

Bonnes habitudes pour l'implantation de systèmes photovoltaïques de pompage d'eau



Bonnes habitudes pour l'implantation de systèmes photovoltaïques de pompage d'eau



Lorenzo Pigueiras, Eduardo
Poza Saura, Fernando
Narvarte Fernández, Luis

INSTITUTO DE ENERGÍA SOLAR

Fedrizzi, María Cristina
Zilles, Roberto

**INSTITUTO DE ELECTROTÉCNIA E ENERGÍA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Aandam, Mohamed
Zaoui, Saadia

ASSOCIATION TICHKA

ISBN: 84-7402-328-9

Copyright © 2005 - Madrid, España

Ed.: Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid

Realisation: La Factoría de Ediciones, S. L. (Madrid)

Imprimé : Color 2002 (Getafe) Spagne

D. L.: M-47.666-2005

Table des matières |

Glossaire	7
1. Introduction	9
2. Qu'est ce que cette brochure et comment l'a-t-on faite	13
3. Le système de l'eau	15
3.1. Priorités	18
3.1.1. Fiabilité	18
3.1.2. Goût	19
3.1.3. Effort	19
3.1.4. Qualité sanitaire	19
3.2. Consommation de l'eau	21
3.3. Eau et énergie	22
3.4. Eau et hygiène	24
4. Projets photovoltaïques pour fournir de l'eau	27
4.1. Ingénierie	27
4.1.1. La pompe photovoltaïque	29
4.1.2. Infrastructures hydrauliques	30
4.1.2.1. Forages, puits, rivières	31
4.1.2.2. Dépôts	36
4.1.2.3. Tuyauteries et autres accessoires	38
4.2. Anthropologie	39
4.2.1. L'Hygiène de l'eau	40
4.2.2. La gestion de l'eau	45
4.2.3. Organisation d'utilisateurs et «technicien» local	49
5. Travailler avec la diversité	51

Glossaire |

Symbole	Définition	Unité
H_{ST}	Niveau dynamique d'un puit ou forage.	m
H_{DT}	Niveau statique d'un puit ou forage.	m
Q_T	Débit d'essai pompé dans un forage.	m ³ /heure
Q_B	Débit de pompage.	m ³ /heure
Q_P	Débit d'eau apporté par le terrain par percolation ou filtration.	m ³ /heure
Q_G	Débit additionnel d'eau apporté par le terrain au travers de galeries creusées dans le puit.	m ³ /heure

1. Introduction |

À New York, la consommation moyenne par habitant est de 500 litres d'eau par jour. Madagascar se trouve dans le pôle opposé avec 5,4 litres, à la limite de la survie. Le Japon est le deuxième et l'Espagne le troisième pays au monde en consommation d'eau par habitant, après les États-Unis. Depuis 1977, l'Organisation Mondiale de la Santé a établi le niveau, par personne et par jour, à 50 litres. C'est la «provision adéquate» d'eau pour boire, cuisiner, pour l'hygiène personnelle et la propreté de la maison.

Le concept de la «trace de l'eau»
Arjen Hoestra

Depuis 1940 et jusqu'en 1990 la consommation mondiale d'eau s'est multipliée par cinq, tandis que la population s'est multipliée par deux (...). Pendant que 9% de la population mondiale, privilégiée en consommant presque trois quarts de l'eau douce disponible, cinq cents millions d'hommes vivent en état d'effort hydrique (...). En 2025 mille cinq cents millions d'hommes ne disposeront pas d'eau en quantité suffisante

Marie-France, Dupuis-Tate y Bernard Fischesser.

Des informations comme celle de cette phrase, permettent une approche quantitative du problème de l'eau. En termes pratiques, et du point de vue de l'ingénieur qui doit faire face au défi de concevoir et d'implanter un système photovoltaïque pour approvisionner en eau une population, cette information est de grande utilité pour résoudre l'exercice de dimensionner le système chargé d'extraire l'eau. Cet exercice a, évidemment, de l'intérêt et s'encastre parfaitement dans le corset de ce que nous appelons communément «ingénierie». C'est peut-être pour cela que cet exercice reçoit une grande attention dans tous les textes disponibles concernant la technologie photovoltaïque. Cependant, deux raisons font que cet exercice de «dimensionner la pompe» soit finalement beaucoup moins remarquable que l'attention portée dans les textes.

D'un côté, l'incertitude qui accompagne inévitablement toute donnée relative à la réalité rurale. En réalité, il est toujours très compliqué de savoir combien de personnes vivent dans un village déterminé, mais plus encore de savoir combien s'approvisionneront à un point d'eau concret et comment évoluera ce nombre à l'avenir. De plus, il résulte que le coût final d'un système de pompage, paramètre qui préside presque religieusement le travail quotidien des ingénieurs en général, est moyennement influencé par la taille de son générateur photovoltaïque, alors que d'autres chapitres indépendants de la taille (transport, installation, réservoirs, tuyauteries, formation, gestion, etc..) sont ceux qui représentent finalement la partie du lion. L'incertitude dans les données d'entrée et l'impact économique modéré du résultat s'unissent pour faire que les calculs très détaillés manquent de sens pratique, et que les critères de conception simples, presque «à l'œil» et à condition d'être raisonnables, conduisent vers une bonne direction comme les modèles les plus complexes

D'autre part et ceci est, si c'est possible, de plus grande importance, il s'ensuit que le problème de l'eau va au-delà de ce que représente simplement son extraction. En effet, il faut l'accumuler pour garantir la continuité de son approvisionnement, il faut la surveiller pour garantir qu'elle arrivera aux personnes dans de bonnes conditions hygiéniques, il faut la gérer pour obtenir que sa consommation soit maintenue à des niveaux raisonnables et il faut établir une organisation qui maintiendra les infrastructures en fonctionnement continu et correct. Et, encore une fois, il n'y a pas de relation directe entre ces tâches et la taille du système de pompage. Les enclaves rurales sont comme des mondes complets miniaturisés dont la taille ne permet pas de convoquer de vastes groupes de spécialistes



dans différents domaines, lors de la conception et l'implantation d'engins photovoltaïques. Au lieu de cela, quelques ingénieurs, souvent un seul, doivent se responsabiliser de l'ensemble de ces tâches. C'est pourquoi ils ont besoin «de comprendre» le «système de l'eau» dans tous ses aspects. C'est un bon moment pour définir, dans ce contexte, ce que nous entendons par ingénieur c'est-à-dire plus celui qui travaille avec des engins, avec toute la complexité associée à son système, qu'à la personne qui affiche un titre officiel délivré par une université. Dans ce sens, l'«ingénieur photovoltaïque» qui s'occupera des problèmes de l'eau devra posséder un bagage en connaissances et habilités beaucoup plus proche d'un généraliste que d'un spécialiste; il devra même entrer dans des terrains considérés généralement comme propres à d'autres branches de la connaissance, comme la sociologie ou l'anthropologie.

Insister sur le concept de «système» et aider l'ingénieur à batailler avec tous les composants qu'enferme le problème de l'eau est, justement, le motif principal de ce texte, et c'est aussi l'élément différentiel qui justifie son élaboration et sa diffusion. S'il en était différemment, ce guide n'aurait pas de sens puisque, pour traiter la partie strictement technologique des pompes photovoltaïques, il existe déjà plusieurs autres textes dont certains de grande qualité. Quelques observations concrètes serviront à avancer le contenu de ce texte:

- **Le problème de l'eau se pose partout, et non pas seulement dans les régions touchées par les sécheresses récurrentes.** A sa grande surprise, le lecteur doit savoir que même les habitants de l'Amazonie souffrent de problèmes d'eau¹. Cette brochure en parle avec le même intérêt que celui consacré aux problèmes que souffrent les habitants du Sahara. En fait, c'est dans l'expérience comparée des deux régions que réside un de ses fondements
- **La majorité des problèmes qui se présentent dans les pompages photovoltaïques pratiques affectent les composants non photovoltaïques du système.** Les études qui s'en sont suivies sont unanimes en indiquant d'autres facteurs: infrastructures conventionnelles, comme des réservoirs ou des tuyauteries; situation incorrecte des équipements; collision avec des habitudes déjà existantes; manque de gestion, etc. Mais attention, ceci ne doit pas être compris comme une invitation à reléguer à un second plan les aspects spécifiques de la technique photovoltaïque, mais plutôt comme un signal pour qu'on ne relègue pas non plus le reste des aspects. Si finalement la pompe photovoltaïque ne pompe pas, il n'y a plus rien à dire. Mais si elle pompe, il reste encore beaucoup à dire. Nous, les ingénieurs photovoltaïques, disposons comme cadeau d'une technologie exceptionnellement fiable et, pour cela et heureusement, nous nous voyons fréquemment dans la situation d'avoir affaire avec ce qui reste encore à dire. C'est une chance, mais aussi une responsabilité remarquable, devant laquelle notre formation conventionnelle s'avère clairement insuffisante. La compléter, en posant sur le tapis l'expérience accumulée, tout au long de ces plus de dix ans, par des groupes de travail européens, africains et américains, est le principal objectif de ce texte.
- Très fréquemment, les projets de pompage photovoltaïque sont développés dans le cadre de la «coopération au développement», où l'ingénieur responsable milite dans la bande des bienfaiteurs, avec un rôle prépondérant; tandis que les utilisateurs finaux de l'eau militent du côté des bénéficiaires, avec un rôle inhérent limité par ses faibles capacités techniques et économiques. Ainsi, par exemple, il est très rare de voir les utilisateurs comme signataires dans les demandes de projets, ou bien que l'on consacre une certaine attention à l'étude de ses coutumes antérieures au projet. Toutefois, aussi précaire qu'il puisse paraître, il y a toujours un système d'eau antérieur au

1. Le bassin amazonien contient 15% des ressources mondiales en eau douce, mais seulement 0,3% de la population mondiale.

photovoltaïque, et c'est en lui que sont ancrés les us et les coutumes des utilisateurs. Ignorer ce système équivaut à construire une maison sans s'occuper de la géologie du terrain. Il y a alors de grandes chances que des fentes apparaissent dans les parois ou même que le bâtiment s'écroule. De même que les fondations de soutènement sont aussi importantes que les murs de la maison, il en va de même, pour la pompe photovoltaïque. La personne qui va en profiter est aussi importante que l'ingénieur qui la conçoit. Dans les milieux ruraux il n'a pas de place pour les empressés de la « clé en main » et il n'y a pas non plus de services professionnels qui se chargent d'organiser les équipements. Chaque village est un cas particulier, qu'il faut comprendre, et chaque équipement est un instrument mis directement entre les mains des utilisateurs. Il existe une règle générale où les projets sont structurés sur la base d'une activité centrale fortement technologique (l'approvisionnement de pompes photovoltaïques, par exemple) soutenue par quelques activités collatérales (formation, etc..) et qui reçoivent le nom « d'actions d'accompagnement ». Dans le fond, cette division est le reflet de l'asymétrie inhérente au concept de la dualité bienfaiteur/bénéficiaire. L'important est ce que fait le bienfaiteur tandis que l'on est sûr de la bonne conduite du bénéficiaire. Il serait, par contre, très facile de défendre l'interprétation contraire, dans laquelle l'ingénieur photovoltaïque est précisément celui qui sort gagnant (il voyage, voit, vit, apprend...), tandis que l'utilisateur assume définitivement le rôle principal sur la scène. Nous n'avancerons plus ici dans les détails de cet autre interprétation de la coopération. Nous nous limiterons simplement à consigner cette possibilité, en espérant que cela serve de stimulant pour s'efforcer à comprendre ce qu'il y a, en vérité, dans la tête et dans le cœur des utilisateurs.

2. Qu'est ce que cette brochure et comment l'a-t-on faite

Cette brochure que tu as, lecteur, entre tes mains est un des résultats du projet intitulé «Implementation of a PV water pumping programme in mediterranean countries», développé dans le cadre du programme MEDA, que chapeaute l'Union Européenne comme une part de coopération avec les pays de la région méditerranéenne.

La structure de ce projet, comme celle de presque tous, obéit à une logique qui peut être énoncée comme «faire d'abord pour apprendre, enseigner ensuite pour diffuser». En accord avec elle et dans le cadre du projet nous avons proposé d'abord de concevoir et d'exécuter 52 des systèmes photovoltaïques de pompage d'eau, avec un total 256 de kW, distribués au travers de l'Algérie (10 systèmes/59 kW), du Maroc (29 / 138,7) et de la Tunisie (13 / 58,3).

Le «faire» de ces systèmes photovoltaïques a été une tâche longue, parfois dure, mais aussi extrêmement intéressante et fructueuse. Dans cette tâche ont pris part différents acteurs. Le financement direct est venu de la Commission de l'Union Européenne et de l'Agence Espagnole pour la Coopération Internationale, dont la contribution a été de 80% et de 20 %, respectivement. Les participants officiels, c'est-à-dire, les signataires du contrat avec ceux qui l'ont financés ont été l'Institut de l'Énergie Solaire de l'Université Polytechnique de Madrid, IES-UPM, qui a assumé la coordination, et la «Fondation énergies pour le monde» (FONDEM), du côté européen ; et un organisme local dans chacun des trois pays concernés: le Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) en Algérie, l'Agence Nationale pour la maîtrise de l'Énergie (ANME) en Tunisie et l'ONG Tichka au Maroc. L'approvisionnement et l'installation des pompes photovoltaïques a fait l'objet d'un concours public international, où l'entreprise Isofotón a gagné et c'est elle qui, à son tour, a organisé la collaboration avec des sociétés locales pour son exécution. Pour les infrastructures hydrauliques diverses autorités locales ont collaboré: Le CDER en Algérie, les délégations provinciales de Commissariat Régional au Développement Agricole (CRDA) en Tunisie, et les préfectures des provinces de Ouarzazate et de Zagora au Maroc. Et dans tout cela, les utilisateurs ont toujours été très présents. Cette diversité d'acteurs représente aussi une diversité de points de vue, et de même pour les leçons apprises tout au long du chemin. Cette diversité constitue la terre sur laquelle fleurissent les fruits que peut donner ce projet, c'est pourquoi établir une liste de participants ordonnés en fonction de leur importance n'a aucun sens.

Pour «enseigner» ce qui a été appris, le projet a également considéré une diversité de procédures de divulgation: une page web, qui inclut un recueil de documents divers et une fenêtre ouverte à des consultations venant de l'extérieur, un Séminaire à caractère international, à Ouarzazate en décembre 2005; plusieurs articles publiés dans des revues et présentés lors de conférences scientifiques ; et la rédaction de cette brochure sur les bonnes habitudes lors de l'implantation des systèmes photovoltaïques de pompage de l'eau. L'initiative concernant la rédaction de cette brochure a correspondu à l'IES-UPM, dans le cadre de ses obligations en tant que coordinateur du projet. Sa condition d'institution universitaire s'encadre parfaitement bien avec son activité de réflexion et d'écriture. C'est une obligation qui a été admise avec le plus grand plaisir. Mais, inévitablement, le contenu de la brochure doit refléter dans une bonne mesure son point de vue particulier, même si c'est le résultat d'une tâche commune.

L'exercice d'écrire ressemble à un dialogue entre celui qui écrit et un interlocuteur imaginaire implanté dans la tête de l'écrivain, et qui représente le prototype du groupe auquel est dirigé le document.



Ce texte, même s'il prétend intéresser un public très général, a donc été écrit en utilisant comme interlocuteur imaginaire un ingénieur engagé dans l'implantation de projets concrets, exécutés dans des lieux concrets et dans le cadre de la coopération. Afin que sa persistance arrive à bon port, cet ingénieur devra, d'abord, se charger de patience et de courage; il en aura besoin afin d'éviter une série d'écueils accompagnée par une forte charge de paperasserie (demandes, rapports, budgets, douanes, justifications des comptes, etc..) où ne manqueront pas l'incompréhension et le manque d'appui de certaines personnes qui, de par leur responsabilité, devraient être plus à ses côtés. Finalement, il arrivera à un village et devra prendre beaucoup de décisions, de nature technique mais aussi humaine, jusqu'à ce que le projet soit finalement mis en route. Cette brochure s'adresse spécifiquement à l'ingénieur qui se trouve précisément dans cette situation.

D'autre part, les connaissances de l'IES-UPM en ce qui concerne le pompage photovoltaïque, ne provient pas seulement de l'expérience acquise par le projet MEDA. Comme l'a si bien dit le poète, «c'est en marchant que l'on fait chemin». Heureusement pour ceux qui travaillons dans ce projet, le chemin de l'IES-UPM est passé par d'autres projets autre que ce MEDA, ce qui nous a permis d'échanger de nombreuses expériences avec d'autres engagés dans le même but que nous. Dans cet étalonnage d'expériences nous avons appris de nombreuses choses et nous avons gagné en généralité: si ce qui m'est arrivé s'est également reproduit chez un collègue, le problème devient alors général. Et pour apporter de la généralité à ce qui se dit ici, nous avons invité nos collègues de l'Institut Électrotechnique et de l'Énergie de l'Université de Sao Paulo, IEE-USP, à prendre part activement avec nous à l'élaboration de cette brochure. Son importante expérience en pompage photovoltaïque vient d'un contexte géographique très éloigné du nôtre, ce qui n'a pas été un empêchement pour qu'entre les deux instituts ou, si l'on préfère, entre les personnes qui travaillons dans les deux instituts, on ait développé un certain sentiment d'affinité, qui nous permet «de coopérer» avec fluidité, y compris pour ce projet, même si nous ne sommes pas formellement attachés à un même contrat.

