

L'UTILISATION DES ENERGIES RENOUVELABLES POUR L'ELECTRIFICATION RURALE DECENTRALISEE DES PAYS EN DEVELOPPEMENT

A. SCHMITT⁽¹⁾, R. SOLER⁽¹⁾, G. MARBOEUF⁽²⁾,

(1) Electricité de France, R & D Division,

1 Avenue du Général de Gaulle, B.P. 408, 92141 Clamart Cédex, France

Tel : 33 1 30 47 65 34 29/33 27 - Fax : 33 1 47 65 32 18

Email : alain.schmitt@edfgdf.fr/robert.soler@edfgdf.fr

(2) Electricité de France, International Distribution,

17, Place des Reflets, 92080 Paris La Défense Cédex 8, France

Tel : 33 1 49 02 88 71 - Fax : 33 1 46 92 88 30

Email : guy.marnoeuf@edfgdf.fr

RESUME

EDF a développé une méthode de diagnostic permettant de prendre en compte l'électrification globale d'un pays et de choisir les zones devant être électrifiées par réseau et celles devant être électrifiées par des systèmes décentralisés.

Un effort de R&D spécifique a été fourni pour mettre au point cette méthode. De plus, une offre réseau aux normes allégées a été mise au point. Elle apporte une meilleure qualité de service que les réseaux monophasés pour un coût identique. En ce qui concerne les régions rurales, EDF développe une offre de systèmes décentralisés utilisant les énergies solaire et éolienne.

De 1996 à 1998, EDF a mis en oeuvre un programme de recherche nommé ADEN, destiné à concevoir une gamme de systèmes d'électrification rurale optimisés utilisant des énergies renouvelables. Dans le cadre de ce projet, un jeu de spécifications a été rédigé en partenariat avec l'ADEME et le secteur industriel français du photovoltaïque. Ce travail a été mené à bien par plus de 30 experts réunis en groupes de travail thématiques et utilisant la méthode de l'analyse fonctionnelle.

Mots clés : 1 - Electrification rurale, 2 - Energies renouvelables, 3, Pays en développement

INTRODUCTION

En 1993, l'EDF et l'ADEME, l'agence pour la défense de l'environnement et la maîtrise de l'énergie ont signé un accord de coopération sur un certain nombre de sujet dont :

- 1 - la maîtrise de la demande d'énergie en France,
- 2 - la promotion des énergies renouvelables pour l'alimentation en électricité des sites isolé en France métropolitaine et dans les DOM..

Dans le même temps, EDF accroît ses activités internationales, et la moitié de l'humanité attend l'arrivée de l'électricité, du développement économique et une amélioration de ses conditions d'existence.

La direction Internationale d'EDF développe donc un projet nommé « Energie pour tous » en parallèle avec le programme de recherche de la Direction des Etudes et Recherches, dont l'objet est de bâtir de grands projets d'électrification rurale.

Lors du montage du programme de recherche, en 1995, il est apparu rapidement qu'il n'existait pas ou peu de normes et même de spécifications dans ce domaine, pour supporter les activités internationales d'EDF et des industriels du secteur.

Le nombre de sites isolés dans les pays développés est faible du fait du grand développement des réseaux de transport et de distribution. La situation est très différente dans les pays en développement où la moitié de l'humanité, soit près de deux milliards et demi de personnes attendent l'accès à l'électricité. L'électrification de ces pays ne saurait être menée de la même façon que dans les pays développés du fait des investissements massifs qui seraient nécessaires. La réalisation de cette électrification, dans un délai raisonnable de quelques décennies, passe par des solutions nouvelles. EDF propose une stratégie et une méthode qui sont décrites dans ce document.

EDF a développé une méthode de diagnostic permettant de prendre en compte l'électrification globale d'un pays et de choisir les zones devant être électrifiées par réseau et celles devant être électrifiées par des systèmes décentralisés.

Un effort de R&D spécifique a été fourni pour mettre au point cette méthode. De plus, une offre réseau aux normes allégées a été mise au point. Elle apporte une meilleure qualité de service que les réseaux monophasés pour un coût identique. En ce qui concerne les régions rurales, EDF développe une offre de systèmes décentralisés utilisant les énergies solaire, éolienne, micro-hydraulique ou conventionnelle (diesel).

