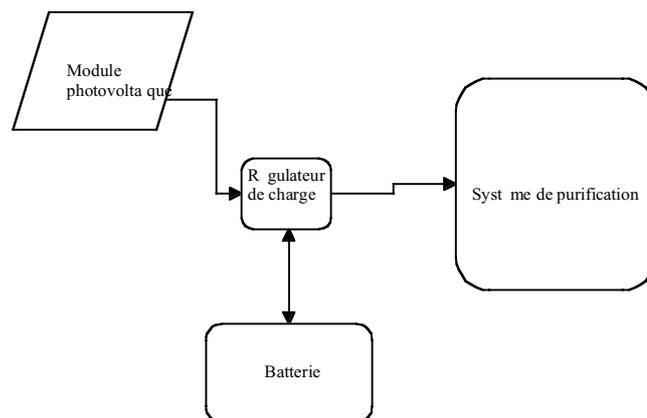


Figure 3. Diagramme de fonctionnement du système photovoltaïque alimentant le système de purification

La réserve de chlore peut contenir 100 litres. Différents produits de chloration ont été essayés, certains à base d'hypochlorite de sodium et d'autres à base de chlorure de calcium. Le premier est liquide alors que le second est solide et tous deux s'utilisent sous forme granulée. Ce dernier, malgré le fait qu'il ait l'avantage de perdre très peu de chlore, ne peut être utilisé à des concentrations supérieures à 5 - 6% (équivalent à l'eau de javel commerciale) et génère de nombreux résidus qui obstruent la pompe après un processus de dissolution compliqué. D'un autre côté, il est difficile dans ces régions de trouver de l'hypochlorite de sodium à des concentrations supérieures à 12 %, ce qui explique l'utilisation d'eau de javel commerciale, bien que sa faible concentration nécessite un débit plus important. Approximativement tous les deux mois, il faut remplir la cuve de stockage.

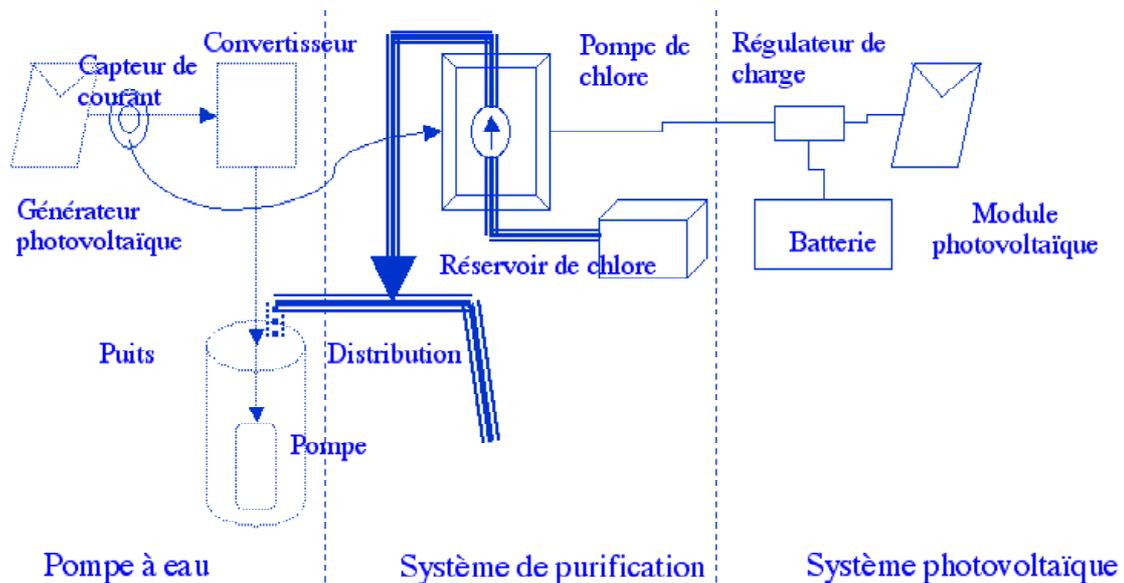


Figure 4. Diagramme détaillé de l'ensemble : système de pompage d'eau, système de purification et système d'alimentation photovoltaïque.

3. Méthodologie

La méthodologie utilisée pour évaluer ce programme de pompage photovoltaïque n'est pas une question accessoire mais au contraire une partie fondamentale de l'analyse de fonctionnement des systèmes. Cette méthodologie est aussi une des leçons du projet puisque, tout en étant un facteur d'évolution, elle s'intègre dans la planification et l'introduction de programmes de pompage photovoltaïque en milieu rural.

L'évaluation de quelque projet que ce soit d'aide au développement suppose, de façon basique, que l'on réponde à trois types de questions :

- Les besoins des usagers sont-ils satisfaits ?
- Cela a-t-il été fait de façon correcte ?
- L'option choisie a-t-elle été celle de moindre coût ?

Ainsi formulées, ces questions semblent attendre des réponses simples. Mais cela est trompeur. Les risques majeurs d'erreurs viennent de la tendance naturelle à utiliser, comme point de référence, l'échelle de valeurs de l'évaluateur lui-même. La méthodologie d'évaluation utilisée tente d'esquiver cette difficulté en employant des concepts propres à « la théorie générale des systèmes » issus de l'application universelle. Il convient de retenir ici les considérations suivantes :

- a) Le premier enseignement à tirer de l'introduction d'une innovation dans un système caractérisé par une organisation stable est que cela implique nécessairement un processus instable et transitoire qui conduit soit, à un nouveau système ou organisation stable - différente de la précédente – soit, à la destruction de celui-ci. Dans ce dernier

cas, le système tentera de se prémunir en refusant l'innovation. Ce qui conduit à tel ou tel résultat dépend essentiellement du « degré de nouveauté » de l'innovation, compris comme la moyenne des différences qui entraînent l'innovation dans le cas du système initial.

- b) Le second enseignement qui compte pour beaucoup est le degré de nouveauté car, plus grande est la capacité de destruction de l'innovation, plus grande est la tendance du système à la repousser.
- c) Le troisième enseignement qui découle de la combinaison des deux premiers veut qu'une innovation sera bien acceptée seulement si on arrive à améliorer les conditions préexistantes du système et seulement si cela n'entraîne pas de changements substantiels dans son organisation.
- d) Le quatrième consiste à définir un « système technologique » comme un tout constitué de trois éléments bien différenciés : le hardware ou l'ensemble des moyens techniques avec leurs caractéristiques particulières ; le software ou l'ensemble des méthodes et procédures qui régissent l'emploi de tels moyens techniques c'est-à-dire le comportement et le savoir faire des utilisateurs et enfin le orgware, ou la structure organisée dans laquelle s'appuie la maintenance du service et à travers celle-ci, le service interactif, avec d'autres de différentes natures.

Comme base de ces concepts, il a été développé une méthode d'analyse de projets comportant les démarches suivantes :

1. Définition des systèmes préexistants et finaux. Elle consiste à décrire de la façon la plus précise possible chacun des trois éléments mentionnés dans le § d), et est l'objet principal du travail de terrain,

2. Détermination du degré de nouveauté, soit comparer les systèmes définis par le passé, détecter les différences les plus significatives et les analyser jusqu'à ce que ces différences soient perçues comme un avantage ou un désavantage pour les utilisateurs,
3. Mise en place des procédures visant à réduire le degré de nouveauté, spécialement dans ce qui peut-être perçu comme un désavantage, et compenser les effets négatifs qui peuvent provenir du processus innovateur.

Il est intéressant de noter que cette méthode porte une attention toute particulière à l'étude pré-projet avec la double volonté d'établir une référence qui permette de juger de son bon impact et d'acquérir les connaissances utiles à sa conception. Il est par ailleurs assez navrant de constater que les procédures administratives d'attribution des subventions ne permettent pas, de manière générale, de consacrer les efforts nécessaires à ces études. Cette situation est à l'origine de bon nombre d'échecs dans des projets pourtant bien intentionnés. Dans le cas présent, ont été étudiés non seulement les villages concernés par le projet d'approvisionnement en eau par énergie solaire mais aussi d'autres villages de la région dont le système traditionnel d'approvisionnement est resté inchangé.

Il convient également de noter que cette méthode suppose un outil permettant de poser les bonnes questions et la possibilité de réaliser correctement les actions recherchées. Pourtant, il convient de faire remarquer que tout ce qui affecte les systèmes sociaux est de nature intrinsèquement complexe et que, à l'heure de faire des diagnostics et des interprétations, rien ne remplace le sentiment commun, l'ouverture d'esprit et la capacité d'observation. La traduction de cette méthodologie en instruments pratiques de type questionnaire, liste des aspects à quantifier, etc. est possible. Elle a déjà été expérimentée et peut s'avérer utile pour

celui qui fait ses premiers pas dans ce domaine. Pourtant, c'est avec la volonté de rendre la lecture agréable qu'il n'a pas été jugé opportun d'aller plus loin dans la présentation des questions méthodologiques mais d'en présenter les résultats uniquement.

Une dernière question concerne les limites de cette méthode. Restreindre l'analyse à un « système » unique (dans le cas présent, l'eau pour la consommation humaine) fait penser qu'il s'agit d'un système isolé, ce qui bien entendu n'est pas le cas. Cette restriction est nécessaire dans n'importe quelle analyse (autrement, la complexité du problème la rend quasi inabordable) mais limite la portée des effets produits par l'innovation. Par exemple, cette méthode permettrait, pour l'utilisation de l'eau (boisson, cuisson d'aliments, hygiène, etc.) d'évaluer sa disponibilité mais pas l'effet que pourrait avoir l'amélioration de l'hygiène sur le taux de mortalité.

Pour cette dernière, il faudrait avoir recours aux enseignements tirés d'autres expériences voire, étendre l'analyse à un plus grand système ce qui, en plus d'être complexe, n'est aujourd'hui pas possible compte tenu du faible délai entre l'installation des équipements et l'évaluation.

3. Le système initial

L'usage domestique traditionnel de l'eau se fonde sur deux systèmes associés à des usages finaux différents :

- la consommation humaine (boisson, thé, cuisson d'aliments et lavage d'ustensiles de cuisine)
- les autres usages (hygiène personnelle, abreuvement du bétail, arrosage de petits jardins, etc.).

Les deux systèmes sont généralement bien différenciés dès leur origine. Le choix des puits pour la boisson et le lavage se fonde sur, principalement, la meilleure qualité de l'eau (goût)

tandis que le choix des puits destinés aux autres usages vise simplement à fournir un minimum d'efforts pour l'extraction et le transport. Traditionnellement, chaque village utilise un puits unique pour la consommation humaine, parfois éloigné de quelques kilomètres des habitations alors que, pour tous les autres usages, les villages utilisent des puits plus proches des habitations, parfois même à l'intérieur même des habitations.

De la Figure 5 à la Figure 9 sont décrits les procédés d'extraction, de transport, de stockage et de distribution correspondant à l'usage traditionnel de l'eau destiné à la consommation humaine : l'extraction est totalement manuelle et se fait à l'aide d'une corde au bout de laquelle sont attachés deux sceaux qui montent et descendent respectivement du puits grâce à un système de courroie. Différents bidons en plastique d'une capacité de 5 litres, sont également attachés à la corde et se transportent jusqu'aux habitations à dos d'âne voire, si la distance est inférieure à une centaine de mètres, à brouette. Ces mêmes bidons servent à stocker l'eau jusqu'à son utilisation. Pour la boire, on la transvase dans une cruche en terre poreuse qui la rafraîchit par évaporation. Les femmes et les enfants sont les personnes chargées d'aller chercher l'eau au puits, tâche qu'ils effectuent deux fois par jour.



Figure 5. Extraction manuelle de l'eau.

Le système associé aux autres usages diffère du précédent du fait que le travail d'extraction et de transport est réduit au minimum (puits et rivières proches de l'habitation quelle que soit la qualité de l'eau, abreuvoirs villageois proches de la rivière, etc.). Il est principalement utilisé par les hommes.

Le système associé à la consommation humaine sera, seul, analysé.



Figure 6. Remplissage des bidons pour le transport



Figure 7. Transport à dos d'âne



Figure 8. Distribution de l'eau dans chaque habitation



Figure 9. Bidons du stock et cruches pour rafraîchir l'eau

3.1 Le hardware. La fiabilité comme priorité.

Le hardware se compose du puits, des cordes, des ânes, des bidons et des cruches. Ses caractéristiques sont telles que définies par les utilisateurs, à savoir, dans l'ordre :

a) La fiabilité

La garantie de l'approvisionnement en eau est la préoccupation première des familles. En effet, chacune dispose de sa propre corde et de ses propres seaux et puise l'eau du puits chaque fois que nécessaire, ce qui est bien plus sûr que de devoir utiliser un hypothétique équipement à usage communautaire installé en permanence qui, s'il est utilisé de façon excessive et avec négligence, deviendrait vulnérable (Figure 10).

Cette préoccupation vis-à-vis de la fiabilité est logique puisque l'eau est primordiale en général et qu'elle est, de plus, pure vue l'historique hydrographique de cette région, soumise à des sécheresses persistantes ces deux dernières décades. Cette situation dramatique est particulièrement visible à Iferd. Il y a 60 ans, environ une centaine de ses habitants se sont lancés dans la construction d'un tunnel de 7 kilomètres destiné à acheminer l'eau jusqu'au village depuis un aquifère proche (voir Figure 11). Le diamètre du tunnel est tel qu'il permet aisément à un homme d'y marcher et tous les 10 mètres, un puits relié à l'extérieur et creusé manuellement sert à extraire la terre. L'effort que requiert le forage (environ 15 m³ de terre extraite par chaque habitant) est conséquent. De plus, cet impressionnant chantier hydraulique s'est complètement asséché en 1982, laissant la population dans une situation angoissante et à laquelle il était impossible de pallier de façon satisfaisante jusqu'à la mise en place du projet.