Tout comme les clés entrent dans les serrures tout simplement parce que les formes des unes ressemblent aux autres, et non parce qu'elles soient de meilleure ou moins bonne qualité, les affinités dans la vie sont, dans une bonne mesure, une question de hasard. Par conséquent, l'invitation de l'IES-UPM à l'IEE-USP ne répond pas à la prétention que le tandem de rédacteurs de cette brochure soit particulièrement excellent. Elle répond plutôt, comme il a été dit, à l'idée de montrer au lecteur que ce qui est dit ici, même en ayant été inspiré par des expériences concrètes, peut avoir beaucoup de validité générale.

Finalement, il se trouve que le chemin particulier de l'IES-UPM a beaucoup traversé le Maroc. En fait, la belle région au sud de l'Atlas est pour ainsi dire notre seconde maison depuis déjà huit ans. Nous n'avons pas de honte à avouer que c'est, précisément, la tentative de maintenir notre présence au Maroc qui nous a servi de stimulant afin de vaincre la paresse que nous produisait la perspective de devoir vaincre l'énorme paperasserie – par ailleurs illustré – que nous oblige la coordination d'un projet comme celui-ci. Du Maroc, et de la région où nous avons mené à bien ce projet, nous en savions déjà beaucoup avant de l'entamer. Il faut dire que tout ceci n'aurait pas été possible sans la généreuse et continuelle collaboration de Tichka, l'ONG locale chargé du dialogue direct avec les utilisateurs. La propre inertie des faits a fait que c'est précisément au Maroc où nous avons installé davantage d'équipements et avec une plus grande rapidité. C'est pour cela que le Maroc est très présent dans cette brochure.

3. Le système de l'eau |

Toute technologie peut être comprise comme un «système» constitué par trois éléments bien différenciés. Le *hardware*, ou ensemble de moyens techniques avec ses caractéristiques particulières. Le *software*, ou ensemble de méthodes et de procédures qui régissent l'emploi de moyens techniques, c'est-à-dire, le comportement et le savoir faire des utilisateurs. Et l'*orgware*, ou structure organisatrice sur laquelle repose la maintenance du service et au travers duquel le système agit avec d'autres services de nature différente.

Tout groupe humain, même très pauvre ou primitif, dispose d'une certaine infrastructure technologique (récipients, poulies, seaux, brouettes, etc.) pour s'approvisionner en eau, et cette infrastructure est accompagnée par d'autres éléments du système (coutumes, horaires, responsables, points de vente, etc.). Par conséquent, tout projet de pompage photovoltaïque représente une modification, presque toujours très importante, d'un système technologique préexistant. Ainsi, le processus d'implantation d'un projet, ne ressemble pas à un écrit sur une feuille toute blanche, mais consiste plutôt à écrire sur un papier sur lequel existent déjà tracées quelques lignes. Comprendre quelles sont ces grandes lignes, quelles marques laissent-elles sur le papier, etc., est, évidemment, un besoin afin que le nouveau document s'avère compréhensible et que le papier se dégrade le moins possible.

En général, le maniement traditionnel (antérieur au projet photovoltaïque) de l'eau pour une utilisation domestique est adaptée à la combinaison de deux systèmes associés à des utilisations finales différentes: la consommation humaine (boisson, thé, cuisson d'aliments et lavage d'ustensiles de cuisine) et autres utilisations (hygiène personnelle, lavage de vêtement, abreuvoir du bétail, arrosage de petits jardins, etc.). Les deux systèmes sont généralement bien différenciés depuis leur origine. Les sources d'eau pour la consommation humaine sont choisies en tenant compte principalement de la meilleure qualité (saveur et aspect) de l'eau, tandis que le choix des sources destinées à d'autres utilisations s'occupe plus du moindre effort requis pour son élévation et son transport.

Dans le Sahara (Photos 1 à 4) l'eau pour la consommation humaine est souvent extraite manuellement des puits dont l'eau a un meilleur goût (parfois un seulement pour toute la population), avec pour unique aide une corde, une poulie et un seau avec lequel on remplit plusieurs bidons en matière plastique, normalement de 5 litres, qui sont transportés par des ânes jusqu'aux logements ou bien, si la distance est inférieure à des centaines de mètres, avec des brouettes. Ces mêmes bidons servent à stocker l'eau dans les logements jusqu'au moment de leur utilisation. Lorsqu'il s'agit de la boire directement, elle est transvasée à une cruche en argile poreuse qui la rafraîchit grâce à l'évaporation qui favorise la faible humidité relative caractéristique du climat de cette région. Femmes et enfants sont les personnes chargées d'aller aux puits chercher de l'eau, et cette tâche s'accomplit généralement deux fois par jour. Le système associé à d'autres utilisations diffère de celui décrit précédemment où les travaux d'extraction et de transport sont réduits autant que possible (puits et rivières proches au logement indépendamment de la qualité de son eau, abreuvoirs voisins à la rivière, etc.) et se sont les hommes qui se chargent principalement de cela.



Photo 1. Extraction manuelle de l'eau.



Photo 2. Distribution à base de bidons en plastique.



Photo 3. Transport de l'eau en profitant de la force animale.



Photo 4. Stockage en bidons de plastique et en récipients en argile.

Par ailleurs, nous rencontrons souvent des systèmes basés sur des pompes d'axe vertical propulsées par des moteurs diesel, au travers de courroies de transmission comme nous pouvons l'observer dans la photo 5.

Cette technologie, considérée comme désuète de nos jours, est peu fiable et favorise de mauvaises habitudes dans le maniement de l'eau. D'une part, les propres moteurs et leur entourage donnent lieu à des atmosphères très sales (taches huile, combustible, etc.) et, d'autre part, les transmissions mécaniques par courroie obligent à ce que les puits soient maintenus ouverts et, par conséquent, soient exposés à l'entrée de toute cette saleté. Par le passé, ces pompes ont représenté une grande aide pour les populations rurales, et il est certain que la nécessité de les gérer (opération, combustible, réparations, etc.) a favorisé, très souvent, de bonnes habitudes d'organisation, comme mesurer la consommation de l'eau et la tarifier; mais attention la longue coexistence avec ces mauvaises habitudes dans le maniement de l'eau a contribué à reléguer la qualité sanitaire de l'eau au dernier lieu des préoccupations des utilisateurs.



Photo 5. Pompe actionnée moyennant un moteur diesel au travers d'une courroie de transmission.

Dans l'Amazonas la consommation humaine d'eau provient généralement d'une source ou d'une toute petite rivière dont l'eau est la plus claire possible, mais également du stockage d'eau de pluie (Photo 6); tandis que la source d'eau pour le reste des utilisations est indéfectiblement la rivière («igara-pe») la plus proche (photo 7 et 8), vers laquelle les personnes vont pour se laver, pour laver les vêtements et autres ustensiles. Tout cela peut paraître étonnant, pour un non initié —habitué à associer l'Amazonas avec une grande et confortable disponibilité d'eau— mais il est fréquent, particulièrement à la fin des périodes de sécheresse, que les distances que doivent parcourir les habitants pour accéder à l'eau soient de plusieurs kilomètres (photo 9). Il en va de même pour l'eau, généralement stagnante, qui a un aspect très trouble et résulte de mauvaise qualité.



Photo 6. Captation de l'eau de pluie.



Photo 7. «Barreiro» creusé près de la rivière pour une utilisation domestique.



Photo 8: Eau du «igarapé» en période sèche. L'eutrofication est évidente.



Photo 9: Femmes transportant de l'eau aux logements.

3.1. Priorités

Des études plus détaillées de ces systèmes, dans lesquels sont analysées les particularités de leurs trois composants et les conséquences qui s'en dérivent au moment de l'implantation des projets de pompage photovoltaïque dans ces zones, peuvent être trouvées dans les références^{2,3} directement accessibles par Internet. Ici, nous nous limiterons à souligner que les priorités, à notre avis, que perçoivent les utilisateurs ruraux s'adaptent à l'ordre suivant: fiabilité de l'approvisionnement, saveur de l'eau, effort engagé dans son maniement et, finalement, la qualité sanitaire de l'eau. L'établissement de cet ordre de priorités ne dérive pas de questions posées directement aux utilisateurs, méthode qui peut s'avérer très équivoque⁴, mais de l'observation de certains détails particulièrement significatifs.

3.1.1. Fiabilité

Par exemple, au Sahara nous avons constaté que lorsque le puits se situe en dehors du village, c'est-à-dire, à une certaine distance des logements, chaque famille qui va chercher de l'eau amène sa corde et son seau pour sortir l'eau du puits. Cette procédure représente un attentat contre la qualité sanitaire de l'eau, dans la mesure où le maniement de ces éléments (que l'on garde d'un jour à l'autre dans les écuries des animaux, etc.) entraîne toute sorte de saleté à l'eau. Toutefois, ce processus représente un grand avantage puisqu'il garantit la sécurité de disposer de ces éléments à l'arrivée au puits, contrairement à ce qui se produirait avec un équipement communautaire, dont le maintien dans de bonnes conditions est toujours plus difficile à assurer. La scène de marcher jusqu'au puits et de se trouver sans aucun moyen pour sortir de l'eau serait assez probable. Par conséquent, on peut interpréter comme une manifestation de la priorité que les utilisateurs accordent à la fiabilité, dans ce cas, au détriment de la qualité sanitaire de l'eau. Pour des raisons semblables on observe une préférence marquée pour les approvisionnements en eau dans des puits situés dans des terres communales et non d'un seul propriétaire, qui pourrait être tenté d'empêcher l'accès à l'eau et créerait ainsi des situations de conflit.

-
2. Fedrizzi, M.C. *Sistemas fotovoltaicos de abastecimiento de água para uso comunitario: Lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão*. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2003/Teses/Tese_Cristina_Fedrizzi.pdf.
 3. Narvarte Fernández, Luis. *Hacia un paradigma en la electrificación rural descentralizada*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2001. <http://138.4.46.62:8080/ies/index.html>.
 4. Le lecteur qui met en doute cette affirmation devrait essayer de demander à ses connaissances quelle importance conçoivent-elles au contenu des émissions de télévision, puis de comparer les résultats avec le temps qu'elles passent devant ces émissions.

3.1.2. Goût

Le goût de l'eau est dû en grande partie à la concentration de sels dissous en elle. Plus grande est la salinité, pire est le goût. La salinité s'exprime en grammes de sel par litre d'eau, g/l. La mesure de la conductivité, ou la conductibilité spécifique, de l'eau est un moyen pour apprécier sa salinité. À une plus grande salinité une plus grande conductivité. La conductivité est exprimée en microsiemens⁵ par centimètre $\mu\text{S}/\text{cm}$, et il existe des équipements qui la mesurent directement. Le tableau 1 représente une interprétation approximative de la relation entre la conductivité, la salinité et la qualité, en termes de goût, de l'eau.

Tableau 1. Relation entre la salinité et le goût de l'eau.

Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Salinité g/l	Qualité
de 0 a 400	De 0 a 0,25	bonne
de 400 a 750	de 0,25 a 0,5	moyenne
de 750 a 1500	de 0,5 a 1	mediocre
plus de 1500	plus de 1	mauvaise

La dissolution des sels dans l'eau dépend essentiellement de la composition de la roche qui reçoit l'aquifère et du temps que l'eau demeure en contact avec la roche. Dans certaines circonstances, l'extraction d'eau est la cause de la salaison des aquifères et c'est pour cette raison qu'il n'est pas rare de trouver des puits qui ont été abandonnés.

L'importance que les gens accordent au goût de l'eau est mise en évidence par ce fait: dans presque tous les lieux que nous connaissons, la source d'eau, destinée à la consommation humaine, est unique et elle est choisie en fonction presque exclusivement du goût et indépendamment de la distance de la source aux logements qui parfois atteint plusieurs kilomètres.

3.1.3. Effort

Une fois que l'eau est garantie en quantité, et lorsqu'il s'agit de consommation pour l'homme également le goût, les populations cherchent à diminuer les efforts qu'elles doivent engager pour son extraction et son transport. Un tel effort est généralement très grand en soi déjà, mais il l'est encore plus quand il est analysé dans le contexte de faible disponibilité énergétique qui touche les populations rurales. La section 3.3 approfondit cette analyse.

3.1.4. Qualité sanitaire

Même si cela peut paraître rare pour ceux d'entre nous qui vivons dans les villes et sommes habitués à acheter de l'eau en bouteilles, afin de garantir son hygiène, cette qualité occupe une place très peu importante dans les préoccupations des populations rurales. Comprendre ceci ne doit pas être synonyme de l'accepter avec résignation, mais c'est d'une grande importance dans les projets d'approvisionnement d'eau. La section 3.4 traite spécifiquement cet aspect.

Nous avons déjà exposé que le processus d'implantation d'un projet de pompage peut être compris comme celui d'un changement de système technologique à un autre. Le premier est associé aux procé-

5. Le *siemens* est l'unité de mesure de conductibilité dans le Système International. Il équivaut à ce qui est réciproque pour l'ohm.



dures traditionnelles pour être doté en eau tandis que second l'est à la pompe photovoltaïque. Ainsi donc, un principe de base de la théorie des systèmes nous démontre que tout processus de changement passe obligatoirement par une phase transitoire et instable qui peut conduire à un nouveau système stable (la pompe photovoltaïque fonctionne correctement, les utilisateurs se sentent satisfaits et il existe une structure de maintien efficace) ou bien à la destruction ou à l'abandon du nouveau système.

Dans la première situation nous disons que le projet a été réussi tandis que dans la deuxième nous parlons d'échec. Et un autre principe de base de la théorie des systèmes démontre que si nous arrivons à l'une ou à l'autre situation c'est essentiellement dû au «degré de nouveauté» contenu dans l'innovation, soit la mesure des différences entre le système initial (ce qui est traditionnel) et le système final (celui de la pompe photovoltaïque). Lorsque le degré de nouveauté est grand, le risque d'échec peut être plus grand. D'où cette conclusion : pour qu'un projet ait du succès il faut essayer de diminuer ces différences⁶.

De cette idée peuvent dériver des règles concrètes pour la mise en route. *Respecter les priorités* des utilisateurs est sans doute la plus importante. Ceci veut dire que la conception (de la pompe photovoltaïque et du reste des équipements: puits, réservoirs, tuyauteries, etc.) doit prioritairement s'occuper à la fiabilité; que la pompe, si elle est destinée à la consommation humaine, doit précisément être installée dans le puits qui fournit l'eau qui a le meilleur goût; et que si l'on prétend que les personnes utilisent prioritairement l'eau de la pompe photovoltaïque, il faut diminuer dans la mesure du possible le trajet entre les points d'approvisionnement et les logements.

En fait, le respect de ces priorités est tellement important que toute tentative d'avancer dans les aspects formatifs et d'organisations, qu'entraîne un quelconque projet, est condamné à l'échec si au préalable les utilisateurs ne sont pas convaincus que l'eau sort toujours par les robinets et qu'elle a un bon goût. Ainsi, le processus d'implantation d'un projet peut être assez rapide si, dans le voisinage, il existe déjà une autre pompe photovoltaïque qui fonctionne bien (les commérages auront convaincu les utilisateurs de la bonté de cette technologie); mais il sera plus lent là où il n'existe pas d'expérience photovoltaïque préalable (il faudra maintenir la pompe en parfait état de marche pendant quelques mois, afin que les utilisateurs voient par eux-même qu'il s'agit d'un équipement fiable, avant de s'embarquer dans des activités effectives de formation et d'organisation); et cela sera encore beaucoup plus lent là où il y aura précédemment eu une mauvaise expérience photovoltaïque (l'attente devra être prolongée jusqu'à ce que les utilisateurs soient convaincus qu'il n'arrivera rien de mauvais à leur pompe comme précédemment). Pratiquement toutes les cultures ont un certain proverbe du style «celui qui donne d'abord donne deux fois». Ils ont raison!

Il existe d'autres façons d'agir qui dérivent de l'idée d'essayer de diminuer le degré de nouveauté, comme par exemple:

-
6. La vie quotidienne est remplie de situations qui peuvent servir de comparaison. Par exemple, l'agréable coutume de prendre le soleil à la plage est quelque chose qui, sauf de rares exceptions, ne se fait pas en hiver mais plutôt en été. Donc si le premier jour où nous allons à la plage nous restons de nombreuses heures au soleil (ce qui pour une peau déshabituée représente un degré de nouveauté très élevé) le résultat est une brûlure désagréable. Or, si le premier jour nous ne restons au soleil que quelques minutes (faible degré de nouveauté), et les jours suivants nous augmentons peu à peu le temps d'exposition (le degré de nouveauté qui est maintenu, d'un jour à l'autre, est relativement faible), le résultat est un attrayant bronzage. Par conséquent le résultat final (brûlure ou bronzage) dépend essentiellement du degré de nouveauté que la peau doit «digérer» dans chaque cas. Pour la même raison, presque tout ce qui se fait à la va-vite est de moindre qualité par rapport à ce qui se fait posément.
 7. Machiavel, en parlant sur la timidité avec laquelle les bénéficiaires d'une nouveauté défendent leur promoteur, dit: *cette timidité naît en partie de l'incrédulité des hommes qui —en réalité— ne croient jamais en ce qui est nouveau jusqu'à ce qu'ils acquièrent une ferme expérience dans ce domaine (Le Prince, VI).*

- Les personnes ou les groupes sociaux en rapport avec l'organisation de l'eau, doivent être reconvertis pour qu'ils maintiennent une position effective équivalente dans l'organisation associée à la nouvelle pompe. En particulier, le rôle prioritaire que jouent les femmes dans l'approvisionnement traditionnel d'eau aux logements fait que celles-ci doivent se sentir intégrées entièrement dans l'organisation du nouveau système.
- Si l'approvisionnement en eau est associé à des coutumes sociales bien enracinées —par exemple, le fait d'aller au puits est une occasion pour des réunions quotidiennes—, il convient de choisir pour la distribution de l'eau des sources publiques situées dans les mêmes lieux où se manifestent de telles coutumes.
- Si les habitudes demeurent dans les logements, il convient de penser des systèmes de distribution qui portent l'eau à l'intérieur des maisons.

