



**COWI**

**ADRESSE** COWI A/S  
Parallelvej 2  
2800 Kongens Lyngby  
Denmark

**TEL** +45 56 40 00 00

**FAX** +45 56 40 99 99

**WWW** cowi.com

**PPEA II**

**ORGANISME : COWI/IGIP**

**CONSULTANT : PRACTICA (EBO ROEK)**

**COMPOSANTE 3 : ALIMENTATION EN EAU  
POTABLE EN ZONE RURALE**

**DATE : AOUT 2014**

Concept-1 de 08-08-2014

NO DE PROJET A033354  
DOCUMENT NO. RMCT 84  
VERSION NO. VP1  
DATE DE PUBL. Aout 2014  
ÉLABORE EBO ROEK  
CONTROLE THHE  
APPROUVE THHE

# ETUDE DE FAISABILITE « SOLAIRE » CONCERNANT LES AEV ET PEA DU BENIN



Concept-1

Concept-1 de 08-08-2014

Date : 25-08-2014

Fichier: 20140825-rapport de faisabilite (Benin solaire)-concept-1 relecture TH (ER)

Practica

Ebo Roek

## TABLE DE MATIERES

1	Introduction .....	1
1.1	Objectif général de l'étude .....	1
1.2	Méthode et structure du rapport .....	1
1.3	Missions sur le terrain .....	2
1.4	Définitions et abréviations.....	3
2	AEV et PEA existants .....	4
2.1	Généralités .....	4
2.2	Organisation .....	4
2.3	Les bases de données.....	4
2.4	Forages .....	6
2.5	Pompes .....	7
2.6	Alimentation en énergie des AEV .....	8
2.7	Château d'eau .....	9
2.8	Distribution .....	9
3	Les pompes solaires au Benin.....	10
3.1	Généralités .....	10
3.2	AEV de Soka (Borgou, commune de Sinnende).....	13
3.3	AEV de Koko (Collines, commune de Bante) (25-7-2014).....	14
3.4	AEV de Gobada (Collines) (25-7-2014).....	15
3.5	L'attitude général concernant les pompes solaires.....	15
3.6	Le marché solaire au Benin .....	15
3.7	Aiser .....	16
3.8	Conclusion .....	16
3.9	Recommandations .....	17
4	Faisabilité technique.....	17
4.1	Pompe.....	18
4.2	Forage.....	22
4.3	Château d'eau .....	23
4.4	Le groupe thermique existant .....	26
4.5	Convertisseur .....	26
4.6	Dimensionnement des champs de panneaux solaires.....	28
4.7	Méthode d'installation des panneaux solaires.....	32
4.8	Protection contre le vol et le vandalisme ;.....	33
5	Faisabilité financière.....	34
5.1	Général .....	34
5.2	AEV standard .....	35
5.3	Paramètres de dimensionnement du système solaire.....	36
5.4	Sensibilité de la faisabilité financière pour la population, la consommation et la Hmt 40	
5.5	Sensibilité pour les prix unitaires .....	43
5.6	Influence, sur la faisabilité, d'un gardien pour les panneaux solaires .....	44
6	Conclusions de l'étude de faisabilité et critères de sélection.....	45
6.1	Généralités .....	45
6.2	Critères de sélection des AEV pour le projet solaire .....	45
6.3	Conditions pour l'implémentation du projet .....	45
6.4	Autres observations .....	46
7	Sélection des AEV .....	46
7.1	Général .....	46
7.2	Critères généraux basés sur l'information de la BDI .....	46

7.3	Critères concernant l'objectif pilote .....	48
7.4	Rédaction d'une liste de 60 AEV qui répondent aux critères de sélection .....	49
7.5	Enquêtes sur le terrain .....	49
7.6	Sélection définitive.....	50
8	Project technique.....	50
9	système de maintenance et de fourniture des pieces de rechange.....	51
9.1	Généralités .....	51
9.2	Maintenance.....	51
9.3	Les pièces de rechange.....	52
10	L'appel d'offre.....	53
10.1	AO International .....	53
10.2	AO local.....	54
10.3	AO sur base de systèmes types .....	55
10.4	Conclusions.....	55
11	RECOMMANDATIONS .....	56
11.1	Formations des cadres dans le domaine solaire.....	56
11.2	AEV's neufs avec système solaire.....	57
11.3	Bases de données .....	57
11.4	AEV abandonné .....	58
COMPTE - Rendus de Rendez vous.....		7
02-06-2014-SNV, Matthew Carr) .....		7
03-06-2014-Ambassade des Pays Bas (George de Gooijer) .....		7
03-06-2014-GIZ (Mr Foerster).....		7
03-06-2014-AFEB(divers personnes) .....		7
06-06-2014-Soumanou Djiara (représentant de GWE, Pumpenboese, Phaesun),.....		8
11-06-2014-ENERDAS GROUP (Mr Faustin Dahito).....		8
17-07-2014-AFEB (Mr Cyriaque Adjinacoo), 17-07-2014.....		8
24-07-2014-Mission Catholique a Fo Boure (Frere Juan Paolo Lopez).....		9
25-07-2014-WISSAM Parakou .....		9
29-07-2014-Banque Mondiale (Sylvain Adokpo Migan) .....		10
30-07-2014-Objectifs Benin (Erick Yessoufou) .....		10

Annexe 1 : Termes de Reference de cet étude

Annexe 2 : Bordereau des prix unitaires pour l'AEV standard de l'étude de faisabilité

Annexe 3 : Rendus des rendez-vous pendant les missions sur le terrain

## 1 INTRODUCTION

### 1.1 Objectif général de l'étude

L'objectif de l'étude est de permettre la mise en place de système de pompage solaire sur des AEV et PEA existants au Bénin afin de réduire les coûts de production et la dépendance énergétique du Bénin.

Le projet PPEA II a fait sortir des termes de référence pour cette étude (annexe 1). Ces termes de référence définissent comme sujet de l'étude l'installation des systèmes solaires dans un nombre d'AEV/PEA existants au Bénin. Deux alternatifs sont à étudier :

- le remplacement pur et simple du système en place ou
- le système de pompage hybride (solaire plus énergie déjà en place)

Cette étude a montré (voir chapitre 4) que le remplacement pur et simple n'est presque pas possible sans aussi agrandir le château d'eau (modification de la capacité de stockage) et parfois aussi par ajouter un forage afin d'augmenter la production horaire. Le système hybride est donc à favoriser dans le contexte de la modification des AEV/PEA existants, qui ne sont pas initialement dimensionnés pour fonctionner avec les systèmes solaires.

Pour cette étude de faisabilité il ne s'agit donc pas simplement de voir si un système solaire serait faisable au Bénin. Il s'agit plutôt de voir s'il est faisable d'introduire des systèmes solaires dans les AEV/PEA existants (initialement dimensionnés pour l'énergie thermique) et de sélectionner un nombre d'AEV/PEA ou l'investissement dans un système solaire aura le plus grand effet dans le sens de l'objectif de cette étude soit une diminution des charges de production, de la dépendance énergétique et un effet local sur la production de gaz à effet de serre.

### 1.2 Méthode et structure du rapport

La méthode pour arriver à une liste d'AEV à équiper avec un système solaire pour l'approvisionnement en eau est la suivante :

1. Etude de faisabilité générale (technique et financière) avec analyse de sensibilité pour :
  - a. Voir si une telle modification est faisable techniquement ;
  - b. identifier les critères de sélection pour les AEV/PEA ;
2. Rédaction d'un nombre de critères auquel une AEV doit répondre pour se qualifier comme candidat pour un système solaire.
3. Correction de la BDI (Banque de Données Intégrées) afin de pouvoir l'utiliser pour la sélection.
4. Sélection initiale d'environ 60 AEV et PEA qui répondent le mieux aux critères de faisabilité
5. Enquête sur le terrain des 60 AEV/PEA sélectionnés
6. Rédaction de la liste définitive. Cette liste doit aussi contenir les informations nécessaires pour pouvoir élaborer les TdR pour un dossier d'appel d'offre.

On trouvera ci-dessous une description de la structure du rapport avec un bref contenu des chapitres.

Pour une modification de n'importe quel système il est obligatoire de connaître le système existant. Pour cela le chapitre 2 contient une description de la technique et l'organisation des AEV/PEA existants.

Puis, dans le chapitre 3, les systèmes d'AEP solaires existants, ainsi que le marché de pompage solaire au Bénin seront étudiés. L'objectif est :

- De voir dans quelle mesure on peut profiter des expériences avec les systèmes solaires existants au Bénin et
- de voir quel rôle les entrepreneurs dans le domaine de l'énergie solaire peuvent jouer dans la modification des AEV/PEA.

Dans le chapitre 4, il s'agit de la description technique de l'AEP dans les AEV existants en combinaison avec l'énergie solaire. Dans ce chapitre les critères techniques de sélection des villages le plus adaptés seront développées. Notamment l'ambassade des Pays Bas a insisté pour que ce développement des critères soit transparent et bien documenté. Pour cela le chapitre pourra sembler trop détaillé pour certaines..

Le chapitre 5 contient la faisabilité financière. L'investissement y est considéré comme un investissement commercial qui doit avoir un certain retour sur l'investissement. Bien que les systèmes solaires soient probablement un don, ce programme est un Appui Budgétaire Sectoriel et l'investissement doit être considéré comme un effort de l'Etat béninois. Un modèle Excel technique/commercial a été développé pour la faisabilité financière et faire les analyses de sensibilité (sensibilité). Les résultats sont des critères de sélection pour assurer le plus grand effet des investissements.

Le Chapitre 6 contient les conclusions de l'étude de faisabilité et les critères à utiliser pour la sélection des AEV.

Le Chapitre 7 décrit la procédure de sélection des sites sur la base des données issues des différentes bases de données disponibles ;

Le Chapitre 8 donne une description des fournitures et des travaux à faire (Cahier des Prescriptions techniques);

Le Chapitre 9 aborde la maintenance et la disponibilité des pièces de rechange ;

Le Chapitre 10 donne une proposition pour un appel d'offre local.

Enfin le Chapitre 11 contient des recommandations pour l'exécution du projet et concernant d'autres observation qui ont été faites pendant cette étude de faisabilité.

### **1.3 Missions sur le terrain**

#### **1.3.1 Mission de 1-6-2014 au 12-6-2014**

- Inventaire de l'organisation technique des AEV/PEA ;
- Inventaire des données disponible digitalement concernant les AEV/PEA ;
- Visite de quelques AEV solaires et AEV classiques dans le département de l'Atlantique ;
- Définition de la liste d'informations qui doivent être extraites de la BDI pour pouvoir faire une première sélection d'AEV/PEA pour le projet ;
- Discussions avec les parties prenantes (AFEB, Ambassade des Pays-Bas, Programme PPEA II, Direction de l'Eau, Fournisseurs, etc.) ;
- Préparation de l'enquête de terrain avec le bureau d'étude local ESSOR ;

#### **1.3.2 Mission de 16-07-2014 au 30-07-2014**

- Présentation et discussion des critères de sélection développés après la première mission ;
- Visite des AEV solaires et non-solaires dans les départements du Borgou, Collines, Zou ;
- Commencement de la rédaction du Cahier de Prescriptions Techniques pour un AO ;
- Discussions avec les parties prenantes (AFEB, Ambassade des Pays-Bas, Banque Mondial, Programme PPEA II, Direction de l'Eau, Fournisseurs, etc.) ;
- Travail sur les données des AEV/PEA qui seront nécessaires pour pouvoir faire une sélection ;
- Restitution avec les principaux cadres de la Direction de l'Eau responsables pour l'AEP.

Les comptes-rendus des rencontres pendant cette mission se trouvent dans l'annexe 3

#### 1.4 Définitions et abréviations

AEP	Approvisionnement en Eau Potable
AEV	Adduction d'eau Villageois. En général > 2.000 habitants
AFEB	Association des Fermiers d'Eau du Benin
AISER	L'Association Interprofessionnelle de Spécialistes des Energies Renouvelables au Bénin
AO	Appel d'offre
BDC	Base de données de Communes
BDI	Bane de données Intégrées
BF	Borne Fontaine dans le domaine public
BFP	Borne Fontaine Prive
Consommation Spécifique	Consommation en litres per personne et par jour (l/p/j)
Convertisseur	Le convertisseur d'énergie CC en AC, le plus souvent y inclus le MPPT et l'onduleur de fréquence pour des moteurs de pompes solaires.
DG-eau	La Direction Générale de l'Eau
EPE	Equivalent Point d'Eau
GIZ	Agence de développement Allemand
Groupe	Groupe électrogène (diésel ou essence)
Hmt	Hauteur manométrique totale
HT	Hors Taxes
MO	Maitre d'Ouvrage
MPPT	Maximum Power Point Tracker
PEA	Poste d'Eau Autonome. Forage avec château d'eau a cote et un nombre de borne fontaines au-dessous du château d'eau. En général entre 1.000 et 2.000 habitants. Un PEA peut être promouvez en AEV en ajoutant un réseau avec des BF's.
PMH	Pompe a Motricité Humaine
SONEB	Société Nationale de l'eau du Benin
SP	Saison Pluvieuse
SS	Saison Sèche
Système hybride	AEV avec un système solaire et un groupe électrogène comme « back-up »
TTC	Toutes Taxes Compris
Wc	Watt crête (peak watt)

## **2 AEV ET PEA EXISTANTS**

### **2.1 Généralités**

Ce chapitre décrit l'organisation et la technique des AEV/PEA existants. Parce que l'objectif de cette étude est d'équiper un nombre d'AEV existant avec un système solaire, il est important de comprendre ces systèmes existants. Pour les points de départ démographique (croissance) et technique (dimensionnement), le « Rapport d'études de faisabilité des systèmes d'Adduction d'Eau Villageoise (AEV), avril 2012 « du projet « PADEAR Phase VII » a été utilisé. Ce rapport est assez récent et représente donc les points de vue actuels de la DG-Eau.

### **2.2 Organisation**

#### **2.2.1 Décentralisation**

Depuis un dizaine d'années le Benin connaît la décentralisation des services de l'eau et de l'assainissement. Ceci veut dire que les maires sont responsables de l'AEP dans les Communes. Ils tiennent les budgets, font passer les AO et gèrent les fonds pour le remplacement d'équipement des systèmes d'AEP comme les groupes électrogènes et les pompes. Les communes sont propriétaires des installations et ouvrages d'AEP.

#### **2.2.2 Système fermier**

En principe la commune signe un contrat avec un fermier (entrepreneur d'eau) qui gère pour lui une ou plusieurs AEV/PEA ainsi que parfois des points d'eau améliorés. Les principaux éléments des contrats sont :

- les tarifs ;
- les heures d'ouverture des Bornes Fontaines ;
- les redevances à la Mairie pour remplacement des équipements ;
- la caution à payer par le fermier ;
- La durée du contrat (de 3 à 8 ans) ;
- etc.

Le fermier a du personnel :

- Les exploitants de l'AEV. Normalement un par AEV, sauf si elle est très grande. Le maximum est deux. Il est responsable pour le démarrage et l'arrêt du groupe thermique, entretien, compteurs, collecte des fonds et il supervise les fontainiers. Il a une certaine autonomie financière. Son salaire se trouve typiquement entre 50.000 et 80.000 CFA/mois;
- Fontainiers (Exploitants des bornes fontaines, payé au m<sup>3</sup> vendu ou parfois d'autres types de rémunération).

A peu près la moitié des systèmes d'AEV ont été affermés. Parfois il paraît d'être très difficile de trouver des fermiers parmi la population du département ou de la commune. Les tout petits systèmes d'AEP souvent ne sont guère rentable et donc peu attractif pour des fermiers.

Pour la Banque Mondiale, l'affermage est une condition pour supporter les AEV/PEA, cette vision est aussi partagée par le GSEA (Groupe Sectoriel Eau et Assainissement). Aussi à la Direction de l'Eau le sentiment général est de privilégier les systèmes affermés.

#### **2.2.3 Système groupement des exploitants**

Ce système diffère du système fermier dans le sens qu'il n'y a pas de fermiers. Le groupement d'exploitants entre dans un contrat avec la commune sans l'intervention d'un entrepreneur. Ceci était le principal système avant l'introduction des fermiers. Il existe donc toujours dans les centres ou l'affermage au secteur privé n'est pas encore finalisé ou accepté.

### **2.3 Les bases de données**

Les données des AEV/PEA se trouvent dans les bases de données, développées par des différents projets et programmes.

### 2.3.1 BDI (Base de Données Intégrées)

Cette base de données (Acces) est développée au niveau central de la DGEau et contient entre autres les données suivantes :

- Code de l'AEV/AEP et code du forage
- Département, Commune, Arrondissement, Nom de l'AEV/PEA
- Débit max. exploitable, niveau statique, diamètre, profondeur, etc. des forages.
- Volume et hauteur des châteaux d'eau
- Marque et type de la pompe
- ...

La base n'est pas complète et ils manquent un grand nombre de données.

La base est gérée par la Direction de l'Information sur l'Eau (DIE).

### 2.3.2 BDC (Base de Données des Communes)

Cette base de données (Acces) est développée également au niveau central de la DG-Eau avec l'assistance de la GIZ. Elle sert essentiellement pour la gestion des AEV/PEA par les communes et contient donc entre autres les données suivantes :

- Production d'eau potable par mois
- Nombre d'heures de pompage par mois
- Consommation de carburant par mois
- Recettes et dépenses par mois
- Spécifications des pompes et des groupes

Pour des programmes comme celui-ci il est impératif de connaître, par exemple, le nombre d'heures de pompage, le débit horaire, par jour et par mois, etc. en combinaison avec les données hydrauliques du forage. Malheureusement il est presque impossible aujourd'hui de combiner le BDI et le BDC à cause de la non prise en compte des différents codes par AEV/PEA.

### 2.3.3 L'enquête ESSOR de 2013

En 2013, le bureau d'études ESSOR a effectué une enquête concernant l'affermage des AEV/PEA. ESSOR a également enregistré les débits de production en saison sèche et saison pluvieuse. Malheureusement les codes de la BDI ou BDC n'ont pas été respectés et les noms ont été écrits parfois différemment, ce qui fait que les données sont difficiles à intégrer avec les bases de données existantes.

### 2.3.4 Base de données Manobi

La Banque Mondiale a fait développer une base de données pour 51 AEV (pas de PEA) par l'entreprise Manobi (M-Water). Les communes et les fermiers peuvent gérer les AEV avec ce système, qui contient entre autres :

- Les données techniques (groupe, pompe, réseau, borne fontaines, château d'eau, etc.) avec des photos et les plans des réseaux détaillé ;
- Les données hydrauliques (comme le BDI) ;
- Les données de production d'eau, de la consommation de carburant, etc.
- Les données de consommation par borne fontaine et par branchement privé,
- Les données comptables, etc.

Malheureusement ces données se trouvent au niveau du serveur M-water et il est difficile d'exécuter des requêtes au Bénin. Ceci pour deux raisons essentielles :

- i) Les données sont aussi des données de gestion financière et comptable et sont donc des données privées que Manobi s'est engagé, auprès des communes et de la Banque Mondiale, de ne pas divulguer ;
- ii) La DGEau n'a pas encore officiellement validé le procédé Mwater de gestion des AEV, même si de manière informelle cela a été fait. La DGEau ne peut de ce fait avoir accès au serveur.

Une requête a été envoyée à Manobi par le représentant de la Banque Mondiale au Bénin, Mr Sylvain Adokpo Migan. Les résultats n'ont pas encore été reçus.

Dans la deuxième moitié de 2014 encore 100 AEV's seront ajoutées à la base de données sur inventaire MWater.

### 2.3.5 Commentaire

Généralement l'avantage de gérer ses données dans des bases de données est la possibilité de combiner les différentes données selon besoin d'un projet/programme. Les pré requis pour pouvoir faire ces analyses sont :

- Que les bases soient aussi complètes que possible ;
- Que les différentes bases de données soient compatibles et contiennent au moins un code commun pour pouvoir combiner les données ;
- Que des différentes requêtes puissent être faites sans trop de délai.

Malheureusement actuellement les bases de données au niveau de la DGEau ne répondent pas à ces conditions et un nombre d'heures important a été consacré à rechercher des données pendant les missions, sans obtenir un résultat fiable et assez complets.

## 2.4 Forages

Le plus part des forages d'AEV/PEA ont un diamètre d'environ 125 mm. La figure ci-dessous montre les diamètres figurant dans le BDI de la Direction Générale de l'Eau. Les diamètres de 0 mm ne sont pas corrects et en plus ils existent un nombre significatif de champs vides dans la base de données.

Ceci montre déjà que la base de données, dont nous avons besoin pour pouvoir sélectionner les AEV/PEA les plus adaptes au solaire, n'est pas complète.

Il a été observé que dans la base de données MWater, établie dans le cadre du PEA de la banque Mondiale par Manobi, il figure un plus grand nombre de forages a diamètre 200 mm pour les mêmes AEV/PEA.

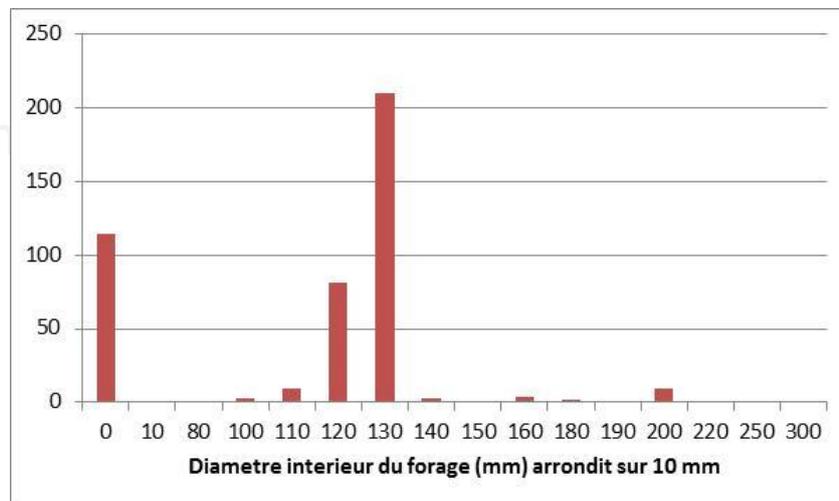


Figure 1 Diamètres des forages

Le niveau statique, le débit et le rabattement du niveau avec le débit varient selon la région. Ici également ils manquent nombre de valeurs dans la BDI.

Le niveau statique des forages non-jaillissant varie de 0 à 80 mètres avec un moyen de 30 m sous-sol.

Les têtes de forage sont exécutées comme indiqué dans la Figure 2

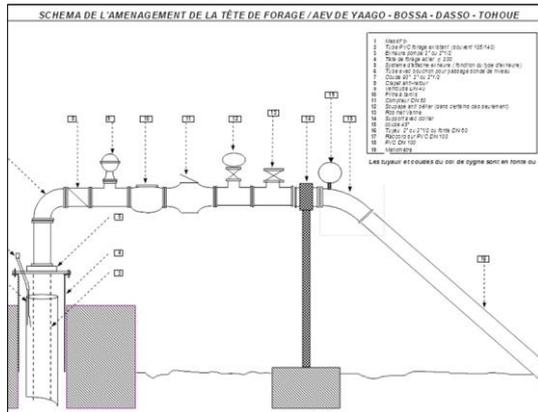


Figure 2 Tête de forage (exemple)

Ci-dessous on trouve les calculs de dimensionnement pour la colonne de refoulement, la tête de forage et la canalisation de refoulement vers le château d'eau. Ceci est important car les pompes solaires auront en général un débit plus élevé et il faut vérifier si la colonne, la tête de forage et la canalisation de refoulement sont encore correctement dimensionnés pour être retenus après la modification en pompe solaire.

Les diamètres de la colonne de refoulement et de la tête du forage sont dimensionnés comme suite ( $v < 1,5$  m/s):

Débit < 10,5 m <sup>3</sup> /hr	DN 50
Débit < 15,0 m <sup>3</sup> /hr	DN 60
Débit < 18,0 m <sup>3</sup> /hr	DN 65

Si le château d'eau est à côté du forage, le refoulement est séparé du réseau de distribution. Dans l'autre cas, où le château d'eau est éloigné, le refoulement vers le château d'eau est à travers du réseau de distribution.

Le diamètre de refoulement est généralement déterminé avec la formule de Bresse, ce qui est très classique :

$$D = 1,5 \times Q^{0,5}$$

Avec : D = mm  
Q = m<sup>3</sup>/s

## 2.5 Pompes

Les forages sont équipés avec des pompes centrifuges submersibles (3~), presque uniquement de la marque Grundfos. Ces pompes sont amorties en général sur 7 ou 8 ans. Le dimensionnement est basé sur la consommation à l'horizon de 10 ans.

La durée journalière de pompage dans les calculs de dimensionnement est de 12 heures pour la consommation à l'horizon 10 ans. Pourtant, généralement ces heures de pompage ne sont pas atteintes à cause de la consommation spécifique réelle beaucoup plus basse que celle prise en compte pour le dimensionnement.

La Hmt est calculée sur la base :

- Du niveau statique ;
- Du rabattement correspondant à la capacité de la pompe ;
- La hauteur (trop plein) du château d'eau ;
- La différence (hauteur) entre le niveau du sol au forage et au château d'eau ;
- Les pertes de charge dans le tuyau d'exhaure et dans les tuyaux entre la pompe et le château d'eau ;

## 2.6 Alimentation en énergie des AEV

Tableau 1 Alimentation en énergie des AEV/PEA

Type	Description	Nombre d'AEV
1	Groupe Thermique	428
2	Réseau SBEE	63
3	Extension SONEB	15
4	Solaire	23
5	SBEE plus Thermique	20
6	En cours de construction	11
	TOTAL	560

### 2.6.1 Groupe thermique

Les groupes électrogènes existant sont du type Diesel lent, moteur Lister/Petter (vitesse, 1500 tpm), avec alternateur 3~ 380V. Actuellement, ce fabricant a parfois des problèmes pour fournir des pièces de rechange et, pour les nouvelles AEV, les groupes Perkins sont maintenant considérés. En plus on trouve parfois des groupes Chinois, qui donnent en général beaucoup de problèmes d'entretien et sont amortis assez vite.

Le prix du carburant (gazole) à la station est de CFA 615 partout dans le pays. Cependant, dans les villages où il n'existe pas une telle station les fermiers doivent aller chercher le carburant en voiture ou moto. Le carburant revient donc plus cher dans ces villages et l'avantage d'un système solaire y est donc plus grand.

Au Bénin il existe un marché illégal de carburant beaucoup moins cher venant du Nigeria. Ce phénomène n'a pas été considéré dans l'étude de faisabilité parce qu'il s'agit essentiellement d'essence et de peu de gazole.

Les groupes sont dimensionnés à 2,25 ou 2,5 fois la puissance du moteur de la pompe. Ceci est pour pouvoir démarrer la pompe. La conséquence est que souvent la puissance des groupes est beaucoup trop grande et les groupes fonctionnent à 25-40% de leur puissance nominale. Ces groupes consomment donc relativement beaucoup de carburant par kWh ou par m<sup>3</sup> d'eau (jusqu'à 50% de plus).

Les groupes sont amortis sur 15.000 heures. Ces groupes se trouvent dans un abri en parpaing qui contient également l'armoire électrique de la pompe. L'abri se trouve à côté du forage. L'ensemble forage/abri-groupe est clôturé.

Quand un groupe thermique tombe en panne, l'exploitant doit normalement le réparer. S'il s'agit d'une panne importante, le système d'eau ne peut pas fonctionner pendant des jours ou même des semaines. Parfois aussi la commune n'est pas capable de remplacer un groupe après une panne importante et le système est alors abandonné.

### 2.6.2 Réseau SBEE

Les AEV branchées sur le réseau SBEE n'ont pas de problème de logistique pour leur carburant ni pour l'entretien du groupe. En plus la facture énergétique est relativement moins chère que pour les AEV équipés avec un groupe.

Le prix de l'électricité de SBEE est le même partout dans le pays :

Tranche 1 : 78 CFA/kWh  
Tranche 2 : 105 CFA/kWh  
Tranche 3 : 115 CFA/kWh

Les AEV sont dans la troisième tranche.

Il n'y a pas un prix d'abonnement par mois, seulement un petit montant pour l'entretien du compteur. Les coûts d'investissement pour un branchement sur le réseau SBEE s'élèvent à CFA 220.000,- (prix compteur, sans l'extension du réseau).

Le réseau SBEE n'est pas fiable partout. Parfois il y a des coupures qui durent quelques heures jusqu'à parfois même quelques jours pénalisant ainsi le service public de l'eau.

### 2.6.3 Extension SONEB

Dans ce cas l'AEV n'a pas sa propre pompe ni son groupe. Les Bornes Fontaines de ces systèmes sont simplement branchées sur le réseau de distribution urbain de la SONEB. Il n'y a donc pas de source d'énergie à remplacer ou améliorer par un système solaire.

### 2.6.4 Systèmes solaires

Il y a des anciens systèmes solaires ou les panneaux ont été abandonnés et ou un groupe thermique a été installé. Ces systèmes seront logiquement considérés comme des systèmes avec alimentation en énergie du type « groupe thermique ».

Voir aussi chapitre 3.

### 2.6.5 SBEE plus groupe thermique

Dans les villages où le réseau de la SBEE n'est pas assez fiable, un groupe thermique a été installé pour les périodes d'insuffisance de la SBEE. Du point de vue coûts d'énergie ces AEV sont plus intéressants que les systèmes qui fonctionnent seulement avec les groupes thermiques.

## 2.7 Château d'eau

Dans le sud, où le terrain est peu accidenté, les châteaux d'eau peuvent souvent se trouver à côté du forage. La pompe du forage remplit directement le château par une canalisation qui arrive au niveau trop plein. Le réseau est alimenté à partir du château d'eau par gravité.