Il n'est pas surprenant de constater le soin apporté à l'usage de l'eau tout particulièrement à Iferd.



Figure 10. Utilisateur démontant la corde, la poulie et le seau après avoir tiré de l'eau.



Figure 11. Les monticules sont le résultat des travaux occasionnés par la construction du tunnel d'Iferd à 5 m sous terre.

b) Le goût

L'importance qui est donnée au goût de l'eau est probablement liée à sa salinité et s'observe dans tous les villages visités. Le puits destiné à l'approvisionnement en eau pour la consommation humaine est unique et choisi exclusivement en fonction du goût de son eau et de la distance à laquelle il se trouve, pouvant aller jusqu'à plusieurs kilomètres. À ce sujet, la réponse des personnes interrogées fut unanime. Dans de nombreuses habitations, il existe en effet des puits particuliers destinés à d'autres usages mais jamais à la consommation humaine.

c) L'effort

Une fois l'eau garantie tant du point de vue quantitatif que gustatif, prime l'effort minimum pour son extraction et son transport. Cela est clairement visible à Imzouren où la population s'approvisionne à un ruisseau et n'a recours au puits situé à proximité que lorsque le ruisseau

est à sec pendant l'été (Figure 12), alors que le goût de l'eau est identique et que la qualité sanitaire du puits est nettement supérieure.

d) La qualité sanitaire

Cet aspect est en dernier lieu dans la mesure où les familles concernées n'y prêtent pratiquement pas attention. Le cas d'Imzouren peut servir de paradigme. L'eau du ruisseau est fréquemment contaminée (Figure 13) et cause d'importantes maladies. Il y a quelques années, 60 personnes – une par famille en moyenne - atteintes du typhus, durent se faire hospitaliser simultanément. Elles avaient bu l'eau de la rivière. Cela fut rapporté par l'une des personnes hospitalisées sans montrer, apparemment, quelque inquiétude que ce soit quant à une possible répétition de la situation.



Figure 12. Puits et ruisseau proches d'Imzouren.

Aucune préoccupation concernant la qualité sanitaire de l'eau n'a été mentionnée. Aucun puits ne dispose de couvercle, et ni les cordes ni les seaux ne sont gardés dans des endroits particulièrement propres malgré le fait qu'ils constituent une source indubitable de contamination des puits. Le seul soin prodigué observé fut dans une habitation, un couvercle posé sur les cruches pour empêcher les insectes d'y pénétrer (Figure 15). Cependant, l'eau utilisée pour se rafraîchir provenait des cruches et pour augmenter son effet rafraîchissant, on

utilisait un système dédié à d'autres usages dont la propreté était plus que douteuse (Figure 14). Il est clair que l'effort primait sur la qualité sanitaire de l'eau. Des déchets (bâtons, bouteilles en plastique, etc.) flottant à l'intérieur (Figure 6) des puits ont été fréquemment observés.

Cette rare préoccupation de la propreté de l'eau peut paraître paradoxale aux yeux de la mentalité occidentale. Pourtant, elle se vérifie dans presque tous les milieux ruraux où ont été menées des études similaires. C'est pourtant la source de 80 % des maladies. Les raisons qui sous tendent cette réalité sont très profondes et ce n'est pas le lieu pour les analyser en détail. Il suffit d'insister sur le fait que cette « non-préoccupation » des consommateurs vis-à-vis de la propreté de l'eau qu'ils boivent est un élément qu'il faut retenir lors de telles opérations de pompage.



Figure 13. Ruisseau à Imzouren. La turbidité de l'eau est éloquent.



Figure 14. Seau d'eau pour humidifier les cruches.



Figure 15. Cruches avec couvercle pour empêcher les insectes et la saleté d'entrer.



Figure 16. Objets apparents à l'intérieur d'un puits.

3.2. Le software. L'eau comme bien précieux.

Le software du système traditionnel se compose de l'ensemble des normes et des habitudes liées à l'utilisation de l'eau pour la consommation humaine. À savoir :

- e) La consommation varie entre 5 et 10 litres par personne et par jour, selon que l'on soit en hiver ou en été.

f) Les porteurs d'eau sont les femmes et les enfants qui se rendent au puits de préférence le matin ou en fin d'après-midi. Le temps imparti à cette tâche est très variable d'un lieu à un autre en fonction de la distance qui sépare le puits des habitations. Un kilomètre de distance et plus de trois heures de trajet sont fréquents.

g) L'eau est gratuite.

Les puits sont une propriété collective et il est plus que normal de respecter l'ordre d'accès au puits. L'effort que requiert l'extraction de l'eau est une raison suffisante pour éviter les risques de surconsommation ou de gaspillage. Dans beaucoup de puits, l'eau gâchée lorsqu'elle est transvasée des seaux aux bidons est canalisée dans un lieu de proximité, ce qui permet d'éviter la formation de flaques insalubres et la floraison de plantes (Figure 17).

h) Le transport jusqu'à l'habitation s'effectue fréquemment à dos d'âne, animal qui peut charrier jusqu'à 100 litres en un seul voyage. Chaque famille, ou presque, possède un âne affecté à cette tâche, ce qui engendre des frais significatifs. Il faut ajouter, à l'achat de l'âne et du harnais, le fourrage. En cas d'absence de pâturage, les frais d'entretien s'élèvent à 20 dirhams (1,80 €) par jour et par animal, montant très élevé pour l'économie de la région.

i) L'eau est stockée dans les mêmes bidons en plastique utilisés pour le transport (Figure 18). Pour boire l'eau, on la transvase dans des cruches en terre poreuses pouvant contenir chacune 15 litres où elle se rafraîchit par évaporation.



Figure 17. « Canalisations » qui récupèrent l'eau rejetée.



Figure 18. Bidons et cruches en argile dans lesquels l'eau est transvasée.

Le nombre de cruches employées simultanément varie tout au long de l'année. Une famille type de dix personnes en utilise deux à trois l'hiver et douze à treize l'été. Par l'usure, les pores des cruches s'obstruent par les dépôts laissés par l'eau (sel, carbonates, etc.). L'évaporation ne peut plus alors se faire et elles perdent leur effet rafraîchissant. Une famille type consomme entre 8 et 10 cruches par an qui coûtent chacune de 5 dirhams (0,45 €) l'hiver et 10 dirhams (0,90 €) l'été.

j) Un usage de l'eau extrêmement soigné.

Il n'y a jamais de gaspillage et cela est normal puisque les gens respectent l'eau qu'ils possèdent et qu'ils déploient des efforts considérables pour l'obtenir. Les efforts fournis (et déjà commentés) pour canaliser l'eau rejetée jusqu'aux puits sont remarquables, tout comme le fait d'avoir recours à l'eau destinée à des usages moins nobles pour humidifier les cruches.

3.3. Le orgware. L'inexistence d'une organisation permanente.

Le orgware se compose principalement de foreurs et de potiers qui se chargent respectivement de forer les puits et de fabriquer les cruches.

- k) Les foreurs sont des artisans spécialisés qui travaillent au niveau régional. Très couramment, pour la réalisation du forage et la préparation d'un puits, toutes les familles d'un village se réunissent, participent financièrement et, par des moyens matériels, nourrissent les ouvriers et construisent leur propre puits. Le prix par mètre linéaire foré en terrain mou se situe autour de 500 dirhams (45,07 €) et 1 000 dirhams (90,15 €) par mètre en terrain dur (pour lequel il faut avoir recours à la dynamite). Le prix d'un puits est de l'ordre de 30 000 dirhams (2 704,55 €). Il importe de retenir ce chiffre car il quantifie la capacité organisationnelle des villageois.
- l) Les potiers sont aussi des artisans spécialisés qui fabriquent leurs produits (les cruches) dans n'importe quelle zone où l'argile présente les caractéristiques appropriées. Ils se rendent ensuite dans les différents marchés pour vendre directement leurs produits aux paysans.
- m) Les bidons de 5 litres dans lesquels se charrie l'eau du puits jusqu'aux habitations sont parfois des bidons recyclés qui servaient auparavant pour l'huile de cuisine. Il n'existe ainsi pas d'organisation qui en fasse spécifiquement leur commercialisation.
- n) Il n'existe pas d'organisation permanente qui se charge, au niveau local, de tout ce qui a trait à l'eau. Chaque village s'organise de façon ponctuelle pour forer et réparer les puits.

4. Le système actuel.

Ce paragraphe analyse le « degré de nouveauté » qu'a entraîné l'innovation technologique représentée par les pompes photovoltaïques et explique la conduite à tenir et les recommandations à donner pour que les systèmes soient fiables et pérennes.

Au fil du temps, les nombreux villages qui comptent aujourd'hui une pompe photovoltaïque présentent des situations différentes, bien que toutes les pompes aient été installées à la même époque et bien qu'elles fonctionnent pratiquement toutes correctement depuis. Les différences sont apparues dès que le réseau de distribution d'eau a raccordé le réservoir aux habitations et ce, en fonction du développement des organisations chargées de la gestion de l'eau. Il ne faut pas oublier que les pompes n'ont été installées que lorsque les puits et les réservoirs étaient prêts. Le plus gros du matériel (conduits, ciment, etc.) était fournis par le projet et les villageois assumaient la totalité de la main d'œuvre.

Le réseau de distribution jusqu'à l'entrée des habitations est régi selon le principe de répartition des coûts entre les initiateurs du projet et les bénéficiaires. Le coût de la distribution à l'intérieur des habitations (compteur, tuyaux et robinetterie) revient totalement à la charge de chacune des familles. Dans l'ensemble, la mise en place du réseau de distribution exige que les habitants des villages s'organisent, que ce soit pour distribuer les charges (personnelles en ce qui concerne la réalisation des tranchées, etc.) ou pour décider de la gestion de l'eau (tarification, entretien, personnel, etc.). La cohérence sociale de chaque population, antérieure au commencement du projet, est un facteur déterminant de la rapidité et de l'efficacité de la mise au point d'une telle organisation.

Parce qu'il est très représentatif de la situation générale des installations, le cas d'Iferd sera décrit avec précision. L'annexe fournit toutes les informations sur l'état des installations des autres villages, incluant les problèmes et les solutions apportées. C'est de l'expérience sur un ensemble d'installations qu'ont été tirées les leçons exposées ultérieurement. Pour des raisons d'espace que le lecteur comprendra aisément, seul l'exemple paradigmatique des villages sera présenté.

Iferd.

Le raccordement du réseau de distribution est finalisé et l'organisation locale fonctionne de façon routinière depuis 1997. Entre février, date de l'installation des pompes, et août de cette même année, les équipes pompèrent l'eau de façon normale. Cependant la distribution au consommateur se faisait aux bornes-fontaines placées au niveau du réservoir dont l'accès était libre et gratuit. Cette période « test » à permis aux habitants de se familiariser avec les nouveaux équipements, de vérifier fiabilité et capacité de pompage, d'envisager à l'avance les phases de raccordement du réseau de distribution et les phases d'organisation.

Iferd est aujourd'hui un village qui peut servir de modèle pour beaucoup d'autres quant à sa capacité de gestion. Son organisation vaut la peine d'être décrite avec précision :

- Le nombre d'habitants est de 622 personnes, réparties en 61 familles. Un registre détaillé recense, pour chaque famille, le nombre de personnes et le nombre de têtes de bétail.

- La tarification de l'eau est progressive, elle se base sur la consommation mensuelle par personne, et s'ajuste sur l'échelle suivante :

Premier m ³ par personne et par mois	1 dirham/m ³
Second m ³ par personne et par mois	5 dirhams/m ³
À partir du troisième m ³ par personne et par mois	10 dirhams/m ³

Il faut ajouter à ces tarifs une cotisation fixe de 4,2 dirhams/mois pour chaque compteur.

- Deux familles qui n'avaient pas les moyens financiers n'eurent rien à régler. Concrètement, il s'agissait de deux veuves ayant chacune des enfants à charge.
- Le volume d'eau pompée est relevé quotidiennement sur le compteur situé à la sortie de la pompe. La Figure 18 présente l'évolution de cette valeur sur un mois.

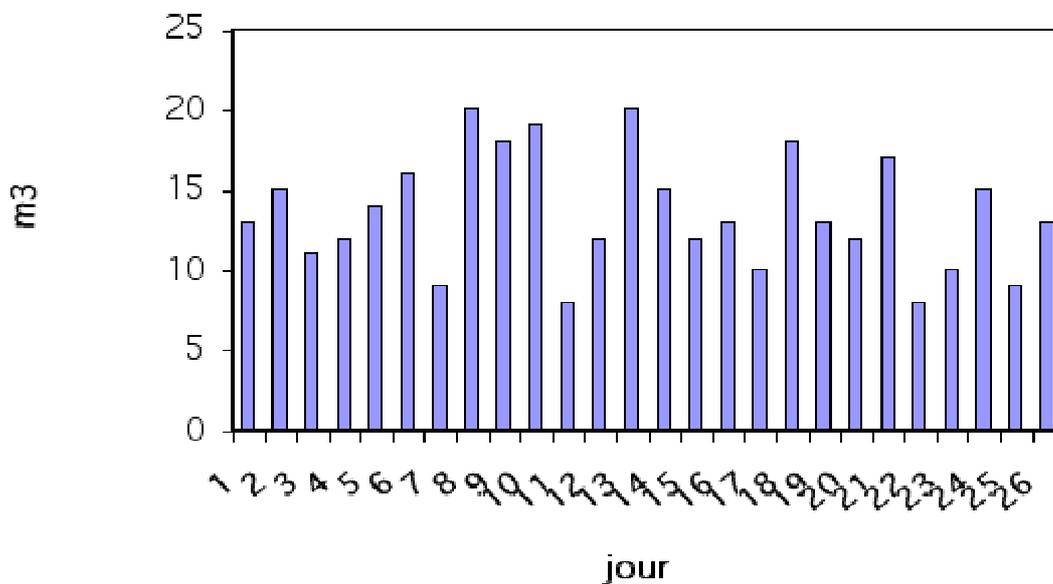


Figure 19. Volume d'eau pompée quotidiennement à Iferd pendant le mois de novembre

1997.