À nouveau, si le lecteur est intéressé et veut approfondir ces sujets, il pourra consulter les références⁸.

3.2. Consommation de l'eau

La description des sujets de l'eau pour son utilisation domestique sur la base de la combinaison de deux systèmes est utile, aussi, pour comprendre la consommation d'eau et, par conséquent, pour estimer celle qui devra fournir une pompe photovoltaïque. Le tableau 2 résume les observations sur le terrain.

Tableau 2. Consommations en eau pour utilisation domestique observées sur le terrain.

Système	Litres par personne et jour	
	Moyens manuels	Moyens mécaniques
Consommation humaine	de 5 à 10	de 15 à 20
Autres utilisations	très variable	de 10 à 25

L'accroissement de la consommation parallèlement à l'utilisation de moyens mécaniques (pompes à diesel, électriques, etc.) est la conséquence de la diminution de l'effort pour les personnes. Evidemment, pour un plus petit effort il y aura une plus grande consommation.

Pour estimer la future consommation en eau, il est très important de considérer l'organisation que va adopter le réseau de distribution et l'existence d'autres sources d'eau s'il y a lieu. Dans l'hypothèse que le puit choisi, pour installer la pompe photovoltaïque, fournisse suffisamment d'eau et en plus de bonne qualité, le réseau de distribution qui permet de porter cette eau jusqu'à l'intérieur des logements fait que l'eau qui sort des robinets est à la fois celle qui a le meilleur goût (utilisée, par conséquent, pour la consommation humaine) et celle qui est obtenue par un plus petit effort (et, par conséquent, utilisée pour d'autres objectifs). Il faudra alors penser à pomper jusqu'à 45 litres d'eau par

8. Everett M. Rogers. *Diffusion of innovation*. 3ème édition, The free press. 1995.



personne et jour. Toutefois, dans les lieux où le réseau de distribution va se limiter à porter de l'eau jusqu'à des sources publiques et qu'il existe, en outre, d'autres sources d'eau facilement accessibles, 20 litres par personne et par jour sera un débit suffisant.

Nous observons que les données disponibles dans la littérature concernant les consommations d'eau observées dans les milieux ruraux sont peu abondantes, et ce qu'il y a^{9,10,11} montrent une grande variabilité, laquelle reflète le vaste éventail de situations que l'on trouve sur le terrain, y compris dans une même région. Dans ce contexte, certainement diffus, les chiffres de 20 et 45 litres par personne et par jour, suggérés ici comme base pour faire face à la conception des pompes photovoltaïques, conduisent généralement à des situations franchement confortables pendant les premières années de fonctionnement des projets. Cependant, il faut considérer que la grande dynamique des populations rurales (touchées par des phénomènes comme une natalité importante, le retour des émigrants pendant les périodes de vacances, accroissements ponctuels pendant les époques de récolte, etc..) oblige à reconsidérer le scénario de devoir fournir de l'eau pour davantage de personnes que la population stable comptabilisée au moment de l'implantation du projet¹². D'autre part, il faut aussi considérer que, comme nous le verrons, le coût de surdimensionner les pompes est relativement petit, puisqu'il n'affecte que la taille du générateur photovoltaïque et que celui-ci ne représente pas plus de 20% du coût total des projets.

3.3. Eau et énergie

L'effort que doivent engager ceux qui s'approvisionnent en eau au travers des moyens traditionnels est bien apprécié quand il est analysé dans le cadre des limitations énergétiques propres de la nature humaine. Les considérations suivantes sont assez opportunes:

- La meilleure façon productive de travailler mécaniquement est de le faire en douceur et sur un espace de temps prolongé. Environ 7 heures de travail effectif est un temps optimal en ce qui concerne le travail quotidien. Dans ces conditions, la puissance mécanique que développe une personne type est approximativement de 70 W, s'il s'agit d'un homme, et de 60 W, s'il s'agit d'une femme. Ces chiffres supposent que le travail est essentiellement effectué avec les jambes, que l'évolution a modelé pour les rendre assez efficaces énergétiquement, bien qu'au prix d'être assez maladroitement, ce qui limite le spectre des activités qui peuvent être réalisées avec elles, soit ce que l'on appelle «travail brut». Quand il s'agira d'effectuer des tâches qui requièrent une certaine habileté il est nécessaire de recourir aux bras et aux mains et, alors là, la puissance mécanique externe que développent les hommes ne va pas au-delà de 20 W dans les hommes, et de 15 W pour les femmes¹³.

9. A. Hänel, L. Hoang-Gia, F. Kaboré, B. S. Sy, «The performance of PV pumping systems in the CILSS-Regional Solar Programme: One year of monitoring results in 10 systems», 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 482 – 485, Nice (1995).

10. M. Fedrizzi, R. Zilles, H. Noda, «PV Systems implementation experience in the Brazilian Amazon Rain Forest», *VI World Renewable Energy Congress*, 875 – 878, Brighton, (2000).

11. Narvarte, L.; Lorenzo, E.; y Aandam, M.: «Patrones de consumo de agua en sistemas rurales de bombeo fotovoltaico», *Era Solar*, 109, 20 – 29 (2001). Accesible también en www.ies-def.upm.es.

12. À Iferd, un village au sud du Maroc, une pompe photovoltaïque a été installée à février du 1997. Le nombre de logements au départ de 55 a augmenté depuis lors jusqu'au 80 actuellement. La pompe primitive, de 3,3 Kw, a dû être changée par une autre de 8,5 Kw.

13. Les chiffres doivent être commentés: en effet, si les puissances paraissent petites par rapport à la puissance des machines qui peuplent l'environnement quotidien des sociétés modernes (une perceuse électrique: 500 W, un réfrigérateur: 200 W; une voiture: 20.000 W, etc.), elles sont par contre favorable si on les compare avec d'autres animaux, ce qui aide à expliquer l'avantage acquis par les hommes en ce qui concerne le côté compétitif pour l'obtention de ressources de la nature.

- L'effort que requiert l'élévation de l'eau, W , est donné par son gain en énergie potentielle divisée par le rendement de la machine utilisée pour l'élever, η , c'est-à-dire :

$$W = \frac{m \cdot g \cdot h}{\eta}$$

Où g représente la constante de la gravité, et m et h la masse et la hauteur de l'eau respectivement. Par exemple, pour hisser manuellement 100 l d'une profondeur de 20 m, sans autre aide que celle fournie par un seau, une corde et une poulie, il faudra :

$$W = \frac{0,1 \text{ m}^3 \frac{1000 \text{ Kg}}{\text{m}^3} 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 20 \text{ m}}{0,3} = 65 \text{ kJ} = 18 \text{ Wh}$$

Considérant les puissances indiquées précédemment, cela requiert plus d'une heure de travail d'une femme. Pour ce calcul nous avons estimé que le rendement de l'ensemble seau/corde/poulie ne dépasse pas 30%, vue la tare importante que cela représente.

- L'effort exigé par le transport de l'eau peut être estimé en pensant qu'une personne chargée avec un seau d'eau sur la tête (~ 12 kg) peut marcher environ 3km/h.

Ces chiffres aident à comprendre la succession historique des machines élévatrice de l'eau. D'abord (2600 av. J.-C.) ce fut la cigogne, actionnée à la main mais qui utilise un contrepoids pour compenser la tare que représente le récipient dans lequel l'eau est extraite. Ensuite (≈ 330 av. J.-C.) les pompes à pédales qui, à l'aide des jambes, ont permis d'augmenter la puissance mécanique applicable et, par là, les volumes d'eau. Aussi bien les pompes manuelles que les pompes à pédales, bien que du point de vue technologique plus évoluées, sont toujours d'actualité là ou n'arrivent ni l'électricité ni le gazole .. ni les panneaux photovoltaïques. On peut considérer les trois moyens comme des formes de substitution du travail humain, qui comme chacun sait de nos jours est rare, par d'autres moyens plus abondants en travail mécanique. Au prix, bien entendu, d'augmenter la complexité du système technologique correspondant.

Ainsi, le simple approvisionnement domestique d'une famille de 10 personnes, depuis un puits de 20m de profondeur et situé à 1 km de distance du logement, équivaut au travail d'une femme pendant environ 6 heures. Par opposition, un système de pompage photovoltaïque nourri par un générateur de 1 KW de puissance nominale et qui élèverait l'eau jusqu'à un réservoir situé à 10 m du sol (pour favoriser le transport de l'eau jusqu'au point de consommation) pourrait effectuer la même tâche en 2 minutes seulement, et pourrait travailler quotidiennement à ce rythme pendant environ 5 heures. Donc, cette pompe effectuerait un travail de 1200 Wh seulement (équivalent à la consommation électrique quotidienne d'un réfrigérateur conventionnel). Mais il pourrait remplacer le travail d'environ 300 femmes!

Naturellement, l'éventail de situations auxquelles nous pouvons être confrontées dans la réalité est très vaste (différentes distances et hauteurs, divers moyens de transport: ânes, brouettes, etc.), de telle sorte qu'il ne sera pas difficile pour le lecteur d'imaginer et d'analyser beaucoup d'autres hypothèses aussi représentatives que celle développée ici. La dernière conclusion sera toujours que l'apport d'é-



nergie externe aux milieux ruraux, même si les quantités peuvent paraître petites en termes absolus, produit des bénéfices très importants en termes d'allègement de la situation des personnes. L'excédent de temps correspondant, par rapport à la situation précédente, peut être employé à faire d'autres choses qui aboutissent à l'amélioration des conditions de vie: loisir, hygiène, éducation, affaire, etc.

Dans ce soulagement et dans ses conséquences réside, en dernier recours, le potentiel d'aide au développement qu'enferment les pompes photovoltaïques. En outre, elles représentent une possibilité réelle d'amélioration de la qualité sanitaire de l'eau que boivent les personnes, si l'infrastructure (tubes, réservoirs, robinets, etc..) est conçue avec toute l'attention requise.

3.4. Eau et hygiène

Ce n'est qu'à partir du XIX^e siècle que les Européens adoptent la salle de bain dans leur domicile. Et tant que Pasteur n'a pas démontré que l'on buvait 90% des maladies, aucun véritable programme d'assainissement et de contrôle des eaux n'a été entrepris. Mais, en devenant plus propres, les hommes ont sali d'énormes volumes d'eau (...). La pollution des eaux constitue un des aspects les plus inquiétants de notre civilisation. Quelque 20 milliards de tonnes de résidus divers terminent chaque année dans les océans.

Marie-France, Dupuis-Tate y Bernard Fischesser

La photo 10, représente des femmes chargeant de l'eau d'une source et qui situent les ânes dans l'eau, comme un moyen pour faciliter la charge, même si la procédure agit en détriment de la qualité hygiénique de l'eau. Ce fait, choquant à première vue, se comprend lorsque l'on considère l'ampleur de l'effort que requiert l'approvisionnement en eau au moyen de méthodes manuelles, comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent.



Photo 10. Précarité dans l'hygiène de l'eau chargée pour la consommation.

La photo 11 montre des bidons en matière plastique recyclés pour transporter l'eau aux logements. La photo a été obtenue au Centre-ouest du Brésil, et n'aurait rien de particulier si ce n'était que parce que les bidons proviennent du transport de pesticides ! Ses bonnes propriétés mécaniques (exigées par le maniement de substances toxiques) facilitent l'effort investi dans le transport d'eau et compensent le risque d'empoisonnement. Le traitement de recyclage qu'effectuent les utilisateurs se limite à les laver avec de l'eau et du savon jusqu'à ce que disparaisse l'odeur du pesticide.



Photo 11. Bidons de pesticide utilisés pour transporter de l'eau.



Photo 12. Fille buvant de l'eau directement du «igarpé».

A l'inexistante attention que prêtent les personnes à l'hygiène de l'eau, s'ajoute le fait que, pour arriver à table, l'eau passe au travers d'une infrastructure ouverte dans de nombreux points (dans le cas de la photo 10, la source elle-même et dans la photo 12 le fleuve, dont les eaux s'utilisent directement avec les risques qui s'en suivent) qui, par conséquent, permet à la saleté d'entrer avec beaucoup de facilité. Les photos 13 et 14 sont d'autres exemples de tout ceci.



Photo 13. Dépôt d'eau avec les ventilations ouvertes avec des risques, comme on peut le remarquer, avec chute d'insectes.



Photo 14. Mauvaises conditions de stockage de l'eau pour la consommation humaine.

Dans une perspective urbaine, cela peut paraître bizarre que les personnes des milieux ruraux se montrent conformes avec des situations comme celles décrites ici. Toutefois, il faut se rappeler que ce qui aujourd'hui est une ville moderne, a été traditionnellement un lieu très malsain jusqu'à ce que, à la fin du XIX, l'utilisation de machines à vapeur nourries au charbon a été amplement diffusée. Cela a permis de fournir de l'eau en quantité et en qualité, d'installer des réseaux de distribution et de ramassage d'eau, et d'étendre le service à la majorité des logements. Ce qui est certain c'est que lorsque l'on vit dans des conditions malsaines et que l'énergie dont on dispose est faible, la préoccupation pour l'hygiène de l'eau n'a pas trop de sens. Les hommes ont tendance à avoir une natalité importante et, dans ces conditions, c'est beaucoup plus rentable énergétiquement de remplacer les pertes que cause l'insalubrité plutôt que de la combattre directement. Ce n'est pas un hasard si les taux de natalité les plus importants se retrouvent, précisément, parmi les populations les plus pauvres.

Or, comprendre cette situation ne veut pas dire nécessairement qu'on se résigne. L'ingénieur photovoltaïque, quand il concevra une pompe destinée à l'approvisionnement humain, disposera d'une



excellente occasion pour altérer cette situation et pour combattre directement l'insalubrité. La possibilité d'effectuer des infrastructures (source incluse) fermées, qui ne permettront pas l'entrée de saleté dans l'eau sera une des ces occasions. Additionnellement, il pourra inclure dans le système, des facilités pour la chloration. Etant donné la section 3.1, il ne faut pas espérer que les utilisateurs partageront, en principe, leur préoccupation pour la qualité sanitaire. Toutefois, à condition de respecter les autres priorités des utilisateurs (en particulier, la fiabilité de l'approvisionnement), il est parfaitement possible de rentabiliser le climat de confiance et de crédibilité, crédité par le bon fonctionnement des pompes, pour essayer d'instruire les utilisateurs (qui disposent maintenant d'un excédent de temps libéré par la pompe photovoltaïque) pour les aider à incorporer la qualité sanitaire de l'eau à leurs préoccupations quotidiennes.

Le paragraphe 4.2.1 présente un matériel didactique pensé pour servir d'aide dans cette tâche. Développé dans le cadre de ce projet MEDA, il a été très bien accueilli par les utilisateurs, lorsque nous l'utilisons dans des séminaires destinés à améliorer leur éducation et leur capacité de gestion. Il faut dire que les séminaires ont été effectués quand toutes les pompes fonctionnaient parfaitement depuis plusieurs mois, et donc les utilisateurs étaient enthousiastes avec la nouvelle technologie, et la confiance présidait leur relation avec les promoteurs du projet.

4. Projets photovoltaïques pour fournir de l'eau

Sans préjudice pour la perspective systémique préconisée dans le paragraphe précédent, les activités incluses dans un projet peuvent se présenter classées dans deux grands blocs, selon qu'elles affectent les équipements ou les personnes, respectivement. Nous allons maintenant présenter les choses de cette façon, car l'avantage de s'appuyer sur un vocabulaire auquel le lecteur est généralement très habitué est grand. En abusant du langage, nous utiliserons le terme « ingénierie » pour ce qui concerne les équipements et « anthropologie » pour les personnes. Il convient, cependant, d'éviter la tentation de penser que les deux concepts peuvent être traités isolément par différents spécialistes. C'est-à-dire, l'un par des « ingénieurs » et l'autre par des « anthropologues ». En fait, ceci a déjà été essayé plusieurs fois dans le cadre de l'électrification rurale photovoltaïque, au travers de la création d'équipes multidisciplinaires, sans qu'on soit, en aucun cas, arrivé à des résultats particulièrement brillants. Quiconque a travaillé dans une équipe multidisciplinaire sait parfaitement qu'il s'agit d'une tâche très difficile. Selon F. Butera¹⁴:

Chaque composant se communique avec l'autre en utilisant le langage de sa propre discipline, et accorde à sa discipline une grande importance. Quand le groupe commence à travailler conjointement, c'est en principe un mélange hétérogène d'individus, chacun parlant son propre langage, qui s'avère inconnu pour les autres (non reconnaissance du message). Ceci est d'autant plus compliqué qu'en apparence il existe effectivement une compréhension mutuelle. En fait, un même mot peut avoir un sens dans le cadre de l'historique éducatif de celui qui la dit, et un autre différent dans le cadre de l'historique éducatif de celui qui l'écoute.