Plus vers le Nord, le forage se trouve le plus souvent dans la vallée alors que le château d'eau se trouve au village ou sur un point élevé. Le château d'eau peut donc être assez éloigné du forage, parfois même 10 km. Dans ce cas la pompe du forage refoule directement dans le réseau et le surplus d'eau alimente le château d'eau.

Pour les systèmes alimentés en énergie par un groupe ou par le SBEE le dimensionnement est comme suit :

Dimensionnement < 150 m<sup>3</sup>/jour : 25% de la consommation journalière à l'horizon 20 ans  
Dimensionnement ≥ 150 m<sup>3</sup>/jour : 20% de la consommation journalière à l'horizon 20 ans

Les systèmes solaires que la mission a vus à Allada (don de la coopération Suisse), avaient des châteaux d'eau dimensionnés sur 150% de la consommation estimée à l'horizon 15 ans.

Les Châteaux d'eau sont amortis sur 25 ans.

## 2.8 Distribution

Types de distribution des AEV :

Borne Fontaine (BF)	Borne Fontaine publique (équipée d', surveillée par un fontainier. Le fontainier est payé par le fermier (xx/m <sup>3</sup> ). La population paye par conteneur.
Borne Fontaine Particuliers :	Borne Fontaines pour écoles, etc. Recettes en général arrangée par le fermier (montant fixe ou autrement)
Borne Fontaines privées :	Borne Fontaine pour une maison. Le branchement est muni d'un compteur. Le propriétaire paye par m <sup>3</sup> . Le plus souvent il existe dans la concession un puits traditionnel ou un captage de l'eau de pluie (rainharvest). L'eau de l'AEV/PEA est donc utilisée surtout pour boire et pour la cuisine. La consommation est donc en général moins élevée que pour une borne fontaine public.
Branchements privés	Branchement d'une maison. Très peu développé dans les AEV.

La base de la conception des AEV au Bénin est L'EPE (Equivalent Point d'Eau) pour alimenter 250 personnes. Une borne fontaine sert 2 EPE (= 500 personnes).

Pour calculer la consommation à l'horizon du projet la Direction Générale de l'eau utilise les valeurs ci-dessous.

Tableau 2 Dimensionnement des nouvelles AEV

Taux d'accroissement annuel de la Population	Consommations spécifiques (l/p/j)			Rendement du réseau
	2012	2022	2032	
2,00%	12	15	20	90%

Le taux de croissance revient donc à 2,6% par an.

Selon les règles officielles de dimensionnement la consommation spécifique doit être de 20 l/j/hbt. Cependant, la consommation spécifique est beaucoup plus basse en réalité, surtout en saison pluvieuse. A cause des estimations de nombres d'habitants peu fiables ceci est difficile à calculer ou vérifier.

Pour cette étude la consommation actuelle comme enregistrée par les exploitants sera utilisée pour le dimensionnement. Le taux de croissance sera de 2% (population) x 2,6% (croissance consommation spécifique) = 4,65% par an.

Les bornes fontaines sont en principe ouvertes de 7:00 heure à 19:00 heure selon le contrat entre le maire et le fermier. La consommation la plus importante a lieu entre 7:00 et 09:00 heures du matin et entre 17:00 et 19:00 heures le soir (cette donnée aura son importance pour l'utilisation de l'énergie solaire)

### 3 LES POMPES SOLAIRES AU BENIN

#### 3.1 Généralités

Le nombre d'AEV solaires n'est pas très clair au Bénin. Dans le passé il y avait des AEV solaires qui sont devenu des AEV avec groupe thermique ou qui ont été abandonnées comme AEV et qui sont redevenu des villages avec des point d'eau améliorés avec une pompe à main au lieu d'une pompe solaire sur le forage.

Probablement il y a (ou eu) 31 systèmes solaires sur AEV, dont 7 qui sont aujourd'hui en panne.

Tableau 3 Systèmes solaires au Bénin

Département	Fonctionne	Panne	Total
OUEME	0	2	2
ATLANTIQUE	3	3	6
BORGOU	19	0	19
ZOU	2	0	2
ATACORA	0	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>31</b>

Les systèmes d'Ouémé, qui sont en panne, datent de 1990. Le développement des systèmes solaires a été tel qu'on ne peut probablement pas tirer des conclusions pour le futur sur la base d'une analyse de ces systèmes. Ils n'ont donc pas été visités.

Dans le département de l'Atlantique, parmi les 3 systèmes en panne il y a un de 1990 et un de 2006. Le type de système est inconnu. Les systèmes qui fonctionnent toujours sont de 2009 et 2013.

Plus que la moitié des systèmes solaires existants se trouve dans le département de Borgou, où il n'y a pas un système en panne. Ces systèmes datent de 2008 à 2014 et sont donc relativement neufs. Il s'agit de systèmes Grundfos SQF 2,5-2 (sans groupe thermique) installés par un projet de la mission catholique à Fo Boure (commune de Sinende) avec une forte participation de la population. (Voir rapport de visite paragraphe 3.2).

Parmi les 19 AEV solaires il y en a trois qui étaient originellement des AEV construites par la Direction Départementale de l'Eau avec groupe thermique. Ils étaient abandonnés à cause de la panne de ce groupe. La mission a installé des pompes solaires et ces AEV fonctionnent de nouveau.

Les systèmes de Zou datent de 2004-2009 et sont également équipés de pompes de la marque Grundfos. Selon les bases de données ils fonctionnent. Ils n'ont pas été visités.

L'année d'installations des systèmes de l'Atacora ne se trouve pas dans la liste d'affermage ni dans la liste du BDI.

Dans le département des Collines il y avait 2 systèmes solaires mais les panneaux ont été volés il y a 10 ans environs. Après, ces systèmes sont redevenus des ouvrages simples avec des pompes à main.

Les systèmes solaires existants n'ont pas de groupe électrogène d'appui ou de secours. Il semble (à vérifier) qu'il y a quelques anciens systèmes solaires qui ont été transformés en systèmes thermiques.

La mission a visité cinq sites solaires :

- AEV de Ahota (Atlantique)
- AEV de Niaouli II (Atlantique)
- AEV de Soka (Borgou) (exemplaire pour 19 AEV solaires à Sinnende)
- AEV de Koko (Collines)
- AEV de Gobada (Collines)

### 3.1.1 AEV de Ahota

Le système solaire d'Ahota est un don de la coopération Suisse. Il a été installé en 2006 et est constitué d'un réseau de panneaux solaires d'environ 22 m<sup>2</sup>, une pompe immergée et un château d'eau de 21 m<sup>3</sup>. La capacité du système est 13 m<sup>3</sup>/jour. La plaque sur le château d'eau dit que ce système peut servir 4.500 habitants (horizon 2020). Ça veut dire 3 l/p/j. Avant d'être modifié, le système avait un château d'eau plus petit.

Avec les données de la BDI le système a été recalculé.

Tableau 4 Ahota

Description	Hauteur en mètres
Niveau statique	45
Rabattement à 2 m <sup>3</sup> /hr	10
Différence de niveau entre forage et château d'eau	10
Pertes de charges entre forage et château d'eau	10
Hauteur Château d'eau	15
<b>Hmt estimée</b>	<b>90</b>

En calculant avec des panneaux modernes à haut rendement, on aurait besoin d'environ 16 m<sup>2</sup> après dix ans de fonctionnement. Ceci peut être plus ou moins équivalent à 22 m<sup>2</sup> de panneaux (polychristallin) de 2006. Il n'a pas été possible d'identifier le fabricant des panneaux.



Néanmoins le système donne seulement 2 m<sup>3</sup>/jour et parfois rien du tout. La pompe du forage pompe directement vers le réseau (400 m du château d'eau) avec le résultat que l'eau n'atteint que les 3 borne fontaines à côté et en aval du forage. L'exploitant a rapporté qu'il y a deux ans la pompe était en panne (assez normal) et quelqu'un a remplacé la pompe (Nigeria ?) sans connaissance des caractéristiques nécessaires. Depuis ce temps le système fonctionne mal.

Un panneau a été volé. On n'a pas pu constater si ce panneau fait partie d'un nombre de panneaux en série, dans le cas où toute la série ne contribue plus.

Les panneaux ont l'air mal entretenus. Le caoutchouc d'étanchéité a disparu sur plusieurs panneaux.

On a rencontré l'exploitant, mais parce que la pompe ne produit presque pas d'eau il n'existe pas des données de consommation ou de production.

### 3.1.2 AEV de Niaouli II

Le système solaire de Niaouli II est également un don de la coopération Suisse. Il a été installé en 2012 et constitue d'un réseau de panneaux solaires d'environ 10 m<sup>2</sup>, une pompe submergée et un château d'eau de 18 m<sup>3</sup>. Les panneaux sont installés au-dessus du château d'eau. La capacité du système est 13 m<sup>3</sup>/jour. La plaque sur le château d'eau dit que ce système est pour 3.200 habitants (horizon 2022). Ça veut dire 4 l/p/j.

Avec les données de la BDI le système a été recalculé.

Tableau 5 Niaouli II

Description	Hauteur en metres
Niveau statique	61
Rabatement a 2 m <sup>3</sup> /hr	2
Différence de niveau entre forage et château d'eau	0
Pertes de charges entre forage et château d'eau	3
Hauteur Château d'eau	15
<b>Hmt estimée</b>	<b>81</b>

On aurait besoin d'environ 1,4 kWc pour ce système. 8 panneaux de 0,14 kWc = 1,12 kWc ont été installés. Ceci est dans le même ordre de grandeur puisqu'on ne connaît pas les vrais points de départ. On n'a pas pu découvrir le fabricant des panneaux parce que les panneaux sont installés au-dessus du château d'eau. Les panneaux solaires ont l'air d'être mal fixés sur le château d'eau, mais jusqu'à maintenant ils ont résisté aux intempéries.



Il est presque impossible de nettoyer les panneaux sur le château d'eau.

Le système fonctionne bien. Les autorités et les utilisateurs sont très contents avec les panneaux au-dessus du château, ce qui évite le vandalisme et le vol. La pompe du forage refoule directement dans le château d'eau ce qui garantit une bonne distribution de l'eau dans le village sans préférence pour les bornes fontaines en aval.

Malheureusement on n'a pas pu rencontrer l'exploitant pour obtenir plus de détails sur le fonctionnement et la consommation.

### 3.2 AEV de Soka (Borgou, commune de Sinnende)

L'AEV de Soka est un des 3 AEV du service de l'eau qui ont été transformées en solaire par la mission catholique de Fo Bouré (Sinnende).

Apparemment le groupe est complètement hors réparation, mais il est toujours sur place. Les moyens de le réhabiliter n'étaient pas disponibles et la mission a décidé de le remplacer par une pompe solaire, qui ne connaît pas de problèmes de carburant, de logistique et de réparation, etc.

La pompe Grundfos SP5A-25 a été remplacée par une pompe solaire SQF2,5-2 avec 7 panneaux de 180 Wc chacun. La pompe est une pompe à hélice (pas centrifuge), qui est un type de pompe de déplacement positif ou bien une pompe volumétrique. Ça veut dire que dès que le moteur tourne la pompe donne de l'eau. La première pompe a été installée en 2008 et il n'y a pas eu de problèmes jusqu'à maintenant.

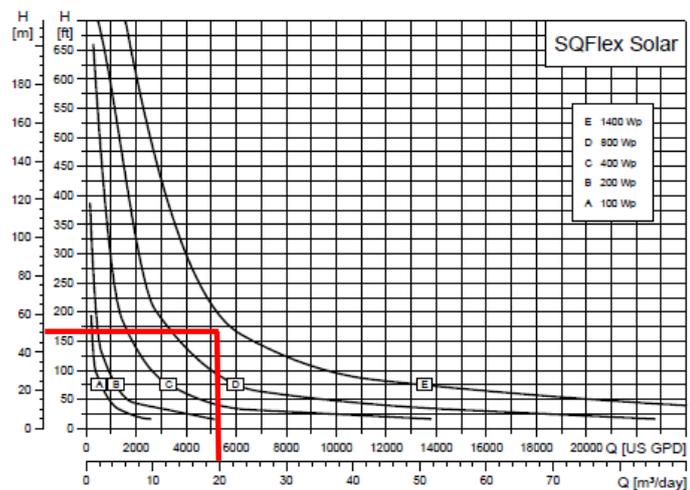
Le château d'eau est à 1 km et le manomètre sur la tête de forage (65 mm), qui a été retenue, indique 4 Bar pour 1 m<sup>3</sup>/hr de débit (presque pas de Hm dynamique).

Les panneaux se trouvent sur le toit de l'abri du groupe de l'ancien système thermique. Le village a ajouté deux rangées de parpaings sur les murs de l'abri pour éviter que les panneaux se voient de la route (anti-vol). Les pieds du support ont été fixés dans le ciment et il est presque impossible de se rendre sous les panneaux pour détacher les boulons.



Les 7 mètres carrés de panneaux sont le maximum pour le toit de l'abri. Ils représentent 7 x 180 = 1260 Wc, qui est presque le maximum pour ce type de pompe.

On ne connaît pas la Hmt, mais avec un Hmt de 50 m, cette pompe donne environ 20 m<sup>3</sup>/jour. Il semble qu'en février l'eau ne suffit pas. Seulement une borne fontaine (sur 9) donne de l'eau dans cette saison. En juillet et août il y a assez de l'eau (malgré la moindre irradiation) parce que la population utilise l'eau des puits et des citernes. Souvent les bornes fontaines dans cette saison sont fermées. La population a dit qu'autrefois, quand le système thermique fonctionnait encore, toutes les bornes fontaines avaient de l'eau en février.



La mission n'a pas comme objectif de fournir toute l'eau pour la population, mais seulement suffisamment de l'eau pour boire et pour la cuisine (3-4 l/p/j).

Les autres AEV de la commune ont le même type de pompe. Pour les petits villages il y a assez d'eau, pour les plus grands villages l'eau ne suffit pas pour plus que l'utilisation dans la cuisine et à boire. Toute la commune (23 villages) est maintenant servie par des AEV à base des pompes solaires.

L'entretien se fait par les électriciens, plombiers et maçons de la commune, qui ont été formés par la mission. La mission conserve des pièces ou en commande à la maison WISSAM à Parakou. Jusqu'à maintenant il n'y a pas eu des pannes, ni de la pompe solaire ni des réseaux. Les frais d'exploitation approchent 0 CFA, sauf les salaires des techniciens et les redevances pour la commune.

Le volume du château d'eau est de 20 m<sup>3</sup>, ce qui est à peu près égal à 100% de la consommation journalière, grâce au fait que le système était surdimensionné

### 3.3 AEV de Koko (Collines, commune de Bante) (25-7-2014)

La date de construction de l'AEV de Koko est inconnue, probablement l'AEV existe depuis 2004 ou 2005 (marquage sur le forage, qui est encore plus ancien). Tous les panneaux, ensemble avec le convertisseur, ont été volés quelques années après la mise en marche du système. La borne fontaine à côté du forage indique 471 m<sup>3</sup>, ce qui doit être le débit total distribué au moment du vol. Ce qui veut dire un an de consommation soit 1,3 m<sup>3</sup>/jour. La durée de vie a donc été très courte.

Il semble que quelqu'un du village a essayé de rénover l'AEV avec un groupe thermique, mais il a échoué, probablement parce que la pompe était une pompe CC (courant continu), ce qui était normal autrefois. Maintenant le forage de la pompe solaire (5 m<sup>3</sup>/hr selon le représentant du service de l'eau) est équipé avec une pompe à main. Deux autres forages dans le village de 9 m<sup>3</sup>/hr (même source d'information) ont également été équipés avec une pompe à main.



Le château d'eau n'a plus de fonction comme le réseau et les bornes fontaines, qui ne possèdent plus leurs robinets. Les aires autour et les couvercles des bornes fontaines ont également été cassés.

Le village a été électrifié récemment et les maisons autour du site de la pompe solaire ont un branchement électrique (?). Dans le cas d'une rénovation, l'AEV deviendra certainement une AEV branché sur le réseau de la SBEE. Il n'est donc pas nécessaire de remplacer la pompe dans un éventuel programme de rénovation des sites solaires. Il ne faut pas attendre trop longtemps si l'on veut programmer une rénovation, car les bornes fontaines et sans doute aussi le réseau sont en train de se détériorer.

Il est à noter que le support des panneaux, qui est galvanisé, est toujours en bon état. Une telle protection contre la corrosion paraît donc d'être suffisante. Les panneaux et les supports qui ont été enlevés aussi étaient fixes avec des boulons et écrous ordinaires, sans précautions contre le vol.

L'AEV de Koka est indiquée dans la BDI comme AEV avec pompe à main et château d'eau. On a considéré ceci comme erreur, mais apparemment le BDI est correct. Il s'agit donc d'une AEV qui est redevenu un village avec points d'eau améliorés parce que les moyens pour rénover l'AEV manquent. Probablement les autres AEV ou la pompe est indiquée PMH, ont un problème identique.

### 3.4 AEV de Gobada (Collines) (25-7-2014)

L'AEV a été construit en 2001. Quelques années après la construction les panneaux ont été volés et l'AEV a été abandonnée par la suite. Des pompes à main ont alors été installées sur les forages dans le village et cette situation persiste jusqu'à aujourd'hui.

Le château d'eau de 30 m<sup>3</sup> et de 15 mètre de hauteur a été construit à peu près 30 mètres plus bas que le point le plus haut du village. Même quand la pompe a fonctionnée au début, l'eau n'a pas atteint tous les bornes fontaines pour des problèmes de conception initiale.



Le site des panneaux est à côté du forage et à côté du château d'eau, dans un endroit extrêmement isolé. Sans un autre château d'eau ce n'est pas la peine de rénover ce site. Le site ne peut être qualifié pour un simple remplacement par système solaire.

### 3.5 L'attitude général concernant les pompes solaires

L'attitude générale concernant les pompes solaires n'est pas très favorable au Bénin. Dans le passé il y a eu quelques échecs et les expériences avec les systèmes de la mission catholique à Borgou ne sont pas très connus parmi les fonctionnaires de l'administration de l'eau ni parmi les agents des bailleurs de fonds. La mission catholique et son fournisseur à Parakou ne font pas du PR (?).

Au niveau de la DGEau il n'existe pas d'expérience ni de connaissance détaillée des systèmes solaires.

Dans la pratique des systèmes de pompage solaire il y a toujours des jours très nuageux ou pluvieux où l'eau ne suffit pas. Ce phénomène presque inévitable donne une impression de moins bonne fiabilité aux utilisateurs, qui se sont habitués aux systèmes avec des groupes thermiques ou des branchements sur les réseaux électriques (problème d'ajustement de l'offre et de la demande). Les systèmes hybrides, comme proposés dans ce rapport, n'existent pas encore au Bénin. Ils peuvent améliorer l'expérience et rétablir la confiance.

### 3.6 Le marché solaire au Bénin

Il y a un nombre d'établissements qui vendent en principe du matériel pour le pompage solaire, mais il y a peu de stocks. Ces entrepreneurs s'occupent surtout du marché de l'électrification rurale où des subventions intéressantes sont disponibles. La GIZ a même un programme pour supporter les entrepreneurs solaires afin d'assurer la présence de l'expertise au Bénin.

Pour les grands projets ces entrepreneurs locaux dépendent de sociétés de l'extérieur du pays. Les équipements sont souvent importés directement (HT) par le projet/programme. Les marges pour les entrepreneurs locaux sont relativement petites et ne suffisent pas pour investir dans la

formation des techniciens. Le marché pour l'entretien des systèmes solaires existants, qui sont très peu nombreux, ne suffit non plus pour les inciter à investir dans le futur.

Tableau 6 Entreprises et organisations solaires au Bénin

Entreprise au Bénin	Activités	Adresse	Tel	E-mail	Remarque
Raphael Esimekuai	Représentant : Lorentz	Lom Novo Lot 327 Maison Obaarin Mouttaou Akpakpa Cotonou Benin	++229-0 803 599 1419 ++229 0 803 611 3587		Numéro tel n'existe pas
ICDS Sarl Soumanou Djara	Représentant : Vergnet Phaesun Pumpenboese Sovema		++229 97 98 48 77	<a href="mailto:soumanoudjarra@yahoo.fr">soumanoudjarra@yahoo.fr</a>	Voir 0
Enerdas Faustin Dahito	Plusieurs marques ETC, Treviso, Italie		++229 21 30 14 90 ++229 95 81 45 11	<a href="mailto:faustdahito@yahoo.fr">faustdahito@yahoo.fr</a> <a href="http://www.Enerdasgroup.com">www.Enerdasgroup.com</a> <a href="http://www.etcitaly.it/">http://www.etcitaly.it/</a>	Voir 0
Aiser Faustin Dahito	Association interprofessionnelle de spécialistes des énergies renouvelables au Bénin		++229 21 30 14 90 ++229 95 81 45 11		
ABERME Todeman Assan	Agence Béninoise d'Electrification Rurale et de Maîtrise d'Énergie				Electrification Rurale
Risen Energy	Produits chinois	Songhai Centre Porto Novo		<a href="mailto:bryanyn@hotmail.com">bryanyn@hotmail.com</a>	
Ainetiph Benin HOUNSOU Augustine	produits d'énergies renouvelables	Sègbèya, Ilot: 0314-A, Cotonou Bénin.	++229 97 60 00 35 ++229 96 00 25 05	<a href="mailto:ainetiphbenin@yahoo.fr">ainetiphbenin@yahoo.fr</a>	Presque seulement électrification solaire.
Imorou Karimou Seidou	Cobemag	Coopérative Béninoise de matériel agricole (Cobemag)	++229 96 60 96 60	<a href="mailto:Imorou93@yahoo.fr">Imorou93@yahoo.fr</a>	
Imorou Salifou	Cobemag	Coopérative Béninoise de matériel agricole (Cobemag)	++229 95 63 31 30	<a href="mailto:Salifousamas@yahoo.fr">Salifousamas@yahoo.fr</a>	
Agire, Elie Badet M. Hypolyte DEGUENON	Photalia Réalisation d'ouvrage d'AEP	Agla, Lot 3410	++229 97 27 21 08 ++229 95 32 00 31	<a href="mailto:badeteliecoffi@yahoo.fr">badeteliecoffi@yahoo.fr</a> <a href="mailto:agire_dg@yahoo.fr">agire_dg@yahoo.fr</a>	
Objectifs Benin Erick Yessoufou			++229 97 12 36 82 ++229- 95 68 49 46 ++229 97 97 86 90	<a href="mailto:benobjectifs@gmail.com">benobjectifs@gmail.com</a> <a href="mailto:erickyessoufou@yahoo.com">erickyessoufou@yahoo.com</a>	
WISSAM	Grundfos Interdab	Parakou	23 61 01 99 97 97 10 42		

Même dans le Borgou, ou le commerçant local a fourni 23 systèmes solaires à la mission. Il n'y a pas de pièces dans son magasin. Tout est sur commande.

Quelques-unes des entreprises locales disent de ne pas participer aux AO du gouvernement à cause de la complexité des dossiers, des garanties demandées et des frais assez importants pour participer, monter le dossier.

### 3.7 Aiser

L'Association interprofessionnelle de spécialistes des énergies renouvelables au Bénin (AISER) a été créée le 27 octobre 2011. Mise sur les fonts baptismaux à l'issue d'un congrès où un bureau de 11 membres a été mis en place avec des statuts et règlement, l'objectif visé selon le Président de cette association (Faustin Dahito), est d'accompagner le gouvernement à prendre les mesures idoines pour rendre disponible l'énergie solaire sur toute l'étendue du territoire à des prix abordables pour les populations et pour le développement des activités économiques. L'organisation s'occupe surtout de l'électrification rurale et beaucoup moins des pompes solaires.

### 3.8 Conclusion

On a constaté que :

- Les systèmes que nous avons vu ont été bien dimensionnés du point de vue énergie solaire ;
- Les points de départ concernant la consommation dans les centres ou des pompes solaires ont été installées, sont totalement différents des AEV qui sont actuellement conçus. On utilise 3-4 l/p/j au lieu de 12 l/p/j en 2012 et 15 l/p/j en 2022 (KfW étude de faisabilité).

Cependant les rapportages des AEV's montrent que 3-10 l/p/j est ce que l'on constate à l'analyse des AEV existantes ;

- Les châteaux d'eau pour les AEV qui étaient dimensionnées dès le début pour l'énergie solaire, sont dimensionnées à 100% - 150% de la consommation journalière. Pour les systèmes solaires c'est assez normal, et même beaucoup ;
- Le système de Ahota est prêt pour une réhabilitation ;
- Les causes de mal fonctionnement que l'on a rencontrées sont :
  - Absence d'expertise concernant l'énergie solaire et les pompes solaires ;
  - Vol ;
  - Entretien médiocre (du fait de l'absence d'expertise) ;

La conclusion est donc qu'il faut faire beaucoup d'attention aux sujets suivants :

- Protection contre le vol ;
- Formation à tous les niveaux ;
- Prendre les consommations actuelles (AEV thermique) comme point de départ au lieu des consommations spécifiques prescrites par la SNAEP.

Pour le moment ils n'existent pas au Benin d'entreprises qui peuvent participer facilement toutes seules à un AO comme prévu par le PPEA II avec un volume important de pompes solaires. Il s'agira vraisemblablement d'un marché pour tout le pays avec des sous-projets par commune. Probablement les garanties financières, l'expérience et les moyens techniques des entrepreneurs locaux ne suffisent pas qu'ils soient retenus. Il existe, au niveau régional, des entrepreneurs qui ont de l'expérience avec des pompes solaires dans les autres pays de L'Afrique d'Ouest.

Il faut cependant comprendre que cette situation continuera si les entreprises nationales ne participent pas à des projets de pompage solaire de grande envergure. En plus il faut créer une présence locale d'expertise en pompage solaire pour pouvoir garantir la continuité du service public de l'eau par un bon entretien et la disponibilité de pièces de rechange.

### 3.9 Recommandations

Il est recommandé d'essayer d'adapter les AO aux capacités des entrepreneurs locaux. Le développement du secteur privé concernant le pompage solaire pourrait également être l'objectif de ce projet. Finalement ce serait sans doute la meilleure méthode pour garantir la présence d'expertise et des pièces de rechange après la réception provisoire et définitive des travaux (voir chapitre 10).

## 4 FAISABILITE TECHNIQUE

Ce chapitre s'intéresse à la faisabilité technique des systèmes solaires à installer dans les AEV/PEA existantes. Parce que les AEV/PEA ne sont pas dimensionnées pour une alimentation en énergie solaire, la faisabilité technique dépend largement de la mesure dans laquelle les installations existantes pourront être adaptées au pompage solaire. Les investissements pour complètement adapter les AEV/PEA au pompage solaire (nouveau forage, château d'eau, etc.) seraient parfois tellement élevés, que le projet ne serait plus faisable d'un point de vue financier. Il ne s'agit donc pas du dimensionnement d'un système solaire, mais il faut mieux parler d'une sélection des AEV/PEA les mieux adaptés à l'énergie solaire, dans le contexte d'un pompage actuel thermique.

Dans le cas du dimensionnement d'un nouveau système, on peut sélectionner tous les composants de l'installation par rapport aux besoins suivant cette technologie. En même temps toutes les spécifications du forage, des canalisations, de la pompe et du groupe électrogène, ainsi que les calculs hydrauliques, etc. sont connus.

Par contre, pour une modification d'une AEV/PEA comme pour ce projet, mais aussi pour des rénovations, des projets de chloration, etc., les spécifications ne sont pas automatiquement disponibles ou adaptées. On dépend des bases de données (plus ou moins complètes) pour connaître ces spécifications. Ces bases doivent être correctes et complètes pour pouvoir définir les travaux à faire en toute connaissance de cause.

Le fait que les AEV solaires doivent être dimensionnées différemment des systèmes classiques, trouve son origine dans les différences entre les systèmes classiques et les systèmes solaires, en particulier :

- Les systèmes existants avec des groupes thermique permettent de pomper de l'eau à volonté alors que les systèmes solaires ne fonctionnent que pendant les heures où il y a suffisamment d'irradiation solaire pour faire fonctionner la pompe, soit au maximum 7 à 8h par jour ;
- Les pompes solaires fonctionnent en général entre 9:00 du matin et 15:00 ou 16:00 heure de l'après-midi, alors que la consommation (demande) la plus importante est avant et après les heures de fonctionnement du système solaire. Ceci impose un volume de stockage de l'eau plus important.
- Les groupes thermiques donnent 24h/24h assez d'énergie pour permettre à la pompe de tourner à sa vitesse nominale (50Hz) et son débit nominal. Les pompes solaires ne fonctionnent pas avant que l'énergie solaire des panneaux atteigne le niveau d'énergie nécessaire pour permettre à la pompe de surmonter le niveau statique.
- Les groupes thermiques donnent le même niveau d'énergie pendant toute l'année. L'irradiation solaire fluctue avec la saison et donc l'énergie disponible pour pomper aussi.

Dans ce chapitre les éléments suivants d'un système de pompage solaire seront étudiés pour trouver les critères de sélection des AEV/PEA les mieux adaptés.

- La Pompe
- Le Forage
- Le Château d'eau
- Le Groupe thermique existant
- Le Convertisseur
- Le dimensionnement du champ de panneaux solaires. Dans ce cadre la production d'eau exigée par AEV/PEA et donc également la consommation sera considérée ;
- Protection contre le vol et le vandalisme.