De plus, une offre réseau aux normes allégées a été mise au point. Elle apporte une meilleure qualité de service que les réseaux monophasés pour un coût identique. En ce qui concerne les régions rurales, EDF développe une offre de systèmes décentralisés utilisant les énergies solaire et éolienne.

OUTIL D'AIDE A LA DECISION

Pour développer une politique d'électrification d'un pays, il est nécessaire de se donner une vision à moyen (10 ans) et long terme (20 à 30 ans) de la situation cible. Cela revient à construire un schéma directeur de l'électrification du pays. Pour ne pas séparer les deux mondes du décentralisé et du centralisé, il est primordial de faire cette planification de manière globale. Le schéma directeur doit permettre de choisir entre les deux modes d'électrification par réseau ou par système décentralisé mais également de déterminer la date la plus adéquate pour réaliser les travaux. Ceci nécessite pour la partie décentralisée, une approche village par village et la prise en compte de critères variés, sociologiques, économiques et géophysiques. Cette approche permet d'estimer année par année les besoins d'un village et leur évolution en fonction du niveau de richesse et des perspectives de développement économique. Les caractéristiques de l'habitat de chaque village sont également importantes pour déterminer la meilleure solution d'électrification et estimer le montant des investissements.

Dans certains cas, l'installation de systèmes décentralisés constitue une pré-électrification en attendant l'arrivée du réseau. Dans ce cas, ce système doit pouvoir s'intégrer au réseau à son arrivée. Il est donc vraisemblable qu'une solution de micro-réseau local, associé à des sources de production à base d'énergies renouvelables est une solution intéressante. A l'arrivée du réseau, les sources peuvent être transférées dans un village plus éloigné et le micro-réseau alimenté par l'intermédiaire d'un transformateur.

La présentation d'un tel schéma directeur peut se faire aujourd'hui à l'aide de systèmes d'informations géographiques (SIG). Chaque village est ainsi identifié sur la carte du pays et des codes de couleurs indiquent le mode d'alimentation électrique.

Les villages sont classés selon divers critères par le décideur, pour planifier les travaux d'électrification année par année ou par plans quinquennaux. Toutefois l'un des principaux critères de classement est généralement le taux de rentabilité de l'électrification de chaque village. Plusieurs simulations peuvent être faites en faisant varier le taux d'actualisation, la durée de l'étude, les coûts d'énergie, etc. Cette procédure permet d'obtenir, période par période, la liste des villages à électrifier, le mode d'électrification (réseau, systèmes décentralisés multi-utilisateurs, systèmes décentralisés mono-utilisateurs), le montant des investissements pour chaque période et les quantités d'ouvrages à réaliser. Ces plans annuels ou quinquennaux peuvent être visualisé par le SIG.