Par conséquent, il faut insister sur le fait que toute personne qui se verra impliquée dans l'implantation de systèmes de pompage photovoltaïques devra, à la fois, comprendre l'ingénierie et l'anthropologie. Et même si elle s'intègre dans une équipe avec des personnes ayant d'autres connaissances. Ceci dit, il est bon de faire remarquer que tous les signataires de ce travail ont un historique académique propre d'un ingénieur, et que tous ont fait partie parfois d'équipes multidisciplinaires.

4.1. Ingénierie

Les systèmes de pompage photovoltaïques sont généralement constitués par les composants suivants (Photo 15):

14. F. M. Butera, *Renewable Energy Sources in Developing Countries: Successes and Failures in Technology Transfer and Diffusion*, Progetto Finalizzato Energetica, pg 134, Roma (1989).

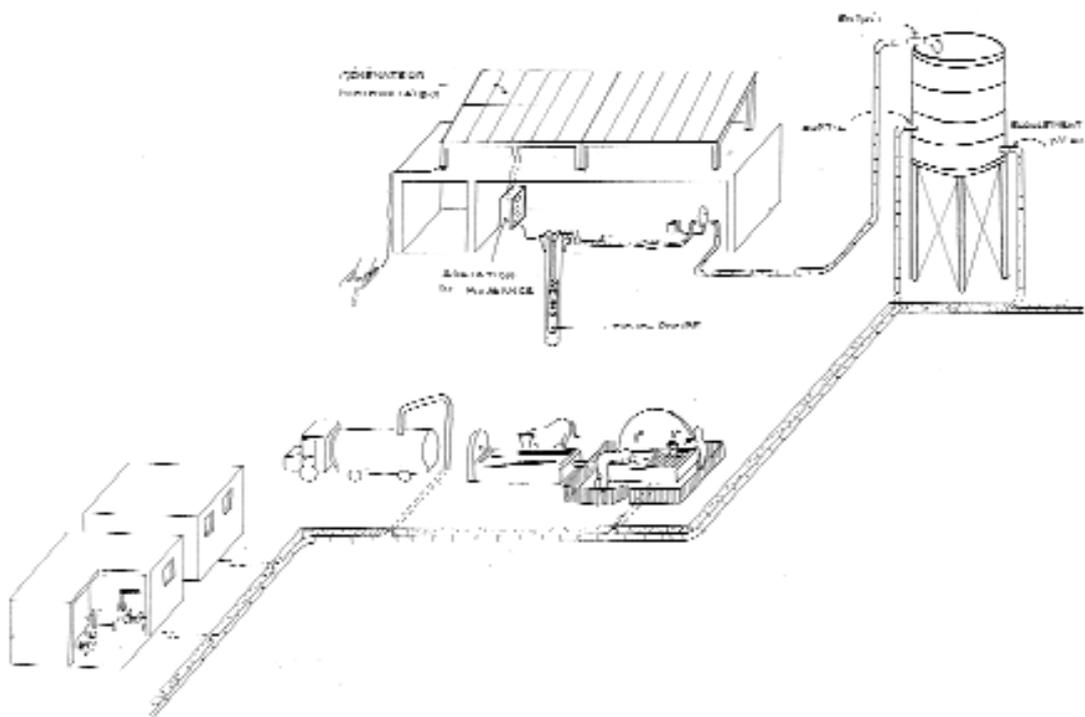


Illustration 15. Parties d'un système de pompage photovoltaïque.

- Un *générateur photovoltaïque* composé, à son tour, par des modules photo-voltaïques interconnectés jusqu'à constituer électriquement une unité de production DC et une structure mécanique de support.
- Un *aménagement de puissance*, constitué par un convertisseur DC/AC, capable de varier la fréquence et la tension de sortie, en fonction de la puissance disponible dans le générateur qui, à son tour, dépend de l'irradiance solaire qui l'influence.
- Une *motopompe* submersible, constituée par une étroite association entre un moteur électrique d'induction et une pompe, centrifuge ou à déplacement positif.
- *Câblage électrique* au travers duquel circule l'énergie du générateur jusqu'au moteur, et qui incorpore des fonctions de surveillance et de sécurité
- Une *infrastructure hydraulique* qui conduit l'eau depuis sa source, normalement un puits, jusqu'aux points d'approvisionnement et qui, à son tour, est constituée par quatre éléments: La source d'eau elle-même, la conduite entre la source et l'entrée d'un réservoir d'accumulation, ce réservoir, et la conduite depuis ce réservoir jusqu'aux points d'approvisionnement. Dans cette définition, le terme « conduite » se réfère à l'ensemble de tuyauteries, de dispositifs de mesure, et d'interface avec l'utilisateur: robinets, sources, etc..
- Un *système de potabilisation* de l'eau, là où les conditions sanitaires le rendent nécessaire.

La majorité des pompes photovoltaïques actuelles en ce qui concerne l'approvisionnement en eau potable à des populations rurales répondent à ce schéma, et leur rang d'opération se situe entre 50

et 4000 m³ (volume x hauteur) par jour. D'autres Phototions (pompes non submersibles, batteries, pompes avec bélier, etc.) sont évidemment possibles, et sont même présentes sur certains secteurs du marché, principalement quand les volumes à pomper sont petits: logements individuels, etc. En particulier, pour des rangs d'opération entre 50 et 400 m³ par jour, le marché offre quelques bons équipements avec des pompes qui opèrent directement en DC ; soit parce qu'ainsi le font les moteurs, soit parce qu'elles incorporent physiquement l'aménagement de puissance dans le même bloc. Pour une description plus détaillée concernant l'art du pompage photovoltaïque, nous conseillons au lecteur de lire les références en bas de la page¹⁵.

L'ingénierie des systèmes photovoltaïques doit être orientée pour que l'obtention de ces équipements s'avèrent fiables, surs pour les personnes, efficaces énergétiquement, faciles à installer et à maintenir, et que l'eau qu'ils fournissent soit de bonne qualité.

Très fréquemment, les projets de pompage photovoltaïque sont structurés de telle sorte que la sortie du puits ou l'entrée du réservoir représentent une frontière entre deux activités bien différenciées et attribuées à différents responsables. D'une part, l'ensemble constitué par le générateur photovoltaïque, l'aménagement de puissance, la pompe, le câblage et les tuyauteries qui amènent l'eau depuis la source jusqu'à cette frontière, est souvent fourni comme un tout et attribué généralement à l'entreprise photovoltaïque qui présente l'offre la plus avantageuse. D'autre part, toute l'infrastructure hydraulique depuis cette frontière jusqu'aux robinets est généralement laissé entre les mains des utilisateurs, avec l'aide parfois d'autorités locales ou d'ONG. Quelque soit le cas concret, cette frontière dans les responsabilités représente une sérieuse menace pour le service d'eau que fournit le système dans son ensemble, étant donné les capacités techniques limitées des utilisateurs, ainsi que les particularités héritées de la situation précédente lors de l'implantation de la pompe photovoltaïque.

Pour chacun des côtés de la frontière existe un prestige différent. Tandis que pour le premier, on utilise des adjectifs comme: innovateur, importé, solaire, moderne, etc.; pour le deuxième on réserve d'autres comme conventionnel, local, traditionnel, etc... En accord avec cela, le premier reçoit beaucoup plus d'attention que le deuxième. Et dans cette tentation tombent beaucoup d'ingénieurs, de politiciens, de journalistes et les utilisateurs eux-mêmes.

En toute rigueur, le système technologique associé à l'eau ne termine pas au point d'approvisionnement, mais inclut également les moyens pour la jeter une fois utilisée (égouts, drainages, etc.). Étant donné que les pompes photovoltaïques favorisent l'accroissement du flux de l'eau, les infrastructures d'évacuation peuvent arriver à montrer des symptômes de saturation (flaques, etc.). Bien que, à cause de simples limitations d'espace, nous ne traiterons pas ici spécifiquement ce sujet, le lecteur doit considérer qu'il est avertit et se poser, chaque fois qu'il fait face à un problème d'approvisionnement d'eau, la convenance d'intervenir aussi dans les infrastructures d'évacuation.

4.1.1. La pompe photovoltaïque

Quand nous parlons familièrement «de la pompe photovoltaïque» nous parlons généralement de l'ensemble formé par le générateur, le convertisseur et la pompe avec les câbles et les tuyauteries correspondants. Il y a déjà de nombreuses années que le marché offre des «pompes photovoltaïques» de bonne qualité. Cependant, son acquisition entraîne toujours des risques, associés principalement à la

15. Fedrizzi, Maria Cristina. *Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão*, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

H. Bonneviot, M. Courillon, Y. Maigne. *Technologies européennes du pompage solaire photovoltaïque*, Systèmes solaires, 2004.



continue de l'apparition d'innovations techniques qui ne conduisent pas toujours aux résultats attendus. Ainsi, il est possible de se retrouver sur le terrain avec des pompes photovoltaïques qui, tout simplement, ne fonctionnent pas. Un cas paradigmatique s'est produit dans le NE du Brésil. En 1999, une entreprise européenne avait fourni 801 systèmes avec des pompes hélicoïdales, beaucoup moins testées que les pompes centrifuges. Bien avant de terminer l'année, 337 de ces pompes ne marchaient plus, à cause d'un problème avec un matériel dans l'axe qui unit le moteur à la pompe. L'absence totale de contrôles pendant le processus d'acquisition des équipements avait favorisé une telle situation, puis ensuite le conflit ultérieur entre les acteurs intéressés. C'est très regrettable mais ces systèmes demeurent encore de nos jours inutilisables avec un préjudice certain pour les utilisateurs et aussi pour la crédibilité de la technologie photovoltaïque en général.

Il convient, par conséquent, de ne pas baisser la garde et d'incorporer dans les projets de pompage les bonnes habitudes, d'abord, d'élaborer une spécification technique soignée et, ensuite, de vérifier expérimentalement son exécution. Ces habitudes sont en train d'être incorporées progressivement à l'ingénierie conventionnelle, et il existe déjà plusieurs sources d'information concernant cette question¹⁶. Cependant, pour faciliter la tâche du lecteur, dans le cadre de ce même projet MEDA, nous avons élaboré aussi une autre brochure intitulée «Spécifications techniques et essais des pompes photovoltaïques» présente un ensemble de spécifications techniques et de procédures de contrôle, spécifiquement conçues pour faire partie des procédures d'acquisition d'équipements.

4.1.2. Infrastructures hydrauliques

Le volume des problèmes techniques observés sur le terrain affecte les infrastructures hydrauliques qui vont depuis la frontière indiquée précédemment jusqu'aux robinets. Ce que nous appelons le PRS-1 est un exemple paradigmatique. Ce programme, patronné par l'Union Européenne, a conduit à l'installation, entre 1990 et 1998, de 600 systèmes de pompage photovoltaïque dans la bande des pays du Sahel. Largement reconnu comme un chapitre très brillant de l'histoire photovoltaïque, ce programme a été structuré en utilisant la sortie des puits comme frontière pour l'établissement de responsabilités. Un seul projet de portée régionale fut le responsable de l'approvisionnement et de l'installation des pompes photovoltaïques, proprement dites, en imposant des contrôles de qualité très rigoureux. Toutefois, la responsabilité des infrastructures hydrauliques est retombée pour chaque pays sur un projet et, fréquemment, a été laissée entre les mains des autorités locales ayant une faible formation technique. Les évaluations postérieures sont éloquentes¹⁷: «[à propos des pompes] aujourd'hui on peut affirmer qu'on a atteint un niveau de fiabilité élevé, étant donné les précautions techniques adoptées par le programme (...) [Mais en ce qui concerne les infrastructures hydrauliques] presque la moitié des réseaux de distribution sont sous dimensionnés, (...) de nombreux problèmes techniques dans les tuyauteries de distribution ont été observés, ainsi que dans les réservoirs et les robinets (...) presque 30% des villages présentent des fuites dans les robinets».

Les sources d'eau sont également la cause de nombreux problèmes. En particulier, quand il s'agit de sources qui touchent des aquifères peu profonds et qui étaient déjà utilisées avant le projet photovoltaïque. La capacité de ces aquifères est généralement très sensible au régime annuel des pluies et arrive à la perte totale d'eau dans des périodes de la sécheresse prolongée. En outre, les caractéristiques de ces sources sont généralement adaptées aux méthodes d'extraction préexistantes (majoritairement, manuelles ou pompes diesel d'axe vertical), qui presque toujours présentent des débits de pompage inférieurs à ceux que peuvent extraire les pompes photovoltaïques.

16. José M. Arango et al. *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. San-dia Nacional Laboratorios, Southwest Technology Development Institute et al, 2001.

17. *Programme Regional Solaire: enseignements et perspectives*, 25 – 28, CILSS, Ouagadougou, 1999.

Conscients que le sujet des infrastructures hydrauliques en milieu rural a reçu très peu d'attention dans la littérature disponible, nous présenterons ici ce que nous avons appris sur le terrain, parfois au prix de remarquables sursauts.

4.1.2.1. Forages, puits, rivières

La capacité d'un système de pompage, en termes de volume d'eau fournit quotidiennement, est inéluctablement limitée par un des éléments suivants: source, pompe, réservoir ou consommation. Évidemment, l'idéal est que la limite de l'approvisionnement soit imposée par la propre consommation des utilisateurs, et qu'elle soit raisonnable. Toutefois, dans la réalité des pompages photovoltaïques il arrive parfois que l'élément qui fait obstacle est d'une autre nature, surtout quand le temps a passé depuis son entrée en service, et la propre dynamique des populations rurales (nouvelles coutumes associées à la plus grande disponibilité d'eau, croissance démographique, etc.) fait croître la consommation.

Depuis un certain temps déjà, la littérature disponible insiste sur la nécessité de prêter grande attention au choix et à la préparation des sources d'eau, précisément pour éviter que ne dérivent des restrictions ensuite à l'approvisionnement. Une telle insistance indique que le problème est important et que, malgré les avertissements continuels, celui-ci persiste en réalité. En effet, ceci fait aussi partie de notre expérience au Maroc, bien que cela fasse des années que nous sommes conscients de cette réalité et que nous faisons face ce problème.

Le phénomène physique sous-jacent est facile à décrire. D'une part, pendant le processus de pompage le niveau de l'eau dans le puits baisse jusqu'à ce que la vitesse de percolation de l'eau, au travers de ses parois, équilibre la vitesse avec laquelle elle est extraite du puits (Illustration 16).

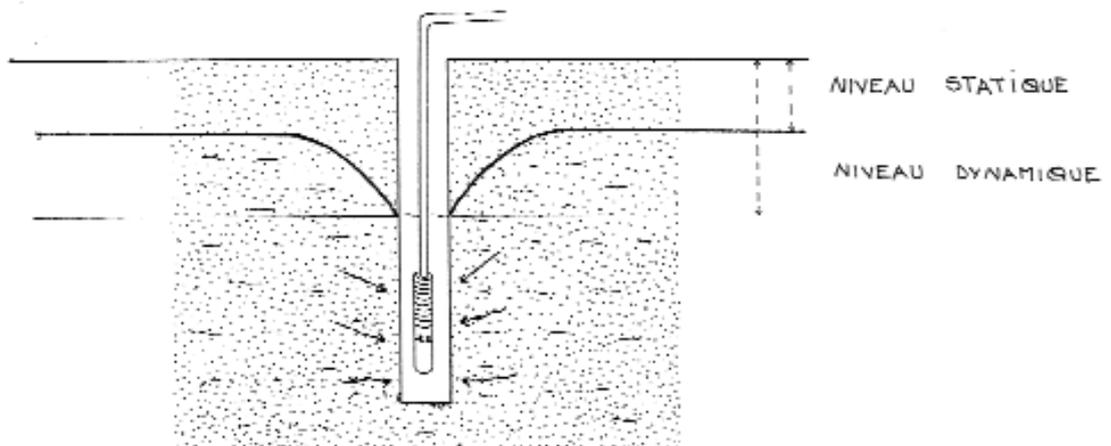


Illustration 16. Niveau dynamique d'un forage.



Ainsi, il convient de parler d'un *niveau statique*, correspondant à la situation où aucune eau n'est extraite, et qui est une caractéristique du puits; et d'un *niveau dynamique*, correspondant au pompage et qui dépend du débit. Évidemment, plus le débit est grand, plus grande sera le rabattement du niveau dynamique. La relation concrète entre le débit et le rabattement dépend d'un certain nombre de facteurs, comme la perméabilité du sol, la surface de percolation du puit et l'épaisseur de l'aquifère. D'autre part, les pompes doivent être placées généralement de telle sorte que leur prise d'eau soit située, au minimum, à un mètre par-dessus le fond du puits, pour éviter que l'eau absorbée entraîne beaucoup de sable et endommage la propre pompe. Par conséquent, le débit maximal qu'une pompe peut continuellement extraire d'un puits correspond à la situation où le niveau dynamique diminue précisément jusqu'à la prise d'eau de la pompe.