Le relevé des compteurs de chaque habitation se fait mensuellement (Figure 20 à Figure 22) et s'additionne. La comparaison des volumes d'eau pompée et consommée permet de détecter l'existence de fuites importantes dans le réseau de distribution. C'est ce qui arriva fin octobre 1997, lorsque l'analyse des données des compteurs mit en évidence que le débit avait quasi doublé (820 m³ furent pompés en octobre alors que 486 m³ seulement avaient été consommés). La panne fut réparée fin octobre et aussitôt, le volume d'eau pompée a diminué comme on peut le constater dans la Figure 23. Le cas s'est reproduit l'année suivante :



Fig. 20.

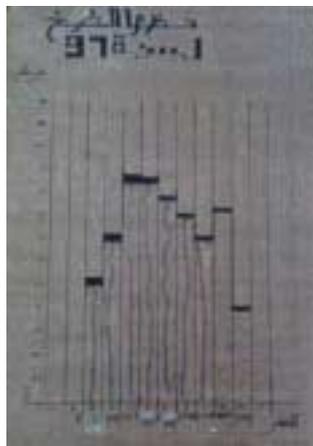


Fig. 21.



Fig. 22.

Figure 3. Relevé des compteurs de chaque maison et représentation graphique de la consommation quotidienne totale à Iferd.

Figure 4. Relevé et représentation graphique du volume d'eau pompée mensuel à Iferd.

Figure 5. Relevé et représentation graphique du volume d'eau consommée mensuel à Iferd.

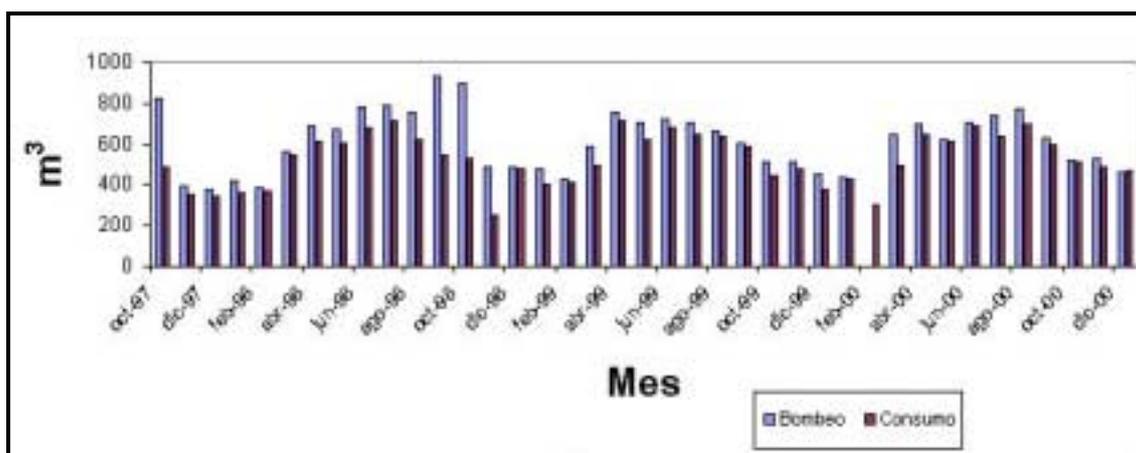


Figure 23. Volume mensuel d'eau pompée à Iferd depuis la mise en fonctionnement de l'installation photovoltaïque.

Cette gestion de l'eau, qui ne peut être qualifiée que de modèle, est probablement liée à l'histoire hydrographique bien particulière de cette localité qui, pour survivre, a dû régulièrement faire appel à la solidarité intercommunautaire. L'importance que les habitants d'Iferd portent à la disponibilité de l'eau transparaît à travers l'effort impressionnant qu'ils fournissent dans l'exécution des infrastructures, effort particulièrement impressionnant du fait que le puits et le réservoir sont distants de plus de trois kilomètres. Ainsi, la population fournit jusqu'à 1 941 jours/hommes de travail non spécialisé (creusement manuel des tranchées, etc.) et jusqu'à 194 789 dirhams (18 731€) (matériaux de construction), 396 jours de travaux spécialisés payés 50 dirhams/jour, un camion pour transporter l'eau du puits jusqu'au réservoir pendant la construction de ce dernier, etc. Cette somme représente environ 3 200 dirhams (306 €) par famille, auxquels il faut ajouter une cotisation pour l'installation des compteurs de 600 dirhams (54,09 €) et le coût d'installation des tuyaux et robinetterie à l'intérieur des habitations qui varie de 100 à 1 600 dirhams. Ces contributions requièrent cet effort économique considérable si l'on considère l'économie de la région, de la part de chaque homme âgé entre 16 et 60 ans.

- De plus, les familles s'organisent à tour de rôle de façon à ce qu'il y ait toujours une personne dans la journée près du puits et de la pompe et deux personnes la nuit. Pendant les visites, il a été constaté l'excellent état de conservation des infrastructures (propreté des modules, révision périodique des contacts, habitations impeccables, etc.) et divers détails originaux comme la protection du puits et des convertisseurs au moyen d'un couvercle métallique installé de la propre initiative des habitants (Figures 24 et 26).

Concernant les installations à l'intérieur des habitations, elles virent le jour très lentement (Figure 27 à Figure 29). Lors des visites, les infrastructures sanitaires étaient propres. Ces infrastructures sanitaires se sont progressivement généralisées dans les habitations, ainsi qu'en fait référence les écrits qui relatent les premières installations réalisées.



Figure 24. Générateur photovoltaïque à Iferd.



Figure 25. Puits à Iferd protégé par un couvercle en métal.



Figure 26. Convertisseurs d'Iferd également protégés.



Figure 27. Douches et toilettes de l'école d'Iferd. Observez les jardins arrosés grâce aux fuites d'eau.



Figure 28. Salle de bains d'une demeure d'Iferd.



Figure 29. Chauffe-eau de la maison précédente.

Le relevé des compteurs de chaque habitation se fait mois après mois depuis septembre 1997, et jour après jour sur la pompe depuis avril 1997. Les registres contiennent divers commentaires comme l'heure de la mise en marche et d'arrêt de la pompe, les incidents climatiques, etc. Ces réflexes permettent aujourd'hui de disposer d'une importante base de données expérimentales, un outil-clef pour tirer des enseignements.

Un registre comptable des revenus et des dépenses depuis janvier 1998 est tenu à ce jour. Son analyse montre un excédent d'environ 1 300 dirhams. Une réserve de 10 000 dirhams a été créée, considérée intouchable et destinée à l'entretien général (remplacement de la pompe tous les 5 ou 6 ans). Le reste sert à couvrir les autres besoins de la communauté, comme la construction de l'édifice de l'association. Récemment, il fut décidé de réparer la salle de classe de l'école, en piteux état (Figure 30), suite à la mauvaise gestion du Ministère de l'éducation. Avec ce même argent, fut aussi acheté le matériel qui servit à réparer la fuite du réservoir. Il est important de signaler qu'à la dynamique de cette gestion ont été ajoutés les crédits dans les magasins de fourniture de matériel leur permettant de faire face aux dépenses ponctuelles mais considérables, comme, par exemple, la construction du bâtiment de l'association.

Cette gestion modèle est le fruit d'une organisation également exemplaire dont le bon fonctionnement se manifeste par d'autres actions comme l'aménagement d'une habitation pour le gardien au lieu où se trouve l'installation photovoltaïque, la construction d'un centre communautaire pour la gestion de l'eau et l'enseignement de l'hygiène, etc.

Concernant l'état de l'installation, lors des visites successives et au fil du temps, il a été constaté que le conduit d'évacuation du réservoir était rempli d'une quantité non négligeable d'eau, malgré le fait qu'un flotteur bouchait la sortie de la pompe. Une étude plus approfondie mit en évidence que ces tuyaux étaient dans un état de corrosion tellement avancé qu'ils s'étaient percés et avaient provoqué des fuites (Figure 31). Cette corrosion, de toute évidence excessive par rapport au temps d'utilisation (2 ans environ) indique que la protection galvanique des tuyaux est inadéquate, tout du moins pour cette qualité d'eau. De plus, d'autres composants de la tubulure (les coudes, les embranchements, etc., en fer et dépourvus de toute protection, ont contribué à l'accélération de la corrosion. Ce problème survenu à plusieurs reprises dans d'autres villages, est très grave puisque, même s'il ne représente qu'une infime partie du coût total des infrastructures (< à 1%) et présente une menace pour la fiabilité du système des habitants. Ce problème sera traité dans le paragraphe consacré aux enseignements tirés.



Figure 30. Etat d'une salle de classe à Iferd.

Figure 31. Corrosion des conduits du réservoir. On peut voir les lézardes provoquées par la corrosion dans lesquelles il est possible de faire passer un couteau.

Le reste du système fonctionnait correctement : les modules étaient propres et les prises de terre humides. Pour savoir si le réservoir est plein, un flotteur bouche le conduit. Un pressostat émet un signal d'alerte et provoque l'arrêt de la pompe dès que la pression est trop forte. Lors de nos premières visites, il a été remarqué un phénomène de battements : le pressostat agissait 10 fois par minute. L'hystérésis a été modifiée pour assurer au maximum 4 changements d'état par heure.

Il y eut une « crise de l'eau » qui débuta le 26/7/98 et perdura jusqu'au 25/8/98, période durant laquelle le pompage ne satisfaisait pas totalement la demande. Le temps d'approvisionnement quotidien a été limité de 1h du matin jusqu'au moment où le volume stocké dans le réservoir descendait jusqu'à 10 m³. La consommation en eau pendant la période de « crise » était de 32 litres par personne et par jour, soit légèrement inférieure à la consommation effectuée sur plusieurs mois sans restriction (par exemple pendant le mois précédent, juillet, la consommation moyenne était de 37 litres par personne et par jour), en tout cas bien supérieure à la consommation avant la mise en place du projet. La marge d'optimisation dans les systèmes, comme expliquée dans le paragraphe 5, a permis de résoudre le problème.

Le système a fonctionné sans incident notable jusqu'en octobre 2002 jusqu'à ce que le convertisseur ne prenne feu de façon spectaculaire (voir Figure 32), incendie provoqué a priori par une panne de ventilateur. La durée de vie estimée pour ce type de composant étant

de 5 ans, le problème de la pérennité du système était alors posé puisqu'il est impossible de remplacer ce composant introuvable dans la région. Le problème n'a pu être résolu que grâce au savoir faire de l'entreprise ayant procédé à l'installation.



Figure 32. État du convertisseur ayant pris feu après 5 ans de fonctionnement.

1. L'impact du projet

Le précédent paragraphe décrit jusqu'à 14 des caractéristiques qui définissent le système traditionnel de l'eau pour la consommation humaine, conformément au schéma conceptuel autour duquel s'articule la méthode d'évaluation. Chacune de ces caractéristiques sera par la suite reprise en signalant les modifications qui paraissent favorables à la mise en place du projet. C'est avec le souhait de garder l'information compréhensible qu'a été gardée la même nomenclature que pour la description des caractéristiques décrites dans ce paragraphe.

5.1. Le hardware. La confiance en la fiabilité.

a) La fiabilité.

Toutes les personnes interviewées ont témoigné leur confiance vis-à-vis de la fiabilité des pompes solaires. Cela est logique puisque toutes ces pompes ont fonctionné sans connaître aucune panne pendant les 5 années qui ont suivi leur installation. Cette confiance transparaît dans l'effort considérable que fournissent de nombreuses familles pour accroître la disponibilité de l'eau dans leur maison au moyen de compteurs, d'une robinetterie, d'une douche, de toilettes, etc.

Il est bon de signaler ici l'excellent aspect que présentent, d'un point de vue technique, les équipements dans leur ensemble. Les pompes, les réservoirs et les réseaux de distribution sont bien conçus, correctement installés et font appel à des matériaux de première qualité, raisons de confiance pour la fiabilité des systèmes dans le futur. Néanmoins, et sans vouloir porter ombrage à cette vision globale plutôt positive, une liste des déficiences apparues tout au long de ces années sera détaillée dans le paragraphe suivant. Elle permettra de tirer les leçons à retenir pour de futurs projets similaires. Il faut, sur ce point, souligner la disponibilité et la collaboration de l'installateur et des associations locales qui ont aidé à pallier les déficiences observées dans le paragraphe suivant.

b) Le goût.

Tous les puits équipés dans le cadre du projet ont une eau « bonne », l'eau de consommation provient uniquement des puits qui lui sont dédiés. Depuis l'installation des pompes, aucune autre source n'a été utilisée pour la consommation humaine. Il est par contre clair que les « devins » du projet rencontrés jouissent d'un excellent odorat. Sauf à Tinerdene, où la consommation même de l'eau a provoqué la salinisation du puits, le goût de l'eau semble être resté le même au fil des ans dans les autres villages.

c) L'effort.

