

La prévision de la demande en électricité en milieu rural Africain

Dr Xavier Lemaire

20 juillet 2016

Avertissement

- *Le Centre de solutions pour les énergies propres ne recommande ni n'appuie aucun produit ou service particulier. Les renseignements fournis dans ce webinaire se trouvent également dans la base de ressources du site Web du Centre de solutions et ne représentent qu'une des nombreuses ressources liées aux pratiques exemplaires examinées et sélectionnées par des experts techniques.*

Quelques éléments logistiques

Deux choix pour l'écoute (sélectionnez le mode audio):

1. *Ecouter à l'aide de votre ordinateur*

- Sélectionnez l'option «mic and speakers» dans le volet audio situé à droite de l'écran.

2. *Ecouter à l'aide de votre téléphone*

- Sélectionnez l'option «telephone», située à droite. Un numéro de téléphone et un NIP apparaîtront.

3. *Panelistes - Veuillez mettre votre dispositif audio en mode « muet » quand vous n'êtes pas en train de présenter*

4. *Difficultés techniques:*

- *Communiquez avec le centre de dépannage « GoToWebinars »: 1-888-259-3826*

Quelques éléments logistiques (suite)

- **Pour poser une question:**
 - Sélectionnez le volet « questions », et veuillez y insérer votre question
- **Vous éprouvez des difficultés à voir le contenu du webinaire?**
 - Les diapositives, en format PDF, se trouveront sur le site <https://cleanenergysolutions.org/training>
- **Partager le webinaire avec d'autres personnes ou le revoir**
 - Un enregistrement audiovisuel du webinaire ainsi que des diapositives se trouveront sur le site: <https://cleanenergysolutions.org/training>
- **Les enregistrements sont aussi présentés sur notre chaîne YouTube:**
 - <http://www.youtube.com/user/cleanenergypolicy>

Ordre du jour

1

**Mot de
bienvenue et
remarques
préliminaires**

2

**Aperçu du Centre
de solutions pour
les énergies
propres**

3

Présentations

- **Xavier Lemaire**,
chercheur à l'Institut de
l'Energie - Collège
Universitaire de
Londres

4

**Période de
questions**

5

**Sondage
auprès des
participants**

L'histoire et la vision du Centre de solutions

CleanEnergySolutions.org

Le Clean Energy Ministerial (CEM) a fondé le Centre de solutions pour les énergies propres en avril 2011. Le Centre de solutions:

- Représente l'une des 13 initiatives du CEM qui comprend:
 - Global Superior Energy Performance Partnership
 - L'initiative Super-Efficient Equipment and Appliance Deployment
 - Global Lighting and Energy Access Partnership
- Aide les gouvernements à élaborer et à adopter des programmes et politiques qui appuient la mise en œuvre de technologies de l'énergie propre.
- A plus de 35 partenaires, y compris: IRENA, IEA, IPEEC, Sustainable Energy for All, Bloomberg New Energy Finance and Leonardo Energy
- Est coprésidé par le ministère de l'Énergie des États-Unis (DOE) et le ministère de l'Industrie de l'Australie.



Australia

Canada

Denmark

France



India

Indonesia

Italy

Japan

Mexico



South Africa

Sweden

United Arab
Emirates

United States

Le Centre de solutions pour les énergies propres

CleanEnergySolutions.org

Objectifs

- **Être** la source principale d'information au sujet des politiques en matière d'énergie propre, et fournir de l'aide ainsi que de l'apprentissage aux gouvernements et aux entreprises liées aux gouvernements.
- **Offrir** des pratiques exemplaires, des données et des outils d'analyse pertinents pour chaque pays qui pose une demande de soutien
- **Fournir** des services dynamiques facilitant la prestation de conseils d'experts, l'apprentissage et l'échange d'expériences entre les pairs
- **Favoriser** une discussion sur les problèmes émergents liés aux politiques et à l'innovation partout au monde

Principal

- Décideurs gouvernementaux
- Conseillers; régulateurs

Secondaire

- Entreprises du secteur privé
- Entrepreneurs et financiers du domaine de l'énergie
- Organisations non-gouvernementales
- Société civile
- D'autres entreprises travaillant en énergie propre