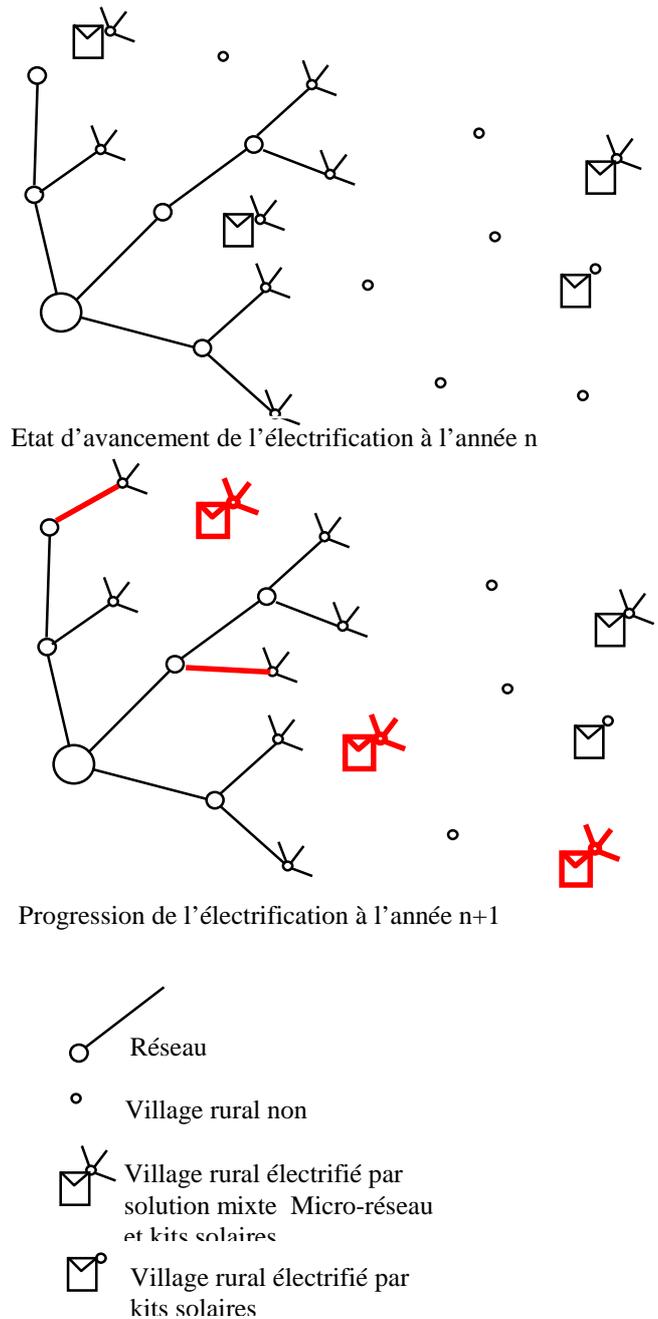


Figure 1 : la progression de l'électrification en suivant le schéma directeur.

LA R&D AU SERVICE DE L'ELECTRIFICATION DES PAYS EN DEVELOPPEMENT.

Un effort spécifique de recherche et développement a été consenti par EDF sur ce sujet. Il se concrétise par deux axes principaux : le développement d'un réseau biphasé à norme allégée et le développement d'une gamme de systèmes d'électrification décentralisée étroitement associée à la rédaction de directives de réalisation de ces systèmes assurant aux utilisateurs un niveau de service prédéterminé.

L'offre réseau

Les réseaux triphasés utilisés dans nos pays européens sont performants mais trop chers pour l'électrification des pays en développement. De plus en plus, ces pays utilisent des réseaux monophasés de type nord américains nettement moins chers mais dont la qualité de service est également moins bonne. EDF a développé un concept de réseau biphasé susceptible de concurrencer le réseau monophasé. La comparaison des deux concepts fait apparaître que le système de protection du réseau français est plus simple et donc plus facile à exploiter et à maintenir ce qui accroît sa fiabilité.

Dans le système français, les défauts monophasés fugitifs, qui sont de loin les défauts les plus nombreux, concernent généralement un grand nombre de clients mais sont, soit éliminés en quelques fractions de secondes par une coupure, soit rendus imperceptibles pour le client par le fonctionnement d'un disjoncteur shunt. La perturbation des réseaux par les creux de tension est minimisée.

Les chutes de tension et les pertes sont deux à trois fois plus faibles dans le système français.

La sécurité des biens et des personnes est également sensiblement meilleure, du fait de la plus grande sensibilité des protections et de courant de défauts plus faibles. Les perturbations sur les réseaux voisins, de télécommunication par exemple, sont également diminuées par la réduction des courants vagabonds.

Ce système biphasé français est plus facilement évolutif pour s'adapter à l'évolution des réseaux, le raccordement de nouveaux clients et la satisfaction de nouveaux besoins.

Sur le plan économique, les coûts d'investissement sont à peu près équivalents pour les deux systèmes, mais le coût d'exploitation (pertes, maintenance dépannage) sont plus faibles pour le système français.

L'offre décentralisée, définition d'une gamme de systèmes

Elle s'oriente vers des systèmes multi-utilisateurs (Multi-Home systems ou MHS) et des systèmes mono-utilisateurs (Solar Home Systèmes ou SHS).