Le projet est supposé constituer une économie importante en temps consacré à l'approvisionnement en eau et en pénibilité des femmes et enfants qui ont cette tâche à charge. Cette économie ne peut être vue que comme positive à leurs yeux. Cela fut confirmé par une équipe d'investigation exclusivement féminine qui put rencontrer ces femmes puisque, pour des raisons d'ordre culturel propres à la région, elle ne pouvait rencontrer des hommes. De là, le point de vue des bénéficiaires, en termes de temps et d'efforts épargnés, est positif d'autant plus que le projet a permis un nouveau mode de communication entre les femmes elles-mêmes (en se réunissant, par exemple, dans les différentes maisons pour coudre, etc.).

d) La qualité sanitaire.

L'unique indice de traitement de l'eau fut d'abord à Iferd, où des bouteilles d'eau de javel ont été trouvées dans le puits et dans le réservoir (Figure 33). Le gardien du système nous a assuré que le réservoir était chloré chaque semaine.

Dans la plupart des villages, les questions posées sur la qualité de l'eau n'ont reçu pour réponse qu'un air étonné, ce qui permet de confirmer les propos tenus sur le système traditionnel : le fait que les habitants des villages portent une attention limitée à la qualité sanitaire. Une première conclusion en découle : quel que soit le procédé de traitement de l'eau, il doit être confié à une structure professionnelle spécifique et, d'une certaine façon, étrangère aux consommateurs. Cela ne doit surprendre personne, car c'est de cette façon qu'est généralement géré le traitement de l'eau. C'est par exemple le cas de tous les réseaux qui approvisionnent les populations européennes en eau : la chloration automatique, et les contrôles quotidiens de la teneur de l'eau en chlore sont effectués par les autorités compétentes du Ministère de la Santé qui, de plus, ont le pouvoir de sanctionner les responsables de l'entretien des systèmes de chloration.

Au fil du temps et du bon fonctionnement des installations, des preuves d'une chloration fréquente mais en de faibles concentrations ont été trouvées dans quelques autres villages (à Oum Remane et à Ait Mersid). La chloration se faisait au moyen d'eau de javel habituellement en vente dans les commerces et dont le mode d'emploi pour la désinfection figure sur l'étiquette (Figure 34). Son prix est de 5 dirhams par litre soit une dépense moyenne de 20 à 40 dirhams par mois, soit moins de 5 % par rapport aux revenus habituels.

Il n'est pas possible de savoir si cette nouvelle relation entre l'assainissement de l'eau et la santé ont fait évoluer les mœurs. Par contre, la présence d'excréments d'oiseau dans le puits d'Ourika et l'absence de couvercles sur les puits paraissent indiquer le contraire. L'explication possible est que les gardiens des systèmes sont des personnes particulièrement

ouvertes à la nouveauté et font preuve d'un zèle impressionnant pour mettre en pratique ce qui, même si cela ne figure pas dans les demandes de la population, fait partie du projet.



Figure 33. Bidons d'eau de javel à Iferd.



Figure 34. Etiquette d'un bidon d'eau de javel sur laquelle on peut lire le mode d'emploi pour désinfecter l'eau.

Cela peut en tout cas vouloir dire que les bénéfices qui découlent du projet en termes de disponibilité sont plus que suffisants, au moins à ce moment donné, comme pour compenser les effets négatifs qui pourraient découler d'une chloration modérée de l'eau.

Pour confirmer ce point, (Figure 35), dans une première phase, deux systèmes de chloration (à Iferd et à Ait Mersid) ont été installés pour servir d'expérience pilote et procéder ou non, à la seconde phase (l'extension des chlurations automatiques au reste des populations).



Figure 35. Système d'assainissement dans la pompe photovoltaïque d'Iferd.

Les associations locales reçoivent une formation sur le contrôle et l'entretien de l'appareil de chloration, et le contrôle de la quantité de chlore résiduel contenu dans l'eau des robinets des maisons, par une simple vérification de la couleur de l'eau (Figure 36 à Figure 37).

Il existe différents procédés de désinfection comme la radiation aux ultraviolets ou la micro-filtration, mais ils ne semblent pas appropriés aux contextes socio-économiques concernés. Le traitement au chlore paraît approprié dans la mesure où :

- il est connu de la population,
- l'hypochlorite de sodium (javel) peut se trouver partout dans la région,
- la technologie d'injection est mondialement accessible et facile d'entretien.

Cependant, ce procédé se heurte à un obstacle majeur : les utilisateurs voient comme une priorité la saveur de l'eau or le chlore affecte le goût.

L'initiative, approuvée par les deux populations a permis d'opter pour l'injection progressive de chlore, en commençant par une dose relativement faible altérant peu le goût de l'eau et qui, lors des visites successives, est augmentée.



Figure 36. Système de chloration automatique installée. Entraînement sur l'entretien.



Figure 37. Entraînement pour mesurer la quantité de chlore présente dans l'eau.

L'expérience pilote s'est révélée concluante, et transparaît dans le fonctionnement des systèmes mis en place et entretenus par les utilisateurs. Les registres de contrôle hebdomadaire indiquent la quantité de chlore présente dans l'eau. La population affirme que bien qu'elle ait remarqué le changement de goût de l'eau, celui-ci en revanche n'est pas très fort. Les chiffres de consommation en eau indiquent qu'elle ne provient jamais d'autres sources d'approvisionnement.

D'où les conclusions suivantes :

- pour que le chlore soit bien accepté par la population, il est nécessaire de mettre en avant les avantages perçus qui l'emportent sur les désavantages, comme l'altération du goût.
- la chloration par doses progressives, en commençant par des proportions infimes jusqu'à atteindre la dose adéquate, permet à la population de s'habituer au changement de goût. Procédure qui doit se faire lorsque les risques de contamination des tuyaux sont nuls, puisqu'au début de la chloration, la dose injectée ne suffit pas à répondre aux normes sanitaires.

5.2. Le software. Le rattachement des systèmes.

e) La consommation.

Dans les habitations, l'eau des robinets (Figure 38) est non seulement disponible mais elle est meilleure, ce qui a provoqué la fusion des deux systèmes – consommation humaine et autres usages – qui régissent le maniement traditionnel de l'eau et l'augmentation de la consommation en eau.



Figure 38. Robinets à l'intérieur des habitations.

À plusieurs occasions, il a été remarqué que l'eau provenant des robinets n'était pas seulement utilisée pour la consommation humaine mais aussi pour l'hygiène personnelle, la consommation animale et le lavage du linge. Ainsi toute l'eau passe par un compteur unique et oblige à rencontrer les habitants pour tenter d'évaluer les quantités d'eau consommées pour chaque usage. Par exemple, à Ait Mersid, la consommation mensuelle est d'environ 450 m³ l'été et 300 m³ l'hiver (selon les relevés du compteur). Il y a dans le village 15 vaches et 400 chèvres qui boivent respectivement 60 litres et 7 litres par tête l'été et moitié moins l'hiver, ce qui revient à dire que la répartition en eau entre les personnes et le bétail est respectivement de 75 % et 25 %. Faute de meilleures données, les analyses suivantes considèreront les chiffres en « litres par habitant et par jour » calculés en quotient simple entre la consommation totale et la consommation par personne, c'est-à-dire, sans discerner les différents usages.

L'augmentation de la consommation en eau est logique puisque l'eau est devenue plus disponible, cependant il ne faut pas négliger le risque auquel conduirait la surexploitation des puits ou le fait d'augmenter à nouveau la capacité des pompes photovoltaïques.

On ne connaît pas aujourd'hui les conséquences d'une telle surconsommation. Les systèmes sont conçus pour fournir 30 litres par personne par jour et si on prend en compte la hauteur et le rendement, leur capacité réelle de pompage avoisine les 40 litres voire 50 litres, les mois de forte radiation solaire. Les chiffres de consommation pour les populations distinctes étudiées au fil des ans à partir de données expérimentales confirment que ces chiffres ne sont jamais dépassés, même dans le pire des cas.

Néanmoins, vu la qualité des données sur l'eau pompée et consommée qui permettent d'évaluer le fonctionnement du système et le peu d'information sur lesquelles il faut s'appuyer pour appréhender les règles de consommation en eau en milieu rural, il est nécessaire de prêter une attention toute particulière à la discipline à suivre lors du relevé quotidien des chiffres de pompage et du relevé mensuel des chiffres de consommation familiale au sein des villages, et à leur analyse. Ces relevés s'effectuent sur le long terme, permettant de disposer d'une base expérimentale de données. Cette disponibilité d'information permettra la création d'une base d'information susceptible de fournir des enseignements sur l'état de l'art du secteur en général. Cette base permettra également aux initiateurs du projet (associations locales de gestion de l'eau et gardiens du système) de voir à quel point leur projet a un impact sur l'extérieur, renforçant ainsi leur désir de bien faire.

Si peu de puits peuvent se prévaloir au niveau mondial d'une prise de notes exhaustive des données de consommation en eau, il a été observé que ces annotations se firent de moins en moins fréquentes au fil du temps (elles qui étaient faites tous les mois se retrouvèrent effectuées tous les quatre mois). Ce relâchement dans le relevé des données est dû, semble-t-il, à la faible collecte effectuée par l'agent externe, ce qui montre le peu d'intérêt de la tarification aux yeux de la population. Une fois détectée, on peut y pallier en effectuant des

visites périodiques auprès de la population, effectuées par l'organisation supra-locale Tichka, pour recueillir les données et les répertorier dans des fichiers informatiques simples qui constituent aujourd'hui la base de données expérimentale. Les résultats d'analyse de ces données ont conduit à des conclusions et à des enseignements décrits dans les paragraphes suivants.

f) Les porteurs d'eau.

Les femmes et les enfants ont perdu leur rôle de porteurs d'eau, même s'ils gardent un rôle prédominant dans sa gestion, compte tenu de leur rôle dans d'autres activités (cuisine, etc.) (Figure 39). Cela les a fortement soulagés dans leur charge de travail et leur a laissé plus de temps pour se consacrer à d'autres activités (éducation, loisirs, etc.).

L'impact peut être considérable sur la vie des villageois en général et l'étude réalisée par l'équipe féminine d'investigation a confirmé ce fait.



Figure 39. Femme lavant les verres à thé.

De nouvelles fonctions sont apparues du fait du soin apporté aux installations (comme celle de gardien qui, par exemple à Iferd, est à tour de rôle un des hommes du village à qui est mis à disposition une maison adossée à celle qui abrite l'installation), ou la gestion de l'administration du service (dans chaque village, la personne qui note les consommations gère

les encaissements et fait la comptabilité). D'après les observations qui furent faites, toutes ces nouvelles fonctions sont assumées par des hommes.

g) L'eau perd son caractère gratuit et sa consommation, à présent, est tarifée. Les sommes sont parfois significatives pour beaucoup de familles. D'où, deux conséquences notables :

- d'un côté, les hommes renforcent leur rôle vis-à-vis de l'usage de l'eau du fait que ce sont eux qui ramènent et gèrent l'argent du ménage.
- d'un autre côté, l'argent se substitue à l'effort et, pour l'heure, limite le risque de gaspillage. La tarification progressive à Iferd décrite dans le précédent paragraphe (de 1 dirham pour le premier m³ par personne et par mois jusqu'à 10 dirhams par trimestre) invite à la prudence. L'établissement des tarifs est du ressort de chaque population et s'est finalement établie de façon similaire pour tous les villages.

C'est l'une des grandes innovations du projet bien que dans le système traditionnel, l'eau n'ait aucun coût direct (même si indirectement dérivé du soin prodigué aux ânes, du creusement du puits, etc.). Malgré cette innovation, aucun usager n'a refusé de payer. Cela est dû au fait que les tarifs sont pertinents, le prix de la consommation de base étant moindre et le gaspillage banni.

Il ne semble pas que les variations de tarif d'un village à l'autre affectent la consommation. Si les tarifs ne sont pas très élevés, il existe cependant des mécanismes de solidarité. Le versement moyen par famille oscille de 15 à 25 dirhams par mois, somme qui suffit à couvrir

non seulement les coûts d'entretien courants mais également à créer un fonds en prévision de pannes importantes.

- h) La disparition du transport de l'eau doit logiquement s'accompagner d'une réduction du nombre d'ânes, ce qui, à son tour, doit avoir une répercussion sur l'économie des familles.

En effet, dans différents villages, le nombre d'ânes a diminué, du fait qu'il n'y ait plus besoin de transporter l'eau. À Iferd par exemple, il n'en reste que 10, le reste ayant été vendu aux populations proches. Cette division par 5 du cheptel d'ânes suppose une épargne considérable pour les familles. Le coût d'entretien de ces animaux, selon quelques sources locales, peut atteindre 20 dirhams par jour (1, 80 €) et par âne. On peut en conclure qu'Iferd a économisé jusqu'à 292 000 dirhams par âne (26 280€). Ce chiffre, probablement exagéré, montre néanmoins une économie significative et met en évidence l'importance des bénéfices indirects associés à l'électrification rurale.

Les ânes restants servent au ramassage du bois et aux travaux des champs.

- i) L'apparition des robinets dans les maisons ne rend plus nécessaire le stockage de l'eau. Du coup, les bidons disparaissent. À l'inverse, les cruches sont toujours utilisées pour rafraîchir l'eau. Leur utilité reste la même puisque l'eau du robinet est tiède du fait de la faible isolation thermique des réservoirs.
- j) Il semble que l'usage de l'eau soit toujours extrêmement soigné puisque d'après les observations qui furent faites, l'entourage des robinets était sec et propre. Les robinets

évitent également les multiples opérations de transvasement qui causent, en plus ou moins grande quantité, des pertes d'eau.

Par ailleurs, la nécessité de construire des fosses septiques dans chaque habitation a été introduite dans les contrats entre Tichka et chaque population, base légale et régulatrice du projet. Il semble cependant que de telles fosses existaient déjà dans la majorité des cas (Figure 40).