Ceci décrit précisément ce qui arrive dans ce que nous appelons les forages, dont le petit diamètre (~ 15 cm) fait que le volume d'eau stockée dans le forage lui-même, et ce avant de commencer le pompage, soit peu significatif. Il serait opportun d'indiquer que ce type particulier de puit généralement accède à des aquifères puissants y profonds¹⁸, et que cela retourne du domaine d'entreprises spécialisées, qui incluent entre leurs routines la caractérisation du sondage en terminant la perforation. À cet effet, elles extraient de l'eau au débit maximal ce qui permet d'atteindre une situation stable, c'est-à-dire, là où le niveau dynamique reste constant. Le résultat de cet essai se traduit par trois valeurs: le niveau statique, $H_{ST}(m)$, le niveau dynamique, $H_{DT}(m)$ et le débit d'essai, $Q_T (m^3/h)$; lesquelles sont gardées généralement de manière systématique (dans beaucoup de pays il existe des archives officielles avec ces valeurs) et s'avèrent accessibles pour les personnes qui doivent installer une pompe. Évidemment, un critère de conception pour une pompe serait que son débit, $Q_B (m^3/h)$ soit inférieur à la valeur de Q_T .

Si Q_B était plus grand que Q_T , cette situation ne pourrait se maintenir que pendant le laps de temps dans lequel le niveau dynamique met du temps à diminuer jusqu'à la prise d'eau de la pompe. À partir de là, le puits limiterait le débit à Q_T et la pompe commencerait à absorber un mélange d'air et d'eau qui pourrait s'avérer nuisible pour la pompe elle-même (manque de réfrigération, fonctionnement instable, etc.). En fait, normalement tous les pompages, indépendamment du type de pompe, incluent toujours une protection contre la situation «de manque d'eau dans la pompe», au cas où cette situation se présente accidentellement.

S'il s'agit d'une pompe photovoltaïque, ce critère s'applique sur le débit correspondant à la condition du rayonnement maximale (irradiance $G = 1000 W/m^2$). Ainsi, si l'aquifère est stable, c'est-à-dire, si les valeurs de H_{ST} , H_{DT} et Q_T restent invariables tout le temps, la possibilité pour que la pompe dépasse la capacité du sondage s'avère facilement prévisible et évitable lors de la conception. Dans ce cas, l'évolution du débit suit approximativement l'évolution du rayonnement solaire, et il est possible d'estimer le volume total pompé tout au long de la journée¹⁹.

Cependant, lorsque la pompe photovoltaïque pompe d'un *puit artisanal*, l'évolution du débit peut être très différente et l'estimation du volume quotidien peut être très incertaine. Ces puits accèdent normalement à des aquifères relativement superficiels (< 50 m) et peu puissants lesquels, à cause de cela, varient beaucoup leurs caractéristiques selon le régime de pluies, avec une tendance à perdre de l'eau lors des périodes de sécheresse, justement quand la nécessité d'eau est la plus péremptoire. Ces puits sont perforés à l'aide de techniques artisanales (pic, pelle et quelques cartouches de dynamite), et leur ouverture n'est généralement pas suivie par un essai de pompage standardisé, comme celui décrit précédemment pour les forages. Il faut aussi remarquer qu'un tel essai servirait de peu puisque, d'une part, les caractéristiques de ces puits fluctuent beaucoup dans le temps et, d'autre part, parce que ces puits incorporent en

18. Dans le contexte du projet MEDA, nous avons installé des pompes photovoltaïques dans des forages dont le niveau statique est à 200 m de profondeur.

19. Une méthode approximative est discuté dans *Spécifications techniques et essais sur les pompes photovoltaïques*.

eux-mêmes une certaine capacité d'accumulation qui permet de découpler le rythme auquel l'eau est extraite du puit du rythme auquel l'eau en jaillit. Dans ces conditions, ce critère de conception qui cherche à garantir que Q_B est inférieur à Q_T perd totalement son sens. Nous reviendrons là dessus plus en avant.

L'information dont nous disposons concernant la capacité de ces puits est limitée généralement à celle que peuvent fournir les utilisateurs, en traduisant leur propre expérience au travers de phrases du style «ce puit ne sèche jamais», «ce puit donne beaucoup d'eau», etc.. Quelques fois, les puits artisanaux font l'objet d'une intervention de la part de certaines autorités locales (communes, ministères en rapport avec l'hydraulique, etc.). Alors, le processus administratif qui s'ensuit passe par donner le travail à une entreprise spécialisée et par l'élaboration d'un dossier dans lequel figurent les trois valeurs H_{ST} , H_{DT} et Q_T . Or, soit parce que les dossiers sont élaborés avec peu de rigueur, soit à cause de l'évolution des caractéristiques des aquifères; ce qui est certain c'est que ces valeurs s'avèrent typiquement peu représentatives de la réalité. Par conséquent, l'ingénieur photovoltaïque qui doit installer une pompe dans un puit artisanal fait face, presque inévitablement, à un niveau d'incertitude très élevé. La possible alternative de restreindre les pompes photovoltaïques aux forages est compliquée sur le terrain, parce que la possibilité de perforer des forages est souvent hors de la portée des populations rurales et, surtout, parce que l'eau des forages a fréquemment un plus mauvais goût que celle des puits artisanaux²⁰. Donc, quand ils existent et que la population a confiance en eux, l'ingénieur photovoltaïque n'a pas d'autre option réelle que de recourir à ces puits et d'essayer de s'ouvrir un chemin à travers l'incertitude. Paradoxalement, la propre confiance que la population peut avoir dans ses puits représente un écueil initial principal. Comme il ne peut pas en être autrement, cette confiance provient de l'expérience précédente, et elle est normalement associée à des méthodes extractives de plus petit débit que celui exigé par les pompes photovoltaïques.

Par exemple, afin de sortir de l'eau d'un puit de 15 m de profondeur avec un seau de 5 l, une personne a besoin en moyenne d'une minute par seau. Si 6 personnes travaillent en même temps, cela représentera alors une concentration remarquable, le débit extrait du puit ne dépassera pas 30 l/min, ou 1.8 m³/h. Par opposition, une pompe centrifuge alimentée par un générateur photovoltaïque de 1 kW de puissance nominale, qui s'avère relativement petit dans le contexte actuel, peut pomper plus de 5 m³/h à 25 m de hauteur. Placée dans ce puit de 15 m de profondeur et en montant l'eau jusqu'à un réservoir à 10 m de hauteur, une telle pompe pourra ainsi extraire jusqu'à 25 m³ d'eau par jour, donc suffisant pour approvisionner une population entre 500 et 1000 habitants. L'ingénieur responsable de l'installation d'une telle pompe pourrait parfaitement recevoir des commentaires de la part des utilisateurs comme «ce puit donne beaucoup d'eau et ne sèche jamais» et, toutefois, se retrouver quotidiennement face à des situations de puit sec en installant la pompe photovoltaïque. Et c'est alors seulement qu'il pourra convaincre la population de la nécessité d'affronter le travail ainsi que le coût pour améliorer leur puit, en creusant davantage en profondeur ou des galeries latérales.

Donc, ce qui a été ici décrit pour un cas hypothétique et pour un puit dont on extrayait précédemment l'eau manuellement, est une situation semblable à celle que réellement nous avons vécus dans beaucoup de villages marocains, équipés avec des pompes photovoltaïques, grâce au projet MEDA, même si précédemment la population utilisait des pompes à diesel d'axe vertical, dont la capacité extractive est plus grande que celle correspondant aux méthodes manuelles. La raison est double. D'une part, les pannes fréquentes que souffrent ces équipements et, d'autre part, les difficultés d'accès aux villages (combustible, techniciens, etc...) s'unissent pour faire que l'approvisionnement en eau souffre de fréquentes interruptions et s'avère cher²¹. La consommation se maintient à des niveaux

20. Le référencé PRS-I avait choisi précisément l'alternative d'installer des pompes photovoltaïques uniquement dans des puits type forage. C'est ainsi qu'il a réussi à éviter les situations de puit sec, mais au prix de restreindre beaucoup les populations à la portée de son activité – beaucoup de villages n'ont tout simplement pas de forages- et que dans certains endroits, la population ne boit son eau que lorsqu'il n'existe pas d'autres sources alternatives.

21. Le coût typique oscille entre 0,4 et 1 euro par m³.



assez faibles à cause de cela. La pompe photovoltaïque dessine un scénario de consommation plus régulière, parfois meilleur marché, où la consommation en eau tend à croître. C'est pour cela que les volumes d'eau pompée augmentent typiquement à plus de 30% pendant les premiers mois de fonctionnement de la pompe photovoltaïque, avec l'accroissement en conséquence des exigences de jaillissement posées au puits. Il faut ajouter à tout ceci, la contribution du particulier régime opérationnel des pompes photovoltaïques qui, pour s'adapter à l'évolution de la radiation solaire, sont limitées par temps (approximativement, 10 heures par jour) et présente une côte maximale aux alentours de midi. Pour un même volume quotidien en eau, si l'on compare une pompe photovoltaïque avec une autre quelconque qui fonctionne pendant le même nombre d'heures mais en régime continu, il s'avèrera que le débit de la pompe photovoltaïque à midi est 30% supérieur au débit continu de l'autre. En combinant toutes ces raisons, nous arrivons à la conclusion que la substitution d'une pompe diesel par une autre photovoltaïque se traduit par un débit maximal de pompage qui peut être augmenté jusqu'à 70% dans les premiers mois d'activité de la nouvelle pompe. Et encore plus à l'avenir si l'approvisionnement est maintenu de façon régulière.

La capacité des puits artisanaux peut être amplifiée si l'on augmente sa profondeur et/ou si l'on creuse des galeries latérales. Les deux techniques augmentent aussi bien le secteur de percolation de l'eau depuis l'aquifère jusqu'au puit comme le volume d'eau stockée dedans. Cet entrepôt a la vertu de permettre que l'eau jaillisse dans le puit pendant une période plus longue que ce que la pompe perd à extraire l'eau du puit, en faisant que le débit continu du puit puisse être significativement inférieur à celui d'extraction de la pompe. À la limite, un puit capable de stocker un volume d'eau égal à celui qu'une pompe photovoltaïque doit extraire chaque jour pourrait faire jaillir de l'eau pendant 24 heures tandis que la pompe l'extrairait en 10 heures seulement. C'est facile alors de voir que la valeur de Q_T , caractéristique du puit, pourrait être 5 fois inférieure au débit de la pompe à midi. L'illustration 17 représente cette situation.

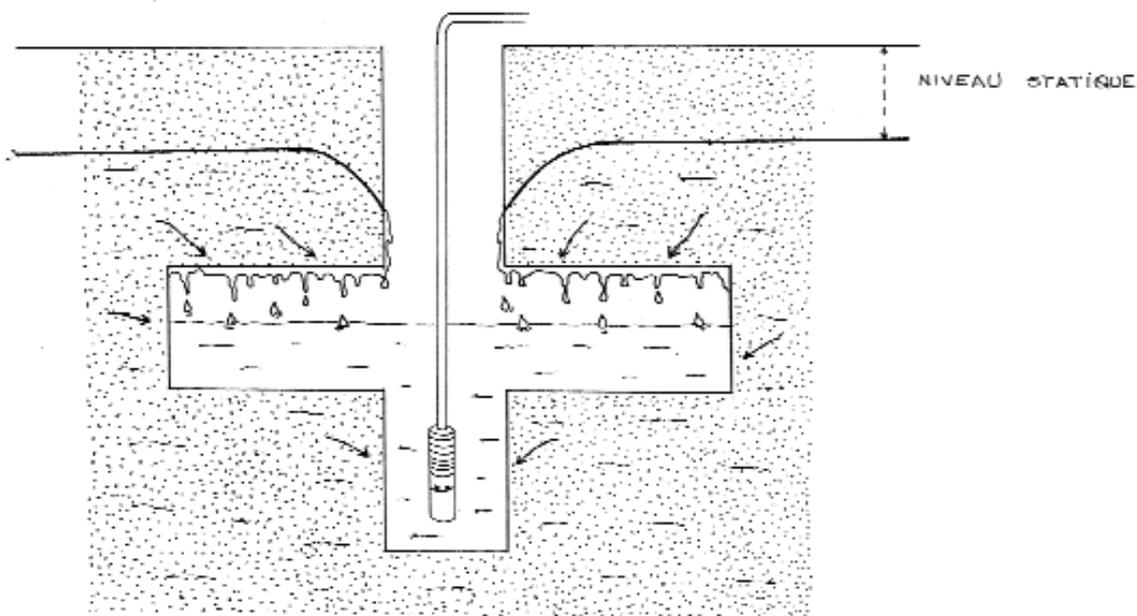


Illustration 17. Débit de récupération du forage augmenté grâce aux galeries adjacentes.

Aujourd'hui, nous ne disposons pas d'une procédure bien établie pour estimer ce qu'il faut creuser dans un puit artisanal afin de l'adapter aux particularités du pompage photovoltaïque. Quand nous nous sommes heurtés au problème, nous avons eu recours à l'observation de la capacité journalière du puit en matière de fourniture d'eau (au moyen d'un simple compteur d'eau, installé par routine à la sortie de toutes les pompes) et comment son niveau dynamique varie pendant environ une heure de pompage. Ensuite, nous nous sommes appuyés sur le «savoir faire», sur les aquifères superficiels et sur les puits artisanaux, qui existe dans les milieux ruraux. En effet, en comptant sur cette information et en sachant combien faut-il augmenter le volume d'eau extrait quotidiennement, les paysans et puisatiers locaux sont normalement capables de trouver une solution au problème du puit, y compris la recherche des moyens financiers nécessaires pour l'excavation. Naturellement, ceci requiert d'avoir des utilisateurs convaincus et motivés et, encore une fois, il est opportun de rappeler que le meilleur argument pour cet état d'esprit est constitué par l'expérience directe avec une pompe photovoltaïque qui fonctionne correctement pendant un temps prolongé.



Photo 18. Système de pompage photovoltaïque de surface, installée sur une plateforme flottante.

Dans le bassin amazonien, lorsque la saison sèche avance, l'eau de certains «igarapés» se transforme en boue et se contamine progressivement, jusqu'à devenir inadéquat pour la consommation humaine. Il n'est pas possible alors de pomper directement de l'«igarapé», avec un équipement situé sur une plate-forme flottante (photo 18); et il est préférable de recourir à la perforation d'un puit qui accède directement à l'aquifère plus superficiel. Quand la profondeur de ces aquifères est excessive, on peut choisir de perforer des puits dans les marges des «igarapés», de telle sorte que ceux-là soient

rechargés par ceux-ci, comme le montre l'illustration 19. C'est certainement choquant que pendant une bonne partie de l'année, le pompage soit effectué depuis un puits situé au milieu de la rivière! Cette option, développée à l'origine dans le projet dans la région du Haut de Solimões dans l'état de Amazonas²², permet de maintenir un adéquat approvisionnement d'eau, tant en quantité comme en qualité, tout au long de toute l'année, indépendamment du niveau de l'eau dans le «igarapé».

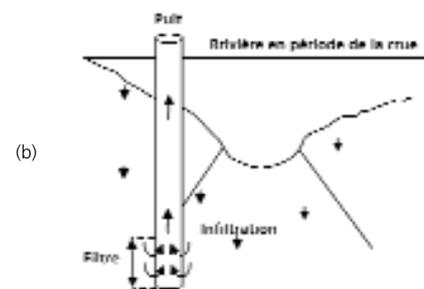
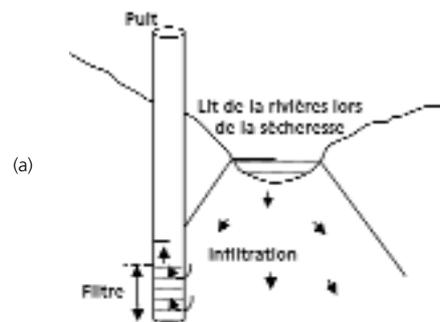


Illustration 19. Puits creusé dans la marge d'un «igarapé». (a) En période sèche; (b) Lors des pluies.

4.1.2.2. Dépôts

En ce qui concerne les réservoirs il faut savoir que, en plus de stocker de l'eau pour découpler les horaires de pompage et de consommation, de façon à ce que les utilisateurs puissent se servir en eau à tout moment de la journée ainsi pendant les jours de basse insolation, les réservoirs accomplissent les fonctions de maintenir la pression nécessaire pour que l'eau circule confortablement au travers du réseau de distribution, et de servir de décanteur pour que l'eau perde le sable ou tout autres matériels qu'elle peut transporter en suspension. Afin d'accomplir ces fonctions, le réservoir doit avoir une capacité équivalente approximative du double de la consommation quotidienne, être élevé par rap-

22. Projet dans le cadre du programme «Tropique Uni», mis en place par le Ministère des Sciences et de la Technologie du Brésil en 1997.

port aux robinets entre 1 et 10 m, et disposer la sortie d'eau à 20 cm par-dessus le fond du réservoir. De par leur propre nature, les réservoirs d'eau disposent de surfaces relativement grandes avec de nombreuses ouvertures (portes, fenêtres, passage des tuyauteries...), et sont situés dans des lieux surélevés, c'est pourquoi ce sont aussi des éléments particulièrement enclins à laisser passer de la saleté et doivent, pour cette raison, être soignés tout spécialement.