Public cible

Demandez à un expert: nos experts en action

CleanEnergySolutions.org

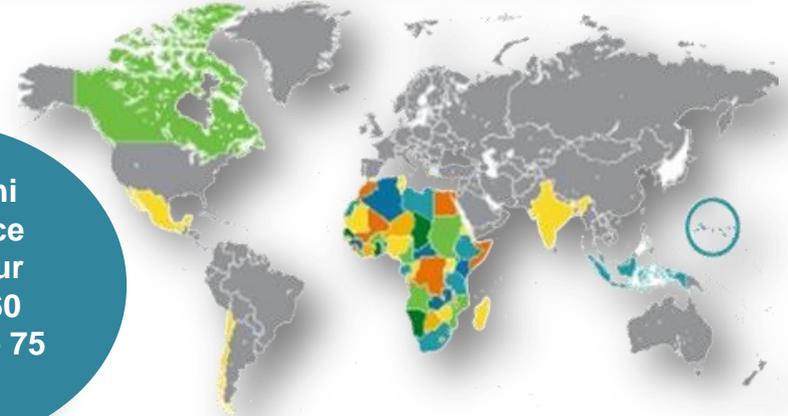


Notre programme relie les décideurs à un réseau mondial de plus de 30 experts en énergie aux fins d'une assistance technique rapide liée aux politiques et aux programmes concernant:



- l'énergie renouvelable
- l'accès à l'énergie
- l'efficacité énergétique
- les réseaux intelligents
- le transport
- les fournisseurs d'électricité

Déjà fourni
l'assistance
gratuit pour
plus de 160
requêtes de 75
pays.



Vous pouvez faire parvenir une question à
cleanenergysolutions.org/expert

La prévision de la demande en électricité en milieu rural Africain

Dr Xavier Lemaire

20 July 2016

Plan de la présentation

- Différentes approches de modélisations possibles
 - National/global
 - Local
- Récolte des données
 - Méthode
 - Canevas
- Etablissement de scénarios
 - Hypothèses d'évolution démographique
 - Hypothèses de hausse de taux d'équipement
- Politiques et stratégies d'électrification
 - Maîtrise de la demande d'électricité
 - Sources d'énergies renouvelables

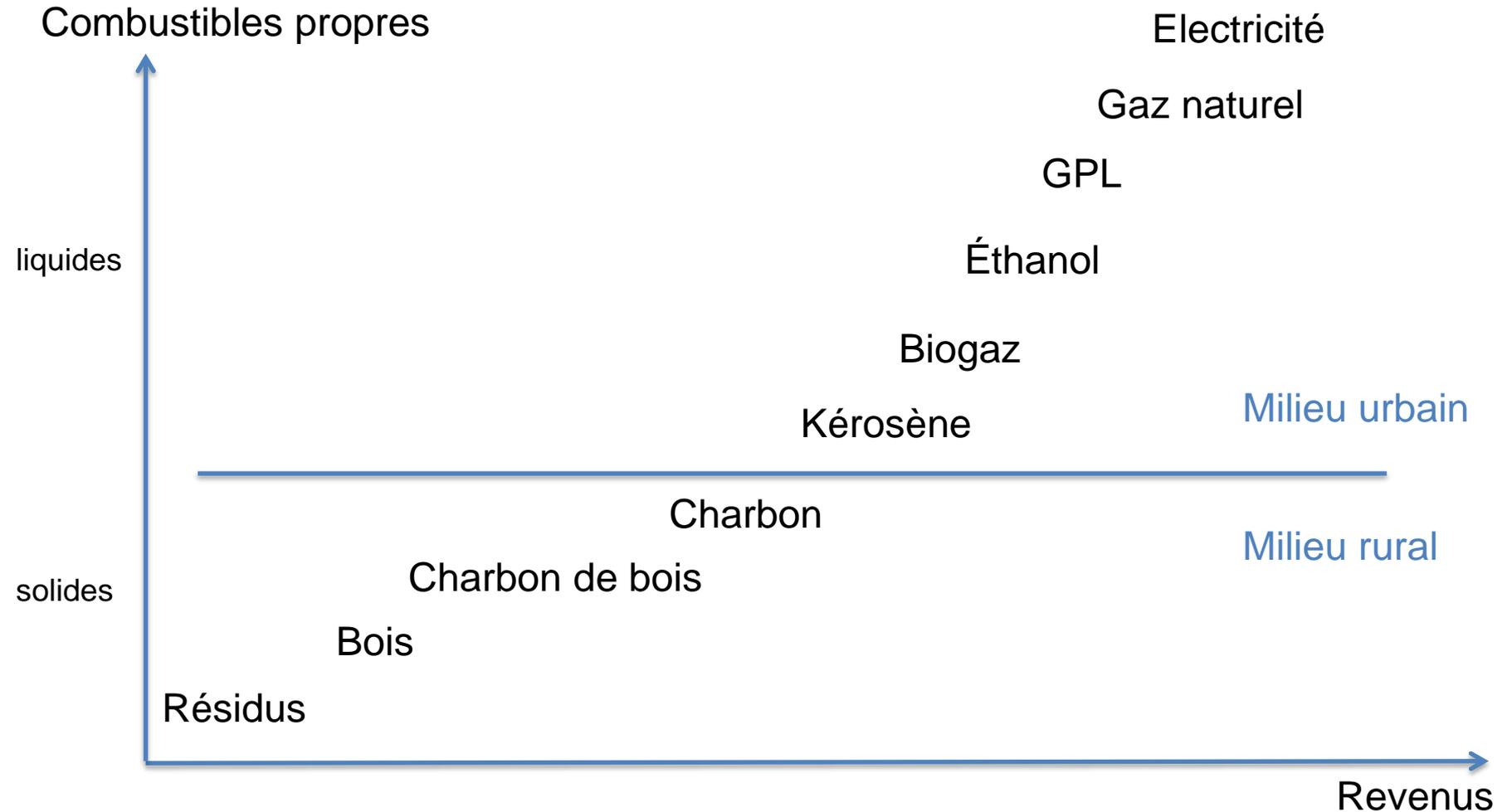
Quelques caractéristiques du milieu rural africain