Les premiers sont destinés aux zones rurales à habitat dense, par exemple les gros villages africains. Ces systèmes sont composés d'une micro-centrale de production, d'un micro-réseau de distribution et des installations d'utilisation chez les consommateurs.

Ce concept est particulièrement intéressant pour des actions de pré-électrification. En effet, à l'arrivée du réseau, les installations de production peuvent être déplacées vers des villages plus isolés et le micro-réseau est raccordé au réseau général par l'intermédiaire d'un transformateur.

Lorsqu'il n'est pas prévu que le réseau arrive dans le village dans l'horizon de l'étude, la question se pose du choix entre un système centralisé et des systèmes mono-utilisateurs. La question peut être éclairée par des calculs de

coût actualisés comparés des deux solutions d'électrification, mais elle doit aussi prendre en compte les éléments sociologiques et culturels. Suivant les mentalités locales, on choisira un système de micro-centrale et de micro-réseau parce qu'il est communautaire ou bien des systèmes mono-utilisateur du type Solar Home System si la mentalité est plus individualiste.

D'autres considérations peuvent influencer sur la décision, comme la durée d'alimentation. Les systèmes les plus simples utilisent des petits diesels et un micro réseau est indispensable pour répartir l'énergie entre les utilisateurs. Le diesel fonctionne généralement pendant des durées limitées au cours de la journée, par exemple de 19 h à 22 h.

L'utilisation des micro-centrales hybrides permet d'envisager une meilleure pérennité de l'alimentation. L'énergie est produite par un champ photovoltaïque ou une petite machine éolienne, et stockée dans des batteries durant le jour. L'énergie peut être disponible sur le réseau pendant une plus grande partie de la journée, voire toute la journée. Le groupe n'intervient qu'en complément, quand les énergies renouvelables sont insuffisantes.

Ces systèmes sont plus coûteux à l'investissement que les systèmes comportant uniquement des petits diesels. Mais les coûts actualisés sur des périodes assez longues favorisent ce genre de systèmes car la durée de vie des champs photovoltaïque est longue, environ 20 ans, alors que la durée de vie des petits diesels est assez faible, quelques milliers d'heures au maximum. Ils doivent donc être remplacés souvent, parfois tous les deux ou trois ans. Quand le calcul actualisé est fait sur une durée assez longue et avec des taux d'actualisation pas trop élevés, par exemple période de 25 ou 30 ans avec un taux d'actualisation inférieur à 10 %, il a tendance à rendre les énergies renouvelables plus intéressantes. Si le calcul est fait sur une période très courte de quelques années, avec des taux d'actualisation élevés (15 ou 20 %) la solution diesel est incontournable. Compte tenu des besoins en électricité très faible de ces populations pour l'instant et aussi de leur capacité de paiement limitée, les puissances à installer sont raisonnables. Les besoins vont de quelques dizaines à quelques centaines de Wh par jour. Ces besoins sont à comparer avec nos besoins d'occidentaux qui sont de l'ordre de quelques kWh à quelques dizaines de kWh par jour. Il y a au moins un facteur 10 dans le rapport de besoins.

Cependant, pour que ces systèmes centralisés puissent assurer une alimentation électrique pendant une longue période de la journée, il est nécessaire de limiter pour chaque utilisateur, à la fois la puissance instantanée, ce qui est aussi fait pour les clients raccordés au réseau, mais aussi la quantité d'énergie qu'il peut consommer. Sinon, on peut mettre en périls l'alimentation de l'ensemble des clients. Cela suppose que l'utilisateur gère sa « dotation » énergétique de la journée. Mais cela doit aussi se faire lorsque l'on utilise une lampe à pétrole dont la quantité est limitée ou des piles qui ne permettent de faire marcher la radio que pendant un nombre d'heure connu et limité.

Lorsque l'habitat est très dispersé, la solution du système multi-utilisateur s'impose d'elle-même. Compte tenu des quantités d'énergie limitées qui sont nécessaires, ces systèmes sont de petite taille et leur coût peut être relativement réduit s'ils ont produit en grandes quantités. Là encore l'utilisateur doit gérer la quantité d'énergie disponible. Dans des pays très ensoleillés comme l'Afrique, un système comportant un module de 50 Wc et une batterie permet d'assurer l'éclairage de la famille et quelques heures de radio.