La vidange des réservoirs est une opération qui doit être considérée comme faisant partie de son fonctionnement normal, afin d'effectuer des nettoyages périodiques, des réparations de pannes, etc. Cela veut dire que fréquemment (entre 2 et 6 fois par an), il faudra verser volontairement à l'extérieur plusieurs mètres cubes d'eau. Tous les réservoirs que nous connaissons disposent d'une sortie située dans le fond et destinée précisément à cet usage. Toutefois, ce qui est plus rare c'est de trouver des réservoirs dans lesquels est prévu un moyen pour contrôler les vidanges. Dans beaucoup de cas, l'eau est simplement dispersée aux alentours du réservoir jusqu'à ce que l'évaporation naturelle et les filtrations au sol la fassent disparaître. Pendant ce temps, l'eau, a le temps de créer des flaques qui, en plus d'être malsaines, constituent un élément très pernicieux du point de vue éducatif, puisque l'image d'une flaque d'eau représente l'antithèse de tout ce que signifie une utilisation soignée de l'eau. Pour éviter ces inconvénients, il faut prévoir la façon de contrôler ces vidanges, en les conduisant vers un lieu spécifique et, mieux encore, il faut essayer de donner à l'eau une certaine utilité: fabrication de briques, par exemple.

Au Maroc nous nous sommes heurté à une situation curieuse, associée à la substitution de pompes diesel par d'autres photovoltaïques. La procédure traditionnelle pour faire marcher les pompes diesel d'axe vertical est totalement manuelle et consiste à les extraire tout en les maintenant en fonctionnement jusqu'à ce que le réservoir soit rempli et l'eau sorte par un trop plein situé légèrement sous le niveau de l'entrée d'eau. Lorsque l'ouvrier de la pompe observe directement cette situation (la sortie d'eau par le trop plein peut être vu à plusieurs centaines de mètres de distance), il arrête alors le pompage. D'autre part, il arrive que les pompes photovoltaïques incorporent toujours un certain type de protection automatique contre la situation de «réservoir plein». La manière la plus étendue pour implanter cette protection consiste à installer, dans le réservoir lui-même, un détecteur de niveau qui, au moyen d'un câble, envoie au convertisseur le signal d'arrêt du pompage. Une autre façon, particulièrement convenable quand la distance entre le réservoir et le convertisseur est grande (100 m ou plus) consiste à installer un flotteur à la fin de la tuyauterie par laquelle entre l'eau au réservoir, et à intercaler un pressostat à un certain point de la tuyauterie, mais proche à l'inverseur. De cette façon, quand le réservoir est rempli le flotteur ferme la sortie de l'eau (de la même façon que pour les réservoirs de nos toilettes dans nos maisons) et, du fait que la pompe continue à fonctionner, la pression dans la tuyauterie monte jusqu'à dépasser le seuil établi dans le pressostat. C'est alors que celui-ci donne l'ordre d'arrêt à l'inverseur.

Or, si dans le réservoir le trop plein existant est situé sous le niveau d'entrée de l'eau, le flotteur n'arrivera jamais à fermer la tuyauterie ni la pompe sera jamais arrêtée. Au lieu de cela, le pompage est indéfiniment maintenu, et l'eau est continuellement gaspillée par ce trop plein. La façon la plus évidente et la plus rapide d'éviter cette situation regrettable consiste simplement à boucher la sortie du trop plein. Toutefois, cette solution peut déboucher à, par exemple, si le flotteur est endommagé, à ce que le réservoir déborde de façon non contrôlée. Pour cette raison, la meilleure solution est de conserver le trop plein en fonctionnement, mais en le modifiant pour que le niveau de l'eau quand celle-ci commencera à déborder soit situé au-dessus du niveau d'activité de la balise. La photo 20 décrit cette situation.

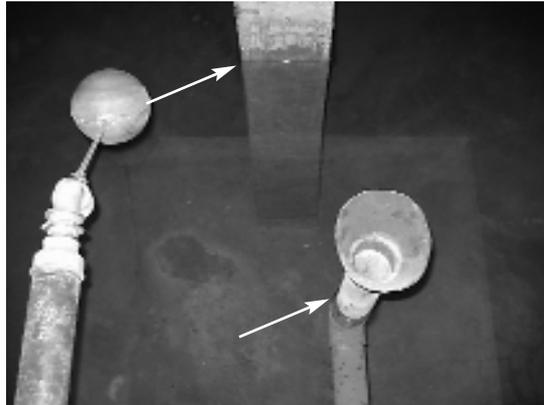


Photo 20. Elévation de la bouche de trop plein (droite).

Nous pouvons parfaitement comprendre la surprise du lecteur, en constatant qu'un élément aussi petit comme un simple trop plein puisse recevoir ici un commentaire aussi étendu. Toutefois, nous sommes convaincus que l'ingénierie photovoltaïque, quand il s'agit de systèmes d'électrification rurale, doit savoir voir le service comme un tout. Sinon la fiabilité du service peut être sérieusement compromise, même par des détails aussi insignifiants. Les problèmes «non photovoltaïques» sont souvent mentionnés comme la principale cause de difficultés dans les projets «photovoltaïques», et précisément le pompage d'eau peut servir comme paradigme de cette situation, comme nous avons pu le voir plusieurs fois dans ce texte. La substitution de générateurs de diesel par d'autres photovoltaïques sera d'une importance croissante à l'avenir²³. Quand nous avons élaboré les spécifications techniques, lors de l'achat des équipements photovoltaïques destinés à ce projet MEDA, nous n'avons pas été capables, nous-mêmes, de prévoir ce problème de trop plein. Le résoudre par la suite a été la cause de casse-tête, et c'est pourquoi nous pensons qu'il est bon d'avertir tous ceux qui pourraient se retrouver dans de semblables situations.

4.1.2.3. Tuyauteries et autres accessoires

Les tuyauteries et le reste des accessoires qui composent le réseau de distribution (robinets, compteurs, clefs de passage, etc.) constituent l'élément qui est totalement laissé aux soins des capacités techniques des utilisateurs et des plombiers locaux. Cette habitude qui, de nouveau, peut être interprétée comme une façon de diminuer le degré de nouveauté associé aux projets, permet la participation effective des utilisateurs et améliore leur capacité à réparer de futures pannes. C'est pourquoi elle doit être activement favorisée dans les projets.

Or, il ne faut pas oublier que toutes les évaluations que nous connaissons indiquent l'existence de nombreuses insuffisances dans les réseaux de distribution, et que ces insuffisances répercutent négativement sur la qualité du service. À notre avis, la principale raison pour arriver à cette situation regrettable, doit être cherchée dans ce que certains ont défini comme «l'audace de la connaissance superficielle». Ce phénomène psychologique consiste à s'auto convaincre que nous connaissons suffisamment un sujet sur lequel nous manquons totalement d'expérience et de connaissances profondes. Entre autres, ce phé-

23. Vallvé X., Gafas G., Arias C., Mendoza J. J., Torra C. «Electricity costs of PV-hybrid vs. diesel in microgrids for village power», *17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Munich, 2001; 1960-1965.

Hoffmann W., Aulich H. A., Viaud M., «European PV Industry Roadmap», *19th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pags. 3175-3177. Paris, 2004.

nomène fait penser à celui qui se heurte à lui que ce sujet est en réalité assez facile et que, par conséquent, lui-même nanti d'un manque de préparation au préalable peut effectivement se charger et de son exécution et de son maintien. Cette espèce d'amnésie sur tout ce qu'on s'ignore est très étendue en général, et affecte presque tous les acteurs qui prennent part dans les projets de pompage. Les ingénieurs ne sont pas une exception, et à tout cela contribue le poids pratiquement inexistant que les humbles tuyauteries reçoivent dans de nombreux stages de formation concernant l'électrification rurale. Les ingénieurs tendent plutôt à s'occuper des sujets plus sophistiqués comme, par exemple, la physique du fonctionnement interne des cellules solaires, l'estimation des différents composants de la radiation solaire, ou la dimension des générateurs photovoltaïques. Cette tendance, facilement compréhensible car il s'agit de mettre en avant les habilités durement acquises pendant les années d'étude à l'université, doit être combattue car elle s'avère nuisible au moment d'exécuter des projets sur le terrain.

Le sujet vient de loin. Au début du XVI^e siècle, l'humaniste espagnol Juan Luis Vives, préoccupée par le dédain que les classes intellectuelles montraient envers les affaires techniques les plus populaires, invite à l'«homme cultivé» à «ne pas avoir peur d'aller aux ventes et aux ateliers, et à demander aux artisans et à apprendre d'eux les particularités de leur profession; depuis la nuit des temps, les sages ont toujours dédaigné de s'abaisser sur ce plan et sont restés sans acquérir cette portion incalculable de savoir concernant des choses si importante pour la vie...»²⁴. Espérons que cette citation aide les ingénieurs d'aujourd'hui prêter davantage d'attention à ce qu'ils considèrent comme des choses humbles des artisans. Ils en tireront des bénéfices certains pour eux-mêmes et pour leurs projets.

Les erreurs les plus communes et qui sont fréquemment commentées concernant les réseaux de distribution sont d'enterrer les tuyauteries de telle sorte que cela facilite les fuites d'eau, de ne pas disposer d'éléments suffisants pour isoler des sections du réseau en cas de réparation (quand il n'existe qu'un robinet d'arrêt à la sortie du réservoir, la réparation d'une quelconque panne oblige à couper l'approvisionnement d'eau à toute de la population), et de ne pas protéger ces éléments au moyen de coffrets de ciment, ou similaire, ce qui permet un accès facile et une utilisation dont la sécurité est garantie. Pour l'ingénieur véritablement intéressé, il est très facile de trouver une information sur une conception et exécution correctes des réseaux de distribution de l'eau. Les basses pressions, qui sont typiques dans les milieux ruraux, facilitent beaucoup sa tâche. Dans le paragraphe suivant il trouvera une aide pour que les utilisateurs prennent part à sa préoccupation.

4.2. Anthropologie

Tout projet de coopération au développement doit être compris comme une occasion de changer non seulement un système technologique par un autre mais aussi le niveau éducatif des personnes. En ce qui concerne ce dernier, il s'agit d'élever la compréhension de ce que constitue son environnement où il va développer sa vie quotidienne et de ce qu'il peut faire. Paulo Freire a été, peut-être, celui qui a le mieux compris et écrit sur l'éducation des populations rurales, qu'il considérait comme un aspect fondamental de sa liberté. Le lecteur intéressé peut aller consulter ses oeuvres.

Un traitement rigoureux du thème de l'éducation est hors de portée de ce texte et également hors de la capacité de ses rédacteurs. Nous nous limiterons à présenter certaines réflexions dérivées de notre propre expérience concernant la formation des utilisateurs en ce qui concerne l'hygiène de l'eau et à la gestion de leurs infrastructures. Comme dans tout processus éducatif, on ne peut pas prétendre obtenir des

24. Ce texte appartient au livre *De tradendis disciplinis*, publié en 1531, y peut être traduit par «De la façon de transmettre des connaissances».



résultats immédiats lors de simples réunions de travail dans lesquelles le promoteur du projet (c'est-à-dire, vous, le cas échéant) dissèrtera sur la relation étroite entre les maladies et la qualité sanitaire de l'eau, ou sur l'importance de mettre de l'argent de côté pour garantir la maintenance. Pour qu'il s'avère efficace, le processus éducatif doit être quelque chose de beaucoup plus continu, ouvert et réciproque. L'«éducateur» doit rester en étroit contact avec la réalité dans laquelle va se développer le projet, jusqu'à comprendre ses secrets et ses raisons et que la communication avec ses «éduqués» soit établie dans des termes qui s'avèrent compréhensibles pour ceux-ci et excitent leur curiosité. A un moment donné, il devra ébaucher quelque chose ressemblant à un scénario qui va lui permettre d'être systématique dans l'action.

Nous l'avons fait quand, dans une phase avancée du projet MEDA, nous avons eu des réunions systématiques avec tous les utilisateurs. Au préalable, les pompes avaient démontré un bon fonctionnement et nous avons soigneusement analysé l'utilisation de l'eau que faisaient les populations. Ainsi, de part et d'autre, nous savions tous assez bien ce dont nous parlions dans ces réunions. Pour introduire les sujets, nous présentions des diapositives d'appui. Nous les avons réunis d'ailleurs ici avec l'espoir, conjointement avec les commentaires, que tout ceci servira mieux que toute autre élément pour que le lecteur comprenne ce qu'a été, et est encore, une expérience éducative positive d'où on pourra extraire quelques leçons de grande validité.

4.2.1. L'Hygiène de l'eau

Les utilisateurs perçoivent le problème de l'hygiène de l'eau de façon très différente par rapport aux promoteurs des projets. Ceci représente une difficulté importante dans tout processus de communication; c'est comme essayer de convaincre quelqu'un qu'il a un problème alors qu'il ne le conçoit pas ainsi. Pour combattre cette difficulté:

- Les initiatives de formation des utilisateurs doivent attendre jusqu'à ce que les utilisateurs aient confiance en la bonté de la nouvelle technologie et jusqu'à ce que soit établi un climat de confiance avec les promoteurs du projet.
- Le discours doit s'appuyer sur des éléments pris dans la réalité quotidienne des utilisateurs. Les schémas et les diapositives incluses dans ce paragraphe sont un exemple adapté à la réalité particulière des pompes photovoltaïques implantées dans le cadre du projet MEDA dans le Maghreb. Pour une bonne compréhension il faut absolument se rappeler que les systèmes d'approvisionnement incluent une distribution d'eau jusqu'à l'intérieur de chaque logement et qu'ils profitent d'une grande partie des infrastructures existantes déjà, généralement associées à des pompes diesel. Il faut insister sur le fait que, bien que le fil argumentaire présenté ici paraisse très général, chaque projet concret doit développer ses propres instruments adaptés aux particularités de sa réalité.
- Les recommandations concrètes doivent s'appuyer sur le contraste entre de bons et de mauvais exemples, toujours observés dans la réalité. Aux bénéfiques didactiques dérivés d'enseigner ce qui est mal fait et comment améliorer cette situation, il faut ajouter la fomentation d'une sorte de concurrence saine entre les utilisateurs, à la recherche du prestige associé à la reconnaissance publique de faire bien leurs «tâches».

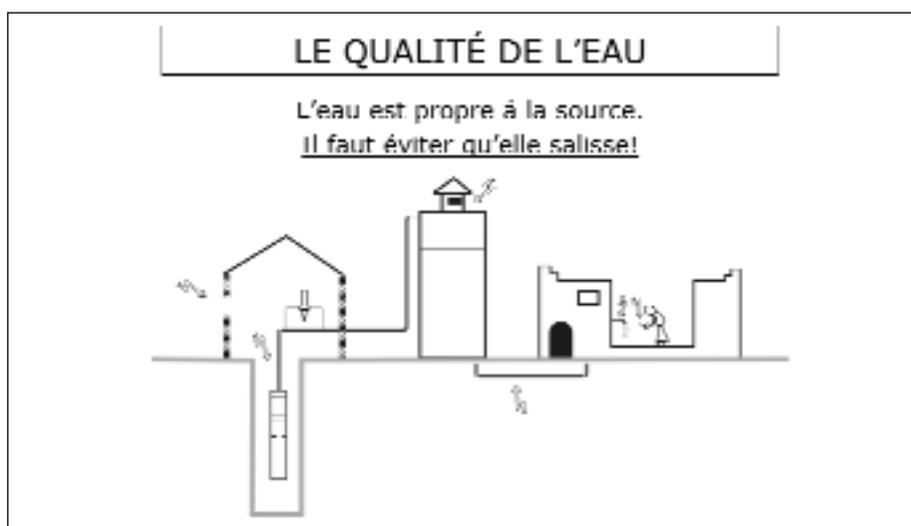
Deux idées de base sont les piliers du discours présenté ici. D'une part, que la propreté de l'eau est un bien en lui-même, en plus de répercuter positivement sur la santé. D'autre part, que l'eau est propre à l'origine²⁵ et que, par conséquent, il faut éviter de la salir pendant le trajet et ce jusqu'à la table. La présentation de ces idées est ainsi développée:

25. Ceci est toujours vrai si le projet a choisi de façon adéquate la source d'eau.

Diapositive 1. Elle décrit la technologie antérieure au projet photovoltaïque, en mettant l'accent sur sa propension à salir l'eau. Dans le cas du Magreb, les cordes, les seaux et les pompes diesel d'axe vertical obligent à entrer fréquemment dans l'eau, d'où des puits continuellement maintenus ouverts et donc enclins à l'entrée de saleté, qui peut provenir aussi bien de l'environnement (les oiseaux en déféquant directement sur les puits sont une réalité) comme des moyens d'extraction eux-mêmes (cordes et seaux sales, déchets de combustible et huile, etc.). Ceci permet de présenter le problème non pas comme le fruit de l'ignorance ou la paresse des personnes, mais plutôt comme un conséquence des circonstances dans lesquelles elles sont obligées de vivre. Si la première phrase paraît être une accusation, et peut provoquer le rejet, la seconde ressemble à de la compréhension et peut favoriser la confiance.



Diapositive 2. Elle décrit la technologie associée au projet photovoltaïque, en soulignant qu'il n'est plus nécessaire d'accéder à l'eau avant le point de distribution, le potentiel de propreté qui en dérive et les points où il existe un risque d'entrée de saleté.