- Les communautés rurales
 - Faible densité de population
 - Forte hausse démographique
 - Important mouvements migratoires
 - Migrations permanentes ou transitoires
- Activités économiques
 - Filières agricoles
 - Fluctuations saisonnières (production; revenus)
 - Pauvreté
 - Importance de l'économie informelle
- Villes en forte expansion
 - Villes de moyenne importance en Afrique les plus dynamiques
 - Faible moyens humains

Caractéristiques des systèmes électriques africains

- Grande couverture spatiale
 - Faible densité de population
 - Diversité des centres de consommation
 - Forte disparité milieu urbain versus milieu rural
 - Importance des ressources « traditionnelles »
 - Diversité et particularités des conditions climatiques
- Fragilité et limites du réseau
 - Faibles interconnexions
 - Faible taux d'électrification rurale
- Sous-capacité
 - Demande contrainte
 - Rattrapage plutôt qu'anticipation
- Branchements illégaux
 - 10 à 20+% de la consommation d'électricité

Echelle énergétique?



Les consommations électriques en Afrique sub-saharienne

- Valeurs types?
 - Forte hétérogénéité des consommations des pays d'Afrique sub-Saharienne (rapport 1 à 100)
 - Différentiation croissante des pays
 - » Demande contrainte par l'offre (qui peut être partiellement estimée par le nombre de groupes électrogènes)
 - » Demande contrainte par les revenus
 - Moyenne au sein d'un pays trompeuse
- Elasticité de la demande/PIB?
 - Evolution du PIB en Afrique sub-Saharienne freinée par sous-investissement en génération (Andersan, Dalgard, 2013)
 - Découplement par introduction de mesures d'efficacité énergétique et mesures tarifaires

Horizon de la prévision?

- Pas de définition établie des différents horizons temporels
- Modélisation par convention:
 - Court Terme : quand?
 - Très court terme (quelques heures jusqu'à 10 jours)
 - Charge journalière – dispatch/répartition suivant les conditions météo & réserve d'exploitation
 - Court terme (un an)
 - Variations saisonnières
 - repose sur tendances passées
 - Long terme : quoi?
 - Moyen-long terme (plusieurs années)
 - Extension du réseau
 - Engager de nouveaux moyens de production
 - Très long terme (au-delà de 5 ans)
 - Planification suivant prévisions glissantes
 - Tenir compte de l'innovation technologique
 - Implique des simulations

Modèles / prévisions opérationnelles à court terme

- **Méthode statistique (régression linéaire)**
 - Analyse en Composante Principale: Repérer les facteurs les plus importants dont la variation contribue à la demande d'électricité → calibrer le modèle en comparant demande prévue avec demande effective
 - Pas nécessairement de méthode de calcul plus précise que les autres
 - Utilisation d'une feuille Excel; logiciel Matlab
- **Approche reposant sur l'« intelligence artificielle »**
 - Réseau neuronaux - réseau électrique = série de nœuds (centres de consommation / production) qui entretiennent des relations complexes non linéaires
 - Logiciels commerciaux qui « apprennent » à produire une prévision à partir du comportement des différentes composantes du réseau
- **Caractéristiques communes**
 - Implique un grand volume de données
 - Conçus pour des systèmes centralisés/interconnectés