Figure 40. Construction d'une fosse septique comme celles utilisées traditionnellement dans la région. Les puits font en général 7 mètres de profondeur.

5.3. Le orgware. La nouvelle organisation autour du paiement de l'eau.

- k) L'ouverture et l'aménagement des puits suivent les règles traditionnelles de la région et font en particulier appel à la même main d'œuvre. Le projet ne doit, par conséquent, avoir d'impact que dans le sens d'une continuité.
- l) Comme mentionné auparavant, les cruches en terre sont toujours utilisées. Ainsi, les potiers ne se trouvent pas pénalisés.

- m) La disparition des bidons ne doit affecter aucun corps social de la région, dans la mesure où le recyclage de certains éléments (comme la réutilisation de l'huile de cuisine) ne fait pas l'objet d'une commercialisation spécifique.
- n) La diminution du nombre d'ânes ne doit pas avoir de conséquence majeure sur l'organisation sociale bien qu'actuellement, il ne semble pas qu'il existe un élément spécifique relatif à sa production ou sa commercialisation.
- o) Les besaces risquent de se faire de plus en plus rares, non seulement parce qu'il y a de moins en moins besoin de transporter l'eau mais également parce que le transport est précisément la principale raison de leur dégradation. La paille dont elles sont constituées s'abîmant en prenant l'eau. C'est pourquoi les artisans qui fabriquent aujourd'hui les besaces peuvent-être pénalisés par l'installation de systèmes d'approvisionnement en eau à domicile. Au-delà de cette constatation, la baisse d'utilisation des besaces, ni son impact sur les artisans, n'ont été quantifiées. Les informations recueillies montrent que ces artisans vivent dans des villes relativement grandes où ils ont leurs ateliers et des activités diversifiées. Aussi faut-il espérer que l'impact sur cette collectivité ne soit pas trop important.
- p) La structure d'une organisation permanente spécialement chargée de la gestion de l'eau est une nouveauté plus qu'importante associée au projet et dont le bon fonctionnement est la condition « sine qua non » pour garantir son succès final. Les missions de cette organisation comprennent la mise en place des règles du jeu (tarification, choix du personnel, etc.), l'administration des ressources économiques

venant des usagers et la vigilance quant à la bonne exécution des travaux d'entretien.

À ce sujet, il convient de parler de trois échelons bien différenciés :

- quotidien (nettoyage des modules, relevé des compteurs, détection et réparation des fuites dans la distribution),
- annuel (vidage et propreté des réservoirs)
- sur le long terme (réparation et/ou substitution de pompes et des convertisseurs).

Ces structures organisatrices sont nécessaires et représentent une des plus grandes nouveautés du projet. Elles fonctionnent normalement au sein de la plupart des populations et même si elles n'avaient pas, à un moment donné, fonctionné normalement, la pompe photovoltaïque les aurait rappelées à l'ordre. Les données en eau pompée et en eau consommée au sein des maisons sont collectées (Figure 41) et figurent dans des documents comptables avec les charges et les dépenses.

La pérennité des pompes est un facteur de grande importance. Des expériences conduites dans d'autres lieux furent des échecs à cause du coût de la remise en état des pompes et des convertisseurs qui, en moyenne, représente 15 000 à 20 000 dirhams tous les 5 ans, période pendant laquelle se déroule le présent programme de pompage.



Figure 41. Relevé du compteur à la sortie du puits : volume d'eau pompée.

La complexité de ces structures est liée à l'incorporation de nouveaux concepts. Le remplacement des composants s'effectue grâce aux fonds provenant des revenus réguliers tirés de la tarification mensuelle. Cela suppose l'intégration d'un concept de « prévision à long terme » dans la mécanique de décision des sociétés rurales qui souffrent fréquemment de carences en tout genre et qui les pallient en ayant recours à leurs ressources économiques. Cela a d'habitude pour conséquence que, soit les fonds qui proviennent de l'eau couvrent les nécessités de premier ordre sans rapport avec elle, soit que la recette diminue. Dans les deux cas, une pompe ou un convertisseur qui tombe en panne est un imprévu désagréable dont la réparation exige un effort ponctuel non négligeable. Il faut répartir l'effort financier, ce qui n'est pas chose facile puisque cela demande du temps. Les études réalisées sur les procédés de diffusion des innovations en général expliquent que l'économie faite ne se voit pas de façon immédiate, d'où la difficulté de tenir une certaine discipline pour la faire.

Aussi, il faut voir comme positif le fait que pratiquement toutes les populations ont connu récemment des situations où les fonds mobilisés se sont trouvés similaires ou supérieurs à ceux envisagés. Par exemple, l'ouverture du puits de Tinerdene a coûté 30 000 dirhams, l'acquisition d'un groupe diesel pour fournir Abdi en électricité a demandé 40 000 dirhams, etc. En fait, les populations ont la capacité économique et organisatrice suffisante pour faire face aux dépenses ponctuelles et pour pouvoir entretenir à long terme les systèmes d'approvisionnement en eau.

Par ailleurs, d'autres expériences montrent également le fait que les difficultés à faire face aux dépenses ponctuelles grandissent avec l'incertitude liée à l'isolement des populations. Réduire cette incertitude est prioritaire dans ce genre de projets. Pour cela, il est recommandé :

- d'une part, d'encourager des pratiques rigoureuses dans l'administration de fonds non seulement à court terme (comptabilisation des revenus et des dépenses courantes) mais également à long terme (crédits bancaires, etc.). Dans cette optique, ce programme fait un pas en avant considérable dans la fourniture d'outils administratifs normalisés et la formation du personnel. De telles pratiques peuvent et doivent être renforcées par une vérification périodique des données comptables, de même que sont contrôlées les données de consommation.
- D'autre part, d'introduire dans les contrats établis entre l'organisation supra-locale (Tichka) et les villages, l'obligation de maintenir un fonds « minimum » devant permettre de couvrir les réparations importantes sans trop de difficultés. Par exemple, épargner 15 000 dirhams en trois ans.
- Enfin, de disposer d'une organisation supra-locale Tichka ou d'un autre organisme capable d'apporter des solutions techniques immédiates aux populations pour répondre à leur problème. Un contact permanent avec l'équipe technique du gouvernement ou avec les entreprises du secteur qui peuvent s'établir dans la région est un élément important.

Bien que ces modalités de gestion soient effectuées régulièrement (registres de données de consommation et « bases comptables » du revenu du coût de l'eau et des dépenses pour l'entretien de base), il est certain qu'au fil du temps, des symptômes de relâchement transparaîtront au sein de chaque population. La fréquence des relevés et des facturations se fera de plus en plus rare.

Il a été observé que les dépenses courantes d'entretien (entre 200 et 400 dirhams/mois) sont bien en dessous des revenus (autour de 1 600 dirhams/mois), ce qui n'a aucune répercussion économique immédiate mais d'autres motivations doivent maintenir la discipline qu'impose une gestion anticipatrice et capable d'épargner des fonds suffisants pour faire face aux futurs remplacements de matériels. Ces fonds, qui seraient amplement suffisants si, dans la dynamique actuelle, les économies annuelles étaient de 14 000 dirhams environ ou, ce qui reviendrait au même, de 70 000 dirhams tous les cinq ans, face aux 20 000 dirhams pour le remplacement du convertisseur et de la pompe.

Économiser veut dire savoir renoncer dans l'immédiat pour pouvoir bénéficier dans le futur. Cette décision demande maturité et sens des responsabilités. Cela n'est guère surprenant et les populations qui jouissaient, avant le commencement du projet, d'un dynamisme majeur et d'une cohérence interne, disposent aujourd'hui des mécanismes de gestion les mieux huilés. Cela n'est rien de plus que la manifestation du sentiment commun largement réitéré dans le cadre de la coopération qui veut qu'une société gère d'autant mieux ses ressources lorsqu'elle est bien organisée. Il y a à cela deux raisons :

- La première est qu'il convient de continuer à garantir l'approvisionnement en eau de tous les villages (et non seulement des « bons » villages),

- La seconde est que l'eau, en tant que priorité pour la population, est un facteur de motivation pour améliorer de façon notable l'organisation de la communauté villageoise.

Une bonne gestion peut être tenue par une organisation supra-locale intervenant auprès de chaque population pour les rendre conscientes de l'importance d'entretenir à long terme et d'assurer une réserve de fonds suffisante pour pouvoir faire face au remplacement de la pompe et du convertisseur et pouvoir faire face à d'autres dépenses suivant « l'état des comptes » (comme pour construire un local, rénover le réservoir ou autre). Naturellement, pour que cela soit efficace, il faut que cette organisation soit crédible aux yeux de la population et qu'elle montre qu'elle est bien organisée. Cela peut, en pratique, se faire de différentes façons. Un intermédiaire peut par exemple établir des « contrats d'entretien » avec l'entreprise locale liée à son fournisseur de matériel responsable de la garantie des composants (dans ce cas, de 10 ans pour les modules photovoltaïques et d'1 an pour le reste du matériel). La pérennité de cette entreprise locale d'entretien est possible à condition d'avoir un nombre minimum d'installations dans la zone dont la puissance crête est estimée à environ 150-200 kWc.

Cette organisation supra-locale manquait dans l'ébauche du projet et sa présence s'est avérée indispensable étant donné la complexité et le manque de références sur ce sujet dans le monde de la coopération au développement. Seule Tichka, ONG marocaine, peut et doit assumer ce rôle visant à mettre en pratique les recommandations exposées antérieurement.

2. Observations techniques.

Toutes les observations techniques qui permettent de tirer des leçons universelles pour d'autres projets et d'identifier les déficiences signalées lors des visites qui furent impossibles à prévoir dans la phase d'ébauche ont été recensées. L'intérêt de ce travail n'est pas de dresser une liste des défaillances anecdotiques plus ou moins grandes mais d'en tirer des conclusions susceptibles d'en diminuer les risques d'apparition :

- Temporisation des pressostats : On sait que le débordement du réservoir est évité grâce au flotteur qui ferme le tube et au pressostat qui, détectant l'augmentation de la pression, active le signal d'arrêt de la pompe, faisant à son tour diminuer la pression dans le tuyau et provoquant le redémarrage de la pompe. L'hystérésis initial fut tel que le pressostat battait jusqu'à 10 fois par minute, fréquence exagérée devant être corrigée pour temporiser le processus à 4 fois par heure maximum.
- Trois modules photovoltaïques se sont cassés durant le transport. L'un deux était perforé en deux endroits et la boîte décollée (Figure 42 et Figure 43). Ils furent remplacés de façon à ce qu'ils gardent leurs caractéristiques électriques.



Figure 42. Module perforé à Abdi



Figure 43. Boîtier décollé d'un module à Abdi.

- **Fuite d'eau dans le réservoir d'Ourika** (Figure 44). La réparation du réservoir fut nécessaire tout comme il fut nécessaire de le vider.



Figure 44. Fuite d'eau à Ourika.

- **Fuite d'eau dans le conduit de sortie de la pompe à Abdi** (Figure 44).



Figure 45. Fuite d'eau à Abdi. La coloration brune est due à la présence d'argile dans l'eau.

- La mise à terre de ces structures présente des déficiences au niveau du branchement du câble (Figure 46).



Figure 46 Prises de terre inadaptées.

- **La visserie de cette structure n'est pas protégée contre la corrosion.**



Figure 47. Visserie oxydée.



Figure 48. Rondelles oxydées dans la structure du générateur d'Albi.

- La visserie des fixations des structures n'est pas protégée contre la corrosion.



Figure 49. Oxydation des fixations.

Absence d'humidité au niveau des prises de terre. Il faut les maintenir humides pour pouvoir planter à proximité n'importe quelle plante qui exige un arrosage quotidien.

- Fermeture inappropriée des puits. S'ils se trouvent à l'intérieur de constructions qui les préservent d'éventuels dommages mécaniques ou de chutes d'objets de grande taille, ils ne sont pas protégés de la tombée de poussière qui est importante. Dans le cas notamment

d'Ourika, le toit de l'abri troué juste au-dessus des puits a aggravé le phénomène, des excréments d'oiseaux (Figure 50) tombant directement dans l'eau. Il convient de couvrir les puits avec un couvercle en bois doté des orifices nécessaires pour pouvoir lire facilement les compteurs.



Figure 50. Fermeture inappropriée des puits facilitant la contamination de l'eau.

- **La restriction de l'eau dans quelques villages** : des "crises" estivales d'eau eurent lieu à Iferd et à Oum Remane, mais sans conséquences graves du fait que les consommations en eau sont restées supérieures à 80 % des valeurs correspondant aux périodes sans restriction. Il est possible d'améliorer la situation en modifiant simplement l'angle d'inclinaison des modules de 20° (actuellement de 45°), modification simple à faire d'un point de vue technique.
- **Quelques puits s'assèchent** : à cause de la sécheresse persistante dont souffre la région, certains des puits n'ont pu fournir assez d'eau. Il a été tenté de pallier à cette situation en approfondissant les puits et en creusant des galeries. Dans les villages qui ont bénéficié de ces travaux pour augmenter la capacité de captage, des déficiences au niveau de l'étanchéité

du câble d'alimentation de la pompe ont été observées (Figure 51). En effet, tout est fait pour allonger le câble, conséquence de l'approfondissement du puits. Il est pourtant très facile de corriger cette erreur en employant une boîte de connexion étanche et un câble avec une protection adéquate. L'allongement du câble et la remise en marche de la pompe, malgré l'approfondissement du puits, ont été entièrement réalisés par les techniciens de Tichka. L'étude des nappes phréatiques étant notre spécialité, nous avons mené notre enquête, visitant d'autres puits dans les villages connaissant le même problème pour savoir quel usage ils en faisaient. Il faut mentionner tout particulièrement le puits d'Ourika, dont beaucoup disent « qu'il contient simplement de l'eau » et que certains désignent comme l'alternative majeure du projet. Quelques questions sur son usage nous amène à conclure que, dans les moments d'extraction majeure, nous n'avons pas dépassé les 2 m³/jour, ce qui est plus que suffisant pour la maison où il se trouve mais cela est très loin des besoins de la population dans l'ensemble qui sont estimés entre 13 et 16 m³/jour. Quant au puits concerné, l'aspect du matériel extrait en l'approfondissant nous fait penser que sa perméabilité est bien faible, ce qui limite énormément le débit. Les 10 m³ environ qui sont extraits actuellement correspondent essentiellement à sa capacité d'accumulation. De ce fait, extraire 10 m³ supplémentaires sous forme d'une ou plusieurs galeries latérales pourrait solutionner le problème. C'est ce qui fut fait avec d'excellents résultats.