## 4.1 Pompe

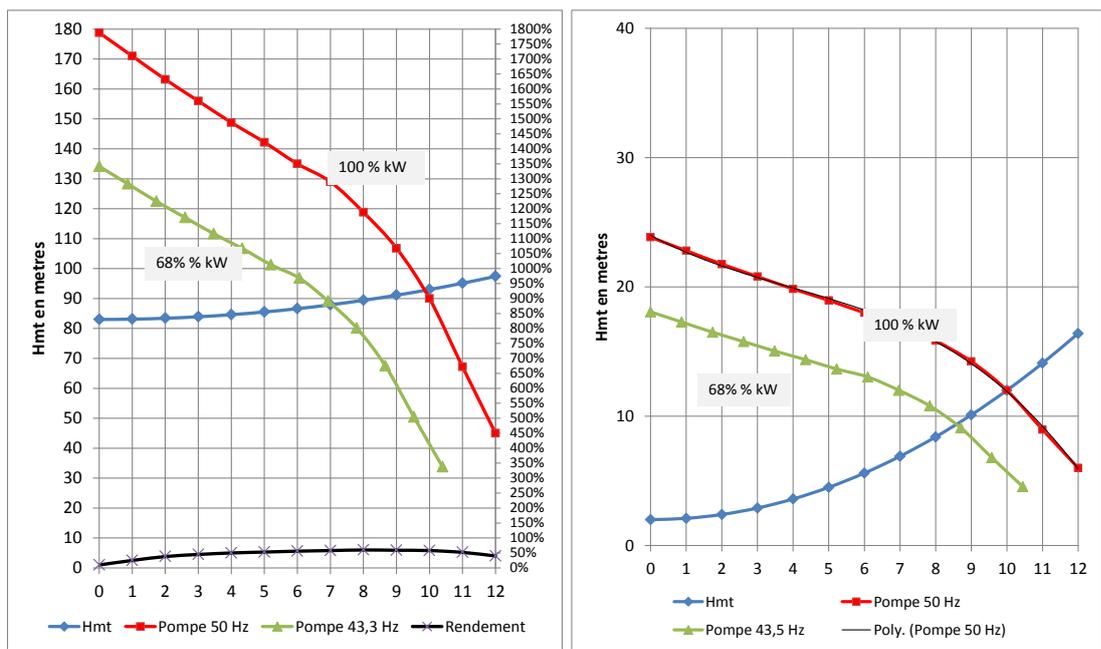
Une pompe de 5 m<sup>3</sup>/hr, dimensionnée en fonction de la Hmt et du débit nécessaire, donne toujours 5 m<sup>3</sup>/hr si elle est branchée sur un groupe thermique. Un groupe thermique donne toujours assez d'énergie pour faire tourner la pompe à sa vitesse nominale correspondant à 50 Hz.

La pompe solaire d'aujourd'hui est en général une pompe comme les autres, mais pour son énergie elle dépend de l'irradiation solaire, qui n'est pas constante pendant la journée. Sauf à cause des nuages, l'irradiation solaire sur un panneau solaire fixe varie du matin au soir avec son maximum à midi. Le convertisseur ajuste la vitesse de la pompe en fonction de l'énergie disponible aux panneaux.

### 4.1.1 Les pompes centrifugées immergées à vitesse variable

Ci-dessous deux pompes. À gauche le Grundfos SP8A-30 et à droite le SP8A-4. Les deux systèmes ont la même hauteur dynamique. Par contre, le système à gauche a une hauteur statique beaucoup plus élevée. Les lignes rouges représentent les caractéristiques des pompes à 50 Hz, fonctionnant à leur puissance nominale. Toutes les deux donnent 10 m<sup>3</sup>/hr.

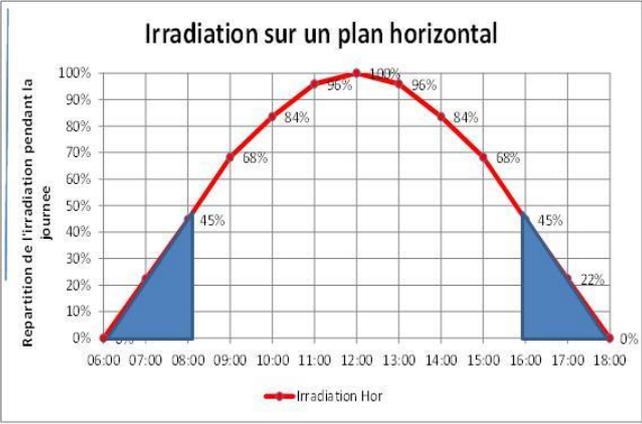
L'autre ligne montre la même pompe, mais à 68% de sa puissance (kW) maximal. Les pompes sont à 43 Hz ou bien 86% de la vitesse nominale. La puissance nécessaire pour les pompes baisse donc assez fort avec la vitesse. En fait la puissance de la pompe correspond à peu près avec le cube de la vitesse, le Hmt avec le carré de la vitesse et le débit avec la vitesse seule.



La pompe à gauche donne 7 m<sup>3</sup>/hr et celle à droite 8,5 m<sup>3</sup>/hr. Cette comparaison montre que les pompes qui ont une Hmt relativement élevée sont moins efficaces quand elles doivent opérer à vitesse variable. Une Hmt relativement basse est donc plus favorable pour les pompes solaires. Cependant, il faut ajouter que la différence entre 40 et 80 mètres de Hmt est beaucoup plus petite que la différence entre 2 et 40 mètres de Hmt.

Malheureusement le plus souvent les AEV ont une Hmt importante (niveau statique du forage + hauteur du château d'eau). Cependant, à la sélection des AEV les niveaux statiques des forages ne doivent pas être trop grand.

La graphique ci-dessous montre l'irradiation solaire sur un panneau fixe (ici horizontal). Par exemple, à 9 :00 heures et à 15 :00 heures l'énergie solaire reçu par les panneaux est à 68% du maximum de la journée (=midi).



Si la pompe centrifugée est dimensionnée pour fonctionner à 50 Hz (vitesse nominal des pompes électriques) à midi avec la capacité maximum, elle doit pomper à un débit plus faible le matin et l'après-midi parce l'énergie disponible ne suffit pas pour 50 Hz.

En plus la pompe doit atteindre la vitesse nécessaire pour surmonter la hauteur statique avant qu'elle ne donne de l'eau. Par conséquent une pompe centrifuge solaire ne donne pas de l'eau le matin et le soir. Le temps total de pompage dépend donc largement du niveau statique dans le forage.

Dans le tableau ci-dessous les débits ont été calculés en fonction de l'heure du jour et l'irradiation. Comme exemple la pompe SP8A-30 a été utilisée.

Tableau 7 Production journalier d'une pompe solaire

Heure	% de l'irradiation max	Débit du SP8A-30 en m <sup>3</sup> /hr	% du débit total par jour
06:00	0%	0	
07:00	22%	0	
08:00	45%	1,0	4,5%
09:00	68%	7,3	10,8%
10:00	84%	8,8	13,1%
11:00	96%	9,6	14,2%
12:00	100%	10,0	14,8%
13:00	96%	9,6	14,2%
14:00	84%	8,8	13,1%
15:00	68%	7,3	10,8%
16:00	45%	1,0	4,5%
17:00	22%	0	
18:00	0%	0	
Journée	730%	61,4	100%

Le tableau montre que la pompe solaire donne à peu près 6 fois le débit de midi par jour. Parce que la pompe ne peut pas donner beaucoup plus que le débit maximum du forage à midi, le débit max journalier sera donc de 6 x le débit max du forage.

Pour profiter le plus du forage et de l'investissement il faut en principe le plus grand nombre possible d'heures de pompage par jour. Le plus on installe des panneaux (puissance) plus la pompe commence tôt, mais l'investissement est alors plus important. Moins d'investissement veut dire moins d'heures de pompage solaire et plus d'heures de pompage utilisant l'énergie du groupe.

#### 4.1.2 Pompe à déplacement positif

Les pompes à piston et les pompes à hélice sont des exemples de ce type de pompe. Surtout les pompes à hélice sont populaires pour une application avec de l'énergie solaire parce qu'elles fonctionnent d'une façon continue en ne connaissent donc pas l'accélération et décélération comme une pompe à piston. Le débit max de ce type de pompe est de 3 m<sup>3</sup>/hr environ (soit 18m<sup>3</sup>/j), ce qui fait que seulement les petits AEV/PEA peuvent en profiter. Par contre la pompe peut presque surmonter n'importe quelle Hmt.

Cette pompe n'a pas besoin d'atteindre une certaine vitesse pour surmonter la hauteur statique. Dès qu'elle tourne elle donne de l'eau, en théorie même à un ou deux tours par minute. Cette pompe commence donc plus tôt à pomper que les pompes centrifuges, elle ne cesse de pomper aussi vite à cause de l'ombre et le débit journalier par rapport au débit à midi est donc plus élevé.

Comme les pompes centrifuges, ces pompes sont équipées avec des moteurs immergés et parfois (Grundfos SQF) des convertisseurs immergés (intégrés avec le moteur).

Ce type de pompe a été installé par la mission Catholique à Borgou avec des bons résultats.

Ces pompes viennent en général avec un moteur monophasé ou un moteur CC. Les moteurs CC peuvent parfois être branchés sur un groupe thermique monophasé au moyen d'un petit convertisseur. Ceci veut dire que les groupes thermiques existants ne peuvent pas servir comme source d'énergie de réserve en cas de faible irradiation ou pour d'autres raison (voir la suite de ce chapitre).

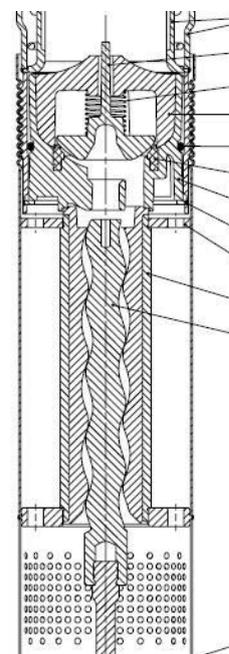


Figure 1 Pompe hélice

#### 4.1.3 Retenir la pompe existante pour le système solaire

Probablement la pompe existante a été dimensionnée pour faire 12 heures de pompage par jour dans l'année à l'horizon du dimensionnement (en général 10 ans, parfois 25). Puisque la pompe

solaire ne peut faire que 6 ou 7 heures de pompage par jour, la pompe existante sera en principe trop petite pour être utilisée dans le système solaire.

C'est seulement si la pompe est surdimensionnée à l'origine que l'on pourrait en théorie essayer de l'utiliser avec l'énergie solaire.

Il y a deux contraintes importantes à considérer en relation avec la réutilisation de la pompe :

- Les pompes existantes sont choisies pour fonctionner toujours au débit nominal et pas pour fonctionner avec un convertisseur à vitesse variable. Ces pompes dépendent pour leur refroidissement du passage de l'eau à l'extérieur du moteur. C'est pour ça que la pompe doit toujours être installée à un niveau plus élevé que la crépine du forage. Si le débit est parfois moins que nominal, la pompe risque de chauffer. Il est également possible d'installer un manteau de refroidissement sur le moteur pour augmenter la vitesse avec laquelle l'eau passe par le moteur.
- Probablement les fournisseurs ne veulent pas donner une garantie sur les pompes existantes et donc aussi pas pour le système intégral. Une garantie partielle n'est pas une garantie et est difficile à gérer par les fermiers et les communes.

#### 4.1.4 Nouvelle pompe

Une nouvelle pompe sera adaptée au fonctionnement dans un système solaire (vitesse variable, refroidissement, etc.).

Les contraintes d'une nouvelle pompe sont :

- le groupe thermique existant doit pouvoir démarrer la pompe. Pour la sélection de la nouvelle pompe la puissance du groupe existant (225% de la capacité du moteur de la pompe) doit être considérée ;
- le débit de la nouvelle pompe ne peut pas dépasser le débit max exploitable du forage ;
- Il est possible que la tête du forage et les tuyaux d'exhaure doivent être remplacés si la nouvelle pompe est beaucoup plus grande que la pompe existante. Il faut donc essayer de choisir des villages où la tête de forage est relativement grande (voir aussi paragraphe **Error! Reference source not found.**) ;
- les pertes de charge de la canalisation entre le forage et le château d'eau augmentent.

#### 4.1.5 Tête de forage

Les tuyaux de refoulement et la tête de forage sont dimensionnés pour une vitesse maximum de 1,5 m/s. Si une autre pompe est installée, il faut se demander si le tuyau de refoulement et la tête de forage doivent être remplacés.

Si on installe une pompe au débit plus élevé, les pertes de charge de la tête de forage seront également plus élevées, ce qui aura comme conséquence que plus de puissance solaire doit être installée pour un même débit journalier.

Dimension	Prix en FCFA
Tête de forage 2"	1.560.000
Tête de forage 2"1/2	1.920.000
Tête de forage 3"	2.400.000

Pour le remplacement des têtes de forage on retiendra comme critère que les investissements en panneaux solaires pour fournir la puissance qui est le résultat des pertes de charge (> 1,5 m/s), ne doit pas dépasser 50% des coûts d'une nouvelle tête de forage.

Exemple : Pour un DN50 les investissements en panneaux solaires pour les pertes de charge au-delà de 1,5 m/s ne peuvent pas dépasser CFA 780.000.

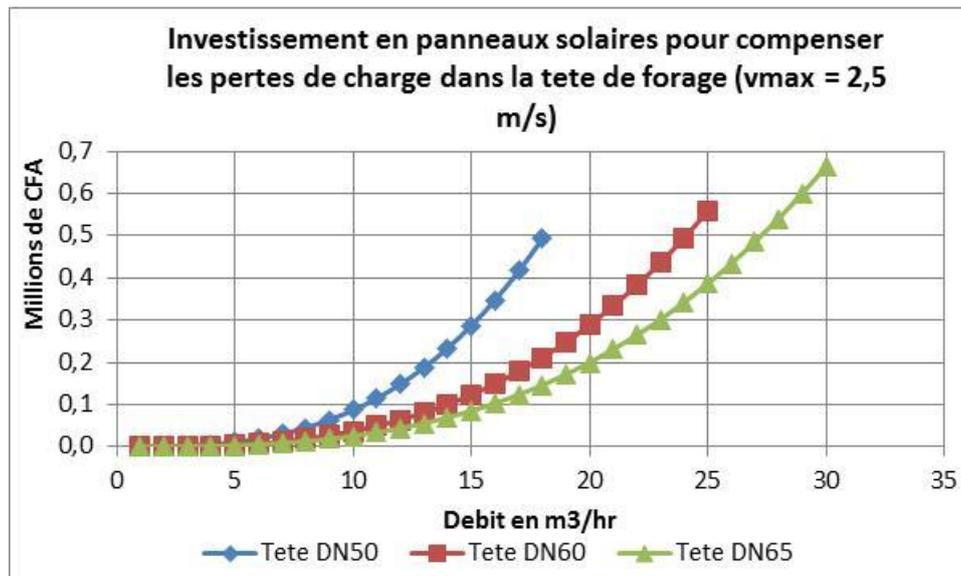


Figure 2

On retient donc 2,5 m/s pour éviter du bruit dans la tête de forage. Ceci veut dire qu'on peut probablement retenir presque toutes les têtes de forage.

#### 4.1.6 Tuyau de refoulement

Le tuyau de refoulement et le câble de la pompe doivent être enlevés pour installer une autre pompe. Le câble existant sera trop petit (section) pour une pompe plus grande et doit être remplacé.

L'effet d'un tuyau de refoulement sur les pertes de charges est plus important que l'effet de la tête du forage parce qu'il est plus long. Il ne sera donc pas possible de retenir le tuyau d'exhaure dans chaque AEV, ce qui risque encore d'augmenter le coût des travaux.

#### 4.1.7 Conclusions

Pour la sélection des AEV, la hauteur statique par rapport à l'Hmt ne doit pas être trop grande. Ce critère n'est pas décisif, mais il sera utilisé pour diminuer le nombre d'AEV si la première sélection aboutit à plus de 60 AEV.

Dans l'appel d'offres le choix entre une nouvelle pompe et la pompe existante sera de la responsabilité des fournisseurs. S'ils veulent retenir la pompe existante (avec ou sans mesures d'amélioration) ils doivent garantir aussi son fonctionnement.

Après l'enquête sur le terrain et la collecte des données concernant le tuyau de refoulement et la tête de forage, la décision concernant le remplacement sera prise.

Pour les calculs de l'étude de faisabilité nous avons tenu compte d'une nouvelle pompe avec un nouveau tuyau et câble d'exhaure, mais avec la tête de forage existante.

## 4.2 Forage

### 4.2.1 Débit max du forage

Un système d'eau solaire doit être capable de produire la consommation journalière en 6 ou 7 heures environs. Pour les forages à faible débit ceci peut poser un problème. La production journalière (dans l'année de l'horizon) ne peut donc pas dépasser 6 fois le débit maximum du forage. Si le débit du forage est trop petit et il n'y a pas d'autres AEV/PEA qui qualifient, il ne reste que les possibilités suivantes :

- Faire un deuxième forage. Un deuxième forage implique également une deuxième pompe, canalisations, etc.
- Retenir le groupe électrogène pour pomper hors des heures bien ensoleillées.

Puisque dans les paragraphes qui suivent nous avons conclu qu'il y a également d'autres raisons pour retenir le groupe électrogène, cette solution sera adoptée si un AEV avec un tel forage doit être sélectionnée.

Avec le débit plus élevée le niveau dynamique dans le forage sera aussi plus bas si le forage n'est pas très productif. Le rabattement du forage doit donc impérativement être connu pour le dimensionnement de la pompe et des panneaux solaires.

Un forage à grand débit et faible rabattement est donc plus favorable. S'il est relativement récent on peut compter sur son débit pour au moins dix ans.

#### 4.2.2 Diamètre du forage

Le diamètre du forage détermine également le débit maximum de pompage. Les forages des AEV ont en général un diamètre de 125 mm (voir 2.4). Les plus grandes pompes Grundfos qui peuvent y être installés sont :

- |              |                       |   |         |
|--------------|-----------------------|---|---------|
| ○ SP8A-44 :  | 10 m <sup>3</sup> /hr | à | 150 Hmt |
| ○ SP14A-25 : | 18 m <sup>3</sup> /hr | à | 70 Hmt  |

Avec 6 heures de pompage au maximum ça veut dire 60-108 m<sup>3</sup>/jour. Au-delà de 60 m<sup>3</sup>/jour le Hmt ne peut pas dépasser 70 mètres.

En plus, avec les petits diamètres de 125 mm environs le rendement des pompes centrifuges ne dépasse pas 60-65%, tandis qu'avec un forage de 150 mm on peut facilement utiliser des pompes qui ont un rendement de presque 10% supérieur, donc 15% moins de panneaux solaires.

#### 4.2.3 Conclusion

Résumé des critères de sélection des AEV avec un forage de 125 mm :

- Consommation à l'horizon donné moins que 6 fois le débit exploitable du forage ;
- Consommation à l'horizon donné pas plus que 60 m<sup>3</sup>/jour si le Hmt est plus grand que 70 mètres
- Consommation à l'horizon donné pas plus que 108 m<sup>3</sup>/jour. Cette condition implique que le nombre d'étages de la pompe n'est pas plus grand que 25 pour la pompe SP14A par exemple.

#### 4.3 Château d'eau

Dans un village approvisionné en eau par un système groupe électrogène ou réseau SBEE, la production (offre) peut s'adapter à la consommation (demande), qui est la plus importante le matin et le soir.

Inversement, un système solaire produit essentiellement entre 9:00 heure du matin et 16:00 heure du soir, donc pendant les heures où il y a le moins de consommation. Il faut donc pouvoir stocker un pourcentage important de la production journalière pour atteindre la même disponibilité de l'eau pendant la journée qu'avec de l'énergie « classique » (= disponibilité presque permanente de l'eau).

La graphique ci-dessous montre tous les paramètres en pourcentages de la consommation journalière. Le total de la consommation/production par jour est 100%. Les pourcentages de la consommation par heures ont été estimés après des discussions avec l'AFEB et correspondent avec les heures d'ouverture des bornes fontaines selon les contrats d'affermage.

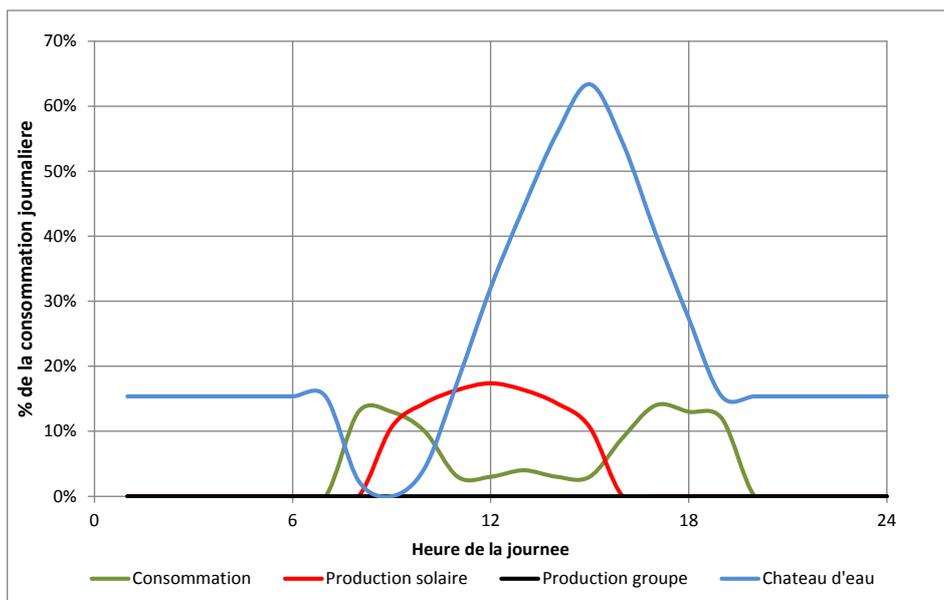


Figure 3 Fonctionnement système solaire avec un château d'eau assez grand et sans groupe thermique

Il est admis qu'il faut un château d'eau avec un volume au moins de 60% de la consommation journalière pour pouvoir produire l'eau nécessaire avec seulement le système solaire. Il faut aussi imaginer qu'il s'agit du jour le plus critique de la dernière année de l'horizon de dimensionnement (irradiation faible par rapport à la consommation). Les premières années et les jours non critiques la situation sera forcément plus favorable.

En réalité les châteaux d'eau des AEV existantes sont dimensionnés à 20% à 25% de la consommation journalière dans l'année de l'horizon du dimensionnement (20 ans après construction). Ci-dessous la graphique qui montre cette situation.

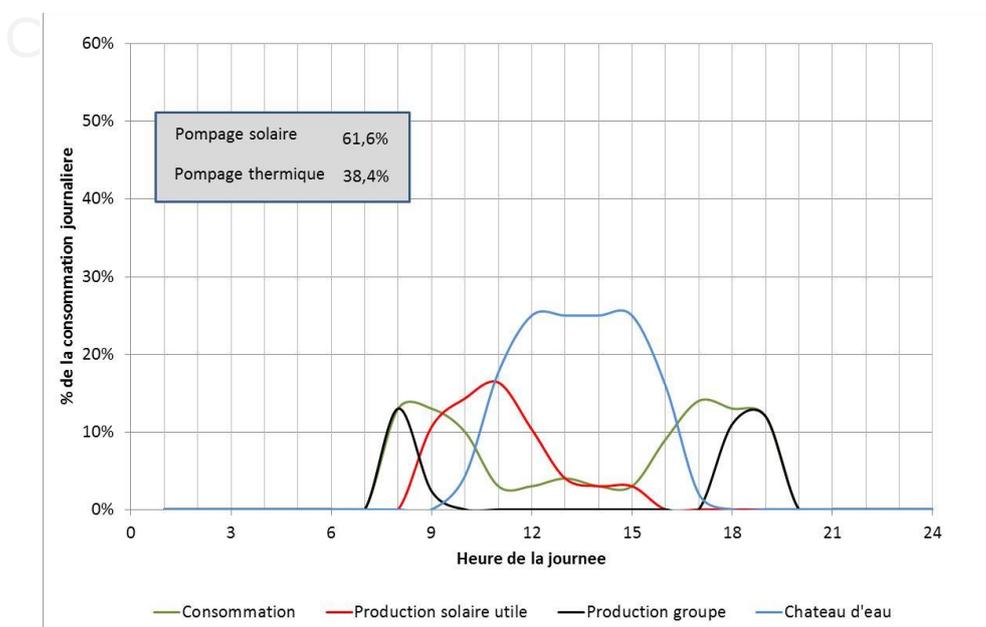


Figure 4 Fonctionnement du système solaire avec un château d'eau trop petit et assistance d'un groupe thermique.

A midi le réservoir est plein et la production solaire ne peut plus être stockée. Le soir, à partir de 17 :00 heure déjà on aua besoin d'une capacité de pompage de réserve, comme par exemple le groupe électrogène existant qui sera alors retenu. Le lendemain dans la matinée une grande partie de l'énergie vient encore du groupe avant que la pompe solaire ne commence à contribuer. Les calculs montrent que seulement 60% de l'énergie du système solaire peut être utilisé et 40% doit donc venir du groupe. Ceci est la situation après 20 ans.

Au début la situation sera moins critique. Pour des systèmes relativement neufs le volume du château d'eau a été calculé comme un pourcentage de la consommation journalière, basé sur :

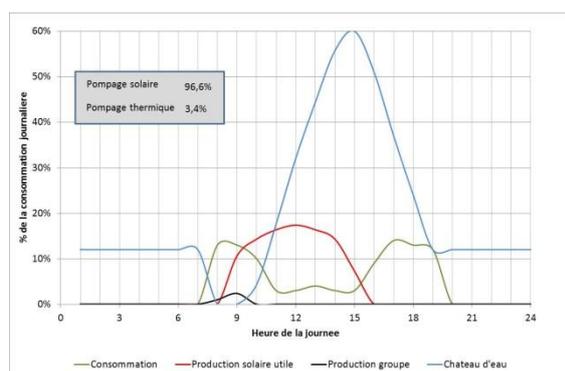
- une croissance de la population de 2% par an et
- une augmentation de la consommation per personne de 2,6% par an
- Château d'eau 25% de la consommation journalière après 20 ans.

Tableau 8

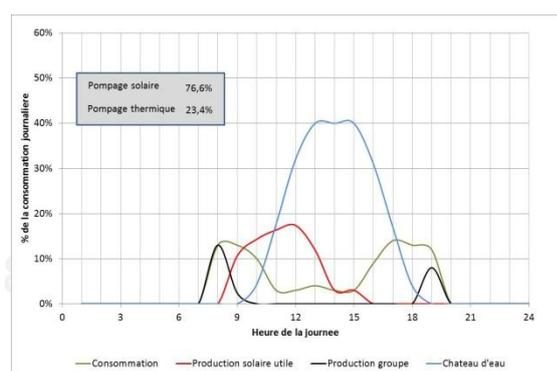
Annees ---->	2015	2020	2025	2030	2035
Population	100%	108%	120%	132%	146%
Consommation (l/p/j)	100%	111%	126%	143%	163%
Consommation (m <sup>3</sup> /jour)	100%	120%	151%	189%	237%
Château d'eau comme % de la consommation journalière	59%	49%	39%	31%	25%

Il parait donc que la situation pendant les premiers dix années sera même assez favorable du fait que généralement les consommations journalières sont surévaluées.

Ci-dessous les calculs pour le jour le plus critique (combinaison consommation-irradiation le plus défavorable) de 2015 et 2025. En 2035 on atteint la situation de Figure 4. Il apparait donc que les dix premières années l'assistance du groupe thermique n'est en principa pas ou peu nécessaire. Ceci est valable pour les systèmes relativement neufs ou les 25% pour le château d'eau ne seront atteint qu'après 20 ans.



2015



2025

De plus, comme dit précédemment, il faut considérer que la plus part des AEV/PEA ont été surdimensionnés. On constate aujourd'hui que la consommation spécifique n'est que de 3-4 l/p/j. La situation peut donc être plus favorable que présentée ci-dessus. Chaque AEV/PEA doit donc être évaluée avec la consommation journalière et le volume des châteaux d'eau.

#### 4.3.1 Mesures pour améliorer la situation

Si le volume du réservoir ne suffit pas, il y a quelques solutions : pour améliorer le rapport entre la consommation et le volume de stockage :

- Construire un château d'eau avec un volume de 60% de la production journalière ;
  - La construction d'un nouveau château d'eau est très chère. Ci-dessous les prix utilisés par IGIP pour les études de faisabilité. Le prix de construction d'un château d'eau de 30 m<sup>3</sup> dépasse le prix total d'un système solaire.

Tableau 9 Coûts de construction d'un château d'eau

Château d'eau 30 m <sup>3</sup>		Prix CFA
Château d'eau 30 m <sup>3</sup> au sol	u	20.000.000
Château d'eau 30 m <sup>3</sup> ; Hauteur sous cuve = 6m	u	24.000.000
Château d'eau 30 m <sup>3</sup> ; Hauteur sous cuve = 9m	u	28.000.000
Château d'eau 30 m <sup>3</sup> ; Hauteur sous cuve = 12m	u	32.000.000
Château d'eau 30 m <sup>3</sup> ; Hauteur sous cuve = 15m	u	36.000.000

- Construire du stockage au niveau des utilisateurs, par exemple des réservoirs plastics au niveau des bornes fontaines.