Bien entendu, il est absolument indispensable d'utiliser des appareils très peu consommateurs d'énergie électrique. Ceci est un handicap car ces appareils sont souvent plus cher que les appareils courants. Par exemple, les lampes basse consommation coûtent aujourd'hui encore beaucoup plus cher que les lampes à incandescence.

Le but des études en cours à la Direction des Etudes et Recherches d'EDF est de déterminer une gamme de systèmes les plus standardisés possibles, pour réduire leur coût, et répondant aux besoins identifiés du plus grand nombre.

Ceci suppose une étude approfondie des besoins des utilisateurs en zones rurales des pays en développement.

GARANTIR LA QUALITE DES SYSTEMES DECENTRALISES

Dans le cadre du programme de recherche de l'EDF, a été réalisé un travail de spécification, destiné à remplacer la « Charte de qualité », et susceptible d'améliorer la qualité et la fiabilité des systèmes utilisant des énergies renouvelables et particulièrement des systèmes photovoltaïques.

La première version des « Directives pour l'utilisation des énergies renouvelables dans l'électrification rurale décentralisée » a été publiée en juin 1997 et présentée officiellement dans les locaux de la DER à Clamart en octobre 1997. Mais ces spécifications, pour remplir le rôle qui leur a été assigné au départ, doivent être discutées avec des partenaires étrangers, être complétées et améliorées.

Méthode de travail

La tâche a été accomplie par des groupes de travail utilisant la méthode de l'analyse fonctionnelle (figure 2). Chaque groupe thématique a réfléchi aux fonctions que doivent assurer les composants ou les systèmes ainsi qu'au niveau de performance avec lequel chacune de ces fonctions doit être assurée.

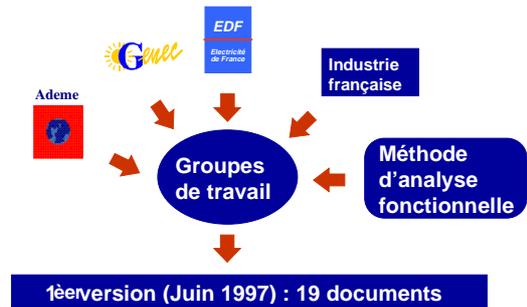


Figure 2 : la méthode de travail

Le travail a été réalisé en 20 mois environ et a impliqué plus de 30 experts français, d'EDF, de l'ADEME, des entreprises industrielles et des bureaux d'études du secteur photovoltaïque.

Structure des « Directives pour l'utilisation des énergies renouvelables dans l'électrification rurale décentralisée ».

La version disponible actuellement est composée de 19 documents. Son propos est de favoriser l'introduction des énergies renouvelables dans les programmes d'électrification rurale décentralisée.

La structure « des Directives ERD » a été conçue pour aider un maître d'ouvrage à partir de l'identification des besoins solvables des futurs clients pour aller jusqu'au choix du système d'électrification. C'est ce que montre la figure 3.

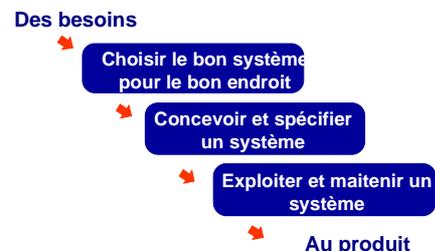


Figure 3 : l'objet des « Directives ERD »

Les trois étapes importantes que doit suivre un maître d'ouvrage dans le montage d'un projet sont les suivantes : choisir le bon système pour le bon endroit, concevoir le meilleur système au meilleur coût, compte tenu des conditions locales, préparer l'exploitation, la maintenance et le renouvellement des installations.

L'expérience des nombreux projets réalisés par le passé, montre clairement que tout projet qui omet l'un de ces trois points clés, comporte de fort risques d'échec. Après quelques mois et dans les meilleurs cas, après quelques années, toutes les installations sont hors service.

Des plus, beaucoup d'expériences de gestion par des associations villageoises ont également été des échecs. Pour

une électrification durable, le système électrique doit être exploité par des professionnels efficaces, comme c'est le cas dans nos pays développés.