Figure 51. Branchements défectueux dans le puits d'Ourika.

- **La corrosion dans les tubules des réservoirs.** C'est un des principaux problèmes techniques qui se pose au cours du projet. Sa gravité contraste avec le faible coût des conduits des réservoirs. Cela montre à quel point une défaillance dans un seul maillon peut affecter de façon dramatique la fiabilité d'un système. De la Figure 52 à la Figure 56, le matériel cité est présenté plus en détail. Il est clair que les spécifications techniques de construction des réservoirs ne sont pas adaptées, tout du moins au regard de la qualité de l'eau de cette zone.



Figure 52. Conduit rouillé.



Figure 53. Pièces oxydées à la sortie de la pompe de Oum Erromane.



Figure 54. Tuyau oxydé dans le réservoir de Oum Erromane.



Figure 55. Pièces oxydées dans le conduit du réservoir d'Iferd.



Figure 56. Perte d'eau due au débordement du réservoir causé par les fuites dans les conduits.

Différentes solutions permettent d'éviter ce problème. Par exemple, si des tuyaux métalliques étaient installés à l'intérieur du réservoir au lieu de tuyaux en polyéthylène, comme c'est le cas dans le reste du conduit.

Une température excessivement élevée a par ailleurs été notée à l'intérieur des réservoirs, accélérant la détérioration des matériaux. Si leur isolement n'est pas opportun, d'autres

moyens très simples pourraient être utilisés : au lieu de les peindre en marron (couleur de la brique), il serait plus judicieux de les peindre en blanc, ce qui permettrait au ciment d'absorber moins de radiation solaire. Autre solution : poser sur le plafond des réservoirs des branches de palmier en guise d'isolants.

Adopter ces moyens n'engendre pas de grandes dépenses. Par exemple, l'achat de nouveaux tuyaux à Iferd pour la réparation du réservoir (matériel de seconde main qui provient d'une installation qui a fonctionné pendant 14 ans et qui, d'après les estimations, est de bonne qualité) coûtait 100 dirhams par mètre (celui du polyéthylène est de 35 dirhams par mètre) et fut payé grâce à l'augmentation de la consommation en eau. Figure 57, on peut voir le nouveau tube et celui qui doit être remplacé. Cependant, ces dépenses pourraient être évitées si ces améliorations étaient faites dès la conception des réservoirs, supposant, à chaque fois, un coût supplémentaire de 1 500 dirhams maximum.



Figure 57. Ancien tuyau rouillé et tuyau neuf de substitution.

- On peut observer une couleur jaunâtre sur les modules photovoltaïques (Figure 58).



Figure 58. Jaunissement des modules sur le générateur de Oum Erromane.

- Double problème d'ombrage sur chacun des générateurs photovoltaïques : d'un côté, des ombres assombrissent le mur et d'un autre côté, des ombres assombrissent une structure assombrissant elle-même sa voisine (Figure 59 et Figure 60).



Figure 59. Ombres sur le générateur de Tamzaghalté.



Figure 60. Ombres sur le générateur de Ouaougloute.

- Modules sales auxquels on peut difficilement avoir accès pour effectuer leur nettoyage.



Figure 61. Saleté accumulée sur les modules de Ouaougloute.



Figure 62. Manque de propreté sur les modules de Ouaougloute.

- Problème des excréments d'oiseaux qui tombent sur les modules photovoltaïques. Il est recommandé de poser un fil barbelé sur le côté supérieur pour empêcher les oiseaux de s'y poser.



Figure 63. Excréments d'oiseaux sur le générateur d'Ourika.

- **L'arrivée du réseau électrique.** Prévisible, le réseau électrique s'est étendu sur les zones les plus proches du réseau routier. Le projet avait pour dessein, devant l'incongruité de faire coexister un système photovoltaïque autonome avec le réseau électrique conventionnel, de déplacer celui-là vers un village n'ayant pas accès au réseau, sans entraîner de coût financier pour la localité. Le projet s'est bien déroulé, et les pompes installées fonctionnaient sur le réseau étendu jusqu'aux villages, gardant en réserve les modules photovoltaïques pour d'autres populations, ce qui permet de faire une économie sur le projet et de faire profiter plus de villages des bénéficiaires.

Le cas d'Ait Mersid mérite un commentaire. En effet, la population n'a pas accepté la proposition de substituer le système photovoltaïque par une connexion au réseau. Elle préférerait garder la pompe photovoltaïque, alléguant qu'il n'avait jamais été question dans le contrat de la déplacer. Néanmoins, cette réaction n'est pas négative. L'introduction de ce système solaire avait généré une mobilisation générale et suscité l'intérêt des villageois sur la question de l'enseignement de l'hygiène, l'aide financière apportée par les émigrants installés à l'étranger qui sont pour certains, revenus s'installer au village. Devant ce constat, il serait préférable de maintenir en place le système photovoltaïque au sein de la population, malgré la concurrence du réseau électrique, étant donné la mobilisation générale sociale qu'il engendre.

Le type de contrat qui régit les relations entre Tichka et les villages bénéficiaires du projet comprend déjà une clause (introduite aussitôt après la recommandation faite dans un rapport antérieur) qui envisage la possibilité de changer la pompe par un modèle plus conventionnel, ce qui devrait permettre de pallier à d'éventuelles difficultés futures.

- **Absence de protection contre « l'assèchement du puits ».** Le système de pompage doit pouvoir s'arrêter de fonctionner de façon automatique lorsque le niveau de l'eau dans le puits atteint la crépine, car sinon, un mélange d'eau et d'air serait pompé, mélange pouvant altérer la pompe. En effet, il y a, dans le corps des pompes centrifuges, des coussinets en caoutchouc riches en carbone dont le refroidissement est assuré par l'eau pompée. L'entrée de l'air diminue la capacité de refroidissement et crée un risque d'apparition de graphite dans la jointure de caoutchouc (le processus est très rapide au-dessus de 200°C), et de destruction de la pompe.

Il existe des convertisseurs qui peuvent détecter l'assèchement du puits grâce à la brusque augmentation de fréquence provoqué par la perte de charge qui se produit normalement lors de l'entrée d'air dans la pompe. Cela interrompt alors automatiquement la pompe et pendant un délai de sécurité d'une heure, le rechargement du puits s'effectue avant la ré-initialisation de la pompe.

Cependant, il existe d'autres convertisseurs qui ne sont pas munis de ce dispositif et qui ont été installés dans certaines localités du programme. Ce convertisseur limite simplement la vitesse de rotation de la pompe à une certaine valeur pour que, lorsque le niveau de l'eau atteint la crépine, le pompage se maintienne, aspirant alors un mélange d'eau et d'air qui présente un risque important de détérioration du matériel. Il est ainsi recommandé de remplacer ces systèmes de pompage par d'autres, munis de dispositifs de sécurité.

- **Le problème du chlorure de sodium pour l'assainissement de l'eau.** Deux types de composants chlorhydriques ont été testés : l'eau de javel (hypochlorite de sodium) et le chlorure de calcium, le dénommé HTH.

Ce dernier avait pour avantage d'être sous forme granulée, donc plus facile à utiliser, ne causant aucune perte dans la concentration en chlore pendant l'évaporation. Cependant, sa manipulation se révèle difficile et dangereuse pour du personnel non spécialisé. De plus, les résidus solides générés tout comme les dépôts accumulés au fonds de la citerne obstruent les tuyaux (Figure 64).

L'eau de javel, quant à elle, a pour avantage d'être liquide, de s'évaporer et sa manipulation est plus simple. Elle est plus connue et est disponible partout (elle peut s'acheter dans n'importe quel commerce de la zone).





Figure 64. Processus de remplacement du HTH.



Figure 65. Processus de remplacement de la javel.

Néanmoins, l'expérience réalisée avec les deux produits dans chaque village montre que les désavantages liés à la manipulation et aux résidus de HTH furent déterminants de telle sorte qu'il fut décidé d'utiliser l'eau de javel au sein de toutes les populations.

- **Rupture du tube qui relie la pompe d'injection de chlore au tuyau de distribution d'eau** et fréquence excessive d'entretien (à raison d'une fois par mois alors que l'entretien conseillé par le fabricant est d'une fois par an) (Figure 66). Les raisons de cette rupture sont complexes : la plus probable est la combinaison de la température, de la pression et d'autres facteurs ambiants. Dans tout les cas, ce processus ne fut ni détecté ni reproduit

lors des essais en laboratoire. Le remplacement du conduit originel par un conduit en, téflon, bien plus résistant, a été décidé en accord avec le fabricant.

Depuis lors, aucun incident ne fut signalé.



Figure 66. Conduit cassé et remplacé.

Pour conclure ce paragraphe, il faut souligner la bonne qualité générale des systèmes renforcée par les observations techniques effectuées comme le montre le graphique suivant :

Déficiences	Corrections
	
	
	
	

ENSEIGNEMENTS TIRÉS.

Quantité d'eau : Standardisation de la consommation.

Ce projet supposait une modification notable du système traditionnel de l'eau, tant en termes de disponibilité que d'utilisation et de mœurs. Le système traditionnel à usage domestique était lui-même constitué de deux systèmes bien différenciés associés à des usages différents :

- consommation humaine (boisson, thé, cuisson d'aliments et lavage des ustensiles de cuisine),
- et autres consommations (hygiène personnelle, abreuvement du bétail, arrosage des jardins, etc.).

Les puits pour la consommation humaine sont choisis suivant la qualité de l'eau qui doit avoir le meilleur goût, alors que les puits destinés aux autres usages sont choisis par rapport au minimum d'effort à fournir pour l'extraction et le transport. Dans ce cas, la consommation en eau variait de 5 à 10 litres par personne et par jour hiver comme été.

Grâce à l'introduction de robinets dans les maisons, le pompage effectué dans les puits concernés par un réseau de distribution a amélioré le goût de l'eau et l'a rendue plus accessible. Aussi, les deux systèmes d'utilisation d'eau ont fusionné et s'en est suivi, une augmentation de la consommation en eau. Aussi, des compteurs furent installés à la sortie de la pompe et à l'entrée de chaque maison pour évaluer la consommation en eau et la maîtriser.

La Figure 67 montre l'évolution de la consommation en eau au sein de quelques populations représentatives (Iferd). On peut observer une tendance saisonnière marquée : la consommation d'eau en été est le double de celle d'hiver.

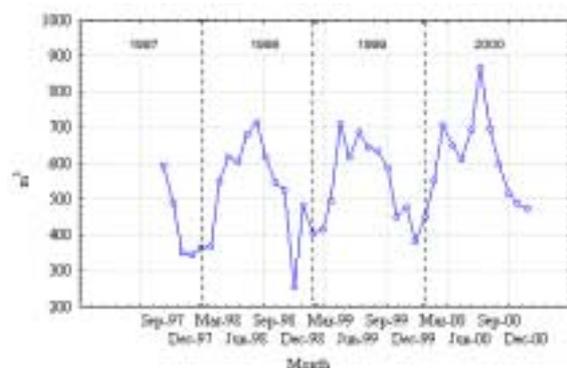


Figure 67. Evolution de la consommation en eau à Iferd.

Les chiffres du tableau 2 permettent de souligner la variation de consommation moyenne entre les différents villages. Elle varie d'environ 15 litres par personne et par jour à 40 litres par personne et par jour.

Localités	Consommation en l/pers/jour		
	Été	Hiver	Annuellement
Iferd	35,5	24,8	29,9
Ait mersid	56,8	27,6	40,6
Bouzerthane	18,0	11,9	14,8

Tableau 2. Consommation quotidienne en eau sur un échantillon de localités.

La Figure 68 montre la fonction de probabilité des données de consommation en eau par habitation, en des lieux bien différenciés.

La mise en application d'une preuve d'hypothèse (Kolmogorov-Smirnov) permet d'affirmer que, dans le cas de chaque village comme dans l'ensemble de toute la base de données (une

fois normalisée), la fonction de distribution correspondante peut être ajustée à une fonction gamma (par exemple, dans le cas d'Iferd, cette fonction gamma peut être caractérisée par un facteur de forme p de 2,34 et un facteur d'échelle a de 3,65). Cela permet d'ébaucher une définition du comportement des utilisateurs d'installations photovoltaïque de pompage et d'analyse de différents aspects complémentaires : valeurs standards de consommation, calcul de tarifs stratégiques pour garantir l'entretien, etc.