- Sans chloration ceci pose un risque du fait qu'en principe à chaque stockage déconcentré le système est ouvert (ventouse) donc sensible à l'extérieur.
- Dans la saison où la consommation est très faible même le chlore disparaît et laisse l'eau non protégée (on rappellera ici que la chloration est quasi inexistante au Bénin).
- L'eau peut devenir très chaude dans ces réservoirs (soleil). Ceci dit, l'ensemble avec les plastifiants des réservoirs plastiques fait que des germes et bactéries peuvent se développer rapidement ;
- Changer l'habitude des consommateurs de puiser tard le matin et l'après-midi. On pourrait par exemple moduler le prix du service de l'eau suivant les heures de puisage, vendre plus cher entre 7 :00 heure et 9 :00 heure et moins chère de 9 :00 heure à 15 :00 heure.
  - Ceci demande une modification des contrats d'affermage en donnant plus de liberté aux fermiers concernant les tarifs (mais sous contrôle de la régulation).
- Construire un réservoir au niveau du sol pour remplir pendant la journée et installer une pompe de surface à haut rendement pour élever l'eau dans le château (une pompe diesel donc pour pomper aussi le matin et le soir).
  - Les réservoirs au sol sont seulement un peu moins cher que les réservoirs élevés ;
  - Un tel système utilise le groupe thermique chaque jour, y compris les jours où l'ensoleillement suffit pour dépendre seulement du soleil.
  - Le système de deux pompes est plus compliqué à gérer ;
  - Deux systèmes (réservoir + pompe) en série diminuent la fiabilité.
- Retenir la source d'énergie existante (groupe thermique) pour compléter les besoins journaliers hors des heures d'ensoleillement.
  - Pas ou peu d'investissements
  - Seulement des coûts variables aux moments (probablement peu fréquents) que l'eau effectivement manque ;
- Installer des batteries pour pouvoir pomper le matin et le soir. Avec un Hmt de 40 mètres une batterie de 100 Ah (déchargé à 50%) peut pomper à peu près 2 m<sup>3</sup>. Cependant les batteries ne sont pas recommandées à cause de leur fiabilité et des coûts importants.

#### 4.3.2 Conclusion

En cas de manque de capacité de stockage il est proposé de retenir les groupes thermiques existants au lieu de construire un nouveau château d'eau. Les frais d'entretien diminueront forcément en fonction du faible nombre d'heures de pompage thermique et, de plus on n'aura pas besoin de remplacer le groupe dans le futur immédiat. Cette solution sert aussi en cas de quelques jours consécutifs d'ombrage et de manque d'eau.

Néanmoins la sélection des AEV/PEA sera faite pour retenir celles avec le volume de stockage le plus important par rapport à la consommation journalière. Le volume actuel constaté doit être de préférence égal à 60% de la consommation journalière.

De plus on donnera la préférence aux AEV neuves, où le volume du château d'eau est grand par rapport à la population actuelle.

#### 4.4 Le groupe thermique existant

Le groupe thermique existant peut seulement être retenu s'il peut démarrer la nouvelle pompe dimensionnée sur rythme de pompage solaire. Ceci est donc le critère de sélection concernant le groupe existant. Ça veut dire que sa puissance doit être à peu près 2,25 fois la puissance du moteur de la pompe.

#### 4.5 Convertisseur

Le convertisseur se trouve entre les panneaux solaires et la pompe. Ses fonctions sont :

- Maintenir le voltage et le courant des panneaux à un niveau où la production d'énergie est optimale ;
- Transformer le courant direct des panneaux en courant alternatif 3~ pour la pompe ;
- Faire varier la fréquence (Hz) de l'alimentation de la pompe selon l'énergie disponible ;
- Fonctions auxiliaires, qui dépendent du type de l'appareil :
  - Protection niveau d'eau dans le forage ;
  - Protection « pas d'eau » dans la pompe ;
  - Arrêt de la pompe au niveau trop plein du château d'eau (arrêt cuve pleine)

Pour pouvoir utiliser toutes ces fonctions auxiliaires, il faut installer des sondes dans le château d'eau, dans le forage et dans la tête du forage. Dans ce projet et dans l'étude de faisabilité les trois seront inclus.

Le convertisseur est dimensionné en fonction de la puissance de la pompe. Une pompe de 3 kW a besoin d'un convertisseur avec un output d'au moins 3 kW.

Du côté input, les convertisseurs (3~ 400 V) nécessite une tension assez élevée d'environ 500 V au minimum. Ce haut voltage peut seulement être atteint en mettant un grand nombre de panneaux cristallin (mono ou poly) en série. Pour les faibles puissances on sera obligé d'installer des panneaux de 80 Wc ou d'utiliser les panneaux CIS (Copper-Indium Selenide) qui sont relativement récents sur le marché, surtout en Afrique.

Tableau 10 Nombre d'habitants par AEV et puissance minimum pour atteindre 600 V

Panneau	Voltage	Nombre en série pour 500 V	Puissance en Wc	Prix par Wc
80 Wc	18 V	29	2300	CFA 650
250 Wc	35 V	14	3500	CFA 450
170 Wc (CIS)	80 V	7	1200	CFA 750

Il apparait donc que pour cette technologie (3~ 380 V) la puissance minimum des panneaux (250 Wc) est d'environ 3,5 kWc. Si on a besoin de moins de panneaux du point de vue puissance de la pompe, il faut quand même installer cette puissance.

Avec des panneaux de 80W une puissance de 2,3 kWc suffit pour atteindre 500 V, mais ces panneaux sont plus chers par Wc que ceux de 250 Wc.

Avec les panneaux CIS on peut servir des AEV encore plus petites, mais l'expérience est encore limitée dans des pays comme au Benin.

Avec la technologie monophasé 230 V ou CC, les exigences concernant le voltage sont beaucoup moins fortes. Les désavantages sont :

- Les groupes thermiques existants doivent être remplacés par des groupes 3 x 230 V ou monophasé ou bien il faut accepter un système solaire sans groupe de réserve.
- Les pompes ne seront plus des pompes standards comme utilisées par les AEV au Benin. On ne pourra donc plus échanger les pompes entre les AEV d'une commune.

La problématique des petits systèmes a été discutée extensivement à la DGEau et avec l'AFEB. Leur souci est surtout la faible rentabilité des petits systèmes qui veulent profiter de l'énergie solaire pour réduire les couts en carburant et d'entretien des groupes. Beaucoup de ces systèmes sont en fait trop petits pour être rentable.

Pour équiper ces petits systèmes avec des pompes solaires et avec un nouveau groupe de réserve, les investissements par m<sup>3</sup> d'eau ou par litre de carburant évité seront relativement élevés par rapport aux plus grandes AEV. Un groupe de réserve à essence (moins cher) ne plait pas aux bénéficiaires à cause de faible fiabilité les couts d'entretien et aussi le risque de vol.

En principe un alternateur 3 phases d'un groupe électrogène peut être modifié en monophasé en changeant les connexions dans le stator de l'alternateur, mais il reste à voir si cette modification est faisable au Benin.

L'installation d'une pompe solaire sans groupe de réserve n'est pas considérée comme assez fiable par les services de la DGEau par crainte des jours à faible irradiation.

Pour l'étude de faisabilité les petits systèmes ont été calculés sans nouveau groupe électrogène. Il a été supposé que les anciens groupes peuvent être vendus et que la commune peut acheter un autre groupe monophasé en remplacement. Comme il s'agit d'un groupe de réserve, celui-ci peut être d'occasion ou un groupe rapide de 3.000 tr/m, qui reviennent moins chères. La commune peut aussi décider, et c'est son droit en tant que Maître d'Ouvrage, d'utiliser le système solaire seul, qui revient naturellement beaucoup moins chère en investissement.

## 4.6 Dimensionnement des champs de panneaux solaires

### 4.6.1 Consommation

La base de chaque dimensionnement d'un système neuf est la quantité d'eau par heure ou par jour, calculée avec le nombre d'habitants et leur consommation spécifique (l/p/j) à l'horizon du projet. Pour ce projet le critère « consommation » est encore plus important parce qu'il le faut aussi pour pouvoir appliquer les critères de sélection concernant le forage (production) et le château d'eau (volume de stockage).

Pour ce projet nous avons prévu d'utiliser les points de départ du paragraphe 2.8 :

Population :	Population actuelle (BDI)
Consommation spécifique (l/j/hab)	12
Croissance population par an :	2%
Croissance consommation spécifique :	2,6%
Horizon de dimensionnement :	10 ans (ce paramètre sera vérifié dans l'étude de faisabilité).

Après des nombreuses discussions à la Direction Générale de l'Eau et avec d'autres parties prenantes la conclusion est que la consommation spécifique de 12 l/p/j n'est jamais atteinte et en plus que les chiffres concernant la population de la BDI sont peu fiables.

Pour cette étude la production journalière actuelle sera déterminée sur base des mesures de la production comme enregistrée par les compteurs de la tête de forage. Ils s'agit des systèmes existants ou les exploitants connaissent la production, celle-ci étant normalement connue des communes et des services déconcentrés de la DGEau

A partir de 2014 la croissance de la consommation sera comme prévu ci-dessus.

### 4.6.2 Horizon du projet

L'horizon du dimensionnement est 10 ans (hypothèse de notre étude), ce qui est à peu près la durée de vie des convertisseurs solaires et des pompes.

Les panneaux solaires ont une durée de vie de 20 ans voire plus. Cependant, il n'est pas toujours prudent de choisir un horizon si loin parce que l'investissement initial devient trop important.

Dans l'étude de faisabilité la sensibilité pour ce paramètre sera calculée pour décider définitivement l'horizon de projection pour le projet d'exécution.

### 4.6.3 Disponibilité de l'énergie solaire pendant l'année

L'irradiation solaire, ainsi que la consommation, fluctuent pendant l'année. La graphique montre l'irradiation dans quelques villes du Bénin. Il est clair que le nord est plus favorable que le sud avec presque 0,75 kWh/m<sup>2</sup>/jour plus d'irradiation en aout.

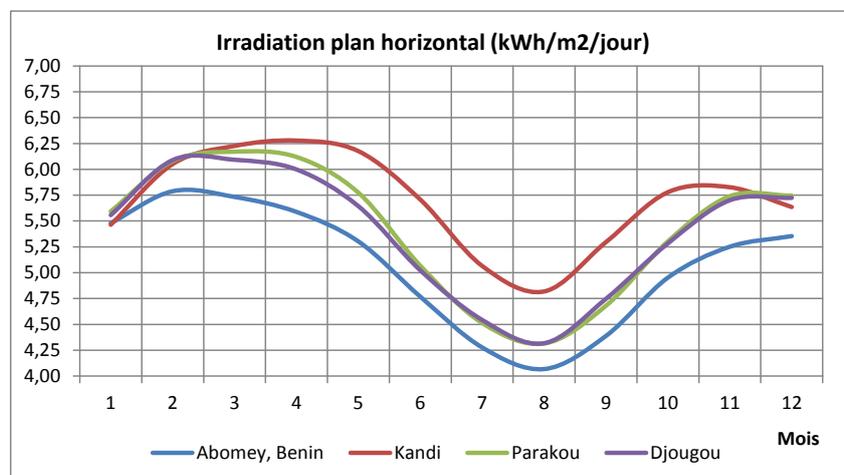


Figure 5 Irradiation au Bénin

Les données d'irradiation ont été obtenues du site de la NASA . Ce sont des moyennes sur une période de 20 ans. (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>). Ces données serviront aussi pour les Termes de références de l'appel d'offre.

#### 4.6.4 Répartition sur l'année de la consommation

Pour le dimensionnement, les systèmes classiques (thermique) n'ont pas besoin de la répartition sur l'année de la consommation et pour cela il n'y a pas de critères de dimensionnement.

L'irradiation solaire fluctue avec les saisons et avec la position du soleil. La consommation n'est pas constante non plus. La Figure 6 montre la consommation en 2013 de quelques AEV au Bénin.

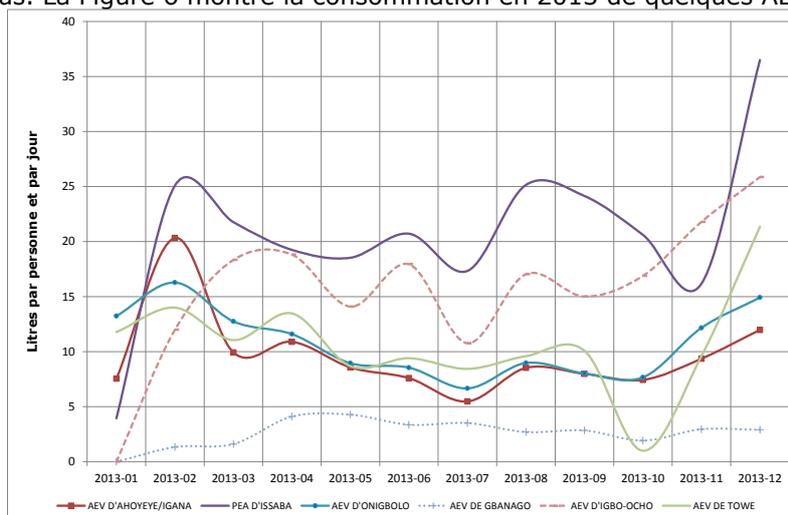


Figure 6 Répartition de la consommation spécifique sur l'année.

Pour le dimensionnement il faut trouver le mois avec la combinaison la plus défavorable en d'irradiation et consommation spécifique. Les graphiques ci-dessous montrent l'irradiation et la consommation dans le village d'Onigbolo (Plateau) à gauche et d'un village théorique où la consommation ne change pas pendant l'année à droite. Le choix d'Onigbolo comme exemple est motivé par le fait que la consommation d'Onigbolo est une bonne moyenne des AEV dont l'information concernant la consommation par mois est disponible aujourd'hui. Il apparaît que les mois de février et de décembre (avec beaucoup de soleil) sont les plus critiques pour Onigbolo alors que pour le village théorique c'est le mois d'août (l'irradiation minimale). Les autres mois il y a relativement beaucoup d'ensoleillement par rapport à la consommation.

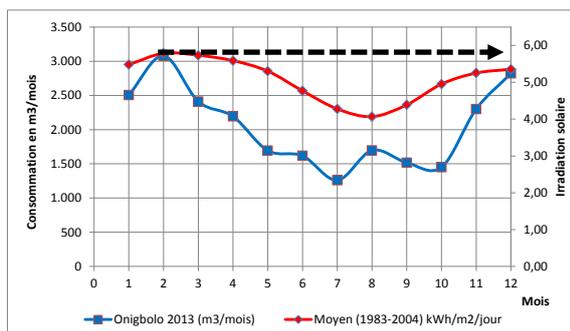


Figure 7 Consommation Onigbolo

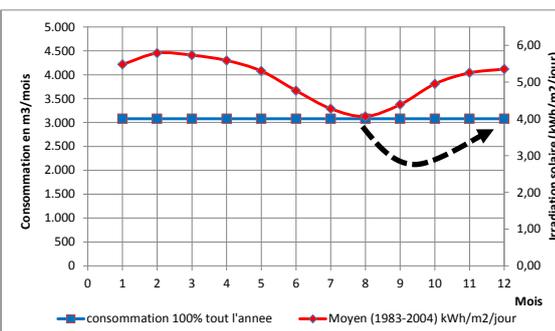


Figure 8 Consommation imaginaire

A Onigbolo (gauche) il faut donc dimensionner le système à 3.000 m<sup>3</sup>/mois avec presque 6 kWh/m<sup>2</sup>/jour. A droite il faut produire la même quantité avec d'eau avec un peu plus que 4 kWh/m<sup>2</sup>/jour, ce qui implique nécessairement une surface de panneaux solaires plus grande.

Au Bénin, le service de l'eau est payant, ce que veut dire que la population se servira de ressources alternatives (pluie, puits) si elles sont disponibles. A Onigbolo la consommation en juillet 2013 était établie à 40% de celle de février.

Il est probable que dans dix ans la situation sera différente. La population sera plus habituée au système AEV et son développement permettra plus l'achat d'eau. Néanmoins on ne peut pas savoir ce qui va passer exactement.

Le tableau ci-dessous montre les couts d'énergie par m<sup>3</sup> et les investissements pour les deux villages. Pour le village théorique il faut investir 3,5 M FCFA de plus que pour Onigbolo parce qu'il faut installer environs 2 kWc de plus. La facture énergétique (par m<sup>3</sup>) est plus basse car l'AEV vend beaucoup plus d'eau. Ceci est valable aussi pour les systèmes SBEE et ceux avec seulement un groupe thermique.

Avec les caractéristiques d'Onigbolo on risque d'installer trop peu de panneaux et avec les caractéristiques du village théorique on risque l'inverse. Pour l'étude de faisabilité une moyenne des deux sera utilisée.

Tableau 11 Influence de la répartition de la consommation sur l'année

	Solaire CFA/m <sup>3</sup>	SBEE CFA/m <sup>3</sup>	Diesel CFA/m <sup>3</sup>	Investissement (CFA)	kWc
Consommation selon Onigbolo	218	53	292	18.353.374	4,41
Consommation 100% tout l'année (village imaginaire)	195	43	283	21.267.616	6,63
Moyen des deux	200	47	284	19.238.011	5,08

La différence de couts par m<sup>3</sup> est surtout causée par le nombre de m<sup>3</sup> vendus. Il faut plutôt regarder les investissements dans cet tableau.

La caractéristique moyenne est montrée dans la graphique ci-dessous. Les valeurs de la consommation sont ceux d'Onigbolo. Pour les autres AEV ils seront transformés en pourcentages.

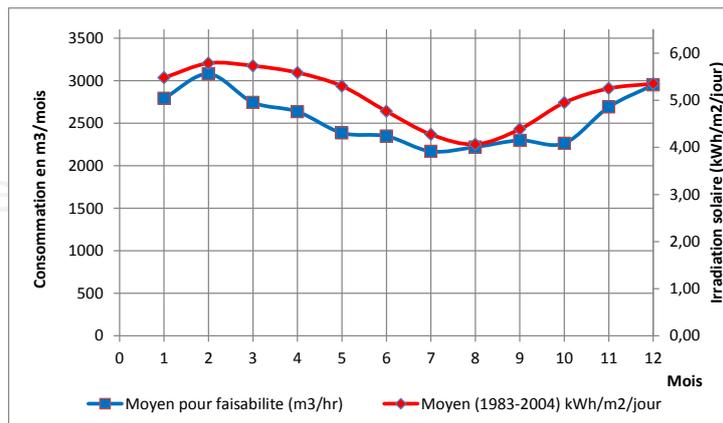


Figure 9 Caractéristique de consommation pour l'étude de faisabilité

Remarque :

Pour le Nord il faut déterminer un autre caractéristique de consommation par ce que la saison pluvieuse y est sensiblement différente. Pour le moment l'information pour conclure manque. Dès que les extraits de la BDI seront disponibles, une même caractéristique pour le Nord sera développée.

Comme habitude les systèmes solaires sont dimensionnés selon les moyennes mensuelles d'irradiation. Une alternative plus chère est d'utiliser les données journalières, ce qui est plus exact puisqu'il y aura certainement des jours dans un mois où il y a moins d'irradiation que la moyenne et donc pas assez d'eau. Le graphique ci-dessous montre les moyennes mensuelles de 20 ans et les valeurs journalières.

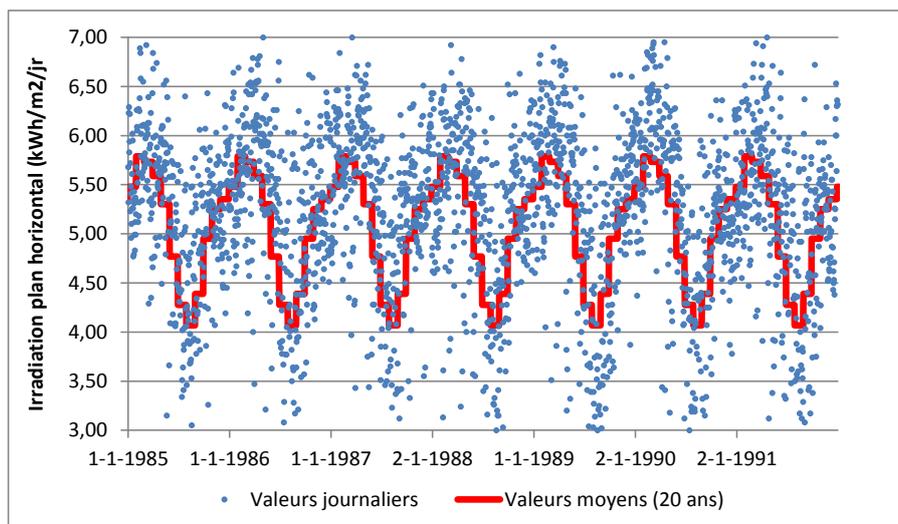


Figure 10 L'irradiation solaire sur plusieurs années

Ces données ne sont que des statistiques et elles ne donnent aucune garantie pour le futur. Cependant, il est probable que les années qui viennent seront conformes aux années passées.

Puisque la décision de retenir les groupes thermiques existants (à cause du volume des châteaux d'eau) est déjà prise, pendant les jours très peu ensoleillés ces groupes peuvent être utilisés. Les moyennes mensuelles seront donc utilisées pour le dimensionnement. La conséquence est qu'il y aura un peu plus d'heures de pompage avec le groupe thermique et que la surface de panneaux solaires à installer sera moindre.

#### 4.6.5 Le tracker solaire

Un tracker solaire ou suiveur de Soleil est une installation de production d'énergie solaire utilisant le principe de l'héliostat. C'est une structure portante qui permet d'orienter continuellement les panneaux solaires afin d'en augmenter la productivité.

Son principe de fonctionnement est de s'orienter vers le Soleil tout au long de la journée, ce qui a pour effet d'augmenter la production d'énergie de manière substantielle. En effet, la position du soleil varie constamment, à la fois pendant la journée, mais aussi pendant les différentes périodes de l'année. Le tracker permet ainsi de placer au mieux le panneau par rapport au positionnement du Soleil (perpendiculaire au rayonnement si possible).

Suivre le soleil peut se faire sur deux axes : en azimut (d'est en ouest, à mesure de l'avancée de la journée) et en hauteur (selon la saison et, de nouveau, l'avancée de la journée). L'idéal est d'utiliser un tracker à deux axes, mais il en existe aussi avec un seul (typiquement avec un suivi seulement en azimut, l'angle par rapport au sol étant fixé selon l'optimum local, qui dépend de la latitude).

Le Bénin se trouve entre 6 et 12 degrés de latitude, la région où le tracking Nord-Sud en effet donne très peu d'avantage. Le tracking automatique augmente le risque de panne et le tracking à la main introduit le risque d'erreurs humaines.

Le tracking Est-Ouest donne certains avantages et le taux d'utilisation de l'irradiation peut être augmenté avec 15% environ. Ce tracking est plus complexe et plus cher (investissement et entretien) et augmente le risque de panne. Le tracking à la main est impossible pour les systèmes dont on parle dans ce projet.

Les deux types de tracking ne sont pas considérés dans ce projet. Avec les prix des panneaux d'aujourd'hui il est moins cher et beaucoup plus fiable d'installer quelques panneaux de plus.

#### 4.6.6 Le nombre de panneaux

Quand la pompe a été choisie sa puissance hydraulique est connue et on peut commencer à déterminer le nombre de panneaux.

Pour calculer l'énergie solaire à fournir par les panneaux (en kWh/jour) il faut quantifier les pertes entre les panneaux et l'axe du moteur de la pompe. Les valeurs suivantes seront utilisées dans les calculs de faisabilité.

Type rendement	Valeur	Remarques
Rendement moteur pompe	70%	Les moteurs des pompes submergées ont un très mauvais rendement
Rendement convertisseur	95%	
Rendement câbles	97%	Les câbles seront dimensionnés pour une perte de charge inférieure à 3%
Rendement sur irradiation globale par jour	80%	Environ 80% de l'irradiation globale peut être récupéré à cause des pertes du matin et du soir (sans « tracking »)
Rendement à cause de la poussière et réflexion	95%	Estimation

Les valeurs pour l'équipement à fournir dans le cadre de l'appel d'offre seront déterminées et garantie par les fournisseurs.

Avec un ordinateur il est relativement facile de calculer l'énergie nécessaire et les besoins en eau par jour pour un période égale à l'horizon du dimensionnement. Chaque jour la production doit être au moins égale à la consommation.

L'énergie disponible dépend des facteurs suivants :

- L'irradiation globale sur une surface horizontale à l'endroit du projet ;
- Nombre de m<sup>2</sup> de panneaux ;
- Marque et type de panneaux ;
- Angle des panneaux par rapport à la surface horizontale ;
- Température des panneaux (le rendement baisse avec la température qui monte) ;
- Age des panneaux (le rendement baisse avec l'âge des panneaux).

En plus il est possible de calculer le nombre d'heures de pompage avec le groupe électrogène. Après l'horizon de dimensionnement (10 ans pour le moment) le groupe sera probablement utilisé de plus en plus. Il y aura également des jours où la production journalière ne peut pas être stockée dans le château d'eau. Plus la consommation journalière augmente, plus le château d'eau sera trop petit en plus l'on aura besoin du groupe thermique en appui.

#### 4.6.7 Conclusions

- La consommation actuelle sera prise comme point de départ pour la dimensionnement
- L'horizon de dimensionnement est de 10 ans, à confirmer dans l'étude de faisabilité financière ;
- La repartition sur l'année de la consommation est la moyenne entre Onigbolo et un village théorique où la consommation ne fluctue pas pendant l'année. Cette hypothèse est à confirmer avec les données des différents villages après l'enquête sur le terrain.

#### 4.7 Méthode d'installation des panneaux solaires

Pour l'installation des panneaux il y a deux méthodes :

- Au-dessus d'un bâtiment ou du château d'eau
- Dans un périmètre au niveau du sol à proximité du forage.

Le vol est devenu un des plus grands problèmes de l'énergie solaire dans la région, victime de son succès. Il faut donc prendre des précautions pour éviter le vol et le vandalisme. En particulier les enfants qui parfois jettent des cailloux sur les panneaux ce qui ne les laisse pas forcément immédiatement en panne mais qui impacte sur leur fonctionnement dans la longue durée (pénétration de l'eau, usure accélérée). Il faut donc prendre un certain nombre de précautions et informer les populations.

##### 4.7.1 Au-dessus du château d'eau

- Seulement si le château d'eau est à côté du forage. Sinon les câbles seront trop longs et les pertes de charge augmenteront significativement. Dans le sud, où il y a moins de reliefs et où on peut forer presque partout, les châteaux d'eau se trouvent souvent à côté du forage. Au nord les châteaux d'eau sont presque toujours éloignés du forage ;
- C'est une bonne protection contre le vandalisme
- Mais plus difficile à nettoyer ;

- Difficile également de travailler au-dessus du château d'eau en toute sécurité, par exemple pour nettoyer la cuve et pour remplacer un ou plusieurs panneaux (très peu fréquent cependant);
- La surface des panneaux sera en général plus grande que la surface des châteaux d'eau. Les panneaux déborderont donc les toits des châteaux d'eau et seront difficile à atteindre.
- Parfois difficile à réaliser sur un château d'eau existant qui n'est pas adapté aux panneaux solaires (génie civil).
- Normalement besoin d'un échafaudage pour l'installation des panneaux.

#### 4.7.2 Dans un périmètre clôturé à côté du forage

- Presque toujours possible proche du forage et de l'abri du groupe.
- Pas besoin d'échafaudage ou de travail en hauteur ;
- Une clôture de 2 mètres au minimum s'impose ;
- Les supports doivent être plus forts que pour la construction au-dessus du château d'eau et probablement il faut encadrer chaque panneau individuellement (sécurité). En plus des boulons antivol doivent être utilisés ou on pourrait considérer d'envelopper les panneaux dans des cadres en acier soudé en en plus de souder ces cadres sur les supports. Le remplacement des panneaux sera plus compliqué (et sans doute plus onéreux), mais normalement peu fréquent.
- Parfois on aura besoin d'un gardien ;
- Il est possible de prévoir un éclairage du champ de panneaux pour la nuit, sur batterie solaire ;
- Néanmoins le risque du vol et vandalisme reste forcément plus grand que pour un champ au-dessus d'un bâtiment ou château d'eau.



Le problème de l'ombre est très important et il faut l'éviter à tout prix. Même un peu d'ombre sur un des panneaux d'une série peut fortement diminuer la puissance totale, malgré les diodes.

#### 4.7.3 Conclusions :

Si possible les panneaux seront installés au-dessus du château d'eau en observant que :

- Les panneaux ne débordent pas plus qu'un mètre ;
- La cuve reste accessible ;
- Le génie civil du château d'eau le permet ;
- Les panneaux peuvent être nettoyés.

Pour l'étude de faisabilité financière l'installation au sol, dans un périmètre clôturé sera adoptée.

## 4.8 Protection contre le vol et le vandalisme ;

### 4.8.1 Protection contre le vol

Le vol et le vandalisme sont des problèmes très sérieux pour les systèmes solaires d'une manière générale en Afrique de l'Ouest, de même qu'en Europe. Des affaires de bandes armées ont été rapportées, munies d'un camion et d'outils lourds comme des groupes électrogènes avec meuleuses d'angle, etc. Même si les panneaux sont soudés dans un cadre pour renforcement et soudés sur leur support, ces voleurs peuvent les enlever. De l'autre côté, rien ne peut empêcher ce type de vol.

Quelques méthodes pour empêcher le vol sont :

- Clôture autour des panneaux ;
- Installation dans le village au lieu d'un endroit isolé ;
- Marquage indélébile des panneaux avec le nom du Project ;
- Marquage avec un couleur anormale ;
- Utiliser des visseries (boulons) antivol ;
- Souder les panneaux dans un cadre métallique et souder également ce cadre sur un support qui est fixé dans le béton ;
  - On aura besoin d'une meuleuse d'angle pour remplacer un panneau ;

- Coller les panneaux sur un cadre métallique très lourd d'une façon à devoir casser le panneau pour le remplacer ;
  - L'exploitant remplace seulement le panneau quand il est en panne est dans ce cas il n'est pas grave de le casser ;
- Utiliser des panneaux non-courant comme les panneaux CIGS, qui donnent 70-80 Volt et ne peuvent presque pas être utilisée avec des batteries pour l'électrification domestique, sauf si on met 6 en série.
  - Ces panneaux sont plus chers et peu expérimentés en Afrique ;
- Utiliser un gardiennage « traditionnel » (chasseurs) ;

#### 4.8.2 Protection contre le vandalisme

Le vandalisme est un phénomène qui doit être abordé différemment du vol et parfois plus difficile à éviter. Surtout les enfants jettent des cailloux sur les panneaux, même accidentellement, qui peuvent les briser. Ceci ne veut pas dire automatiquement que les panneaux ne fonctionnent plus après un tel dommage, mais en général leur durée de vie est raccourci pas ces actions. L'éducation, l'information, dans les concessions et les écoles reste le meilleur moyen de prévention.