Le documents est divisé, dans la version actuelle de juin 1997, en quatre parties et la version de 1999 en comportera probablement cinq.

La partie A s'intitule : Du besoin énergétique au système d'électrification

Elle comprend quatre documents :

- A 1 - Des besoins à satisfaire à la proposition d'une gamme de systèmes d'électrification
- A 2 - Résultats attendus du processus de dimensionnement d'un système
- A 3 - Cadre contractuel des relations entre les intervenants
- A 4 - Assurance qualité de l'étude et de la réalisation des projets

Cette partie A est dédiée à la qualité de la réalisation des projets. Il est clair pour tout le monde que la qualité des produits est une condition nécessaire pour une électrification, rurale pérenne, mais ce n'est pas la seule. Les meilleurs produits industriels doivent être installés et exploités dans les meilleures conditions pour être pleinement efficaces.

En particulier, il est indispensable qu'une étude socio-économique soit menée, avant tout autre action, par le maître d'oeuvre pour s'assurer que le projet répond bien au besoins des futurs clients et que ces derniers sont capables de payer le service proposé.

La 4 montre les principaux acteurs du projet et leur schéma relationnel.



Figure 4 : les relations entre les principaux acteurs impliqués dans un projet.

En particulier, le maître d'oeuvre est responsable vis à vis du maître d'ouvrage pour la qualité de la réalisation des installations et des produits industriels installés.

Le maître d'ouvrage remet les installations à un exploitant qui est responsable envers l'utilisateur de la qualité du service fourni.

La partie B traite de la conception des systèmes. Quand les groupes de travail se sont mis à l'oeuvre, Ils ont rapidement réalisé qu'il était indispensable avant de pouvoir aller plus loin, de construire une classification des installations. Cette

dernière est proposée par la partie B1 et les autres documents proposent des spécifications pour la conception des systèmes, la gestion de l'énergie, l'acquisition des données, la sécurité des biens et des personnes. Bien entendu ces spécifications sont adaptées aux différents types de systèmes.

Partie B : Règles de conception et d'exploitation des systèmes

- B 1 - Architecture des systèmes d'électrification
- B 2 - Règles de conception des sous-systèmes de production (à paraître)
- B 3 - Règles de conception des sous-systèmes de distribution (à paraître)
- B 4 - Règles de gestion de l'énergie
- B 5 - Règles d'acquisition de données
- B 6 - Règles de protection des personnes et des biens contre les risques électriques
- B 7 - Règles pour l'exploitation, la maintenance et le renouvellement

La figure 5 résume la classification des systèmes qui est composée de huit types. Les systèmes utilisant uniquement du diesel sont pris en compte car ils sont aujourd'hui largement utilisés dans l'électrification rurale et constituent une concurrence difficile pour les systèmes utilisant des énergies renouvelables et aussi, parfois, un complément indispensable à ces derniers comme dans le type T5.

Sans stockage	T1	<input type="checkbox"/> Energie renouvelable
SEI (mono utilisateur) Système d'Electrification Individuel	T2	<input type="checkbox"/> EnR + stockage
	T3	<input type="checkbox"/> Hybride + stockage
SEC (Multi-utilisateur) Système d'Electrification Collectif	T4	<input type="checkbox"/> EnR + stockage
	T5	<input type="checkbox"/> Hybride + stockage
	T6	<input type="checkbox"/> Couplage EnR / Diesel
	T7	<input type="checkbox"/> Diesel + stockage
	T8	<input type="checkbox"/> Diesel

Figure 5 : les huit types de systèmes

La classification est focalisée sur trois types principaux : les systèmes sans stockage d'énergie électrique, les systèmes d'Electrification Individuels (SEI) et les systèmes d'électrification collectifs.

La partie C propose des spécifications pour les principaux composants des systèmes.