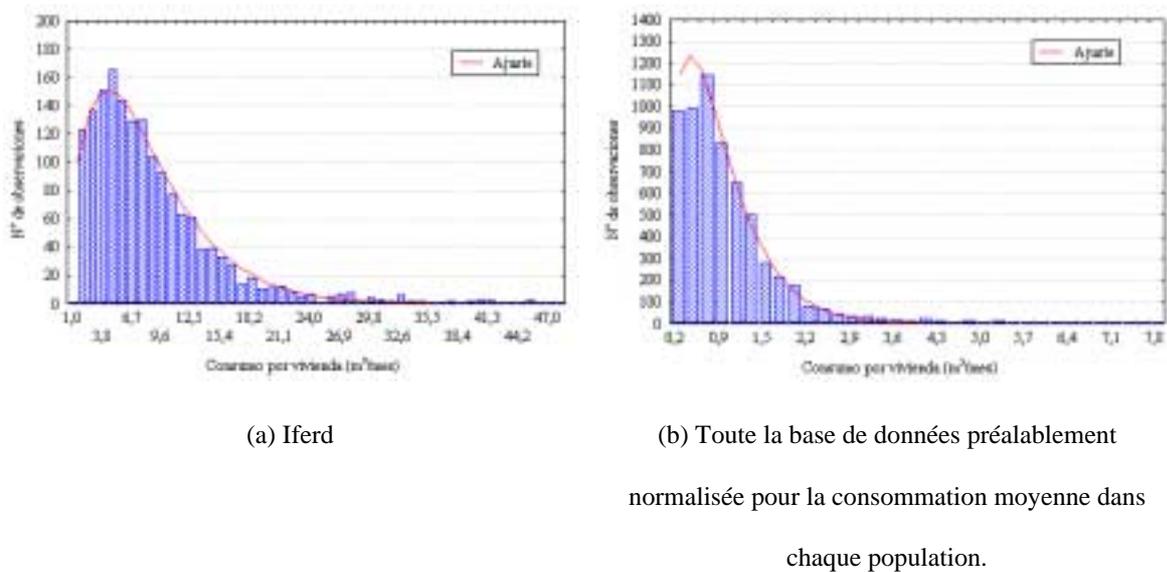


Figure 68. Fonctions de densité de probabilité de la consommation en eau dans quelques villages marocains.

Le tableau 2 présente une liste de données de consommation représentatives de différentes situations et permet plusieurs interprétations. Le cas de Bouzergane correspond à la période transitoire mentionnée lorsqu'une seule fontaine approvisionnait tout le village. On peut considérer ce cas comme représentatif d'une situation où l'accès à l'eau est difficile. D'un autre côté, l'isolement de Iferd, (pour atteindre un village de taille moyenne comme Nkob qui n'est pas desservi par les transports en commun, il faut parcourir une route secondaire pendant une heure et traverser une piste désertique pendant encore une heure) a contribué à faire perdurer les coutumes et modes de vie traditionnels. Alors qu'au contraire, Ait Mersid, bien

mieux desservi (à peine une demie-heure de route secondaire desservie par les transports en commun), a changé son mode de vie et entraîné l'appropriation de tout un équipement domestique (Wc, salles de bain, petits appareils électroménagers, etc.)

La consommation moyenne annuelle dans les autres villages du programme est de 40,6 litres par personne par jour lorsque l'installation est accessible et le village bien desservi, et de 14,8 lorsque l'installation requiert plus d'efforts pour l'approvisionnement en termes de déplacement et de transport. Dans ce dernier cas, l'eau transportée depuis la pompe photovoltaïque se limite à la quantité strictement nécessaire à la consommation humaine tandis que l'eau destinée à un autre usage provient de sources non potables mais plus accessibles.

Il existe peu de données de consommation dans les ouvrages similaires permettant de confirmer ou d'infirmer les constatations. Celles, accessibles mais peu nombreuses, corroborent les chiffres de consommation correspondant aux sources communautaires nécessitant de fournir un effort important pour le transport de l'eau. Certaines données publiques indiquent des consommations qui varient de 10 à 15 litres par personne et par jour pour des points d'approvisionnement pour 250 habitants. On relève aussi des données de consommation en eau de l'ordre de 10 à 20 litres par personne et par jour pour des systèmes dont les points d'approvisionnement exigent que la population se déplace sur 300 mètres, soit un déplacement de 15 minutes. C'est pourquoi il paraît logique de vouloir rapprocher le consommateur de la source d'eau. Si cela se fait par des fontaines communautaires ou des points d'approvisionnement isolés, un effort considérable sera demandé pour le transport. Les deux sous-systèmes, « consommation humaine » et « autres usages » resteront séparés et la

consommation faite au point d'approvisionnement à usage humain sera d'environ 15 litres par personne et par jour.

Si l'eau est accessible en installant des robinets dans les maisons, les deux sous-systèmes fusionneront, augmentant ainsi la consommation globale d'eau. Dans ce cas et pour éviter le gaspillage en eau, l'effort devra être substitué par un autre facteur de limitation de consommation. Cette limitation, par exemple par un tarif progressif pour la consommation en eau, permet de contenir une valeur moyenne annuelle d'environ 40 litres par personne et par jour.

Finalement, une variation estivale, mentionnée antérieurement, amène à considérer, pour le dimensionnement du système photovoltaïque, les mois d'été comme les mois critiques. Le système photovoltaïque devra être optimisé de façon à fournir le maximum d'énergie durant cette période. Ainsi, les moyennes quotidiennes mensuelles devraient être considérées pour fournir 18 litres par personne (dans le cas d'une fontaine communautaire) et 40 litres par personne (lorsqu'il y a des robinets au sein des habitations). Cette dernière valeur devrait atteindre 55 litres par personne dans le cas où la population est « urbanisée ».

Toutefois, les zones rurales des pays pauvres sont loin d'être uniformes. Aussi, les valeurs des consommations exposées auparavant pourrait être inadéquates comme standards de consommation dans les programmes de pompage photovoltaïque dans de nombreux autres cas. Cependant, il faut considérer, premièrement, la relation entre consommation et la distance à parcourir jusqu'à la source d'approvisionnement et deuxièmement, le mode de vie de la population comme bases de typologie des systèmes de pompage photovoltaïque.

La qualité de l'eau.

Le système d'approvisionnement doit garantir une bonne qualité de l'eau.

- Protection des puits : pendant l'étude du système traditionnel, il était coutume de voir des bidons en plastique, des feuilles et d'autres ordures flottant à la surface de l'eau au fonds des puits. Pour éviter toute source de contamination et les chutes d'excréments d'oiseaux, il faut mettre en place une norme pour la protection des bouches de puits en construisant, autour d'elle, une enceinte la couvrant et l'isolant (Figure 69).



Figure 69. Puits rempli d'ordures et puits couvert.

- Protection des citernes : Afin d'éviter les dépôts de poussières, tous les réservoirs doivent être couverts (Figure 70).



Figure 70. Réservoir de stockage de l'eau.

- Le système de conduits : Le système de distribution doit être conçu pour éviter toutes infiltrations possibles. Le choix de conduits en polyéthylène et le contrôle des fuites possibles dans les joints sont des mesures recommandées (Figure 71).



Figure 71. Conduits exposés en plein air pour détecter les éventuelles fuites.

Il faut souligner que les conduits en métal, au sein des réservoirs, ont souvent une galvanisation déficiente, provoquant corrosion et fuites, comme le montre la Figure 72.



Figure 72. Corrosion des conduits avec fuite d'eau.

Evacuation : L'introduction de robinets dans les habitations peut représenter une source de contamination si l'évacuation de l'eau résiduelle n'est pas prévue (Figure 73). C'est pourquoi doit figurer, au sein des formalités pour pouvoir disposer d'eau dans la maison, la réalisation préalable des infrastructures sanitaires (canalisations, puits noirs, sanitaires, etc.) Cela nécessite, dans la majorité des cas, un fort investissement.



Figure 73. Robinet dans une maison.

Les usagers.

-Ni avant le projet, lorsque l'approvisionnement en eau se faisait de manière traditionnelle, ni après l'installation des systèmes photovoltaïques de pompage, n'ont été formulées les préoccupations relatives à la qualité sanitaire de l'eau par les usagers. Aucun puits ne disposait de couvercle et, ni les cordes ni les seaux n'étaient rangés dans des lieux propres

malgré le fait qu'ils constituaient une source certaine de contamination. Les suggestions d'un possible traitement de l'eau n'ont reçu pour réponse qu'un air étonné. Il faut reconnaître que les villageois se soucient peu de la qualité de l'eau et qu'ils renvoient leurs priorités sur la fiabilité dans l'approvisionnement, le bon goût et la réduction de l'effort à fournir pour s'approvisionner. L'établissement de cette échelle de priorités, que nous étudierons plus en avant dans de prochains paragraphes, n'a pas été remise en cause.

La standardisation des accessoires.

Il y a une constante valable pour ce projet et d'autres similaires. La partie strictement photovoltaïque des systèmes de pompage présente rarement des problèmes techniques.

Il a été démontré que cette robustesse n'est pas le facteur déterminant de la fiabilité des systèmes. Sous le terme « d'accessoires » se trouvent les composants du système qui, bien qu'ils soient considérés comme simples, ne présentent aucun problème dans leur conception ou dans leur installation (ils proviennent généralement du magasin du coin et sont confiés aux mains expertes de l'installateur) ou sont considérés comme de simples détails qui n'ont aucune influence réelle sur le fonctionnement du système.

Malgré cette assertion, une pléiade de facteurs qui, ainsi que l'a montrée l'expérience Marocaine, déterminent la bonne ou mauvaise fiabilité du système. On peut ainsi souligner :

- La capacité réelle du puits est en deçà des calculs effectués lors de la conception du système, provoquant l'assèchement du puits.

- Le réservoir et le matériel prévus pour sa réalisation provoquent des fuites d'eau importantes (alors que les utilisateurs en achètent des quantités considérables).
- Les systèmes de distribution s'oxydent et des fuites d'eau apparaissent.
- Les puits sont mal bouchés, risque pour la santé par la contamination possible de l'eau et pour la pompe, qui peut s'obstruer avec les matériaux tombés dans le puits.

Tous ces problèmes se caractérisent par le fait qu'ils représentent une influence certaine sur la fiabilité. Le dysfonctionnement d'un ou plusieurs composants du système affecte le caractère fiable de l'ensemble. Sa gravité contraste avec la faible différence de coût qu'implique des critères de qualité dans la partie « non-solaire ». Pour tout cela, il est nécessaire d'une part de standardiser non seulement les composants photovoltaïques, mais également tout le système de pompage et, d'autre part, d'instituer des critères de qualité pour chacun des composants et pour les prestations d'installation.

Il faut à cela ajouter une multitude de détails dont la déficience n'est due ni à l'ignorance de l'état de l'art, ni au manque de qualité technique des composants mais dans des procédés d'installation. Ainsi, des détails tels qu'une visserie qui s'oxyde prématurément ou des prises de terre défectueuses sont simplement l'expression d'une rapidité excessive et d'une imprévoyance au moment de l'installation que l'on peut résoudre avec un savoir-faire minimum. Cependant, de simples détails peuvent devenir, dans des circonstances bien particulières, des facteurs déterminants pour la fiabilité du système ou, ce qui est pire, pour la sécurité des personnes.

Finalement, un système de pompage installé dans les normes doit prendre en considération les circonstances extrêmes de fonctionnement qui, même rares, peuvent provoquer la destruction des systèmes. Deux situations se sont révélées critiques : lorsque la pompe travaille dans le vide lorsque le puits est à sec, et lorsque la pompe, après que le réservoir se soit rempli, ne s'arrête pas.

Tous les cas observés dès l'évaluation du projet renvoient à la nécessité d'une standardisation, où, d'un côté, la réalisation du programme de pompage prend en compte et recherche tous les recoins où le diable pourrait se cacher pour tenter de miner la fiabilité du système, et où d'un autre côté, celui-ci propose des critères de qualité qui augmentent la fiabilité de l'ensemble de l'installation. Les points faibles de l'état actuel des choses sont signalés. C'est une ligne d'investigation future et urgente que de proposer des standards de qualité et les procédés d'application correspondants. Ces derniers nécessiteront des mesures de contrôle suffisantes dans les installations de pompage rendant possible leur évaluation *in-situ*.. D'autres expériences passées ont montré aux fabricants de pompes que le fait d'installer un débitmètre en sortie de pompe, un manomètre qui permette de mesurer la hauteur manométrique vue par la pompe, un tableau de connexion bien défini sur lequel il sera facile d'effectuer des mesures électriques et de faciliter le contrôle de la profondeur moyenne de l'eau, facilitant le futur contrôle de la qualité du fonctionnement du système.

La structure de gestion et l'entretien des installations.

Les systèmes photovoltaïques doivent être entretenus. Cela est évident du fait que leur implantation est difficile. Dans ces zones urbaines, l'entretien des systèmes est une question d'argent. Cet obstacle, que connaît aussi le milieu rural, n'est pas unique dans les milieux

ruraux et isolés. S'en ajoute une autre, celle de la difficulté des structures organisatrices à maintenir l'entretien des systèmes.

Lors des visites effectuées dans le cadre des programmes d'électrification rurale, nous avons souvent observé des populations qui souhaitent réparer leurs équipements, qui avaient les moyens financiers mais qui ne trouvaient personne pour leur venir en aide, ni de personnel qualifié pour exécuter les travaux. Cela limite la durée de vie des installations si on ne prend pas en compte les pannes importantes qui peuvent être causées par les habitants eux-mêmes. C'est par exemple le cas de Tamzaghalte, une des populations équipées d'un système de pompage photovoltaïque dans le cadre du programme évalué et étudié. Ce village a fait preuve d'une discipline optimale dans l'entretien et la gestion du système. Ce zèle pourrait se retrouver dans le registre des données de consommation effectuées quotidiennement, et dans les données de consommation effectuées mensuellement au sein des habitations. Cependant, après avoir fonctionné normalement pendant un certain temps, la pompe s'est arrêtée sans raison apparente. La population s'est mobilisée et a démonté la pompe, la sortant du puits pour chercher la panne. Un fil de fer de plusieurs mètres de long s'était emmêlé à l'intérieur de la pompe centrifuge. Après l'avoir retiré, la pompe fut réinstallée et s'est remise à fonctionner.