Alors que pour le vol il faut plutôt retenir un endroit proche du village, pour éviter le vandalisme il est mieux de choisir un endroit éloigné des écoles ou les enfants normalement ne jouent pas.

Parce que le vandalisme ne touche en général qu'un seul panneau il est recommandé d'installer au moins deux panneaux de plus que nécessaire. Ceci augmente les couts d'investissement total de seulement 2 ou 3% et on pourra débrancher un panneau brisé de l'ensemble en cas de besoin, sans perdre trop de puissance.

#### 4.8.3 Conclusions

Il est presque impossible de définir des critères de sélection concernant le vol et le vandalisme, de même qu'il est difficile de donner des solutions types. Ces critères pourraient être seulement des critères concernant l'endroit de l'installation, mais cet endroit est déterminé plutôt par le forage et ne peut donc pas être choisit librement.

## 5 FAISABILITE FINANCIERE

### 5.1 Général

Ce chapitre contient l'étude de faisabilité financière. Trois alternatives ont été évaluées :

- Système solaire (en gardant les groupes thermiques en appui) ;
- Seulement branchement de la SBEE ;
- Seulement l'énergie d'un groupe électrogène diesel.

Seuls les coûts qui diffèrent entre les alternatives ont été considérés. Ceci veut dire que les coûts concernant les forages, clôtures, abris, châteaux d'eau, borne fontaines et réseaux d'une manière générale ne sont pas considérés.

Les coûts considérés sont :

- Les investissements neufs et les investissements de remplacement après la période d'amortissement ainsi que l'entretien pour :
  - Panneaux solaires avec clôture ;
  - Convertisseur ;
  - Câbles ;
  - Pompe ;
  - Nouveau tuyau d'exhaure + câble ;
  - Groupe thermique (existant).
- Carburant pour le groupe et électricité pour le branchement SBEE (aussi le carburant pour le groupe en combinaison avec le système solaire) ;
- Entretien de l'équipement neuf et de l'équipement existant ;
- Dépenses de personnel. Pour les systèmes solaires 10% du salaire d'un exploitant et pour les systèmes diesel 20%.

Les investissements initiaux pour les systèmes branchés sur un réseau SBEE et pour un groupe électrogène et son abri ne sont pas inclus, puisqu'ils existent déjà. Dès qu'ils doivent être remplacés, les investissements sont inclus dans les calculs de cash-flow.

Pour calculer la faisabilité un model (Excel) a été développé qui calcule les coûts mentionnés ci-dessus de l'eau sur base d'un « cash-flow » de 20 ans. Ce modèle permet de varier des paramètres pour faire un analyse de sensibilité. Ces calculs sont globaux parce que la situation exacte d'ue AEV n'est pas encore connue. On a donc dû faire des assumptions (voir Tableau 12)

Les calculs de faisabilité ont été faits comme si l'investisseur est le fermier, qui doit obtenir un

certain rendement sur la somme investit (retour sur investissement). Même si les financement est un don, il faut toujours se demander si l'argent est bien investit et s'il donne un meilleur rendement qu'un autre investissement. Rappelons que le PPEA II est un Appui Budgétaire Sectoriel et que les services de l'Etat doivent donc le considérer de cette manière (retour sur investissement).

En réalité les systèmes solaires seront probablement considérés un don, comme les autres investissements actuels dans les systèmes AEP. Çe qui veut dire, en fin de compte, que les avantages pour les fermiers et utilisateurs seront beaucoup plus grands que démontrées dans cette étude.

## 5.2 AEV standard

Pour les calculs de faisabilité, une AEV standard a été définie ainsi que les conditions financières. A partir de ce standard des calculs de sensibilité seront exécutés pour évaluer l'influence de divers paramètres sur cette faisabilité. Pour chaque analyse seulement un paramètre sera varié en même temps, sauf si indiqué autrement.

Tableau 12 AEV standard pour les calculs de faisabilité

Description	Unité	Valeur	Remarques	Sensibilité
<b>Financière</b>				
Inflation général	%	0,0%		Oui
Inflation énergie	%	2,0%		Oui
Augmentation du tarif par an	%	0,0%	A décider par le Maire	
Intérêt	%	3,5%		
Retour sur l'investissement	%	5,0%		Oui
Horizon d'analyse financière	ans	20		
Horizon de dimensionnement	ans	10		Oui
<b>Population/Consommation</b>				
Population (*)	hab	3.000		
Taux de croissance pop.	%	2%		
Consommation spécifique (*)	l/p/j	12		Oui
Taux de croissance consommation spécifique	%	2,6%		
Répartition de la consommation sur l'année			Une caractéristique moyenne a été proposée dans le paragraphe 4.6.4	
<b>Hydraulique</b>				
Consommation a l'horizon de 10 ans.	m <sup>3</sup> /jour	55		Oui
Niveau statique	mètres	30	Moyen de tous les AEV avec un niveau statique sous-sol.	Oui
Hauteur trop plein château	mètres	20		
Rabattement	m/m <sup>3</sup> /hr	0,5		
Pertes de charge	mètres	calcule	Elles montent avec le débit	
Hmt	mètres	calcule		Oui
Volume château d'eau	%	25%	% de la consommation après 20 ans	
<b>Prix unitaires</b>				

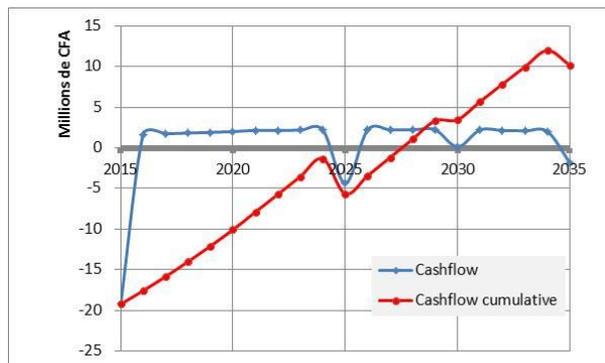


Figure 11 Exemple d'un cash-flow (AEV standard)

Description	Unité	Valeur	Remarques	Sensibilité
Carburant Gazole	CFA/l	615		Oui
Electricité	CFA/kWh	109		
Panneaux solaires	CFA/wc	650	Assez élevé, mais réel pour Benin.	Oui
Autres prix unitaires			Voir annexe 1, DQE et BPU pour l'AEV standard	
<b>Irradiation</b>				
Irradiation	kWh/m2/jour	->	Moyenne mensuelle (calculée sur 20 ans NASA) d'Abomey. Cette moyenne est le pire du Benin. Dans tous les autres AEV la faisabilité sera mieux.	Oui
<b>Investissement projet</b>				
Groupe thermique		Non	Amortissement : 15.000 heures	
Abri		Non	Amortissement : 30 ans	
Pompe immergée		Oui	Amortissement : 10 ans	
Tuyau d'exhaure		Oui	Amortissement : 10 ans	
Tête de forage		Non	Amortissement : 20 ans	
Convertisseur		Oui	Amortissement : 10 ans	
Panneaux solaires		Oui	Amortissement : 20 ans	
Clôture		Oui	Amortissement : 20 ans	
Cables		Qui	Amortissement : 10 ans	

(\*) La population et la consommation spécifique ont été utilisées pour calculer un débit journalier seulement. Ni la population ni la consommation spécifique des AEV ne sont connues actuellement. Une fois que les AEV seront enquêtées, la vraie consommation par jour (si disponible chez l'exploitant) servira comme base de dimensionnement.

### 5.3 Paramètres de dimensionnement du système solaire

Dans ce paragraphe le modèle de calcul pour la faisabilité sera utilisé pour vérifier quelques paramètres techniques de dimensionnement.

#### 5.3.1 Inclination des panneaux

Avant de faire les autres calculs, il faut d'abord optimiser le système solaire. Ci-dessous les calculs pour différentes inclinaisons des panneaux. L'objectif est de chercher l'inclinaison la plus performante sur l'année.

La différence entre +10° et -10° est négligeable. Il paraît qu'avec les panneaux à -10° les coûts par m<sup>3</sup> sont un tout petit peu plus bas. Une inclinaison négative veut dire vers le sud.

Ces calculs doivent être refaits en fonction de la latitude de l'AEV, la répartition de la consommation sur l'année et l'irradiation par mois. Pour le Bénin l'inclinaison de -10° est probablement correct partout dans le pays, sauf si la consommation fluctue beaucoup au cours des saisons.

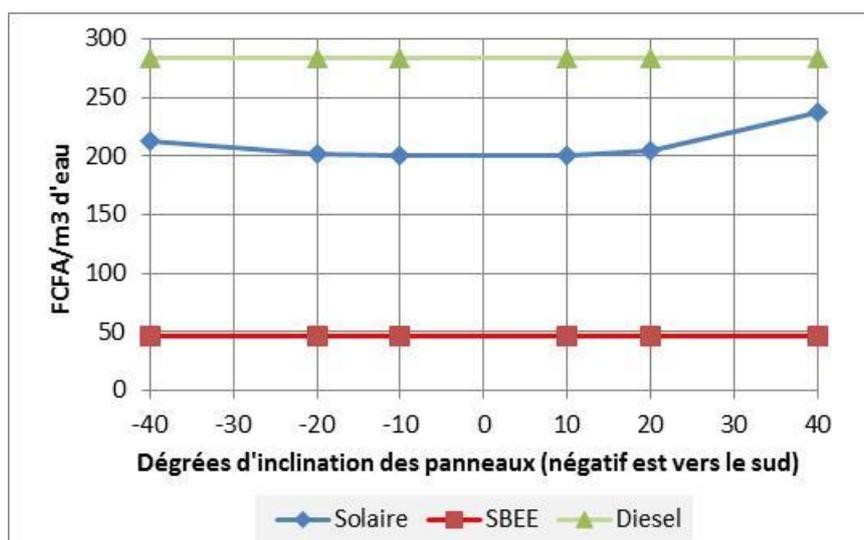


Figure 12 Sensibilité pour l'inclination des panneaux

Une inclinaison minimum de 10° est nécessaire pour permettre de nettoyer les panneaux avec de l'eau ou pour s'assurer que l'eau de pluie emmène la poussière et ne reste pas sur les panneaux.

### 5.3.2 Données d'irradiation (moyen mensuel ou valeurs journaliers)

Avec la décision de retenir le groupe en appui nous n'avons plus besoin de dimensionner sur la base du jour avec l'irradiation la plus basse sur une période de 20 ans.

Le tableau ci-dessous montre que les coûts avec un dimensionnement sur la base des données d'irradiation journalière sont équivalents aux couts d'un système dimensionné à base des valeurs moyennes mensuelles. On retient donc la méthode de calcul sur base des valeurs mensuelles moyennes pour sa simplicité et son utilisation ultérieure.

Tableau 13 Sensibilité pour les données solaires à utiliser pour le dimensionnement

	Dimensionné avec les moyennes mensuelles d'irradiation	Dimensionné avec les valeurs journalières d'irradiation
% pompage groupe thermique	25%	24,7%
CFA/m <sup>3</sup>	200	200

### 5.3.3 Nécessite du sur ou sous dimensionnement

Le dimensionnement se fait de façon à ce que le système solaire puisse toujours donner assez d'eau pour les populations. En réalité le système ne peut pas toujours donner la quantité calculée du fait que le château d'eau existant est trop petit, le forage ne donne pas assez ou l'irradiation est moins que la moyenne mensuelle. Parfois on peut sur-dimensionner le système (dans des limites raisonnables) pour avoir une marge de sécurité, mais seulement a la condition que l'on puisse stocker ce surplus.

La graphique ci-dessous montre que les calculs ont été bien fait à 100%. Plus la capacité de pompage solaire diminue plus la consommation en carburant augmente, mais à cause de l'investissement plus élevé les couts totaux augmentent également. Le surdimensionnement semble n'être pas trop cher, mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit surtout de consommation de carburant après l'horizon de dimensionnement de 10 ans, qui passée sera encore une période d'incertitude. Il est donc proposé de dimensionner sur 100%.

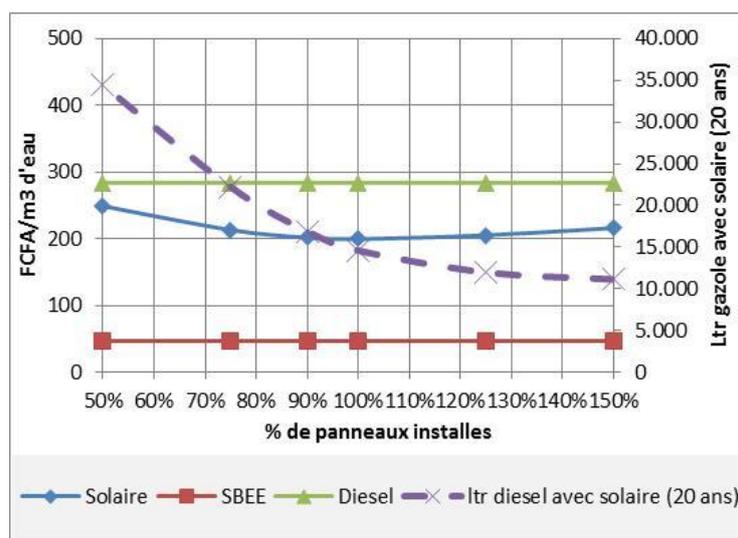


Figure 13 Sensibilité de la faisabilité pour sur- et sous dimensionnement

### 5.3.4 Influence des régions sur la faisabilité

Comme expliqué en paragraphe 4.6.1 l'irradiation au Nord est plus élevée qu'au sud. Ci-dessous un tableau avec les résultats de calculs pour trois villes au Bénin.

Tableau 14 Influence des régions

Region	Solaire	SBEE	Diesel	Investissements	kWp
Abomey, Benin	200	47	284	19.238.011	5,08
Parakou	197	47	284	18.793.032	4,74
Kandi	190	43	283	18.544.901	4,55

Il faut remarquer que les coûts de Parakou et de Kandi ont été calculés avec les données de consommation (répartition sur l'année) du département Plateau, parce que les données des consommations du Nord ne sont pas encore disponibles. Ceci peut influencer le résultat des calculs. Néanmoins il paraît que l'influence de la région sur la faisabilité est relativement petite, mais le Nord est plus favorable, comme attendu.

### 5.3.5 L'horizon de dimensionnement

Ci-dessous nous présentons un graphique avec les coûts (énergie) en CFA par m³ et la quantité de carburant nécessaire pour le groupe de réserve sur une période de 20 ans. Le carburant est nécessaire pour :

- pomper les jours où le soleil ne suffit pas,
- compenser le fait que le château d'eau sera trop petit pour stocker toute la production journalière,
- pomper de l'eau après la période de l'horizon de dimensionnement, quand la pompe solaire sera insuffisante. Normalement, et en toute rigueur, on aura élargi ou modifié le système avant que cette période n'arrive.

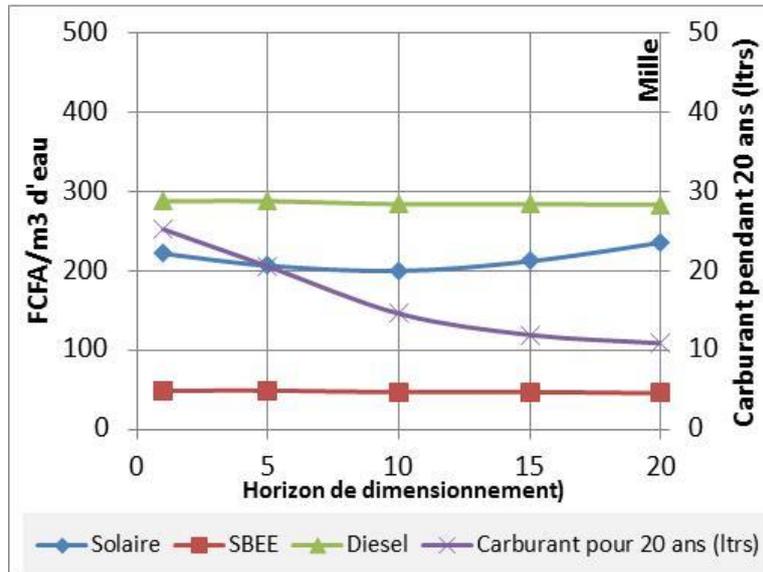


Figure 14 Sensibilité de la faisabilité pour l'horizon de dimensionnement

Le graphique montre donc l'équilibre entre les investissements initiaux et les coûts en carburant sur une période de 20 ans. Ci-dessus ces deux ont été montrés à nouveau, mais cette fois individuellement.

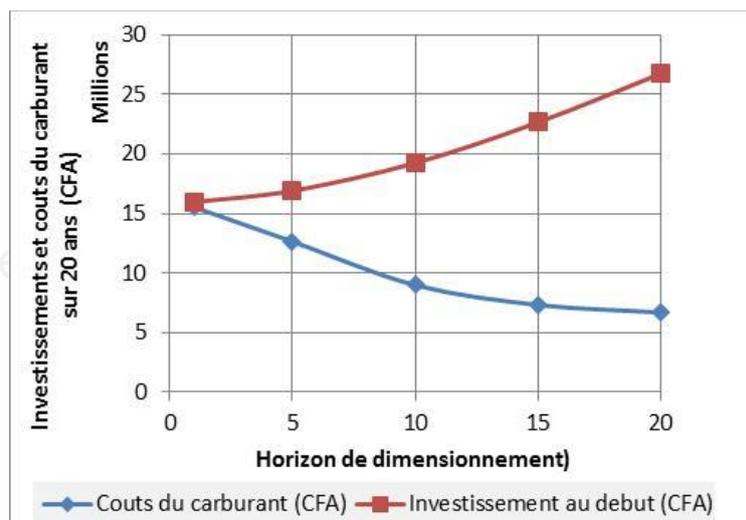


Figure 15 Investissements initiaux et coûts de carburant (20 ans)

Les coûts de carburant sans système solaire seraient environ CFA 36 M pour la période de 20 ans.

La proposition est de prendre en compte une période de dimensionnement de 10 ans. Après 10 ans il faut reconsidérer l'investissement, soit ajouter des panneaux (si cela est possible) ou de continuer à pomper avec le groupe, et augmenter la proportion du pompage. Après dix ans il est probable que le convertisseur et la pompe seront amortis, ce qui fait que 10 ans est une bonne période pour reconsidérer la suite du choix énergétique de l'AEP dans un certain nombre de villages.

Le critère décisif sera le développement de la consommation spécifique.

Ci-dessous deux graphiques avec la consommation, le niveau moyen du château d'eau et le pompage avec le groupe électrogène. A gauche pour un horizon de dimensionnement de 10 ans et à droite pour 20 ans. Avec l'horizon de dimensionnement de 10 ans le château d'eau commence à être vide de temps à temps à partir de 8 ans environs et il faut donc aider avec le groupe électrogène. Pour un horizon de dimensionnement de 20 ans ce phénomène ne commence qu'au bout de 15 ans environs.

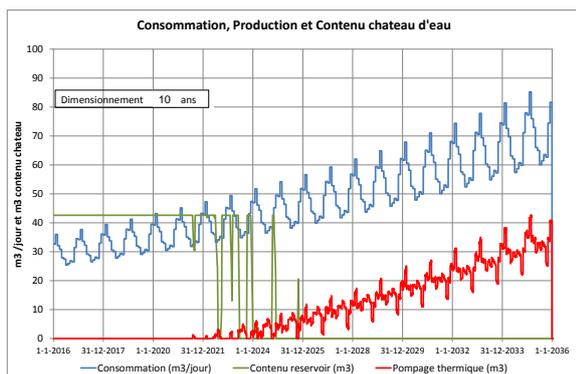


Figure 16 Horizon de dimensionnement de 10 ans

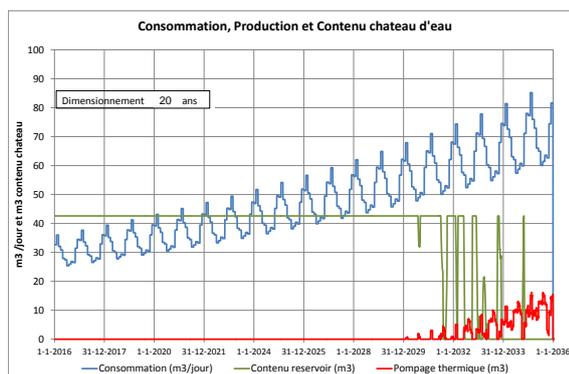


Figure 17 Horizon de dimensionnement de 20 ans

### 5.3.6 Sensibilité de la faisabilité pour le volume du Château d'eau

Comme déjà vu avant, plus le volume du stockage est petit, plus il faut pomper avec de l'énergie thermique. Ci-dessous un graphique qui montre l'effet du volume du château d'eau sur le temps de pompage thermique.

La graphique montre aussi le pourcentage du temps que le système utilise l'énergie thermique. Sans réservoir ça sera 65% du temps. Au-delà d'un volume du réservoir de 30% de la consommation journalière après 20 ans, le pourcentage thermique ne diminue plus. En effet, 30% de la consommation journalière après 20 ans correspond à un volume de 60% de la consommation journalière actuelle (2014) avec les taux de croissance comme supposé dans ce rapport.

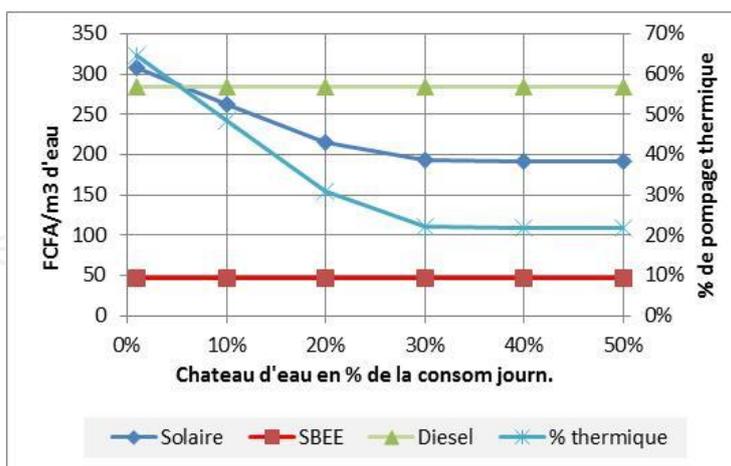


Figure 18 Sensibilité de la faisabilité pour le volume du château d'eau

Pour les systèmes solaires il faut donc théoriquement choisir des AEV avec un volume du château d'eau de 60% de la consommation journalière.

Il ne faut pas oublier que nous avons supposé que l'habitude des consommateurs de puiser surtout le matin et le soir ne changera pas dans le futur, ou très difficilement. Avec un système de tarifs plus flexible que maintenant il sera possible d'influencer les habitudes. Il faudra que les usagers trouvent un intérêt financier à puiser le midi plutôt qu'à 6h du matin. En plus, les branchements privés contribueront aussi à une meilleure répartition de la consommation sur la journée.

Au vue de ces développements, qui doivent être initiés parce que ils ne se produisent pas tout seul, un pourcentage de 50% ou 40% de la consommation journalière sera probablement acceptable, bien que moins favorable.

### 5.4 Sensibilité de la faisabilité financière pour la population, la consommation et la Hmt

Les graphiques ci-dessous montrent la sensibilité de la faisabilité pour la consommation (Hmt = ± 60 mce) et le Hmt (consommation ± 55 m<sup>3</sup>/jour).

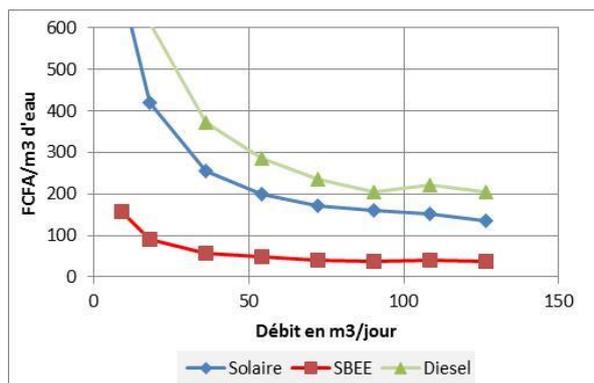


Figure 19 Sensibilité de la faisabilité pour la Consommation (Hmt = ± 60 mce)

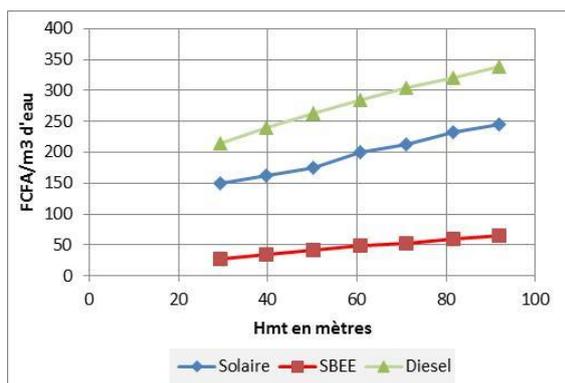


Figure 20 Sensibilité de la faisabilité pour le Hmt

D'abord il apparaît que le système solaire hybride (solaire avec groupe thermique) aboutit toujours à un prix plus bas pour l'énergie que le système avec seulement un groupe thermique. De l'autre côté il est toujours plus cher que les systèmes branchés sur le réseau de la SBEE. Les investissements dans un système solaire auront donc seulement un bon rendement si les systèmes solaires seront installés pour les AEV thermiques. Les AEV qui sont branchées sur le réseau de la SBEE (ou qui y seront bientôt branchées) ne seront pas retenus.

De plus il paraît que les systèmes solaires (hybrides) et diesel, plus petits que 20 m³/jour à l'horizon (Hmt = 55 m), connaissent un coût d'énergie presque pareil au prix de vente de l'eau. Ces petits systèmes ne sont presque pas faisables. Ceci est confirmé par les fermiers des petits systèmes.

Ci-dessous une graphique avec les coûts d'investissement pour un système solaire en fonction de m³/jour (la consommation journalière multiplié par la Hmt. Les investissements ont été calculés pour plusieurs combinaisons de débit et Hmt.

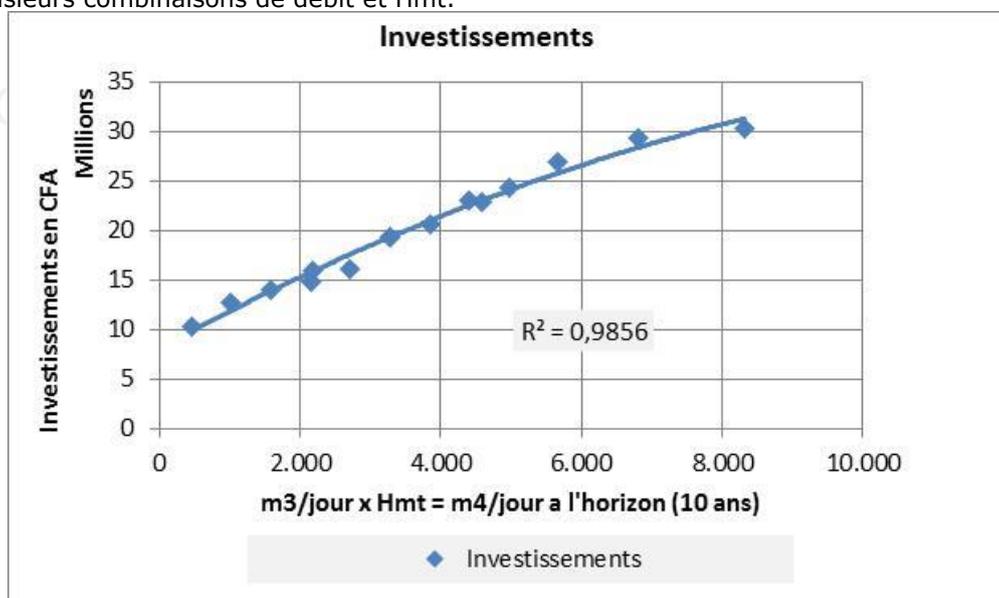


Figure 21 Coûts d'investissement du système solaire

Ce graphique peut être utilisé pour calculer les coûts d'investissement pour la modification de certaines AEV thermiques en AEV hybride. Ceci est une approximation parce que les vrais investissements dépendent d'un nombre de facteurs, qui sont à présent inconnus (voir enquêtes ou lors des travaux) :

- Possibilité de réutiliser la colonne d'exhaure (dans ces calculs : non)
- Possibilité de réutiliser la tête de forage (dans ces calculs : oui)
- Distances entre les divers éléments du système
- Champs de panneaux sur le château d'eau ou sur sol (dans ces calculs : sur sol)
- Possibilité de réutiliser le coffret de commande de la pompe (dans ces calculs : non)
- Etc.

Ci-dessous on trouve un graphique avec l'investissement par litre de carburant évité ou économisé (la consommation de carburant **sans** système solaire moins la consommation de carburant **avec** le système solaire). Pour les AEV avec moins que 2.000 m<sup>4</sup>/jour les investissements par litre de carburant évité approchent les coûts du carburant (CFA 615/ltr). Le projet a comme objectif de sauver le plus possible de carburant avec l'investissement disponible. Il est donc proposé, en première approche, de ne pas sélectionner les AEV avec moins que 2.000 m<sup>4</sup>/jour.