Diapositive 3. Elle décrit la source actuelle d'eau et les soins à prendre pour la protéger contre l'entrée de saleté. Il faut détecter de possibles mauvaises habitudes héritées de la situation précédente et insister sur le fait qu'il ne faut plus les transférer sur le nouveau système. Par exemple, dans le Maghreb, on dit très souvent que les puits doivent «respirer» et pour cela il convient de ne pas le couvrir (ce qui peut être interprété comme une façon de faciliter l'extraction). Nous avons exposé cette croyance et avons expliqué que les puits peuvent tout simplement respirer au travers de petites ouvertures qui accompagnent toujours les couvercles, les passages des tuyauteries, etc.

Le Puit

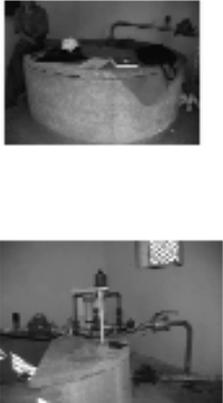
MAL



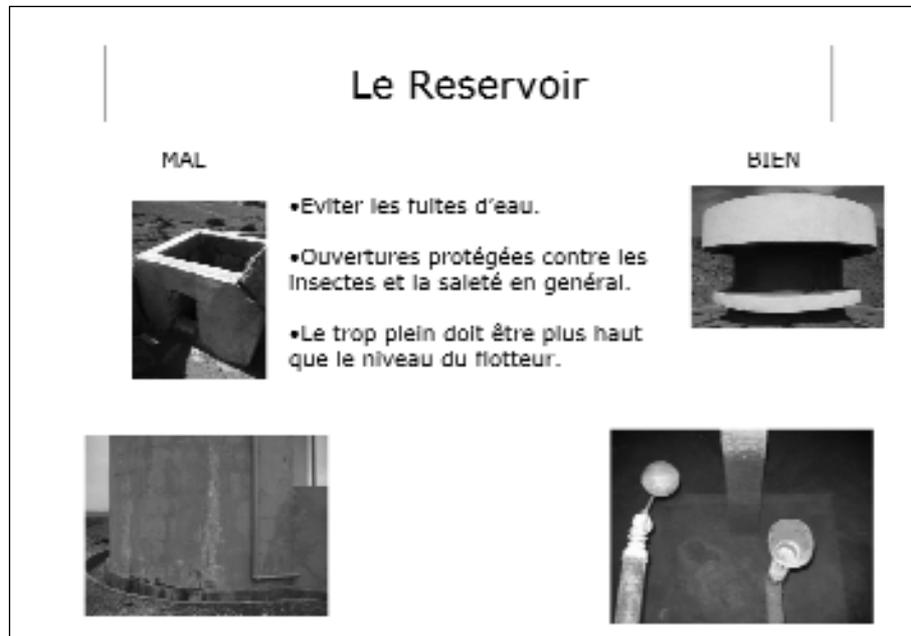
PRECAUTIONS

- Abri fermé à toutes les poussières, sable, etc.
- Margelle d'une hauteur suffisante et trou bien couvert.
- Nettoyage habituel: balayer, éliminer les restes de travaux, etc.

BIGN



Diapositive 4. Elle décrit l'actuel réservoir de l'eau en soulignant le fait que, de par sa propre situation, il s'agit d'un élément très exposé à l'entrée d'insectes, ce qui représente un grand potentiel pour salir l'eau. Par exemple, au Maghreb les fléaux de langoustes sont regrettamment fréquents et sont combattus à l'aide de pesticides. Les gens sont conscients que les pesticides ne sont pas bons pour les personnes (d'ailleurs, ils ont abandonné l'habitude, en d'autre temps très étendue, de manger de telles langoustes). Lors de la découverte de langoustes mortes, dans certains réservoirs exempts de protection face à l'entrée d'insectes (voir photo 10), nous avons profité, en termes didactiques, pour insister sur la nécessité de cette protection. De même, il convient de souligner le fait que, étant donné les grandes parois et les tuyauteries qui les traversent, les réservoirs sont enclins à présenter des flaques d'eau. Les flaques d'eau sont attrayantes pour les insectes et les animaux en général (chiens, ânes, etc.) d'où, à nouveau, un risque de pollution et une nécessité de réparer les fuites avec rapidité, de restreindre l'accès au réservoir, et de prévoir des canaux qui rassemblent les possibles fuites d'eau et les conduisent jusqu'à un certain lieu contrôlé. La diapositive inclus aussi une photo d'un trop plein modifié pour expliquer le problème décrit dans la section 4.1.2.2.

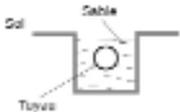


Diapositive 5. Elle décrit le réseau de tuyauteries, en mettant en évidence que la façon de les installer en suivant le croquis des chemins et en les enterrant à faible profondeur, est, peut-être la plus immédiate mais aussi celle qui provoque le plus de fuites, surtout si la terre qui recouvre les tuyaux contient des éléments pointus, comme des pierres avec des côtés saillants qui, aidés par le poids des personnes et des animaux qui transitent sur la surface, se transforment en authentiques perforeuses de tuyauteries. Certains réseaux de distribution hérités de la situation précédente au projet MEDA souffraient de fuites pratiquement toutes les semaines, c'est pourquoi les utilisateurs percevaient ce fait comme un réel problème. Ils n'étaient pas conscients qu'en plus d'être à l'origine de pertes d'eau et d'obliger à des coupures dans l'approvisionnement pour les réparer, ces fuites permettent aussi l'entrée de saleté et de pollution²⁶ si, comme c'est souvent le cas il existe dans les alentours du matériel organique en décomposition (excréments d'animaux, ruines de logements, etc.). L'extrême dureté du terrain dans cette région complique énormément le fait d'approfondir les tranchées. Toutefois, il s'avère très facile de trouver du sable à proximité des villages —dans les lits des «oued»— ; donc notre proposition d'enterrer les tuyauteries dans une couche de sable, ce qui amortit beaucoup l'effet de ces perforeuses de tuyauteries, a été bien reçue et heureusement cela a été démontré comme une mesure très efficace.

26. En particulier, lorsque pour des raisons de panne, maintien, etc. on doit éliminer la pression de l'eau, ceci permet à l'humidité qui entoure fuites de rentrer à l'intérieur des tuyauteries.



La tuyoterie

MAL 	<ul style="list-style-type: none">• Tuyauteries enterrées dans un lit de sable.	BIFN 
		
	<ul style="list-style-type: none">• Coffrets et clefs pour faciliter les réparations.• Avoir les pièces de rechange des éléments les plus nécessaires: raccords, clefs, etc.	

Diapositive 6. En fonction des circonstances, il est quelques fois possible d'aller au-delà de ce que représente une simple surveillance de l'eau (sans doute le plus important) et d'inclure dans les projets de pompage photovoltaïque quelques technique de traitement. La chloration s'avère particulièrement attrayante, parce qu'il s'agit d'une technique très étendue (il est possible d'acheter le nécessaire dans presque tout le pays) et dont le consommable, l'eau de javel, est largement disponible sur tous les marchés, comme produit pour blanchir le linge. L'expérience du projet MEDA avec la chloration a eu des aspects positifs (les utilisateurs acceptent raisonnablement bien le chlore, à condition que les quantités soient modérées) et négatifs (quelques systèmes de chloration ont été inactifs pendant de longues périodes, simplement pour ne pas faire le plein à temps des stocks d'eau de javel), sans qu'il convienne encore de parler de conclusions ou de recommandations définitives. Cette diapositive insiste sur le besoin de soigner les tâches courantes que le fonctionnement exige pour ces équipements: maintenir toujours une réserve d'eau de javel et, quand ils existent²⁷, nettoyer les filtres.

27. Le projet MEDA a choisi une technologie de chloration automatique dont les équipements ont la propriété suivante: l'injection de chlore est dû aux élans du flux de l'eau, ce qui représente l'avantage de ne nécessiter d'aucune source énergétique additionnelle. Toutefois, le fonctionnement de ces équipements s'avère assez sensible au contenu en sable de l'eau. Par ailleurs, pour un projet précédent, développé dans la même zone, nous avons choisi une autre technologie de chloration automatique, qui injecte le chlore au moyen d'une petite bombe électrique. Cette technologie requiert l'installation d'un système photovoltaïque additionnel (de quelque 30 w de puissance nominale), mais son fonctionnement s'avère plus fiable.

Gestion

Assure le soutien et fournir toute l'information nécessaire du système

- Tarif agréé avec Tichka.
- Contribuer à une compte bancaire communel.
- Prevoir les ressources nécessaires pour de futures réparations et pièces de rechange
- Remplir les imprimés fournis

Exemple: operation qui l'ôl ou l'ard devra être réalisé:
Substitution du variateur

•Variateur nouveau..	1000€
•Transport ...	100€
•Main d'oeuvre ...	120€
TOTAL: ...	1220€

4.2.2. La gestion de l'eau

Évidemment, la maintenance obligatoire des pompes photovoltaïques a un coût économique, qui peut arriver à être important si une panne affectant la pompe ou le convertisseur²⁸ se présente. Le besoin de faire face à cette situation a été répété maintes fois afin d'essayer de convaincre les utilisateurs qu'ils doivent s'organiser et payer régulièrement l'eau qu'ils consomment, afin de garantir la pérennité du service.

Toutefois, la réalité nous démontre que ce n'est pas suffisant d'avoir des utilisateurs disposés à payer. Il faut aussi compter sur un service technique capable de réparer les pannes très rapidement. Afin que le coût de ce service s'avère raisonnable il faut rendre service à un grand nombre d'installations afin que sa maintenance représente un gain suffisamment stable. La taille minimale du marché capable de soutenir une structure professionnelle de maintenance est une question ouverte et n'a pas de réponse générale²⁹. Mais, presque indépendamment de quelque soit le cas, la création des conditions pour qu'un tel marché arrive à se matérialiser est hors de la portée des projets typiques d'Aide au Développement mais entre plutôt dans la sphère de ce qui est institutionnel et «macro». Par conséquent, son traitement n'entre pas dans ce texte, sauf pour dire que, heureusement, la technologie photovoltaïque est en expansion, ce qui fait qu'il y a de plus en plus d'endroits où l'on peut trouver des entreprises

28. La fiabilité de l'actuelle technologie des moyennes se caractérise par des valeurs du MTBF (Mean Time Between Failures) dans le rang 6 à 8 ans.

29. Pour avoir un ordre d'idée de la portée de ce marché minimal, nous supposerons, par exemple, qu'une telle structure devra réparer trois pompes par mois pour être maintenu. Pour sa survie il faudra un parc de 225 pompes. Évidemment, si l'entreprise effectue d'autres activités (installations électriques, etc.) les exigences du parc photovoltaïque diminuent.



photovoltaïques qui offrent des équipements et des services à des prix raisonnables. Évidemment, là où c'est le cas, les projets concrets doivent être soutenus par celles-là dans la mesure du possible.

A notre avis, les organisations d'utilisateurs et les méthodes systématiques de gestion peuvent et doivent jouer un rôle beaucoup plus ample qu'une simple collecte de fonds pour faire face à la maintenance. En particulier, ils peuvent constituer une manière d'apprendre, aussi bien pour les utilisateurs que pour les promoteurs de projets, et c'est également une forme de communication entre ces acteurs.

Notre propre expérience, par exemple, nous démontre que le fait d'enregistrer systématiquement les données d'opération (consommations, incidences, etc...) aide beaucoup les utilisateurs —bien plus que des stages ponctuels— à comprendre en profondeur le fonctionnement de ces systèmes et réduit le sentiment «d'étranger» face à des équipements qui sont relativement sophistiqués ; tout ceci les conduit à se poser des questions et des alternatives qui aboutissent positivement à mieux soigner les équipements et, par conséquent, à en obtenir un meilleur bénéfice³⁰. Pour les promoteurs, de telles données sont d'une valeur inestimable, dans la mesure où elles constituent un enregistrement de l'histoire évolutive des projets, indispensable pour comprendre ce qui véritablement arrive sur le terrain et pouvoir faire face ainsi à d'autres incidences dans les meilleures conditions possibles; Cela leur permet également d'accumuler une certaine expérience pour améliorer leur capacité de prévision et de conception dans de futurs projets. Ceci est particulièrement important parce que, malgré la maturité technologique indubitable des actuelles pompes photovoltaïques, ce qui est certain c'est nombreux sont les doutes qui subsistent encore en ce qui concerne leur implantation dans le milieu rural.

D'autre part, la collecte et le traitement systématique des données obligent à maintenir des contacts de routine entre les promoteurs et les utilisateurs. Ainsi, ces derniers sentent que leurs affaires sont d'un grand intérêt pour le monde externe à leur village, ce qui aboutit à une hausse de leur propre estime, et remplis de sens leurs travaux, souvent ennuyeux, d'enregistrer périodiquement des chiffres dont l'utilité ne pourraient pas se comprendre si on les accumulait simplement dans un tiroir du village. En outre, quand plusieurs villages concourent dans un même projet, le contraste entre les expériences respectives ouvre les portes à la communication horizontale, c'est-à-dire, entre les villages, ce qui contribue à casser le sentiment d'isolement et de marginalisation qui affecte beaucoup les populations rurales.

Pour ces raisons, nous avons bien fait attention à la préparation des formulaires de collecte de données³¹. Chacun d'eux est associé à un aspect particulier de l'exploitation du système. Concrètement: données générales du lieu (formulaire A; périodicité mensuelle), pompage d'eau (formulaire B ; périodicité quotidienne), consommation d'eau (formulaire C; périodicité mensuelle), gestion économique (formulaire D ; périodicité mensuelle) et maintien (formulaire E; périodicité mensuelle). Son contenu s'explicative par lui-même.

Comme exemple les deux pages suivantes présentent ceux correspondant au pompage d'eau et à la gestion économique. Dans le premier, nous avons inclus un graphique (que les utilisateurs eux-mêmes élaborent jour après jour) dessiné pour visualiser l'évolution du rythme de pompage et alerter sur toute possible anomalie (par exemple, fuites inaperçues dans le réseau de distribution) qui l'altère de manière significative. Dans le deuxième nous avons inclus la révision des stocks d'eau de javel, pour combattre le problème mentionné dans le paragraphe précédent.

30. Zilles R. y Morante F., «Ah meter: a useful tool for user demand management». *Proceedings of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference*. Munich, 2001; págs. 2080-2082.

31. L'ensemble des formulaires est accessible sur www.ies-def.upm.es.

Sefrouville

Commune: Iznaguen Province: Souss-Massa Village: دوار كوكوت

Programme: MEPA وزارة الزراعة برامج همدان

Formulaire de Pompage مطبوع الضخ

Mois et Année: AOUL 2005 : الشهر والسنة : 8 Dernier Index enregistré: 9764 آخر رقم مسجل بالعداد

ملاحظة Observation	الفرق بـ م ² Diff. en m ²	عداد/ compteur	يوم jour	ملاحظة Observation	الفرق بـ م ² Diff. en m ²	عداد/ compteur	يوم jour
	28	10338	17		39	9803	01
	29	10367	18		38	9841	02
	26	10393	19		36	9877	03
	17	10410	20		35	9912	04
	34	10448	21		36	9948	05
	24	10466	22		39	9987	06
	26	10492	23		33	10020	07
	33	10525	24		29	10049	08
	36	10561	25		19	10068	09
	37	10598	26		50	10118	10
	29	10627	27		38	10156	11
	33	10660	28		36	10192	12
	30	10690	29		31	10223	13
	030	10720	30		37	10250	14
	028	10748	31		30	10280	15
					30	10310	16

Total = 984 مجموع الفرق الشهري

الفرق بـ م² Diff. en m²

ملاحظة: هذا المطبوع خاص بالعداد المتواجد بالبنير و يستحسن ملاءة يومها في المساء

Commune: أريزوا / جماعة: أريزوا / Village: أريزوا / Province: الجزيرة / Programme: 12/05

Dernier index: 12/05 آخر رقم مسجل بالعداد

واجب الإستهلاك الشهري للماء وفق النظام الداخلي للجمعية

Tarif mensuel de la consommation de l'eau selon le règlement interne de l'association

نظام آخر Autre système	تلفix Taux fixe
<u>1000</u>	<u>1000</u>
<u>0</u>	Tranche 1
<u>0</u>	Tranche 2
<u>0</u>	Tranche 3
<u>0</u>	Tranche 4
<u>0</u>	Tranche 5
<u>0</u>	Tranche 6

Autres informations: معلومات إضافية:

في مدينة الجزائر اعطيتنا في الواجب الفاتورة 1000 درهم
 في مدينة الجزائر اعطيتنا في الواجب الفاتورة 1000 درهم
 في مدينة الجزائر اعطيتنا في الواجب الفاتورة 1000 درهم
 في مدينة الجزائر اعطيتنا في الواجب الفاتورة 1000 درهم

Tous les formulaires ont été imprimés en papier autocopiant, de telle sorte qu'en les remplissant on produit automatiquement une copie de chacun d'eux. L'organisation locale marocaine responsable des relations avec les utilisateurs — l'ONG Tichka — rassemble périodiquement les copies, traite les données au travers d'une application informatique très simple, et fait arriver les résultats aux villages, ce qui favorise le sentiment de réciprocité dans sa relation avec les utilisateurs. Entre autres choses, cet effort a conduit à la création d'une banque de données d'intérêt général, dont l'exploitation a permis d'avancer significativement dans la compréhension des règles de consommation des utilisateurs³².