Dans ce cas, les capacités internes sont insuffisantes pour réparer. Ce qui fait que le puits fut à sec à la fin d'un été de sécheresse. Ce problème, dont la solution technique était à portée de main de la population, se heurtait au coût financier d'un nouvel approfondissement du puits. On a vu que la fiabilité de l'approvisionnement en eau était une nécessité prioritaire aux yeux de la population et que, pour une telle fin, et non sans un certain effort, les fonds nécessaires pouvaient être levés. Les explosions faites en vue d'approfondir le puits de quelques mètres rendirent le convertisseur de la pompe inutilisable, problème délicat car, bien que son coût

soit moindre, comparé à celui de l'approfondissement du puits, il n'existait dans la zone aucun fournisseur disposant de ce type de composants, ni personne qui sache le programmer afin de le faire fonctionner correctement. Cela n'a pu être résolu que grâce à la bonne disposition de l'installateur et à sa volonté d'être présent sur la zone. Cet exemple montre combien l'absence d'interlocuteurs valables peut limiter la fiabilité effective du système.

Il n'existe pas d'exemples de ce type, et aucune référence à d'autres expériences vécues avec l'assurance de ne pas connaître d'échecs ne peut être trouvée. Seul le temps montrera la sagesse des solutions adoptées.

La stratégie retenue consiste à doter tous les villages concernés de structures organisatrices qui ont en charge la gestion de l'eau. Elles sont de deux types :

- une structure locale chargée de la gestion interne du système,
- une structure supralocale responsable des relations avec les agents extérieurs au projet.

La structure de gestion locale est interne à la population et comprend dans ses missions :

- d'un côté l'entretien basique de l'installation (propreté des modules et du réservoir, contrôle du chlore, détection d'anomalies, vigilance vis-à-vis de l'installation, etc.),
- et d'un autre côté, la collecte et la gestion des ressources économiques nécessaires à l'entretien (tarification, encaissement mensuel sur la consommation, registre comptable, sauvegarde des fonds économisés, etc.).

Cette structure locale de gestion s'est montrée fortement dépendante de la cohésion interne de la population. Il existe des villages qui connaissent des problèmes internes où elle fonctionne

avec des défaillances graves (par exemple à Oum Romane) et il en existe cependant d'autres où, en plus de la cohésion interne, le projet provoque un mouvement de synergie voisine (fort heureusement, cela est principalement le cas dans des villages tels qu'Iferd ou Ait Mersid qui peuvent servir de référence). Au sein de ces derniers, la structure de gestion s'est montrée très effective, tant au niveau technique primaire qu'au niveau économique, percevant de fortes sommes d'argent grâce au contexte socio-économique de la région.

Néanmoins, ces microstructures locales ne peuvent travailler avec l'extérieur, alors que les deux tâches qui leur incombent requièrent des contextes externes : la gestion économique dans une large mesure avec des institutions bancaires et l'établissement de contrats d'entretien avec des entreprises techniques du secteur. Les deux sont inaccessibles pour les villages isolés. Une entreprise de photovoltaïque ne verra jamais d'intérêt financier à entretenir une installation de pompage. Cependant, si ce qui est isolé n'est pas attractif, ce qui est regroupé au sein d'une région peut s'avérer séduisant. C'est ici qu'apparaît l'importance de disposer d'une structure de gestion supralocale qui rassemble toutes les populations qui disposent d'un système de pompage et qui serait capable d'agir de façon responsable avec l'extérieur. Cette structure négocierait un contrat d'entretien avec une société externe prestataire de services, et par là même devrait être capable de gérer conjointement les fonds nécessaires de la totalité des populations. Il en résulte évidemment deux choses :

- La première est que cette structure supra-locale doit gagner la confiance des populations pour leurs ressources économiques,
- La seconde est que, plus grand sera le nombre d'installations (en termes de kWc pour le potentiel total installé), plus faible sera le coût d'entretien pour chaque population en particulier, et plus intéressant sera le contrat pour l'entreprise de services. Cela implique

une stratégie de la part des agents promoteurs du projet de concentrer les installations photovoltaïques sur une seule zone géographique jusqu'à atteindre un nombre qui dépendra des caractéristiques concrètes de la région (dispersion des installations, distance depuis le noyau urbain principal, coût de la main d'œuvre locale, etc).

Cette structure d'entretien supralocale n'a pas été envisagée dans le projet d'origine. À l'heure actuelle, cette option a été négociée d'un côté avec chacune des populations tout comme avec l'entreprise qui a procédé à l'installation des systèmes de pompage. Les cas ponctuels, qui jusqu'à présent ont montré que la substitution des équipements était impossible, ont un contre-effet positif dans le fait que la population a pris conscience que cette entreprise était nécessaire. À titre d'exemple, les coûts d'entretien, qui ont baissé, sont les suivants : si on considère :

- un unique contrat pour 20 villages qui, à l'heure actuelle, disposent de systèmes de pompage et de deux centrales photovoltaïques en cours d'installation, d'un véhicule et d'un stock de pièces de rechange, de visites routinières tous les mois, et qui sont disponibles pour répondre à la moindre panne imprévue et enfin,
- si on considère le remplacement d'une pompe et d'un convertisseur tous les cinq ans (durée de vie estimée à partir de ce type de composants),
- alors le coût total serait approximativement de 1200 Dh/mois. Ce chiffre, première estimation très approximative, répond aux capacités financières de la population démontrées par l'encaissement des redevances de l'eau.

Cette stratégie a ses points faibles, avec en particulier le rôle crucial que tient la structure supralocale (dans le cas de Tichka), car il n'est ni facile de l'identifier, ni simple de la garder honnête dans le temps.

Indubitablement, ces risques et limites conditionneront la configuration de cette stratégie. Cependant, les acteurs qui peuvent remplir ce rôle sont variés. Ce pourraient-êtré les administrations publiques ayant déjà des responsabilités dans ce secteur.

Une autre possibilité qui pourrait avoir des chances de fonctionner serait d'éviter n'importe quel type de structure organisatrice qui ne serait ni locale ni régionale. Dans le système traditionnel de l'eau, il n'existait aucun type d'organisation sociale associée à l'eau, et il y avait simplement des organisations temporaires et efficaces pour la réalisation des puits. Ce travail ne fut pas facile, puisqu'il demandait de nombreux moyens financiers et l'accord de toute la population. Cependant, il a été démontré que, pendant de nombreuses années, cette modalité a bien fonctionné. Il en a été de même dans le cas des systèmes photovoltaïques : la population a exclusivement été mobilisée lorsque les problèmes sont apparus, percevant ainsi l'argent nécessaire pour résoudre le problème. Bien sûr, la barrière des services existant appropriés s'est posée lorsque survient l'événement désagréable. Il y a-t-il alors quelqu'un qui puisse réparer et payer ? De tels services ne peuvent exister que s'ils sont rémunérateurs, ou si, au contraire, c'est l'administration qui le garantit.

Dans le premier cas, cela ne serait viable que dans un contexte de haute qualité d'installation et où le marché ferait apparaître ces acteurs. Dans la phase intermédiaire, lorsqu'est initiée l'électrification décentralisée, il paraît inévitable qu'il faille recourir à des modèles de gestion aussi simples et locaux que possible.

Dans le second cas, cela ne paraît pas réaliste si l'on considère les économies déficientes des pays considérés.

La méthodologie d'introduction à la technologie novatrice.

La méthodologie utilisée pour introduire la technologie novatrice que supposent les systèmes de pompage photovoltaïque a déjà été mentionnée dans un paragraphe précédent. Par conséquent, il s'agit simplement d'en rappeler les principes comme outils de réflexion pour pouvoir réfléchir à son utilité et ses conditions d'application.

Cette méthodologie se basait sur la théorie de systèmes et se résume ainsi :

- Lorsqu'on introduit une innovation dans un système, les caractéristiques de celui-ci changent. Si le système est capable de l'assumer, il évolue selon d'autres caractéristiques distinctes qui le déterminent sur un nouveau mode. Si ce n'est pas le cas, le système est détruit, entraînant une chose ou une autre selon le degré de nouveauté que l'innovation technologique implique. Bien sûr, si ce degré de nouveauté est important, il y a de plus grandes chances pour que le système soit détruit et pour qu'il soit rejeté. L'objectif de la méthodologie sera d'essayer de réduire ce degré de nouveauté, seulement si les utilisateurs du système le perçoivent comme un inconvénient.
- Par conséquent, il conviendra premièrement de définir le système initial antérieur au projet. Cette définition doit être caractérisée par toutes les dimensions du système puisque c'est par celles-ci que seront suggérés les concepts de hardware, de software et d'orgware.

- Deuxièmement, il conviendra de caractériser le système après l'implantation du projet, en l'imaginant bien, dans le cas où il n'y aurait eu aucune réalisation similaire dans la région qui n'ait été étudiée.
- Enfin, la méthodologie suggère de comparer les deux systèmes afin de détecter les degrés de nouveauté et de déterminer la façon de réduire son impact, sur tous ceux que la population aurait perçu comme négatifs.

Les avantages de cette méthodologie ont été démontrés dans le cas présent, par exemple lors de l'introduction de l'utilisation de l'eau potable avec du chlore. Les tentatives qui furent faites par le passé pour introduire ce type de technologie furent un échec. Il suffit simplement de se présenter à n'importe quelle association qui propose des services sanitaires dans des camps de réfugiés pour savoir, premièrement, comment doivent être jetées aux ordures les pastilles de chlore destinées à la potabilisation de l'eau, puisque la population refuse de les prendre. La mise en application de cette méthodologie a permis de comprendre le problème depuis le point de vue des utilisateurs, et également d'arbitrer les solutions envisageables depuis ce point de vue. Les résultats, ainsi que détaillés dans le paragraphe suivant, sont, à ce jour, très satisfaisants.

Leçons sur l'introduction des équipements potabilisateurs.

Trois éléments peuvent être synthétisés :

- 1- Il existe une grande variété de systèmes de potabilisation de l'eau, mais aucun ne s'ajuste aux caractéristiques de consommation énergétique appropriées pour son utilisation avec l'énergie solaire photovoltaïque. Par ailleurs, si on considère le caractère variable du contexte décentralisé dans lequel ce type de systèmes se développent, une grande partie de ces

systèmes ont vu leur viabilité réduite aussi bien en raison des problèmes d'entretien que parce que le système de potabilisation s'avérait inefficace dans l'environnement. En exemple, les tentatives menées pour utiliser l'illumination par rayons ultraviolets comme moyen de désinfection. Son utilisation dans les réseaux de distribution où l'état des tuyaux garantie sa qualité hygiénique fut couronnée de succès. Cependant, elle perd tout son pouvoir de potabilisation dans les endroits où les systèmes de distribution ou d'approvisionnement sont contaminés puisque l'eau, après avoir été désinfectée au moyen d'ultra violets, est au contact d'un air vicié. Les mécanismes qui peuvent éviter cette recontamination consistent en des systèmes électroniques compliqués qui, pour pouvoir fonctionner, dépendent de structures d'entretien professionnelles inexistantes dans les zones rurales.

Cependant, le traitement par le chlore, très connu par la population, paraît être implantable.

L'hypochlorite de sodium se trouve dans n'importe quel marché rural sous forme de bidons d'eau de javel qui, dans ces pays, en plus de donner le mode d'emploi pour laver le linge sur l'étiquette, donne des informations sur le mode d'application pour la désinfection de l'eau. De plus, la technologie d'injection de fluides au moyen, par exemple, de petites pompes à membranes est également mondialement accessible et facile d'entretien. Cependant, cette option de désinfection, ainsi que déjà dit, se heurte à un obstacle d'envergure : le fait que le goût de l'eau soit prioritaire pour les usagers et, c'est bien connu, le chlore affecte de manière importante le goût de l'eau.

Aux travaux menés pour résoudre ce problème, deux conclusions peuvent être formulées :

2- Il est nécessaire d'associer l'injection de chlore, perçue par la population comme une gêne et comme un désavantage dû au changement de goût de l'eau, à d'autres infrastructures qui sont perçues par les utilisateurs comme de grands avantages. Le bilan global entre les

bénéfices et les préjudices est alors perçu comme positif. Cette appréciation suscitera réellement l'intérêt pour entretenir le système de potabilisation. Dans l'expérience marocaine décrite, cela à été mené à bien en associant la désinfection de chlore :

- le système photovoltaïque lui a permis d'approvisionner de façon fiable le village en eau ;
- la distribution jusqu'aux habitations.

De cette manière, l'altération du goût de l'eau s'oppose à la réunion de deux des avantages perçus par la population : l'assurance d'un bon approvisionnement et la réduction de l'effort.

3- Finalement, il est nécessaire de procéder à une injection progressive du chlore, en commençant par de petites doses pour atteindre la dose adéquate, donnant le temps nécessaire pour que la population s'habitue au changement de goût. Pour mener à bien cette pratique, il est nécessaire de la mettre en place rapidement après l'installation du système et afin qu'il n'y ait pas de risques d'infection des tuyaux, puisque, au début du processus, l'injection de chlore est tellement basse qu'elle n'a aucun effet sur la santé. Ce temps est nécessaire pour que la population accepte le système de potabilisation sans obstacles appréciables et que se prennent des réflexes d'entretien et de contrôle de la quantité de chlore dans l'eau...