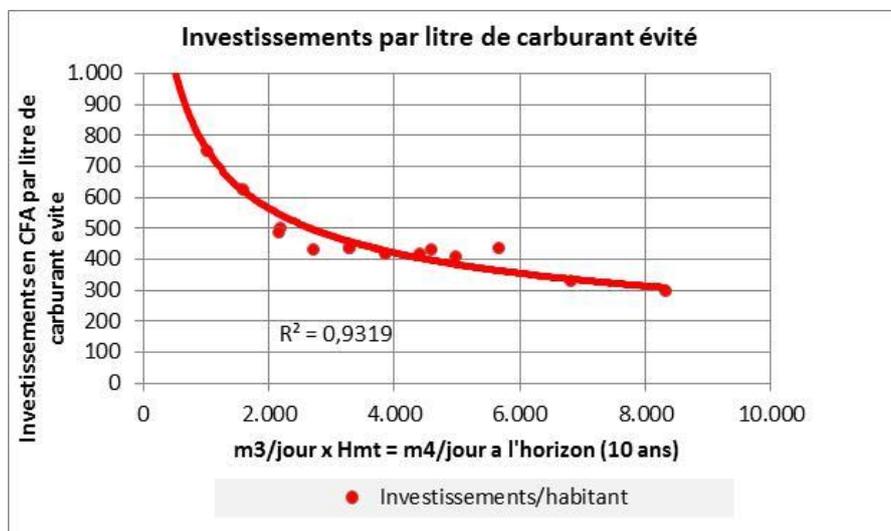


Figure 22 Investissements par litre de carburant évité

Il faut remarquer que pour les petits systèmes de moins que 1.000 m<sup>4</sup>/jour la technologie est monophasée et le groupe existant ne peut pas être conservé. Il a été supposé que l'ancien groupe sera revendu d'occasion et qu'un nouveau groupe de réserve sera acheté. Ce groupe peut être un groupe rapide (3000 tpm) et sera donc moins cher. L'achat du groupe de réserve n'est pas compté dans l'investissement.

Dans l'annexe 2 un devis estimatif est inclus avec les quantités et les prix unitaires pour l'AEV standard de cette étude de faisabilité.

La sélection éventuelle des petits systèmes a été discutée intensivement avec les parties prenantes. En général l'opinion est que ce sont surtout les petits systèmes qui doivent être équipés en solaire pour les rendre rentables. Une fois que les frais de carburant diminuent, ces systèmes peuvent donner une marge pour les fermiers. Ceci est vrai si les systèmes solaires seront considérés comme un don, qui vient sans aucuns coûts d'investissement pour les communes et les fermiers.

Ci-dessous les coûts en cas d'un don. Ce sont seulement l'entretien, le carburant et les investissements de remplacement qui ont été inclus. Sous l'hypothèse d'un don les coûts diminuent fortement, mais l'investissement dans un système solaire pour des toutes petites AEV est toujours moins efficace, moins rentable, que pour les systèmes un peu plus grands.

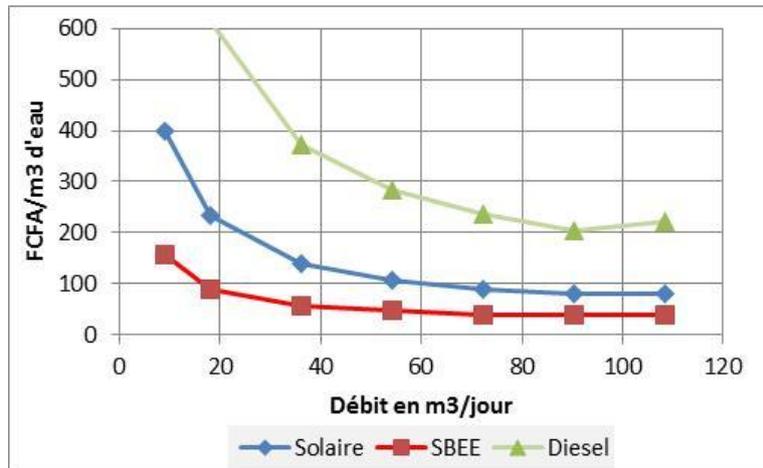


Figure 23 Sensibilité de la faisabilité pour la consommation si l'investissement est un don.

En réalité ces petits systèmes sont trop petits pour être équipés suite à des appels d'offres officiels. Ces procédures augmentent énormément les prix de ces petits projets par rapport à une approche plus locale. La mission catholique à Borgou a montré que par le choix simple pour une technologie bien connue et l'installation avec des techniciens locaux le prix peut être à peu près 30% à 40% plus bas. Dans ce cas, il n'y avait pas d'AO mais un acteur privé local qui finance les investissements sur son budget propre.

## 5.5 Sensibilité pour les prix unitaires

### 5.5.1 Prix du carburant

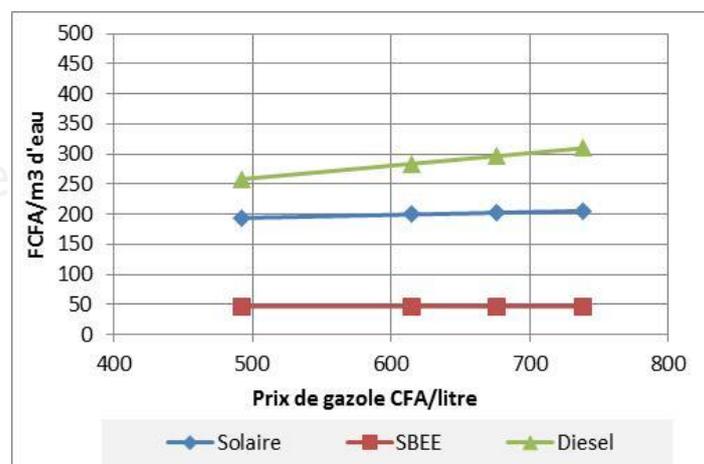


Figure 24 Sensibilité de la faisabilité pour le prix du carburant

Comme attendu, la faisabilité du système solaire par rapport au système diesel est plus grande si le prix du carburant monte.

### 5.5.2 Inflation

Pour les calculs standards l'inflation est mise à 0% et l'inflation de l'énergie à 2%, ou bien 2% plus élevé que l'inflation générale. L'écart de 2% est retenu pour les calculs de sensibilité pour l'inflation.

L'inflation porte sur le prix de l'énergie, mais aussi sur les investissements de remplacement et l'entretien. Normalement le prix de l'eau doit augmenter avec l'inflation. Si ce phénomène est bien géré par les communes et si les tarifs sont adaptés régulièrement, l'inflation ne doit pas poser un problème.

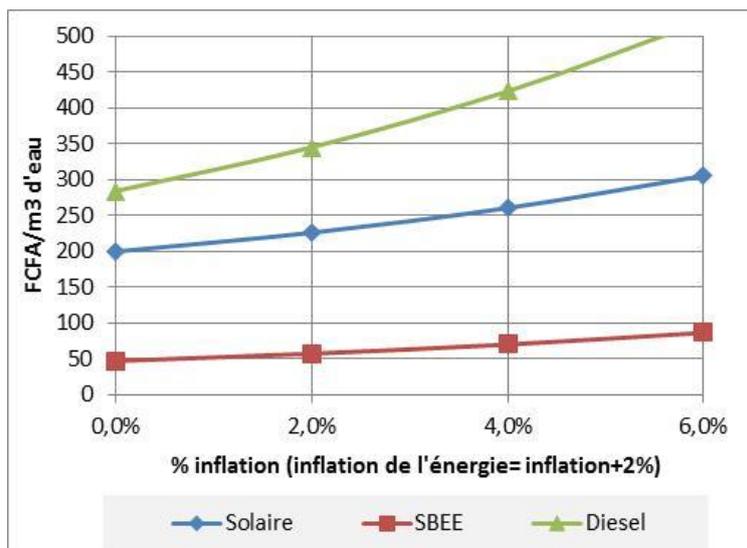


Figure 25 Sensibilité pour l'inflation

Il apparaît que le système solaire « résiste » mieux à l'inflation que les systèmes diesel. C'est normal pour les systèmes solaires parce que ces systèmes connaissent un investissement important au début et moins de coûts d'exploitation après. Ceci facilite donc la gestion de l'inflation.

### 5.5.3 Sensibilité de la faisabilité pour le rendement sur l'investissement

Les calculs dans ce rapport ont été faits avec un retour sur l'investissement de 5%. Si un rendement plus élevé ou moins élevé est demandé la faisabilité monte ou baisse

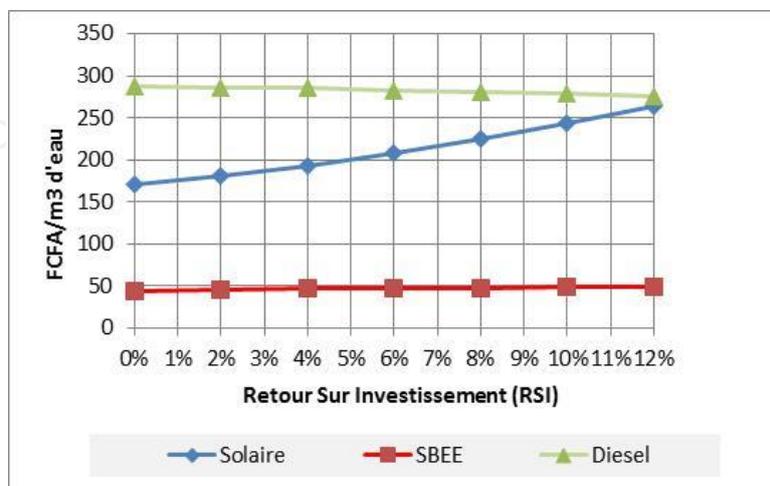


Figure 26 Sensibilité de la faisabilité pour le RSI

Il apparaît donc que si le fournisseur du capital d'investissement nécessiterait un rendement de 12 % ou plus, il ne serait pas d'accord avec cet investissement. Un rendement de 12% est quand même assez bien et ceci montre que l'investissement dans un système solaire pour les AEV est un bon choix.

Cet exercice paraît un peu exagéré dans le contexte du projet PPEA II au Bénin, mais le principe il faut toujours mesurer l'impact d'un effet avant d'investir. De plus ces calculs aident beaucoup à comprendre la structure des coûts d'une l'AEP.

### 5.6 Influence, sur la faisabilité, d'un gardien pour les panneaux solaires

Le vol des panneaux solaires est un obstacle important au développement du pompage solaire. Un gardien peut empêcher le vol, bien qu'un gardien ne puisse pas se défendre contre les bandes armées.

Ci-dessous un calcul des couts par m<sup>3</sup> d'un gardien qui coute CFA 40.000 par mois (gardien de nuit uniquement).

Tableau 15 Influence d'un gardien sur les couts de l'eau

m4/jour	Solaire sans gardien CFA/m <sup>3</sup>	Solaire avec gardien(CFA/m <sup>3</sup> )	Différence (CFA/m <sup>3</sup> )
467	697	866	169
3.283	200	228	28
6.816	151	165	14

Pour les grands systèmes ou les risques de vol par des bandes organisées est le plus grand, les coûts par m<sup>3</sup> ne sont pas prohibitifs. Par contre, pour les petits systèmes un gardien n'est pas faisable et il faut, peut-être, trouver une solution alternative de protection des panneaux comme l'installation sur le toit du réservoir ou d'un bâtiment.

## 6 CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE FAISABILITE ET CRITERES DE SELECTION

### 6.1 Généralités

L'objectif est bien de réduire les coûts de production et la dépendance énergétique des AEV du Benin en remplaçant l'alimentation en énergie actuelle par des systèmes solaires photovoltaïque.

L'étude de faisabilité a montré que l'introduction des systèmes solaires peut être faisable financièrement et du point de vue technique pour les AEV qui répondent à certains critères. Ces critères sont le résultat de cette étude de faisabilité général (voir 6.2).

Dans le chapitre 7, la sélection des AEV/PEA qui répondent à ces critères sera finalisée.

### 6.2 Critères de sélection des AEV pour le projet solaire

#### 6.2.1 Critères techniques :

- Le volume du château d'eau est de préférence égal au moins à 60% de la consommation journalière en 2014 et au minimum de 40%;
- Le débit d'exploitation maximal du forage  $\geq 1/6 \times$  la consommation journalière à l'horizon de 10 ans;
- Consommation journalière  $< 108 \text{ m}^3/\text{jour}$  à l'horizon retenu (10 ans)
  - au-delà de  $60 \text{ m}^3/\text{jour}$  la Hmt ne peut pas dépasser 70 mètres.
  - Si la chambre de pompage du forage est  $\geq 150 \text{ mm}$ , la consommation peut être plus grande.
- Le moteur de la pompe ne peut pas avoir une puissance plus grande que la puissance maximum qui peut être démarrée par le groupe existant. Puissance moteur pompe  $\times 2,5 <$  puissance groupe.

#### 6.2.2 Critères financiers :

- L'AEV doit être actuellement équipée d'un groupe thermique pour l'approvisionnement en énergie. Les AEV branchées sur le réseau SBEE ou qui seront bientôt branchées sur un tel réseau, ne sont pas considérées dans l'étude;
- $\text{m}^3/\text{jour} \times \text{Hmt} = \text{m}^4/\text{jour} > 2000$ , parce que pour des valeurs plus basses l'investissement par litre de carburant évité est trop élevé.

#### 6.2.3 Autres critères

S'il y a trop d'AEV qui répondent à ces critères, priorité sera donnée aux AEV ou :

- Il existe des problèmes logistiques pour s'approvisionner en carburant ;
- La pompe est presque amortie ;
- La Hmt est moins élevée.

### 6.3 Conditions pour l'implémentation du projet

Il n'y a pas beaucoup d'expérience avec les pompes solaires au Benin. Pour une extension du nombre de pompes solaires il faut un programme de formation à tous les niveaux (voir recommandations), notamment :

- Cadres de la DG-eau ;

- Agents eau et assainissement au niveau de la commune ;
- Fermiers ;
- Exploitants ;
- Bureaux d'étude locaux.

La disponibilité d'expertise et des pièces serait le mieux garanti si les entrepreneurs locaux participent à l'installation des systèmes solaires. Les entreprises internationales partiront après un projet mais les entrepreneurs locaux restent sur place. Il faut donc investir dans leur expertise et l'AO doit être adapté pour achever cet objectif.

#### 6.4 Autres observations

Il paraît qu'assez souvent une AEV n'arrive pas à remplacer un élément important comme par exemple le groupe électrogène en cas de grosse panne ou lorsque les panneaux solaires sont volés. Si ces systèmes restent en panne trop longtemps ils seront abandonnés, ce qui est une grande perte par rapport au capital investie. Quelques AEV sont redevenues des villages avec des points d'eau améliorés.

Avec un appel d'offre moins compliqué pour les petits travaux comme les modifications des PEA thermiques en PEA solaires on pourrait économiser des fonds et donner une chance aux entrepreneurs locaux. Les petits entrepreneurs ne veulent en général pas participer aux AO internationaux à cause de la complexité du dossier et des garanties exigées.

### 7 SELECTION DES AEV

En tout premier lieu il convient de mentionner que la liste d'AEV et/ou PEA sélectionnés devra impérativement, avant le lancement de l'AO et tous travaux, être validée par la commune, maître d'ouvrage du service public de l'eau, et le fermier qui exploite l'AEV bénéficiant des travaux de mise en énergie solaire.

La réalisation de ses travaux va en effet avoir des effets secondaires sur le mode de gestion de l'AEV, le système de maintenance, le prix du service de l'eau, la rentabilité de l'AEV et les redevances du fermier auprès de la Commune.

Cette validation par la commune pourra prendre la forme d'une décision du Conseil Communal.

#### 7.1 Général

Dans ce projet, il ne s'agit pas de la conception de systèmes neufs, mais de la sélection des AEV existants les mieux adaptées pour être munies d'un système solaire, c'est-à-dire les AEV qui répondent aux critères de sélection de l'étude de faisabilité. Il sera clair que pour cette sélection il faut toutes les données des AEV qui portent sur ces critères.

Dans ce chapitre la sélection des AEV à modifier en solaire est finalisée. La méthode est la suivante :

1. Sélection des AEV qui répondent à des critères généraux, comme : bon état, pas jaillissant (artésianisme), source pérenne, etc. La sélection est faite sur la base des données qui sont disponibles dans la BDI (pas complet) ;
2. Sélection des AEV sur base des critères de faisabilité du chapitre 6 (Conclusions de faisabilité) ;
3. Sélection sur la base des critères qui ont un rapport avec l'aspect pilote du projet ;
4. Rédaction d'une liste de 60 AEV qui seront enquêtées par le bureau ESSOR ;
5. Enquêtes sur le terrain ;
6. Analyse des résultats de l'enquête ;
7. Rédaction de la liste définitive des AEV qui seront incluses dans l'appel d'offre.

#### 7.2 Critères généraux basés sur l'information de la BDI

La BDI contient un nombre de données concernant l'état de l'ouvrage, le type d'ouvrage, etc. qui permettent d'exclure certains AEV de la sélection parce que la chance d'y installer un système solaire est absent ou très petit. Il faut éviter de devoir faire un inventaire complet de tous les AEV/PEA.

Les nombres dans la colonne « Nombre Retenues » sont basés sur un ancien extrait de la BDI, qui contenait 812 ouvrages (AEV et PEA) et n'était donc pas correct. Les nombres seront ajustés quand un nouvel extrait de la BDI sera reçu.

Tableau 16 Critères de sélection (général)

Champ BDI	Retenu	Exclu	Remarque	Nombre retenu
Etat d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bon</li> <li>Champs vides (pas d'information)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En panne à réhabiliter (27)</li> <li>En panne à réparer</li> <li>Non équipé (8)</li> <li>Abandonné (22)</li> </ul>		793
Type d'exhaure	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pompe à moteur</li> <li>Autres</li> <li>Champs vides (pas d'information)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jaillissante (pas besoin de pompe) (47)</li> <li>Treuil</li> <li>PMH, parce qu'il s'agit probablement d'AEV abandonnées</li> </ul>		681
Pérennité	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pérenne</li> <li>Champs vides (Pas d'information) (92)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non pérenne (ne vaut pas l'investissement) (9)</li> <li>Intermittent (4)</li> <li>sec (4)</li> </ul>		670
Niveau statique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les niveaux positifs (niveau d'eau sous-sol)</li> <li>Champs vides (pas d'information)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les niveaux négatifs (47) (jaillissant)</li> </ul>		666
Type d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Forage</li> <li>Champs vides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Autres que forage</li> </ul>		650
Type AEV	<ul style="list-style-type: none"> <li>AEV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PEA</li> </ul>	Les PEA sont trop petits. L'investissement par litre de carburant évité est trop élevé. (voir faisabilité financière)	455
Nombre de réservoirs	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nombre = 1, 2 ou 3</li> <li>Champs vides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nombre = 0</li> </ul>	Quand le nombre de réservoirs est « 0 » probablement il n'y a pas un réservoir. Normalement le champ est vide quand l'information n'est pas connue.	386
Type d'énergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>Groupe thermique</li> <li>Champs vides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SBEE</li> </ul>	Voir chapitre 6	310
Affermage	<ul style="list-style-type: none"> <li>Affermé</li> <li>Non affermé</li> </ul>			???

### 7.2.1 Etat des ouvrages

Seules les AEV en bon état ont été retenues. Il est vrai que certaines pannes peuvent être remédiées par un système solaire, mais on ne connaît généralement pas la nature des pannes. Si la panne est au niveau des réseaux, châteaux d'eau ou forages, l'investissement n'est pas justifiable.

Les AEV avec des champs vides (pas d'information) ont été retenus pour le moment parce qu'ils représentent un nombre important d'AEV. La base de données utilisée (BDI) est tellement incomplète qu'avec l'exclusion des champs vides on ne retient presque pas d'AEV.

### 7.2.2 Type d'exhaure

Les catégories retenues sont :

- Pompe à moteur
- Autres
- Champs vides (pas d'information)

Les forages jaillissants, les treuils et les PMH ne sont pas considérés. Le fait qu'un AEV est marqué PMH veut probablement dire que l'AEV a été « abandonnée » comme AEV et qu'une PMH a été installée. La mission a vu quelques exemples. Parfois ces systèmes sont déjà détériorés d'une façon à avoir besoin d'une rénovation complète.

### 7.2.3 Pérennité

Il n'est pas prudent d'équiper des AEV dont la source n'est pas pérenne.

### 7.2.4 Niveau statique

Les niveaux statiques négatifs ont été exclus. C'est le même critère que « jaillissant ou non »

### 7.2.5 Type d'ouvrage

Les forages ont été retenus ainsi que les champs vides.

### 7.2.6 AEV/PEA

Seules les AEV ont été retenues. Les raisons d'exclure les PEA sont :

- Ils sont très petits et se trouvent donc tous dans la catégorie < 2.000 m<sup>4</sup>/jour ;
- Une fois modifié en AEV en ajoutant un réseau, le système solaire de pompage solaire sera trop faible et ne pourra être rentable.

### 7.2.7 Nombre de réservoirs

Seules les AEV sans château d'eau ont été exclues. Probablement ces AEV sont branchées sur un réseau SONEB.

### 7.2.8 Type d'énergie

Seulement les AEV avec une source d'énergie thermique seront retenues. Les champs vides seront également retenus parce que la plupart sont certainement sous énergie thermique. Les données de la BDI ne sont pas complètes et l'information se trouve dans la liste de l'enquête ESSOR de 2013, qui doit encore être intégrée dans la BDI.

### 7.2.9 Affermage

Le bureau du DGEau est de l'avis que les AEV qui ne sont pas affermées ne doivent pas être considérées pour être équiper d'un système solaire. Il s'agit d'environ la moitié des AEV et on risque d'exclure beaucoup d'AEV ou le système solaire pourrait être faisable. Il est peu faisable d'affermier entre temps les AEV qui ne le sont pas déjà. Par contre, un système solaire peut contribuer à la faisabilité et donc à l'attractivité d'affermage.

Pour le moment ce critère n'a pas été appliqué. Le bureau du DGEau doit décider concernant l'application, ou non, de ce critère.

## 7.3 Critères concernant l'objectif pilote

Bien que le projet n'est pas un projet pilote sensu stricto, il permettra au moins de collecter des informations nécessaires pour des projets solaires nouveaux et des autres projets de réhabilitation des AEV en solaire. Pour cela il faut que certains éléments soient inclus dans la BDI pour faciliter les études de faisabilité.

### 7.3.1 AKVO

Bien que le projet ai comme objectif de réduire les coûts de production et la dépendance énergétique du Bénin, il y a aussi un objectif secondaire de caractère pilote. Le projet PPEA II à indiquer vouloir inclure quelques AEV actuellement dans les communes inventoriées avec le système AKVO.

Les communes qui utilisent ce système sont :

- Bembereke
- Djougou
- Pehunco
- Boukoumbe
- Kerou

Après la sélection des 60 AEV quelques AEV-AKVO seront ajoutées a la sélection s'il ne sont pas encore inclus automatiquement.

### 7.3.2 Climat

L'influence du climat sur la rentabilité devrait être étudiée également :

- Nord et sud
  - Irradiation
  - Harmattan
  - SP et SS

Il faut donc au moins un nombre pertinent d'AEV dans le nord et dans le sud du pays.

#### 7.4 Rédaction d'une liste de 60 AEV qui répondent aux critères de sélection

Le point de départ est la liste de 310 AEV issues du paragraphe 7.2. Les critères de paragraphe 6.2 seront appliqués pour obtenir la liste des AEV à enquêter.

Pour appliquer les critères, les données dans le tableau ci-dessous, par AEV, seront nécessaires. Ces données ne sont pas encore disponibles et attendent un nouvel extrait de la BDI, complet avec des données de la BDC et de la liste de l'enquête d'ESSOR de 2013. Les nombres de champs vides dans la BDI sont d'un ancien extrait qui contenait 812 ouvrages et est donc contestables.

Tableau 17 Données nécessaire pour la sélection et leur disponibilité dans le BDI

Données	Remarques	Champs vides dans la BDI (sur 310 ouvrages)
Population	Normalement utilisée pour calculer la consommation. Peu fiable dans la BDI	
Consommation spécifique (l/p/j)	Normalement utilisée pour calculer la consommation. Pas dans la BDI.	
Consommation actuelle	Pas dans le BDI. Pour certains villages (combien ?) dans la BDC et quelques informations aussi dans la liste de l'enquête d'ESSOR de 2013. L'enquête doit fournir les derniers chiffres du terrain.	
Débit du forage		129
Diamètre du forage		124 44 D = 0 mm
Rabattement	A extraire à la main. Ne figure pas dans la BDI comme données.	
Volume du château d'eau		44
Château d'eau a cote du forage	Pas dans la BDI, ni dans la BDC.	
Hm statique		117
Hm dynamique	Pas dans le BDI ni BDC	
Pompe existante	Les types de pompe sont mentionnés aussi dans la BDC, mais il n'est pas connu pour combien d'AEV.	216
Puissance Groupe existant	Pas dans la BDI Nombre inconnu dans la BDC	

Au moment de la rédaction de ce rapport le bureau de la DGEau ensemble avec le bureau ESSOR prépare un extrait de la BDI avec le vrai nombre d'ouvrage. La sélection ne peut donc pas être finalisée aujourd'hui par manque de données.

#### 7.5 Enquêtes sur le terrain

Les enquêtes sur le terrain ont comme objectif :

- Inventorier la disponibilité d'un périmètre pour installer les panneaux solaires, qui répond aux critères de paragraphe 4.7 ;
- Vérifier les données importantes de la BDI ;
- Collecter des données qui seront nécessaires pour permettre aux fournisseurs de pompes solaires de faire une proposition technique et financière.

L'enquête sera exécutée par le bureau ESSOR en sous-traitance de Practica.

## 7.6 Sélection définitive

La sélection définitive sera faite après l'enquête.

## 8 PROJECT TECHNIQUE

Ce chapitre donne une première vision des fournitures et travaux qui seront nécessaires pour modifier les AEV thermiques en AEV solaires/mixtes. Figure 27 Schéma d'un AEV solaire montre un schéma d'un AEV solaire.

Les fournitures incluent :

- Une nouvelle pompe ;
- Si la colonne d'exhaure n'est pas réutilisable, la fourniture de la colonne d'exhaure ;
- Câbles d'alimentation en énergie de la pompe ;
- S'il n'est pas réutilisable, câble et sonde de la protection « manque d'eau » de la pompe ;
- Convertisseur de l'énergie avec ses accessoires ;
- Dispositif de basculement de l'énergie solaire à l'énergie du groupe ;
- S'il n'est pas réutilisable, le coffret de commande de la pompe pour la marche avec le groupe thermique ;
- Les panneaux solaires avec leur support et les mesures antivols ;
- L'interrupteur trop plein (s'il n'existe déjà)
  - Interrupteur flotteur dans le château d'eau
  - Combinaison vanne flotteur dans le refoulement du château d'eau et pressostat sur la tête de forage ;
- La clôture en cas d'installation des panneaux sur sol ;
- Les câbles entre les panneaux et le convertisseur
- L'extension (si nécessaire) du système existant de mise à la terre et du parafoudre.
- Normalement la tête de forage sera conservée, mais dans des cas exceptionnels la tête de forage pourra être remplacée

Les travaux incluent :

- Le démontage des équipements (pompe) ;
- Nettoyage et préparation du terrain pour les panneaux solaires
- Installation des fournitures du système solaire ;
- La mise en marche et la réception provisoire et définitive ;
- La formation de l'exploitant ;
- La garantie des fournitures et des travaux ;
- Le stockage des pièces de rechange.

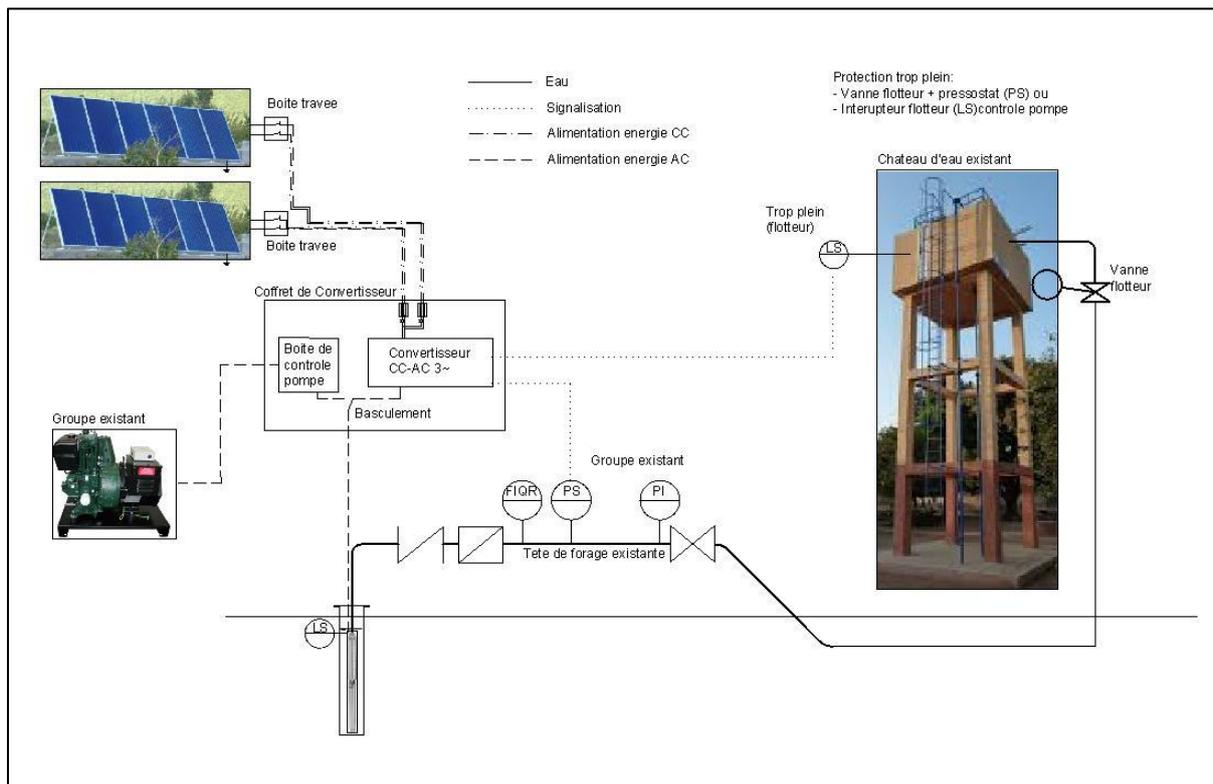


Figure 27 Schéma d'un AEV solaire

La durée des travaux de la modification d'un AEV est estimée à une ou deux semaines, selon la taille du système et les dispositifs déjà sur place.