4.2.3. Organisation d'utilisateurs et «technicien» local

Tout projet de coopération exige d'un interlocuteur qu'il représente les utilisateurs face aux promoteurs, et qu'une autre personne soit la responsable de la gestion quotidienne des systèmes (propriété, enregistrement des données, encaissements, etc.). Tant pour l'un comme pour l'autre, il est nécessaire que les utilisateurs adoptent une certaine forme d'organisation, que les promoteurs doivent reconnaître et favoriser.

En général, les organisations d'utilisateurs améliorent la cohésion interne des populations rurales, ce qui a souvent des effets collatéraux positifs, en marge de ce qui est strictement en relation avec la pompe photovoltaïque elle-même. Mais il n'en est pas moins certain que l'on court le risque de refléter de possibles conflits sociaux préexistants, et que cela peut arriver à affecter négativement la gestion des pompes photovoltaïques. Nous connaissons des cas où les «comités de l'eau», profitant des habilités acquises dans la gestion de l'eau, ont servi pour demander et promouvoir d'autres services; mais nous connaissons aussi d'autres exemples dans lesquels, loin d'assumer la représentation de l'ensemble d'une population, l'une des parties en conflit a contrôlé le système et cela a provoqué de mauvaises conduites chez d'autres: non-paiements, etc. Pour minimiser ce risque, l'idée de diminuer le degré de nouveauté quitte à s'appuyer dans la mesure du possible sur des organisations locales déjà existantes et à respecter l'ordre social précédant le projet³³ est une bonne idée.

Le choix des personnes chargées de la gestion quotidienne des systèmes est un sujet de grande importance, puisque inévitablement ces personnes acquièrent davantage de pouvoir que ce dont elles jouissaient avant le projet, et cette nouvelle situation peut réveiller des méfiances chez les autres. De nouveau, il convient de s'appuyer sur des personnes qui exerçaient déjà des fonctions semblables dans le système précédent. Si elles n'existaient pas, il convient d'être patient, et il faut dans les phases initiales des projets que l'information arrive à de nombreuses personnes, attendre des phases plus avancées pour que, en connaissance de cause, se soient les organisations d'utilisateurs elles-mêmes qui choisissent les personnes, entre les candidats préalablement choisis par les promoteurs au vue de sa qualification.

32. Narvarte, Luis; Lorenzo, Eduardo y Mohamed, Aandam. «Lessons from a PV pumping programme in south Morocco», *Progress in Photovoltaics: Research and applications*. Volume 13, Issue 3, pages. 261-270. Mai 2005.

Luis Narvarte, Eduardo Lorenzo, Mohamed Aandam. «Patrons de consommation de l'eau dans des systèmes ruraux de pompes photovoltaïques». *Era solar*, nom. 109, págs. 20-29, 2002.

33. Parfois, ce respect est difficile à maintenir, parce que l'ordre social préexistant peut répugner les convictions éthiques elles-mêmes des promoteurs. Comme tout ce qui affecte les questions éthiques, tout ce qui peut être dit est discutable. Tout ce que nous pouvons dire est que celui qui décide d'utiliser un projet de coopération comme instrument pour changer l'ordre social des populations touchées, doit être averti que son pari entraînera un énorme risque de rejet.

5. Travailler avec la diversité |

M. C. Fedrizzi

Nombreuses sont les expériences qui démontrent que les technologies énergétiques bien consolidées ne parviennent pas à fonctionner de manière satisfaisante dans certains contextes ruraux. Ceci se produit principalement pour deux motifs. Le premier est de ne pas considérer que la technologie hexogène doit être reliée au système technologique local, et tout ceci mène à ce que des systèmes basés sur des pompes photovoltaïques de dernière génération finissent par avoir des pannes en raison des précarités de l'infrastructure locale. Le second motif est de ne pas considérer le fait que la technologie s'incruste dans un contexte social qui doit vouloir et doit accepter l'innovation qu'il représente, parce que la non acceptation et le manque d'organisation locale conduisent à de grands échecs.

Pour ces raisons et pour d'autres, quand il faut introduire des innovations, et indépendamment de la technologie utilisée, il faut prendre en considération quelques questions intrinsèques à la dynamique de la population locale. De nombreuses études sont effectuées afin d'examiner quelle est la meilleure option pour énergiser une certaine région et, souvent, la conclusion est que le type de technologie à utiliser est moins significatif que le respect aux spécificités locales au moment de concevoir, d'implanter et de maintenir les systèmes.

En principe, on pourrait penser qu'il existe des solutions standard aux problèmes d'approvisionnement d'eau aux populations rurales. Toutefois, ce n'est pas ce que montre la réalité. Un projet d'approvisionnement pour une population située dans une zone stérile où il n'existe aucune autre source d'approvisionnement proche peut être très différent d'un projet d'approvisionnement pour une population située en zone humide avec des ressources hydriques alternatives abondantes, comme l'eau de pluie ou des rivières. Les restrictions en eau peuvent provoquer des bouleversements beaucoup plus grave pour le premier cas que pour le deuxième. Les restrictions dans l'approvisionnement peuvent occasionner des problèmes plus importants dans le premier cas que dans le deuxième.

Le type de source, la géologie locale, la qualité de l'eau, en plus des caractéristiques géographiques et culturelles, vont avoir un rôle dans la conception finale du projet et ne doivent pas être négligées. Connaître en profondeur le problème à résoudre, ainsi que les formes d'approvisionnement préexistantes au projet, est d'une grande utilité pour optimiser les ressources disponibles, afin que les utilisateurs acceptent le service, et pour réduire les impacts négatifs d'un projet. La connaissance du système préexistant sera d'une grande aide dans la détermination du volume d'eau qui doit être mis à la disposition des utilisateurs dans le nouveau modèle.

Les caractéristiques socio-économiques de la population touchée, et son degré d'organisation sont un autre problème de base. La façon d'introduire la nouvelle technologie et les conditions matérielles et de formation des utilisateurs a des effets très importants sur l'utilisation et le maintien des équipements. C'est pourquoi, avant d'aller plus en avant avec un projet, visiter la population réceptrice sera de grande utilité ainsi que contacter avec d'autres possibles organismes qui travaillent avec elle depuis un certain temps: institutions qui travaillent avec les zones rurales (santé, éducation, etc.), organisations religieuses et organisations non gouvernementales.

Il est indispensable d'avoir des connaissances de base de la culture locale, dès le début du projet, pour ne commettre aucun manque de délicatesse dès les premiers contacts. Selon le degré de rigidité et de



conservatisme des coutumes de la population avec laquelle il va falloir travailler, l'apparition de situations embarrassantes peut mettre en péril l'introduction du nouveau système.

Pour faciliter les relations et l'acceptation du projet par les futurs utilisateurs, il est important qu'il existe une bonne communication entre les acteurs engagés dans ce projet. Toutefois, dans beaucoup de cas la population réceptrice et les techniciens qui vont implanter le projet parlent différentes langues. Il faudra alors recourir à un service de traduction qui, de préférence, connaîtra bien la culture locale. C'est grâce à cette astuce que les espagnols ont implanté des systèmes de pompage dans des communautés berbères du Maroc; ainsi que les brésiliens qui ont implanté les leurs au Brésil, mais dans des Communautés indigènes de l'ethnie tikuna, qui dans leur grande majorité ne parlaient pas la langue portugaise. Cette situation peut ajouter un degré de difficulté au développement du projet mais quand il existe de la bonne volonté des deux côtés cela ne pose pas de problème.

Selon le proverbe espagnol «une image vaut plus que mille paroles», nous nous appuyons sur des photos de villages que nous avons visités pour illustrer la diversité dont traite ce texte. L'observation des images donnera une idée au lecteur de la diversité trouvée sur le terrain et l'aidera à comprendre le travail de l'ingénieur/anthropologue en ce qui concerne le service d'approvisionnement d'eau à des communautés éloignées.

La simple observation du paysage où s'intègre la communauté réceptrice rendra la situation du régime hydrique local visible pour le lecteur et, en partie, aussi les difficultés auxquelles doivent faire face les techniciens en implantant le projet.

L'illustration 21 correspond au premier cas décrit ici. Elle représente les environs d'une communauté rurale berbère du Maroc, située dans une région extrêmement stérile, au sud de la cordillère de l'Atlas, et où prédomine la pierre, le sable et la terre sèche. Détruite par une sécheresse prolongée, ces dernières décennies, la région a souffert la diminution accélérée des nappes phréatiques et la réduction radicale de l'agriculture, jusqu'au point de provoquer une émigration massive d'une bonne partie de sa population active. L'accès à un système d'approvisionnement d'eau par captage dans des puits profonds est aussi important que la survie de la Communauté. Dans un tel contexte, nous avons observé des détails révélateurs d'un haut degré d'organisation en ce qui concerne les questions de l'eau, comme par exemple, le maintien d'un service de surveillance du puits et des équipements de pompage pendant les 24 heures du jour.



Illustration 21. Paysage typique de la région de la vallée du Draa. Iferd. Maroc.

Les photos suivantes montrent les différentes formes d'utilisation de l'eau, caractérisées par des habitudes d'hygiène personnelle et de propreté domestique lesquelles requièrent des quantités d'eau très petites. Par exemple, on a l'habitude de savonner toute la vaisselle en une seule fois et, immédiate-

ment, de la rincer dans une bassine où, pour 37 verres de ceux utilisés pour le thé, on consomme moins de deux litres d'eau (Photo 22). Il arrive de même avec l'hygiène avant les repas: l'hôte mouille les mains du visiteur avec une cruche d'eau et, après les avoir savonner, il les rince avec une autre cruche d'eau. Ce cérémonial est répété avec toute les visiteurs et fait que l'on emploie très peu d'eau pour laver les mains (Photo 23). En outre, on n'utilise pas d'assiettes individuelles pendant les repas. Au lieu de cela, les personnes se servent directement avec les mains dans un grand plat collectif situé au centre de la table, ce qui réduit substantiellement l'eau employée pour laver ensuite la vaisselle.



Photo 22. Vaisselle dans une communauté berbère.



Photo 23. Nettoyage des mains avant de manger dans une communauté berbère dans une communauté berbère.

Une autre question à souligner: les logements n'ont pas de baignoires ou de douches. Le bain se prend à l'aide d'une cuvette d'eau, chaque semaine, et l'eau est ensuite utilisée soit pour arroser les plantes, cultivées dans les patios du logement, soit pour les toilettes. La photo 24 montre le détail d'une salle de bain dans cette région, et la photo 25 montre une cruche métallique utilisée pour réchauffer l'eau destinée à l'hygiène personnelle. Le foyer est dans la cour interne du logement, près de la salle de bain. Nous avons également constaté que les vêtements sont lavés de temps en temps, ce qui représente, à nouveau, un important facteur en ce qui concerne l'économie d'eau.



Photo 24. Ustensiles de salle de bain.



Photo 25. Cruche métallique utilisée pour réchauffer l'eau lors de l'hygiène personnelle.



Le second cas que nous décrivons ici est localisé à l'ouest de l'Amazonie brésilienne, dans la Haute rivière Solimoes, où vivent des populations indigènes et «caboclas». Avec un climat tropical humide, marqué par la succession de stations pluvieuses et de stations d'étiage, la région souffre le phénomène des crues des rivières, qui fait varier le niveau des eaux jusqu'à 12 m de hauteur. Suivant le profil du terrain, cette variation du niveau de l'eau peut correspondre à une distance de plusieurs centaines de mètres et, même, de quelques kilomètres. Lors de la période des pluies, les eaux s'approchent et arrivent à inonder les communautés riveraines, formées par des palafitos, comme le montre la photo 26. La population utilise, alors, de l'eau de pluie pour la consommation humaine. Mais lors des périodes sèches, non seulement la pluie diminue mais, en outre, les eaux des rivières s'éloignent des Communautés et se retrouvent boueuses, ce qui les rend inadéquat pour la consommation humaine.



Photo 26. Paysage typique de l'Amazonie du Brésil. Fleuve Solimoes.

Mais même en époque sèche, en comparaison avec le cas précédent, cette région jouit d'une ressource hydrique considérable et la rivière fait partie de leurs vies. Dans ce cas, le plus grand problème réside dans la qualité de l'eau. Le bain est une importante activité et se produit plusieurs fois par jour. Il s'utilise pour l'hygiène, pour se rafraîchir, et sert aussi d'occasion de rencontre et de divertissement. La vaisselle et le linge sont aussi lavés quotidiennement dans la même rivière, au moyen d'un radeau flottant qui permet d'accéder à l'eau courante. La photo 27 montre une scène typique de la vie quotidienne des populations riveraines de l'Amazonie, où l'on observe des femmes et des filles laver du linge et faire la vaisselle et des enfants se baigner et jouer sur le même radeau. Un même point sert à prendre l'eau destinée à la consommation humaine, aux tâches domestiques, et à la préparation des aliments, comme le montre la photo 28.



Photo 27. Scène typique de la vie riveraine sur les hauts de Solimoes. Femmes faisant la vaisselle et lavant le linge et des enfants jouant dans la rivière.



Photo 28. Utilisation de l'eau lors de la préparation des aliments.

Les particularités que nous avons montrées précédemment doivent être présentes lors de l'élaboration des projets, depuis leur conception jusqu'à leur implantation sur le terrain. Connaître le système préexistant d'utilisation de l'eau dans chaque localité, et son organisation sociale, peuvent marquer la différence entre le succès et l'échec dans un projet. L'acceptation et l'incorporation de changements dans les habitudes de la population dépendront directement du fait que les utilisateurs perçoivent une certaine amélioration. Dans le cas des communautés marocaines, par exemple, il est parfaitement possible de payer pour l'eau consommée dans chaque logement et destiner ensuite le montant perçu pour le maintien du système. Toutefois, cette même situation serait impensable dans le cas des communautés amazoniennes d'une part à cause du pouvoir d'achat qui est inférieur, et d'autre part car les habitants ont la possibilité d'aller à une autre source d'eau, même si elle est éloignée et de qualité inférieure, ce qui provoque l'abstention de toute disposition à payer pour l'eau consommée. Dans ce cas, il ne faut penser qu'à des projets à fonds perdus.

D'autre part, même si on connaît substantiellement la région dans laquelle va être implanter un projet, il faut remarquer que l'action particulière de l'environnement local sur les équipements peut provoquer des situations inhabituelles, comme celles que nous verrons par la suite, qui représenteront un risque pour le projet. Les problèmes présentés sont assez particuliers puisqu'ils ne pouvaient pas être évités en raison d'un manque de nouvelles au préalable sur de semblables situations, ce qui aurait pu servir d'alerte, et parce que tout cela a été provoqué par la faune spécifique de chaque lieu.

Dans le premier cas, nous observons que des insectes ont détruit des joints de fermeture des caisses dans lesquelles sont logés les équipements électroniques, ce qui met en risque leur intégrité car l'humidité est extrêmement importante dans la zone (Photo 29). Dans le second cas, un autre type d'insecte a gravement perforé la structure en bois qui avait été construite pour supporter 3 réservoirs d'eau, de 500 l chacun, ce qui peut être la cause d'un accident sérieux étant donné la fragilité de la structure après leur passage (Photo 30). Dans le troisième cas, les termites ont rongé la couche protectrice qui sert d'isolement et une partie du cuivre du câble qui conduisait le signal de la balise du réservoir vers le convertisseur, ce qui provoquait l'arrêt de la pompe. Le câble étant enterré sur plus de deux cent mètres, la panne n'était pas facile à trouver. (Photo 31). Le plus surprenant des cas est le quatrième, où un crocodile s'est attaqué à un système de pompage flottant installé sur une rivière. L'attaque a détruit une grande partie de la tuyauterie de sortie de l'eau. Comme la tuyauterie a un aspect «floconneux» le crocodile l'a sûrement confondu avec un poisson (Photo 32).

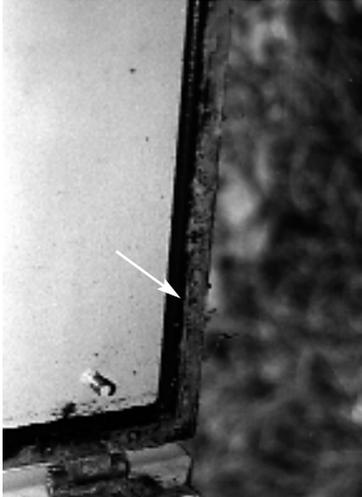


Photo 29: Joint en caoutchouc mangé par les insectes.



Photo 30: Support en bois des dépôts perforés par les insectes.

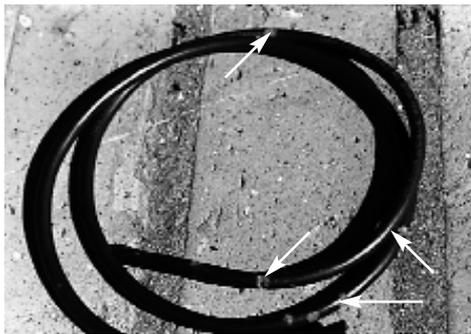


Photo 31. Câble du signal du niveau de l'eau dans le dépôt, rongés par les termites



Photo 32. Tuyau de succion d'une pompe flottante, attaqué par un crocodile.



ISBN: 84-7402-328-9



9 788474 023282