Partie C : Spécification technique des composants

- C 1 - Champs photovoltaïques
- C 2 - Intégration des champs photovoltaïques au bâti
- C 3 - Aérogénérateur
- C 4 - Groupe électrogène
- C 5 - Batteries
- C 6 - Convertisseurs d'énergie

- C 7 - Gestionnaire d'énergie
- C 8 - Essais climatiques et d'environnement

La partie D ne comporte aujourd'hui que les documents D4 et D5 qui donnent la spécification fonctionnelle d'un système d'électrification collectif (SEC) composé d'une micro-centrale de production et d'un micro-réseau.

Partie D : Aide à la spécification d'un système pour un site donné

- D 1 - Méthode de caractérisation de la demande (à paraître)
- D 2 - Eléments d'aide au choix d'un système (à paraître)
- D 3 - Exemple de description fonctionnelle d'un système d'électrification individuel (à paraître)
- D 4 - Exemple de description fonctionnelle d'un système d'électrification collectif : les micro-centrales
- D 5 - Exemple de description fonctionnelle d'un système d'électrification collectif : les micro-réseaux

La partie E est vide aujourd'hui. Elle est destinée à recevoir des spécifications de produits industriels. Quelques unes existent à l'état de projet pour les lampes portables, les petits kits PV, les interfaces clients pour micro-réseaux. Des documents similaires existent aussi dans d'autres pays et il serait bon d'arriver à un consensus avant de les intégrer dans les « directives ERD ».

Que vas-t-on faire des « Directives ERD »

Le version de juin 1997 des « Directives ERD n'est pas une version définitive. Elle doit être complétée et améliorée notamment grâce au retour d'expérience tiré du terrain, en 1997 et 1998 .

Plusieurs sites pilotes sont réalisés ou en cours de réalisation en France, en Afrique de l'ouest et en Amérique du sud notamment. Ils concernent plusieurs dizaines de milliers de clients. Ces projets d'électrification utiliseront aussi bien des micro-réseaux collectifs (SEC) que des systèmes individuels (SEI) ou Solar home systems en anglais.

Ces programmes constituent d'excellents champs d'expérimentation pour les spécifications et procurent une grande quantité d'information utile pour l'amélioration des « Directives ERD ».

Mais ces spécifications doivent aussi, pour atteindre parfaitement leur but, faire l'objet d'un consensus international, et être améliorées avec le retour d'expérience des experts internationaux du domaine des énergies renouvelables et de l'électrification rurale. Elles peuvent servir à bâtir une base commune à tous les donneurs d'ordres et maîtres d'ouvrage et permettre la mise sur pied de très grands projets d'électrification. Elle peuvent aussi être utilisées par tous ceux qui ont pour but l'augmentation

de la qualité de l'électrification rurale décentralisée utilisant des énergies renouvelables.

Pour que les systèmes utilisant des énergies renouvelables soient capables d'entrer en compétition avec les systèmes classiques, il est nécessaire de les normaliser comme le sont ces derniers et de les réaliser de façon aussi professionnelle et industrielle que ces derniers.

CONCLUSION

L'approche d'EDF pour l'électrification rurale propose la construction d'un plan directeur d'électrification et de choisir le bon système pour la bonne place. Les solutions proposées doivent répondre aux besoins des populations rurales des pays en développement et correspondre à leur possibilités de paiement. Mais il ne doit pas s'agir de solutions « artisanales ». Il est également nécessaire de réduire considérablement le dimensionnement des installations par rapport à celles qui sont réalisées dans les pays développés, tout en assurant un niveau de qualité équivalent.

La première étape de l'écriture des « Directives générales pour l'électrification rurale décentralisée utilisant des énergies renouvelables » est maintenant achevée. L'étape suivante consiste à valoriser ce travail pour construire une base commune de spécifications internationale pour les systèmes d'électrification rurale, photovoltaïques en particulier.

Les spécifications proposées par les acteurs français du secteur des énergies renouvelables peut être une importante contribution à la normalisation et à la certification internationale.

Les rédacteurs français sont prêts à coopérer avec toutes les initiatives internationales qui ont pour but l'amélioration de la qualité de ces systèmes.

Pour assurer la qualité du service offert au client, il est nécessaire d'assurer, à la fois, les trois points clé suivants : assurer la qualité des produits industriels, assurer la qualité de la réalisation des projets, assurer la qualité de l'exploitation de la maintenance et du renouvellement des installations.