## 9 SYSTEME DE MAINTENANCE ET DE FOURNITURE DES PIÈCES DE RECHANGE

### 9.1 Généralités

La disponibilité des pièces de rechange et de l'expertise pour la maintenance est liée directement à la façon d'exécution du projet de modification des AEV. Cette disponibilité peut seulement être garantie par la présence d'une marche de pompage solaire local au Bénin. Les entrepreneurs doivent avoir assez de ventes et du travail (installation et maintenance) pour pouvoir se spécialiser et pour investir dans la formation de leur personnel et un stock de pièces (voir chapitre 10)

### 9.2 Maintenance

Les pompes solaires n'ont pas besoin d'entretien autre que l'entretien d'une pompe submergée. L'entretien des pompes est limité à l'observation de la performance et un nettoyage en cas de faible débit. La plupart des exploitants ont déjà de l'expérience avec les pompes submergées. Le réglage du convertisseur et la formation de l'exploitant à la mise en marche sont cruciaux et après la réception provisoire on n'a plus besoin de toucher l'équipement. On n'aura donc pas besoin d'un passage coûteux de l'entrepreneur pour l'entretien préventif.

L'exploitant doit quand même bien suivre la performance de la pompe solaire. Une fois que la performance diminue d'une façon à augmenter trop les heures de pompage avec le groupe thermique, il doit brancher la pompe sur le groupe :

- Si la pompe ne fonctionne pas bien avec le groupe, c'est la pompe qui doit être nettoyée ;
- Si la pompe fonctionne bien avec le groupe, c'est le système solaire qui doit être optimisé ;

Pour les travaux qu'il ne sait pas faire lui-même, l'exploitant doit avertir l'entrepreneur chargé de l'entretien pendant la période de garanti et après cette période l'entrepreneur du choix.

Contrairement aux groupes thermiques, la maintenance des systèmes solaires est surtout curative et consiste principalement du remplacement des pièces électroniques ou des panneaux solaires.

L'idéal serait d'avoir au moins trois entrepreneurs qui peuvent installer les pompes solaires et qui peuvent donc aussi les entretenir. L'avantage des systèmes hybrides est qu'il y a deux sources d'énergie et on n'a donc pas besoin d'intervenir dans un délai d'un ou deux jours à des coûts élevés.

### **9.3 Les pièces de rechange**

#### **9.3.1 Généralités**

Parce que le marché de pompage solaire au Bénin n'est pas très grand il faut éviter trop de marques et types différents.

Les pompes submersibles des AEV sont presque uniquement des pompes Grundfos avec environ 6 types de moteurs (1,5-2,2-3-4-5,5 et 7,5 kW) et trois types de pompes (SP5-SP8 et SP14) pour les 500 AEV dans le pays (estimation basée sur les données disponibles dans la BDI). Le nombre de pièces pour réparer ces pompes est donc très limité. Le même constat est valable pour les groupes thermiques, ou les Lister/Petter avec un, deux ou trois cylindres ont beaucoup de pièces en commun. On voit déjà que les quelques groupes différents de celui-ci ont des problèmes de pièces de rechange.

#### **9.3.2 Pompes**

Il est recommandé de conserver Grundfos pour le moment. Dans beaucoup d'appels d'offres locaux on voit que la marque Grundfos est prescrite. On ne veut pas risquer que les pompes seront amorties beaucoup plus vite que les autres composants de l'installation. Puisque les pompes Grundfos peuvent être entretenues au Bénin, l'utilisation de cette pompe pour les systèmes solaires garantit la présence des pièces.

#### **9.3.3 Convertisseurs**

Les marques et types de convertisseurs pour le branchement sur les réseaux électriques sont très nombreux. Pour le pompage solaire, et surtout pour les pompes 380 V 3~ (groupes existants) le nombre de fabricants de convertisseurs est plus faible.

On voit presque seulement Grundfos (monophasé 230V) au Bénin pour les petits systèmes. Ces convertisseurs sont ou bien intégré dans le moteur de la pompe (pompes récentes SQFlex) ou bien installé dans un boîtier convertisseur à côté du forage (anciennes installations).

Les convertisseurs 380 V 3~ qui peuvent travailler avec les mêmes pompes que les groupes existants ne sont pas encore disponibles au Bénin. Pour éviter un grand besoin de convertisseurs de réserve, il faut limiter le nombre de marques, par exemple 2 ou 3 marques renommées, comme Grundfos, Phaeson et Lorentz même si le code des marchés publics interdit de citer des marques privées dans un Appel d'Offres. On devrait normalement faire une petite étude des références de ces marques dans les pays avec des conditions comparables. Grundfos et Lorentz en ont beaucoup. Il serait beaucoup plus facile de prescrire par exemple seulement Grundfos pour les premiers lots. La concurrence entre les entrepreneurs locaux se concentre dans ce cas sur l'exécution des travaux. Une marque seulement n'est probablement pas acceptable pour les autorités, bien que pour les pompes la marque Grundfos est de facto en situation de quasi-monopole.

On devrait normalement avoir au moins un convertisseur de chaque type en stock, sauf si l'entrepreneur peut prouver qu'il peut obtenir un convertisseur en moins de 10 jours, ce qui n'est pas impossible. Pour éviter que tous les entrepreneurs qui fournissent ce type d'équipement soient obligés de conserver des appareils assez chers en stock, il est proposé que le projet achète ces convertisseurs de réserve (et les conserve au niveau déconcentré) et qu'un entrepreneur puisse en disposer (l'acheter et l'utiliser) pour réparer une panne. Parce que le programme PPEA II est limité dans le temps, après possible fin 2015 ou 2016, et que la Stratégie Nationale met l'exploitation sous la responsabilité des communes, la tâche de gérer un stock de pièces peut être prise en charge par l'AISSER ou l'AFEB, ou toute autre structure qui pourrait être identifiée et reconnue comme compétente. Il n'est pas souhaitable que toutes les communes mettent du matériel en stock pour éviter que trop d'argent soit fixée avec des équipements qui pourraient devenir obsolètes dans quelques années.

Les anciens modèles peuvent toujours être utilisés et on ne risque donc pas de devoir les jeter après un certain temps. Les nouveaux modèles peuvent en général facilement remplacer les anciens modèles et il n'est donc pas nécessaire de stocker des appareils pour les remplacements du futur.

#### 9.3.4 Les petits accessoires

Les petits accessoires comme les surtenseurs, interrupteurs, etc. sont en général moins chers et standardisés de telle manière que l'on puisse les utiliser au lieu d'autres marques que celles des installations originales. Ces accessoires sont utilisés dans des autres fonctions en dehors de l'AEP solaire et leur disponibilité ne doit donc pas poser un problème.

#### 9.3.5 Panneaux solaires

Pour les panneaux solaires il est important d'avoir un stock car :

- Les dimensions des panneaux ne sont pas standardisées. Normalement ceci n'est pas un problème car les panneaux sont fixés sur les supports avec des clips ou des boulons et les panneaux peuvent déborder du support. Dans ce cas on veut les fixer dans des cadres métalliques qui seront fixés sur le support. Un panneau de remplacement doit donc avoir les mêmes dimensions que les panneaux originaux, ce qui est une contrainte.
- Les caractéristiques des panneaux (voltage, ampérage, etc.) ne sont pas standardisées non plus. Pour le remplacement d'un panneau dans un champ de plusieurs panneaux, il faut mieux utiliser un panneau du même type afin d'éviter d'éventuelles pertes de rendement.

L'appel d'offre limitera donc le nombre de types de panneaux à 2 ou 3 et le fournisseur doit livrer 5% de panneaux en plus pour le stock de réserve, qui peut être géré comme proposé pour les convertisseurs.

## 10 L'APPEL D'OFFRE

Il y a trois possibilités pour organiser l'appel d'offres :

- AO international.
- AO local
- AO sur base de systèmes types

### 10.1 AO International

Initialement il était prévu de lancer un appel d'offre national avec les communes comme MO's délégués. L'AO doit avoir seulement un lot pour que l'AO soit attractif aux fournisseurs internationaux. Le montant d'un tel marché sera trop grand pour les entrepreneurs locaux (caution, garanti bancaire, etc.), sauf peut-être pour les entreprises qui font aussi la construction du génie civil des AEV. De toute façon les petits entrepreneurs solaires béninois ne peuvent pas y participer ou difficilement.

Les entreprises internationales seront sûrement intéressées mais elles quittent le Bénin après le programme. Si une garantie est demandée dans l'AO ils supporteront probablement une entreprise locale jusqu'à la réception définitive. Le résultat sera qu'il n'y aura pas de concurrence après la réception définitive parce que le projet sera exécuté par une seule entreprise avec une seule représentant au Bénin.

#### Avantages :

- Le projet sera exécuté par des entreprises internationales et on aura probablement peu de problèmes à l'exécution ;
- On peut laisser les calculs hydrauliques, le dimensionnement, etc. à l'entrepreneur et la commune (ou le bureau d'études) fait surtout la supervision ;
- Puisqu'il s'agit d'un lot important, les prix des fournitures seront moins élevés

#### Désavantages :

- Toutes les données doivent être disponibles avant de pouvoir commencer la procédure ;
- Il y aura moins de concurrence après la réception définitive. Les pièces de rechange se trouvent chez une entreprise locale ;
- La contribution à l'expertise et l'expérience des entrepreneurs locaux est relativement faible.

## 10.2 AO local

Il est proposé que le projet PPEA II utilise ce projet de modification des AEV pour développer le marché de pompage solaire au niveau local, afin d'assurer la présence d'une expertise au niveau de plusieurs entreprises et mettre en place une concurrence.

La méthode de travail sera comme suit :

- Annonce des appels d'offres aux entrepreneurs locaux ;
- Annonce des appels d'offres aux fournisseur(s) de l'équipement préféré et une invitation de venir expliquer leur programme aux entrepreneurs du Bénin en coopération avec l'AISSER. Si l'AFEB réussit à mettre sur pied les trois centres d'expertise, leurs techniciens peuvent aussi participer. Les bureaux d'étude qui font la supervision des travaux, seront également invités. Le projet PPEA II peut faciliter ces événements. On pourrait même offrir aux fournisseurs de payer par exemple les frais de voyage à condition qu'ils incluent une formation pratique (dimensionnement, installation, etc.) d'une journée ;
- Pré-qualification des entreprises et bureaux d'études locaux ;
  - Expériences
  - Références
  - Moyens financiers
  - Liaisons avec des entreprises dans les autres pays de l'Afrique d'Ouest ou de l'Europe ;
  - Support technique à mobiliser de l'extérieur pour assistance durant le premier lot.
- Couper le lot des AEV à modifier en petits lots qui seront à exécuter en tranches de 2 lots de 4 ou 5 systèmes à réaliser en même temps par les deux participants au mieux prix. Après réalisation un deuxième AO peut être lancé ;
- Simplifier les procédures ;
- Suivre de très près les travaux pour pouvoir intervenir rapidement en cas d'erreurs.

### Avantages :

- Plusieurs entrepreneurs peuvent participer (concurrence, aussi après la réception définitive) ;
- Les entrepreneurs et bureaux d'études locaux auront du temps pour apprendre le pompage solaire ;
- Pour la collection des données pour la sélection des AEV, on peut contracter les mêmes bureaux d'études qui font la conception et la supervision dans un certains départements ou groupes de communes ;
- Les risques financiers pour les entrepreneurs et le MO seront relativement faibles ;
- L'exécution peut être évaluée après chaque lot pour améliorer les systèmes ;
- Les communes pourront avoir des contrats avec les mêmes entrepreneurs que ceux avec lesquels ils doivent s'entendre à des conditions commerciales après la réception définitive ;
- Un lot peut être exécuté par seulement un ou deux communes, ce qui simplifie l'exécution par rapport à un grand lot ou plusieurs communes seront MO délégué dans le même marché ;
- Les participants ne seront pas surchargés par le volume des travaux.
- Il y a du temps pour collecter les données des AEV afin de pouvoir sélectionner les AEV les mieux adaptées à l'énergie solaire ;
- Des contrats moins lourds pour les communes.

### Désavantages :

- Le projet sera plus long dans le temps ;
- Le projet demande plus d'énergie et d'implication du personnel de PPEA II
- On aura besoin de plus de supervision

Une coopération avec le programme ProMaBiP du GIZ est à recommander. Ce projet a comme objectif de renforcer le marché solaire au Bénin et se concentre surtout sur les entrepreneurs solaires au Bénin.

La durée du projet sera peut-être plus longue que prévue, mais nous manquons cruellement de données de base sur les AEV, ce qui handicape une sélection claire des AEV. Selon le responsable de la BDI, au cours de la deuxième moitié de 2014 ces données seront complétées par des enquêtes sur le terrain pour une centaine de sites complémentaires. On pourrait combiner cet effort avec les préparations pour la sélection des AEV à équiper avec une pompe solaire.

Les données disponibles en ce moment (soit très peu) doivent suffire pour commencer une première enquête qui doit produire une liste suffisante d'AEV afin d'opérer un choix pour les 2 lots.

Probablement l'AO simplifié local (et < 100 M CFA) peut se dérouler plus vite qu'un AO international.

### 10.3 AO sur base de systèmes types

Ceci n'est pas un type mais plutôt une méthode qui est utilisée parfois pour gagner du temps. Le principe est que l'on définit quelques systèmes types avec lesquelles l'appel d'offres est lancé. Pendant l'exécution le vrai dimensionnement des systèmes (panneaux, convertisseur, pompe, etc.) est calculé sur la base de l'irradiation sur place et de la répartition de la consommation sur la journée. La différence entre le vrai prix d'exécution et le prix du système type de l'AO est réglé sur la base des prix unitaires.

Cette méthode permet d'exécuter la procédure de l'AO et la préparation du projet (conception, collection de données, etc.) en parallèle. Cette méthode est utilisée par les projets solaires du CILLS. Ces projets ont opéré sur plus que 100 ou même 200 systèmes et sa fait avec 6 ou 7 types avec pour chacun quelques 3 sous-types. De cette manière on reste près des systèmes qui seront construits proches de la réalité. La méthode sert aussi à gagner du temps par rapport à un AO international.

Dans le cas du PPEA II il y aura moins de systèmes types parce que le projet est plus petit.

### 10.4 Conclusions

La conclusion dépend de l'objectif, du temps disponible et des ressources personnelles du programme PPEA II.

Pour la construction des systèmes (sans autres options ou prestations)	→	AO international
S'il n'y a pas du temps	→	AO international avec systèmes type
S'il y a du temps et si nous voulons donner une chance aux entrepreneurs locaux	→	AO local

Concept-1 de 08-08-2014

## 11 RECOMMANDATIONS

Dans ce chapitre nous proposons quelques recommandations en fonction des observations pendant les missions exécutés au Bénin. Elles ne portent pas toutes directement sur le projet solaire.

### 11.1 Formations des cadres dans le domaine solaire

#### 11.1.1 Cadre de la DGEau

- Formation générale concernant les principes des pompes solaires ;
- Avantages et désavantages des pompes solaires ;
- Aspects financiers ;
- Explication de ce rapport de faisabilité

#### 11.1.2 Agents eau et assainissement au niveau de la mairie

- Formation générale concernant les principes des pompes solaires ;
- Avantages et désavantages des pompes solaires ;
- Méthode d'exploitation des systèmes hybrides (solaire et thermique) :
  - Minimiser les coûts de pompage thermique
- Coûts de remplacement des éléments importants (à la charge de la Mairie) d'un système solaire

#### 11.1.3 Fermiers

- Méthode d'exploitation des systèmes hybrides (solaire et thermique)
  - Minimaliser les coûts de pompage thermique
- Coûts de l'exploitation des systèmes solaires ;
- Propositions pour influencer les habitudes des consommateurs afin d'adapter la consommation à la production d'eau par un système solaire :
  - Stockage décentralisé (au niveau des bornes fontaines) ;
  - Branchements privés (répartition plus égale dans la journée, bons consommateurs et bons payeurs, etc.) ;
  - Tarification plus basse pendant les heures d'ensoleillement important (L'eau revient moins cher au fermier pendant ces heures).

#### 11.1.4 Exploitants

- Formation concernant les aspects spécifiques de l'opération et de l'équipement d'un système de pompage solaire hybride ;
- Participer à l'installation du système solaire ;
- Formation sur le terrain par le fournisseur ;

#### 11.1.5 Bureaux d'étude locaux.

- Théorie des systèmes solaires, dimensionnement, avantages et contraintes ;
- Aspects spécifiques de la supervision de l'exécution des projets solaires
- Utilisation des mallettes de réception des travaux de pompes solaires (voir AO pour le contenu des mallettes) ;

#### 11.1.6 Entrepreneurs

En principe ce n'est pas la tâche d'un projet de former des entrepreneurs afin d'éviter de falsifier la concurrence. Les entrepreneurs doivent trouver leur propre formation, mais sans projets ils ne peuvent pas augmenter leur expérience et expertise.

Les entrepreneurs doivent jouer un rôle important dans la privatisation de l'AEP au Bénin, qui ne peut pas réussir sans que tous les joueurs se développent à peu près au même pas. Une formation du secteur privé peut faire partie du développement du secteur dans le cadre de PPEA II. Cette formation pourrait être abritée au CFME (Centre de Formation des Métiers de l'Eau) en faisant appel aux expertises nationales qui se développent (centre Songhai, programme de la GIZ...)

## 11.2 AEV neuves avec système solaire

Pour la conception des systèmes solaires neufs il faut reprendre l'étude de faisabilité. Il ne va pas de soi qu'un système solaire neuf n'aura pas un groupe de réserve. Les prix des châteaux d'eau et de forages à grand débit sont assez élevés et un groupe peut diminuer ces coûts d'investissement d'une côté et augmenter la fiabilité des systèmes de l'autre côté (sécurisation de la continuité du service public de l'eau). Le système hybride n'est donc pas seulement une solution pour des systèmes originellement dimensionnés pour le fonctionnement avec un groupe électrogène.

Recommandations pour les AEV neuves :

- Exécuter systématiquement les forages à « gros débits » en 150 mm pour permettre l'installation de pompes avec des débits plus importants (quand la formation géologique permet ces débits) ;
- Les châteaux d'eau, le stockage doit être mieux dimensionné, plus important, mais pas nécessairement jusqu'à 50% ou plus de la consommation journalière. Il faut trouver l'équilibre économique entre l'utilisation d'un groupe thermique et le volume du château d'eau ;
- Puisque dans un système hybride le groupe thermique est moins important, on pourrait choisir des groupes moins chers de 3000 tpm, qui sont aussi transportables et peuvent être utilisés sur plusieurs AEV dans la même commune. .
- Pour les toute petits systèmes il ne faut pas promettre aux habitants que l'eau sera disponible à tout temps et chaque jour. Ceci permet de construire des systèmes solaires sans groupe de réserve, qui est en fait trop cher pour les petits systèmes. Il faudra dès le départ mettre en avant un nouveau principe de consommation et rigoureusement observer les problèmes qui se posent sur les premiers systèmes installés.

## 11.3 Bases de données

Les bases de données n'étaient pas complètement opérationnelles au moment où nous en avons besoin pendant cette étude.

- Les données sont dispersées (BDI, BDC, Manobi et listes d'enquêtes)
- Il n'est pas facile et parfois même impossible d'extraire les données pour produire des listes avec lesquelles on peut planifier des projets ;
- Les différentes bases de données n'utilisent pas toutes les mêmes références pour les AEV. La combinaison des données est donc rendu très difficile, voire impossible ;
- Les données ne sont pas complètes. Parfois ils manquent les données essentielles de plus de 50% des AEV dans un base de données ;
- Le seul responsable n'était pas présent au temps de la première mission ce qui faisait que les données n'étaient pas accessibles. Il n'est pas normal d'avoir un seul spécialiste de la base de données. Il faut mettre les moyens pour rendre cette base opérationnelle.

Pour améliorer le fonctionnement, au niveau central, des bases de données il est recommandé de faire comme suite :

- Créer la possibilité de faire des requêtes sur toutes les bases de données concernant les AEV et les PEA dans un même format, par exemple excel;
- Respecter le principe d'un code seulement par AEV, forage, etc. pour pouvoir combiner les données ;
- Former des cadres pour éviter que l'absence d'une personne cause l'inaccessibilité des données.
- Faire des combinaisons de valeurs. Par exemple consommation de carburant versus m<sup>3</sup> de l'eau produit ou versus m<sup>3</sup>/hr x m (Hmt) = m<sup>4</sup>/hr. Avec ces valeurs combinées il est facile de contrôler :
  - Si l'équipement a besoin d'entretien (augmentation de la consommation de carburant) ;
  - S'il y a du carburant qui disparaît (irrégularité de consommation par m<sup>3</sup> produit) ;
  - Si les données dans la base sont correctes;
  - Si les données sont complètes (seulement l'utilisation fréquent par des spécialistes d'approvisionnement en eau montre des écarts dans les données) ;
  - A priori ce travail est inscrit dans le logiciel de suivi de la gestion des AEV mais encore largement sous utilisé et sous exploité.
- Présenter ces combinaisons comme un graphique linéaire sur une base de temps. Comme ça il sera immédiatement clair s'il y a une déviation.
- Il y a des contradictions dans les données. Par exemple le village de Yoko (11404008) a une pompe Grundfos SP5A-55, qui ne peut donner que 6,5 m<sup>3</sup>/hr au maximum. En réalité

la production mensuelle divisée par le nombre d'heures d'opération par mois donne 15,6 m<sup>3</sup>/hr. Alors la pompe n'est pas correctement affichée ou le débit indiqué n'est pas correct.

- En faisant des analyses sur les données il est possible de développer des valeurs clefs comme la consommation spécifique par mois, l'efficacité des groupes électrogènes sous chargés, etc. pour mieux dimensionner les AEV du futur et pour mieux calculer le prix de vente de l'eau.

#### 11.4 AEV abandonné

Pendant la mission plusieurs AEV abandonnées ont été visitées, notamment Soka (Borgou) et Koko et Gobada (Collines). La première a été réhabilitée par la mission catholique.

Koko et Gobada ont été hors service depuis longtemps à cause du vol des panneaux solaires après un ou deux ans de service seulement. Les deux villages sont redevenus des villages avec des PMH, bien que Koko soit branché sur le réseau SBEE. L'investissement dans le réseau, les bornes fontaines et le château d'eau ont donc eu un très mauvais rendement.

A ce moment les ouvrages sont dans un très mauvais état et la réhabilitation sera prohibitive.

Il est recommandé d'être plus alerte pour des situations comme celle-ci. Apparemment la commune n'a pas eu les moyens pour remettre l'AEV en marche après le vol des panneaux. Nous n'avons pas pu comprendre pourquoi il n'y avait pas eu une réhabilitation immédiate.

Ces situations devraient pouvoir être évitées avec un type de « banque de l'eau », qui est une combinaison de facilités de crédit et de l'expertise de l'AEP. Si les AEV, qui sont en train d'être abandonnées par manque de crédit ou d'expertise, sont réhabilitées assez vite, les couts totaux de réhabilitation seront moins importants qu'après 5 ou 10 ans. En plus la continuité de l'AEP peut être garantie. La banque peut également financer des extensions de réseaux, etc. en fournissant l'expertise nécessaire pour éviter que les investissements soient mal faits. Ceci est probablement une meilleure solution que les projets de réhabilitation périodique. Ce système est proche du STEFI mis en place au Mali (Suivi Technique et Financier).

Une telle banque peut être intégrée avec une banque existante. Il faut :

- i) Mutualiser les fonds issus des redevances « eau » versées auprès des communes ;
- ii) trouver un bailleur de fonds qui garantit les prêts pour obtenir des taux d'intérêt réduits et pour payer l'expertise ;
- iii) Indexer le suivi de la gestion technique et financière sur le prix du m<sup>3</sup> d'eau produit ;

Le résultat sera un développement plus simple et logique qui évitera normalement les longues périodes d'interruption du service public de l'eau.

## **Annexe 1, Termes de Référence**

Concept-1 de 08-08-2014

# TERMES DE REFERENCE POUR UNE ETUDE DE FAISABILITE « SOLAIRE » CONCERNANT LES AEV ET PEA DU BENIN

## **CONTEXTE**

Aujourd'hui la grande majorité des AEV au Bénin est alimentée en énergie par groupes électrogènes ou réseau de la SBEE. L'utilisation de l'énergie solaire est encore très limitée, 24 AEV et 1 PEA alors qu'un total de 493 AEV et 93 PEA a été reconnu lors de l'inventaire de décembre 2013.

Energie	AEV	PEA	total
Thermique	361	85	446
SBEE	62	6	68
SBEE (via SONEB)	14	1	15
Solaire	24	1	25
Mixte (thermique/SBEE)	20	0	2
En cours de réalisation	12	0	12

Le taux de panne est aujourd'hui assez important, toutes proportions gardées, sur les systèmes solaires. En effet, sur les 25 sites reconnus 8 sont en panne aujourd'hui. Les causes de pannes ne sont pas renseignées dans l'enquête mais il est fort probable que le faible nombre de sites n'a pas incités la mise en place d'un réseau fiable de maintenance.

Partant du principe admis qu'actuellement le prix du carburant augmente sensiblement alors que, inversement, le prix des modules et du pompage solaire tend à diminuer fortement, il apparaît judicieux de relancer cette filière peut explorée au Bénin dans le domaine du pompage de l'eau.

## **OBJECTIF GENERAL DE L'ETUDE**

Permettre la mise en place de système de pompage solaire sur des AEV et PEA existants au Bénin afin de réduire les coûts de production et la dépendance énergétique du Bénin.

## **OBJECTIFS SPECIFIQUES DE L'ETUDE**

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- i) Etablir la liste des Postes d'Eau Autonomes (PEA) et Adductions d'Eau villageoises (AEV) donnant les meilleures garanties pour pouvoir être équipés en système de pompage solaire ;
- ii) Valider cette précédente liste pour deux cas de figure, le remplacement pur et simple du système en place ou le système de pompage mixte (solaire plus énergie déjà en place) ;
- iii) Faire le point des sites actuellement sous pompage solaire, type d'équipement, âge, état et coût de remise à niveau (8 sites en panne et sites nécessitant des travaux) ;
- iv) Préparer les termes de références pour un Dossier d'Appel d'Offres « travaux » y compris le bordereau des prix unitaires, le cadre du devis estimatif et les définitions et conditions d'application des prix ;
- v) Préparer, pour ces mêmes termes de références, le cadre pour un entretien et une mise à disposition des pièces de rechange des systèmes solaires ;
- vi) Préparer le Devis Estimatif « confidentiel » afin de chiffrer le coût de l'opération en 2014 sur la base de XX sites (PEA, AEV et sites solaires à réhabiliter) ;
- vii) Donner une idée du potentiel actuel de l'offre en équipements et entreprises de travaux au Bénin.

## **CONTRAINTES TECHNIQUES**

L'utilisation de l'énergie solaire doit prendre en compte un certain nombre de contraintes.

- i) Le fait d'utiliser cette énergie limite les heures de pompage aux heures d'ensoleillement (pompage au fil du soleil). Globalement, on estime que le volume journalier pompé

sera égal à 6 fois le débit horaire du forage. Par exemple, un forage de 5m<sup>3</sup>/h permettra de pomper, dans le meilleur des cas, un maximum de 30m<sup>3</sup>/j.

- ii) Une autre contrainte est liée à la Hmt. La puissance (en Wc) de la station de pompage est directement liée à cette donnée et en augmentera donc proportionnellement le coût.
- iii) On peut lever les contraintes de temps de pompage en construisant des stations de pompage mixte. Le coût d'investissement peut devenir prohibitif. Les expériences récentes (Mali) montrent que la répartition du pompage est généralement de 20 à 30% thermique et 70 à 80% solaire. L'apport complémentaire est intéressant en saison chaude quand la demande est très forte, ou en saison des pluies/harmattan, lorsque le couvert nuageux est important.
- iv) Les technologies actuelles permettent d'utiliser un seul forage et la même pompe avec des convertisseurs spécialement conçus à cet effet. Au Mali, de tels convertisseurs sont actuellement en fonctionnement sans connaître la moindre panne depuis 3 ans et dans des conditions de chaleur extrême. En saison chaude, dans la région de Kayes de mars à juin, la température dépasse fréquemment les 40°C à 45°C à l'ombre alors que la demande en eau est la plus forte.
- v) De ces éléments on retiendra que, pour ne pas réaliser une station de pompage dont le coût sera prohibitif, le solaire est limité à des populations inférieure à 4.000 habitants et des ouvrages dont la Hmt ne sera pas pénalisante.
- vi) Cependant, lorsque le groupe thermique est déjà existant la mise en place d'une station de pompage solaire sera favorisée.
- vii) En toute rigueur le prix du pompage sera diminué. Cette diminution du prix du pompage doit profiter autant au fermier (diminution des charges) qu'à la commune (augmentation de la redevance) qu'à la population (diminution du prix du service de l'eau).

### **CONTENU DES PRESTATIONS**

Le consultant devra, pour mener à bien cette étude :

- Exploiter la base de données de la DG-Eau afin d'en tirer le meilleur parti, principalement sur les données des ouvrages en exploitation.  
La DG-Eau a réalisé un état des lieux de l'affermage au Bénin ou sont consignées un certain nombre de données pouvant être utiles au consultants. De même, le BDI (Base de Données Intégrées) est un élément de base pour cette étude afin de disposer des données de base (débit des ouvrages, Niveau statique, Hmt, population à desservir, volume du réservoir...).
- Visiter les sites sous énergie solaire et établir un bilan de leur état.  
24 AEV et 1 PEA ont été reconnus comme étant sous énergie solaire. Ils figurent dans la base de données et devront être visités.
- Rencontrer les cadres de la DG-Eau et de ses services déconcentrés afin de bénéficier de leur expérience de terrain.  
Il faudra principalement rencontrer les cadres ayant l'expérience du ou des programmes « solaire » précédent afin de cerner les obstacles rencontré.
- Rencontrer l'AFEB afin de partager également son expérience.  
En tant que Fédération des exploitants de réseaux d'eau potable au Bénin, l'AFEB sera un des bénéficiaires de cette étude du fait de la diminution de la facture énergétique, mais aussi du fait des contraintes apportées par les heures de pompage, forcément limitées dans la journée

et induisant, lorsque le système n'est pas mixte, des horaires de disponibilité de l'eau potable souvent peu compatibles avec les besoins des populations.

- Faire le point des fournisseurs en matériel solaire (pompage principalement) afin de crner au mieux l'offre de service, les expériences et les capacités pour la mise en place du réseau de maintenance.  
Avant que l'appel d'offres fournitures et installation des équipements soit lancé, il importe de connaître véritablement l'offre potentielle sur le marché béninois et sous régional, voire international.
- Lorsque l'essentiel des éléments aura été capitalisé, pour chaque site retenu on justifiera de l'intérêt de l'énergie solaire et de la levée des contraintes qui pourraient mettre en péril cette option.

### **DUREE ET DEROULEMENT DES PRESTATIONS**

La mission devra se dérouler en 4 semaines y compris la rédaction du rapport

En tout état de cause, le consultant définira l'équipe qui lui permettra d'atteindre les résultats demandés dans les délais requis. Il ne pourra donc demander une prolongation de la mission pour des questions de logistique.

Au terme de la mission le consultant remettra et présentera à la DGEau son rapport provisoire. Il disposera ensuite de deux semaines pour remettre son rapport définitif.

### **PERSONNEL ET MOYENS**

Le consultant définira lui-même l'équipe sui lui permettra d'atteindre les résultats demandés, cependant nous préconisons ce qui suit.

Le consultant retenu sera un expert en énergie solaire ayant au moins 10 années d'expérience dont 5 dans les systèmes de pompage et la maintenance de ces systèmes. Il devra être capable d'effectuer les prestations suivantes :

- i) Calcul de dimensionnement des systèmes de pompage
- ii) Coût financier de l'opération (travaux et bénéfice pour les bénéficiaires)
- iii) Système de maintenance
- iv) Rédaction en français des documents contractuels (DAO..)

Il sera soutenu, pour les enquêtes sur les sites actuellement sous énergie solaire et l'exploitation de la base de données de la DGEau, par un ingénieur (ou 2) ou technicien supérieur possédant le même type d'expérience.

### **DOCUMENTS A REMETTRE (livrables)**

Les documents suivants seront remis à la DGEau au terme de la mission :

- i) Un rapport de mission en 5 exemplaires « papier » et 1 exemplaire sur clé USB.
- ii) En annexe 1 de ce rapport :
  - a. Projet de termes de références pour AO travaux
  - b. Projet de Bordereau des Prix Unitaires
  - c. Projet de Cadre du Devis Estimatif
  - d. Définitions et conditions d'application des prix
- iii) En annexe 2 de ce rapport, système de maintenance et de fourniture des pièces de rechange
- iv) En annexe 3, les sites retenus préférentiellement avec les caractéristiques techniques (population, débit du forage, Hmt ....)
- v) En annexe 4, état des lieux des sites actuellement en pompage solaire

## **Annexe 2, DQE et BPU pour AEV standard**

Concept-1 de 08-08-2014

N° PRIX	DESIGNATION	UNITE	Quantité	Prix unitaire (FCFA)	Montant total (HT en FCFA)
A.1	<b>Fourniture et pose de pompes électriques immergées y compris accessoires</b>				
A.1.1	<b>Fourniture de pompes électriques centrifugées immergées (380 V 3~), pour fonctionner avec un convertisseur solaire détaché</b>				
A.1.1.1	Fourniture pompe puissance inférieure ou égale à 1,5 KW	u	0	-	-
A.1.1.2	Fourniture pompe puissance de 1,6 KW à 2,2 KW	u	0	-	-
A.1.1.3	Fourniture pompe puissance de 2,3 KW à 3 KW	u	0	-	-
A.1.1.4	Fourniture pompe puissance de 3,1 KW à 4 KW	u	1	1.620.000	1.620.000
A.1.1.5	Fourniture pompe puissance de 4,1 KW à 5,5 KW	u	0	-	-
A.1.1.6	Fourniture pompe puissance de 5,6 KW à 7,5 KW	u	0	-	-
A.1.1.7	Fourniture jupe de pompage	u	0	-	-

A.1.2	<b>Fourniture de pompes électriques immergées avec convertisseur solaire intégré</b>				
A.1.2.1	Pompe hélice, puissance inférieure ou égale à 1,5 KW	u	0	-	-
A.1.2.2	Pompe centrifugée, puissance inférieure ou égale à 1,5 KW	u	0	-	-
A.1.2.3	Fourniture et pose jupe de pompage	u	0	-	-

A.1.3	<b>Fourniture de tuyau d'exhaure et de câble de sécurité</b>				
A.1.3.1	Tuyau d'exhaure 1 1/2"	ml	0	-	-
A.1.3.2	Tuyau d'exhaure 2"	ml	45	16.322	727.969
A.1.3.3	Tuyau d'exhaure 2 1/2"	ml	0	-	-
A.1.3.4	Tuyau d'exhaure 3"	ml	0	-	-
A.1.3.4	Câble inox de sécurité pour la pompe	ml	45	1.500	66.903

A.1.4	<b>Fourniture de câble d'alimentation en électricité d'une pompe immergée</b>				
A.1.4.1	4 x 2,5 mm2	ml	0	-	-
A.1.4.2	4 x 4 mm2	ml	45	4.550	202.938
A.1.4.3	4 x 6 mm2	ml	0	-	-

<b>A.1.5</b>	<b>Fourniture d'une sonde niveau et câble de signalisation pour une pompe immergée</b>				
<b>A.1.5.1</b>	Sonde de niveau	u	1	39.000	39.000
<b>A.1.5.2</b>	Câbles de signalisation	ml	45	1.500	66.903

<b>A.1.6</b>	<b>Pose de la conduite d'exhaure et câbles (alimentation et signalisation) de la pompe (dans le forage), y inclus pose de la pompe avec câble de sécurité.</b>				
<b>A.1.6.1</b>	Avec conduite d'exhaure 1"1/2"	ml	0	-	-
<b>A.1.6.2</b>	Avec conduite d'exhaure 2"	ml	45	2.250	100.354
<b>A.1.6.3</b>	Avec conduite d'exhaure 2"1/2	ml	0	-	-
<b>A.1.6.4</b>	Avec conduite d'exhaure 3"	ml	0	-	-

<b>A.1.7</b>	<b>Fourniture et pose des câbles (alimentation et signalisation) de la pompe (hors du forage)</b>				
<b>A.1.7.1</b>	Câble pour alimentation de la pompe 4x2,5 mm2 (hors du forage)	ml	0	-	-
<b>A.1.7.2</b>	Câble pour alimentation de la pompe 4x4 mm2 (hors du forage)	ml	30	6.050	181.500
<b>A.1.7.3</b>	Câble pour alimentation de la pompe 4x6 mm2 (hors du forage)	ml	0	-	-
<b>A.1.7.4</b>	Câble de signalisation protection contre la marche à sec. (hors du forage)	ml	30	3.000	90.000

<b>A.1.8</b>	<b>Fourniture et pose de la tête du forage</b>				
<b>A.1.8.1</b>	Tête de forage 2"	u	1	1.705.000	1.705.000
<b>A.1.8.2</b>	Tête de forage 2"1/2	u	0	-	-
<b>A.1.8.3</b>	Tête de forage 3"	u	0	-	-

<b>A.1.9</b>	<b>Fourniture et pose du coffret de Convertisseur et ses accessoires</b>				
<b>A.1.9.1</b>	Coffrets de commande vide pour convertisseur	u	1	565.000	565.000
<b>A.1.9.2</b>	Coupe circuit côté Convertisseur par travée	u	1	63.000	63.000
<b>A.1.9.3</b>	Protection surtension côté Convertisseur par travée	u	1	63.000	63.000
<b>A.1.9.4</b>	Diodes en cas de plusieurs travées	u	0	-	-
<b>A.1.9.5</b>	Convertisseur 1500 Watt	u	0	-	-
<b>A.1.9.6</b>	Convertisseur 3000 Watt	u	0	-	-
<b>A.1.9.7</b>	Convertisseur 4000 Watt	u	1	1.871.000	1.871.000
<b>A.1.9.8</b>	Convertisseur 5500 Watt	u	0	-	-
<b>A.1.9.9</b>	Convertisseur 9000 Watt	u	0	-	-
<b>A.1.9.10</b>	Boitier de commande pour pompe 1500W	u	0	-	-

<b>A.1.9.11</b>	Boitier de commande pour pompe 3000W	u	0	-	-
<b>A.1.9.12</b>	Boitier de commande pour pompe 4000W	u	1	765.000	765.000
<b>A.1.9.13</b>	Boitier de commande pour pompe 5500W	u	0	-	-
<b>A.1.9.14</b>	Boitier de commande pour pompe 9000W	u	0	-	-
<b>A.1.9.15</b>	Dispositif pour basculer l'alimentation en énergie entre groupe thermique et convertisseur	u	1	355.000	355.000
<b>A.1.9.16</b>	Coupe circuit côté pompe	u	1	64.000	64.000

<b>A.1.10</b>	<b>Protection trop plein château d'eau</b>			-	
<b>A.1.10.1</b>	Fourniture et pose interrupteur flotteur Château d'eau	u	1	95.250	95.250
<b>A.1.10.2</b>	Fourniture et pose câble de signalisation pour interrupteur flotteur château d'eau	ml	40	4.200	168.000
<b>A.1.10.3</b>	Fourniture et pose vanne flotteur sur château d'eau	u	0	-	-
<b>A.1.10.4</b>	Fourniture et pose pressostat sur la tête de forage	u	0	-	-
<b>A.1.10.5</b>	Fourniture et pose câble de signalisation pour pressostat sur la tête de forage	ml	0	-	-

<b>A.2</b>	<b>Alimentation en énergie</b>				
<b>A.2.1</b>	<b>Fourniture et pose des groupes électrogènes</b>				
<b>A.2.1.1</b>	Groupe électrogène diesel lent 5 à 7 KVA (380V 3~)	u	0	-	-
<b>A.2.1.2</b>	Groupe électrogène diesel lent 7 à 10 KVA (380V 3~)	u	0	-	-
<b>A.2.1.3</b>	Groupe électrogène diesel lent de 10 à 12 KVA (380V 3~)	u	0	-	-
<b>A.2.1.4</b>	Groupe électrogène diesel rapide 5 à 7 KVA (220V 1 ~)	u	0	-	-
<b>A.2.2</b>	<b>Fourniture et pose des panneaux solaires, y inclus les cadres des panneaux et les supports et le raccordement entre les panneaux</b>				
<b>A.2.2.1</b>	Fourniture seul des panneaux solaires	kWc	5,08	670.000	3.402.671
<b>A.2.2.3</b>	Pose des panneaux solaires au sol, y inclus fourniture et pose des cadres des panneaux, des supports et la fondation des supports	m2	33,36	75.000	2.501.859
<b>A.2.2.4</b>	Pose des panneaux solaires au-dessus du château d'eau, y inclus fourniture et pose des supports et la fondation des supports	m2	0	-	-
<b>A.2.2.5</b>	Fourniture et pose interrupteur au niveau du champ de panneaux	u	1	109.000	109.000

<b>A.2.3</b>	<b>Fourniture et pose de la câble entre le champ de panneaux solaires et le convertisseur dans des tuyaux PVC</b>				
--------------	---	--	--	--	--

<b>A.2.3.1</b>	Fourniture et pose de câbles 3 x 2,5 mm2	ml	0	-	-
<b>A.2.3.2</b>	Fourniture et pose de câbles 3 x 4 mm2	ml	50	6.100	305.000
<b>A.2.3.3</b>	Fourniture et pose de câbles 3 x 6 mm2	ml	0	-	-

### A.3 Système de mise à la terre

<b>A.3.1</b>	<b>Fourniture et pose d'un système de mise a la terre</b>				
<b>A.3.1.1</b>	Fourniture et pose d'un électrode de la mise a la terre comme extension du systèmes existant de mise a la terre et de parafoudre	Forfait	1	303.750	303.750

### A.4 Travaux civils

<b>A.4.1</b>	<b>Fourniture et pose de Clôtures</b>				
<b>A.4.1.1</b>	Clôture grillagée autour du champ de panneaux (y inclus nettoyage du site)	ml	55	39.650	2.184.818
<b>A.4.1.2</b>	Porte double de 2 mètres	u	1	275.000	275.000

### A.5 Coûts du chantier

<b>A.5.1</b>	<b>Coûts de mobilisation et démobilisation de l'équipe</b>				
<b>A.5.1.1</b>	Coûts de mobilisation (1 fois par chantier)	u	1	195.000	195.000
<b>A.5.1.2</b>	Coûts de démobilisation (1 fois par chantier)	u	1	195.000	195.000
<b>A.5.1.3</b>	Visite du terrain pour vérifier l'état existant	u	1	240.000	240.000

<b>A.5.2</b>	<b>Coûts de la réception</b>				
<b>A.5.2.1</b>	Forfait de la réception provisoire	u	1	380.000	380.000
<b>A.5.2.2</b>	Forfait de la réception définitif	u	1	380.000	380.000
<b>A.5.2.3</b>	Préparation des plan et documentation après réalisation	u	1	280.000	280.000
<b>A.5.2.4</b>	Fourniture de la mallette de réception (une fois par AO)	u	1	195.000	195.000

<b>A.5.3</b>	<b>Coûts de formation au chantier</b>				
<b>A.5.3.1</b>	Forfait de la formation de l'exploitant au chantier a la mise en marche	u	1	135.000	135.000
<b>A.5.3.2</b>	Forfait de la formation de l'exploitant au chantier une semaine/mois après la mise en marche	u	1	135.000	135.000

	<b>TOTAL</b>				20.026.915
--	--------------	--	--	--	------------

## **Annexe 3, Compte Rendus des rendez-vous de mission**

Concept-1 de 08-08-2014

## COMPTE - RENDUS DE RENDEZ VOUS

### 02-06-2014-SNV, Matthew Carr)

- Mr Carr a expliqué l'histoire de SNV avec le projet PPEAII
- Il a promis d'envoyer les tarifs d'une équipe pour faire les enquêtes. SNV est en principe d'accord pour faire l'enquête.
- Songhai Centre (Porto Novo ?) est intéressant du point de vue pompes solaires.
- « Risen energy » est une société chinoise/allemande qui vient de paraître sur le marché solaire au Benin.
- Après le rendez-vous il y a eu un échange d'E-mails :
  - SNV n'est pas vraiment spécialisé et intéressé dans les enquêtes comme prévu pour ce projet
  - Leurs tarifs étaient plus élevés que les tarifs des bureaux d'études locaux.

### 03-06-2014-Ambassade des Pays Bas (George de Gooijer)

- Mercredi 11-6-2014, 14:00 heure rendez-vous avec George et Thierry (restitution)
- Le budget pour le projet solaire est de 300-400 millions de CFA.
- La faisabilité doit être calculée comme si c'était pour une entreprise, donc avec un certain retour sur investissements, bien que les installations solaires soient probablement un don.
- Le rapport de faisabilité doit clairement indiquer comment certaines décisions ont été prises. Le rapport doit permettre au cadre de la DG-Eau de comprendre les conclusions et doit donc contenir des explications techniques.

### 03-06-2014-GIZ (Mr Foerster)

- AISER, Entrepreneurs énergie solaire au Benin est une organisation à contacter dans le cadre de ce projet ;
- Light for Africa (Kenya) donne des standards d'exécution de projets solaires, mais surtout pour l'électrification rural.
- Société qui fait le pompage solaire : Objectif Benin. Ils vont changer le nom en INETS sarl.
- GIZ se dirige directement vers les entrepreneurs solaires avec l'objectif de renforcer le marché solaire au Benin. Ils le font entre autres par des subventions des branchements sur des réseaux électriques ruraux.

### 03-06-2014-AFEB (divers personnes)

Rendez-vous avec :

Germain Sossou, Président (95404606)

Ciriaque Adjinacoo, Vice-Président (95853438)

Julien Djidonou, Secrétaire (97082740)

Association des Fédérative des exploitants d'Eau du Benin

- Si le solaire peut diminuer les coûts sans affecter la fiabilité, d'accord
- Le plus important est que les coûts de production soient diminués
- Les petits systèmes (2000-5000) habitant sont les moins rentables. Ils peuvent profiter plus d'un système solaire qu'une grande AEV ;
- L'exploitant d'une AEV a tant de travail que le fait qu'il ne doit plus démarrer le groupe ne fait pas de différence pour son salaire.
- Le salaire d'un exploitant est de 50.000 à 80.000 CFA/mois
- ENERDAS a réalisé des systèmes solaires, mais ils n'ont pas pu les entretenir. Les systèmes sont tombés en panne et l'énergie solaire ainsi que ENERDAS ont maintenant une réputation peu favorable ;
- Intéressant à voir : ABERME (Agence Béninoise d'Electrification Rural)
- Critères non-technique pour choisir des AVE :
  - Est-ce que la mairie le veut

- Est-ce que l'exploitant est compétent
- Dans le nord on vend plus d'eau qu'au Sud à cause du manque de ressources alternatives. Même en saison pluvieuse on vend relativement beaucoup d'eau.
- Les fermiers veulent qu'un système solaire soit automatique. Ça veut dire que la pompe doit s'arrêter automatiquement au plein du château et doit commencer automatiquement le matin.
- Les fermiers ont beaucoup plus de confiance dans un système hybride (groupe et Solaire) que dans un système uniquement solaire.

#### **06-06-2014-Soumanou Djara (représentant de GWE, Pumpenboese, Phaesun),**

- Pumpenboese fait une modification d'une pompe à main (type India) pour travailler avec un moteur solaire. (PB Aquasolar).
- Il représente aussi Phaesun, fournisseur de convertisseurs DC → AC 3~. Voir fiche technique.
- Il ne vend pas des panneaux solaires. Il ne connaît donc pas le prix au Bénin.
- Normalement pour les pompes il faut payer un impôt d'importation de 20-27%. En plus il faut payer 18% de TVA.
- Les projets/programmes sont exonérés des taxes.
- S'il y a un projet, il le fait ensemble avec un fournisseur de l'extérieur pour faire une proposition.
- Le marché Béninois a le problème qui est que le Nigeria est proche. Beaucoup d'équipements sont importés illégalement (sans taxe) et aussi les pompes. Il y a des marques très différentes, surtout aussi de la Chine. Il craint qu'après la décentralisation, les mairies, fermiers et exploitants des AEV vont au Nigeria pour acheter des pompes comme remplacement pour les pompes fournies au début.

#### **11-06-2014-ENERDAS GROUP (Mr Faustin Dahito)**

- Il a fait des petits systèmes d'irrigation avec énergie solaire
- Il a fait aussi des systèmes AEV après avoir gagné le marché :
  - Coopération avec ETC Italie
  - ETC fait l'ingénierie et fournit les panneaux et les équipements
- Il a travaillé (pas en tant que responsable) sur une centrale de 60kWc à Dassa avec un convertisseur DC/AC 3~ de 80 KVA de Socomec
- Les panneaux qu'il vend sont de CFA 200.000 par panneau 250 Wc (REEM, Treviso). Le prix du Wc est donc d'environ 800 FCFA ou bien € 1,22.
- Il a de l'expérience avec des systèmes pompe et convertisseur Grundfos (1~ et 3~) et panneaux Photowatt.
- Sa réputation parmi les fermiers et le personnel de l'hydraulique n'est pas bonne. Il s'agit d'un contrat pour l'entretien de systèmes AEV (inclus groupes) ou il est dit être payé sans avoir réalisé le travail. Mais lui-même il conteste cette accusation.

#### **17-07-2014-AFEB (Mr Cyriaque Adjinacoo), 17-07-2014**

- On a discuté le fait que le solaire pour les petits AEV exige un fort investissement par litre de carburant évité et que pour cela il est plus efficace d'investir dans les centres un peu plus grands.
- Mr Adjinacoo estime que pour lui le plus important est de résoudre les problèmes des petits centres qui ne sont guères rentables et peuvent le devenir avec du solaire en évitant les coûts élevés du carburant.
- Au sujet d'entretien en service après-vente pour les systèmes solaire on a discuté la possibilité d'inclure les trois centres techniques que l'AFEB veut établir dans le projet.
- On a constaté qu'il faut améliorer l'expertise concernant le pompage solaire sur tous les niveaux :
  - Fermier/exploitant/ centre expertise (à établir)
  - Ministère
  - Bureaux d'étude

## 24-07-2014-Mission Catholique a Fo Boure (Frère Juan Paolo Lopez)

- Nr téléphone : 96 33 27 82
- La mission catholique a Fo Boure travaille depuis 2008 sur les AEV de la commune de Sinende, qui est aussi leur paroi ;
- Depuis 2008 ils ont construit des nouveaux AEV pour tous les villages de la commune et ils ont transformé 3 AEV de l'hydraulique en solaire (par exemple SOKA)
- Ils travaillent surtout avec et pour la population. Les villageois creusent les fosses pour les canalisations et ils aident avec tous les autres travaux. Les maçons, les électriciens et les plombiers, qui ont été formés par la mission fournissent le main d'œuvre spécialisé. On n'a donc pas besoin d'entrepreneurs pour la construction.
- Le temps pour réaliser un AEV peut être même un mois.
- Un AEV avec forage, pompe solaire, 3km de canalisation de refoulement, Château d'eau (30 m<sup>3</sup>), 3 km de réseau, borne fontaines et 12 latrines coûte 44 million CFA. Ceci est 60% des vrais coûts. Les autres 40% est la contribution de la population. Ce montant est inclusif d'un capital de démarrage pour l'AEV de 2 million de CFA qui est mis dans la banque locale. Les 44 millions de CFA sont un don de la mission catholique.
- Prix de forage :
  - Négatif : 1,700.000 CFA
  - Positif : 3,700.000 CFA
- Le prix de l'eau est de 400 CFA/m<sup>3</sup>, dont
  - 125 CFA pour le fontainier
  - 5 CFA pour la paroisse
  - 15 CFA pour le Maire (redevance)
  - 255 CFA pour la commune pour faire d'autres projets comme la réhabilitation de la maternité, etc.
- L'année passée ils ont totalisé :
  - 21 million pour tous les villages
  - 9 millions pour les fontainiers, etc.
- Chaque village a un comité avec un président et un ou deux techniciens, qui reçoivent CFA 10.000,- par mois si les recettes sont suffisantes.
- Leurs réalisations :
  - 23 villages alimentés en eau
  - 19 AEV
  - 16 châteaux d'eau (les autres 3 étaient existants de l'hydraulique). Volume total 510 m<sup>3</sup>.
- Les pompes solaires sont presque toujours des pompes Grundfos, SQL 2,5-2 avec hélice (donc pas centrifuge)
- Les pompes sont achetées à Parakou (maison Wissam)
  - Pompe Grundfos SQL 2,5-2 CFA 1.400.000
  - Grundfos CU 200 CFA 381.000
  - Grundfos L101 CFA 285.000
  - Panneau 180 W CFA 350.000 (la pièce)
  - Mise à la terre, etc. CFA 200.000
- Prix d'équipement complet avec travaux, tête de forage, bâtiment sur forage, etc. CFA 10 millions.

## 25-07-2014-WISSAM Parakou

Le propriétaire était absent et nous n'avons pas eu que des informations très limitées. Le gérant était peu coopératif. Il paraît que les pompes solaires pour la mission catholique à Fo Boure viennent sur commande seulement. Ils ne stockent pas des pièces parce qu'il n'y a presque pas de demande. Le délai de livraison des pompes et pièces Grundfos est de 10 jours seulement.

WISSAM vend également des pompes immergées bien moins chères de la marque Interdab (Chine)

- 4SDM3/24 : CFA 2 HP 190.000

- 4SDM3/18 : CFA 1,5 HP 160.000
- 4SDM3/13 : CFA 1 HP 140.000
- 4SDM3/7 : CFA 0,5 HP 120.000

### 29-07-2014-Banque Mondiale (Sylvain Adokpo Migan)

- Ebo Roek a montré la présentation que réalisée pour la DGEau pour expliquer les critères qui seront appliqués pour choisir les AEV qui sont le mieux adaptées au solaire ;
- Mr. Sylvain a dit qu'à son avis la plupart des villages où il existe une AEV seront électrifiées dans les 5 ans qui viennent. Ce n'est donc pas la peine d'y installer un système solaire. Il a recommandé de voir l'ABERME ou il existe une liste de villages qui seront électrifiés dans le futur immédiat ;
- En général il pense qu'il n'y a pas beaucoup d'AEV qui vont remplir les critères retenus.
- Mr. Sylvain a confirmé que dans beaucoup de villages qui étaient équipés dans le cadre du projet CILLS les panneaux ont été volées, malgré les mesures antivols ;
- Mr. Sylvain a montré le nouveau lay-out du système de gestion d'AEV de M-Water. Il a confirmé qu'il va ajouter 100 AEV aux 51 qui sont déjà dans le système. Seulement les AEV qui sont affermees seront choisies ;
- Les données privées des clients sont confidentielles, seulement les données techniques et des chiffres de production, etc. peuvent être livrées à des tiers ;
- Mr Sylvain a offert de faire une requête sur la base de données Manobi. (Ebo Roek a envoyé la liste pour la requête le 29-7-2014)
- L'intérêt à la Eco-Banque est de 12% sans collatéral ou sans organisation pour poser une garantie. Avec un garantie le pourcentage est de 8% ;
- Mr Sylvain a confirmé que les quelques groupes électrogènes Chinois ne fonctionnent pas bien et qu'ils causent des coûts élevés d'entretien. Le fait que les AO ne peuvent pas contenir des marques et types fait que parfois des produits douteux sont livrés. On devrait peut-être standardiser sur une certaine marque comme Grundfos.
- Mr. Sylvain est d'opinion que la consommation spécifique est de 3-5 l/p/j. La Banque Mondiale est en train de subventionner des branchements privés pour faciliter et augmenter la consommation spécifique, aussi bien pour les consommateurs que pour la rentabilité des AEV.

Concept-1 de 08-08-2014

### 30-07-2014-Objectifs Benin (Erick Yessoufou)

- Entrepreneur en énergie
- Expérience avec Grundfos SQF pompes solaires ;
- Pas encore d'expérience avec des pompes standards en combinaison avec les convertisseurs 3~ comme par exemple le série RSI de Grundfos ou les convertisseurs de Phaesun, qu'il connaît mais trouve cher.
- Il trouve les convertisseurs Grundfos cher, mais il y en a qui sont fabriqués en Inde aussi, qu'il utilise parfois ;
- Il fournit des pompes Grundfos et pour les budgets plus petits aussi des pompes de fabrication chinoises.
- L'ingénierie est faite en Inde
- L'installation d'une pompe SQF avec panneaux et CU-200 coûte CFA 2 million (travail seule). Le travail prend 7 jours avec une équipe de 5 et une voiture.
- Il ne participe pas au AO du gouvernement par ce que c'est trop compliqué (pièces, procédures, délais de paiement).
- 1 Wc est vendu à 1050 CFA. En quantité le prix descend rapidement. Il n'a pas pu dire le minimum.
- Délai de fourniture de l'équipement est d'environ 30-40 jours ;
- Il va envoyer quelques informations concernant sa société et des projets qu'il a fait.

**29-07-2014-Restitution au bureau du DGEau**

- Il a été discuté surtout de la conclusion d'exclure les petits systèmes parce que l'investissement par rapport à la quantité de carburant sauvée est trop grand.
- On n'était pas d'accord avec un système sans groupe de réserve
- On n'a pas voulu décider de laisser tomber les petits systèmes pour l'installation des pompes solaires.
- Ebo Roek a promis de revoir l'issue en calculant avec une technologie plus adaptée aux petits AEV'.

**30-07-2014-Ambassade des Pays Bas (George de Gooijer)**

- Ebo Roek a montré la présentation qu'il a discuté aussi avec l'équipe du DGEau le lundi 21-07-2014 ;
- Mr de Gooijer à insister de rapporter aussi les observations concernant l'AEP au Benin qui ne sont pas strictement liées au projet solaire (problèmes de bases de données, formation)
- Il a été expliqué (Par E. Roek) que les AO's sont trop lourds pour les entreprises locales, etc.
- On a discuté de la possibilité de couper l'AO en petits lots pour permettre aux entreprises locales de participer.

Concept-1 de 08-08-2014