Type de modèles / prévisions à moyen-long terme

- Différents modèles
 - Modèles basés sur des séries chronologiques
 - Modèles statistiques (données économiques, démographiques,...)
 - Modèles économétriques (corrélation avec des variables macro-économiques)
 - Modèles à partir des consommations d'électricité des utilisateurs finaux
- Différentes approches hiérarchiques
 - Agrégation des usages régionaux (« bottom-up ») qui peut conduire à une surestimation des besoins
 - « Top-down » - demande estimée à partir d'indicateurs agrégés (PIB, population,...)
 - Hybride - estimation sur une région caractéristique et ensuite application du modèle avec un « coefficient d'ajustement » à d'autres régions
- Caractéristiques communes
 - implique un historique de données macro-économiques fiables (sur plusieurs décennies)
 - S'applique à des systèmes centralisés / interconnectés

Difficultés dans la récolte des données

- Statistiques
 - Lacunaires/couverture territoriale limitée/absence de séries chronologiques
 - Régions électrifiées depuis longtemps ou comportement prévisible
 - Région non électrifiées ou récemment électrifiées ou comportement imprévisible à cause de fortes dynamiques locales
 - Obsolètes / Recensement décennal
- Mises à jour cartographiques
 - Imagerie satellitaire – systèmes d'information géographiques
 - + enquêtes de terrain
 - Question du coût de production des données
 - Données fiables pour calibrer le modèle de prévision
 - Fréquence nécessaire pour contrôler la qualité du modèle
- Stations météo
 - Nombre limitées / non prise en compte des micro-climats
 - Modélisation possible
 - Influence du changement climatique – facteur d'imprévisibilité

« Modélisation » appliquée en milieu rural Africain

- Adaptation des modèles globaux?
 - Echelle du district ou du village?
 - Consommation très dépendante du site car nombre de consommateurs < 500

➔ approche matricielle « bottom-up »
- Prévisions?
 - Différence entre zones déjà électrifiées et non électrifiées
 - Implique le suivi d'un échantillon de villages tout juste électrifiés
 - » Pré-électrification
 - » Post-électrification
- Etat des lieux
 - Inventaire des équipements / besoins
 - Inventaire des usages

Différentes catégories d'utilisateurs

- Secteur agricole
 - Agriculture maraichères locales / exportation (irrigation? serres?)
 - Nombre d'hectares cultivés
- Secteur industriel
 - Enquête pour une typologie de différentes industries
 - Gros consommateurs (exploitation minière, usines ?) - propres prévisions
- Secteur commercial
 - Petit commerce informel / commerce moderne (climatisation, chaine du froid, éclairage)
 - Nombre de commerces / superficie
- Secteur résidentiel
 - Classes moyennes (ventilation, frigidaire) / classes populaires (éclairage)
- Secteur administratif/public
 - Superficie bureaux en m2 (climatisation?, éclairage)
 - Eclairage public; pompage eau;...

L'estimation des consommations

- Enquête nécessaire mais non exhaustive
 - Utilisation des données existantes
 - Puissance souscrite facilement disponible éventuellement utile pour échantillonnage mais indicateur doit être rapporté aux consommations réelles
- Typologie liée aux climats
 - Zone A / Zone B / Zone C (désertique/semi-aride/...)
- Typologie des modes de consommation
 - Grands centres de consommation nécessitent d'aller voir les industriels, les exploitations minières,...
 - Echantillonnage des petites unités de consommation
 - Typologie sommaire des unités résidentielles, commerciales, ... Quelques catégories représentatives; une centaine de questionnaires pour chaque catégories éventuellement complété par des entretiens approfondis et appareils de mesure / compteurs intelligents – suivi périodique
 - Type d'appareils et leur usages (nombre d'heures d'utilisation)

Typologie de services/villages en milieu rural

Types de services Nombre d'appareils par clients	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Lampe	1	2	3	3	3	5	5
Poste de Radio			1				
TV				1	1	1	1
Réfrigérateur 30 l					1		
Réfrigérateur 150 l						1	1
Autres appareils électroménagers							1



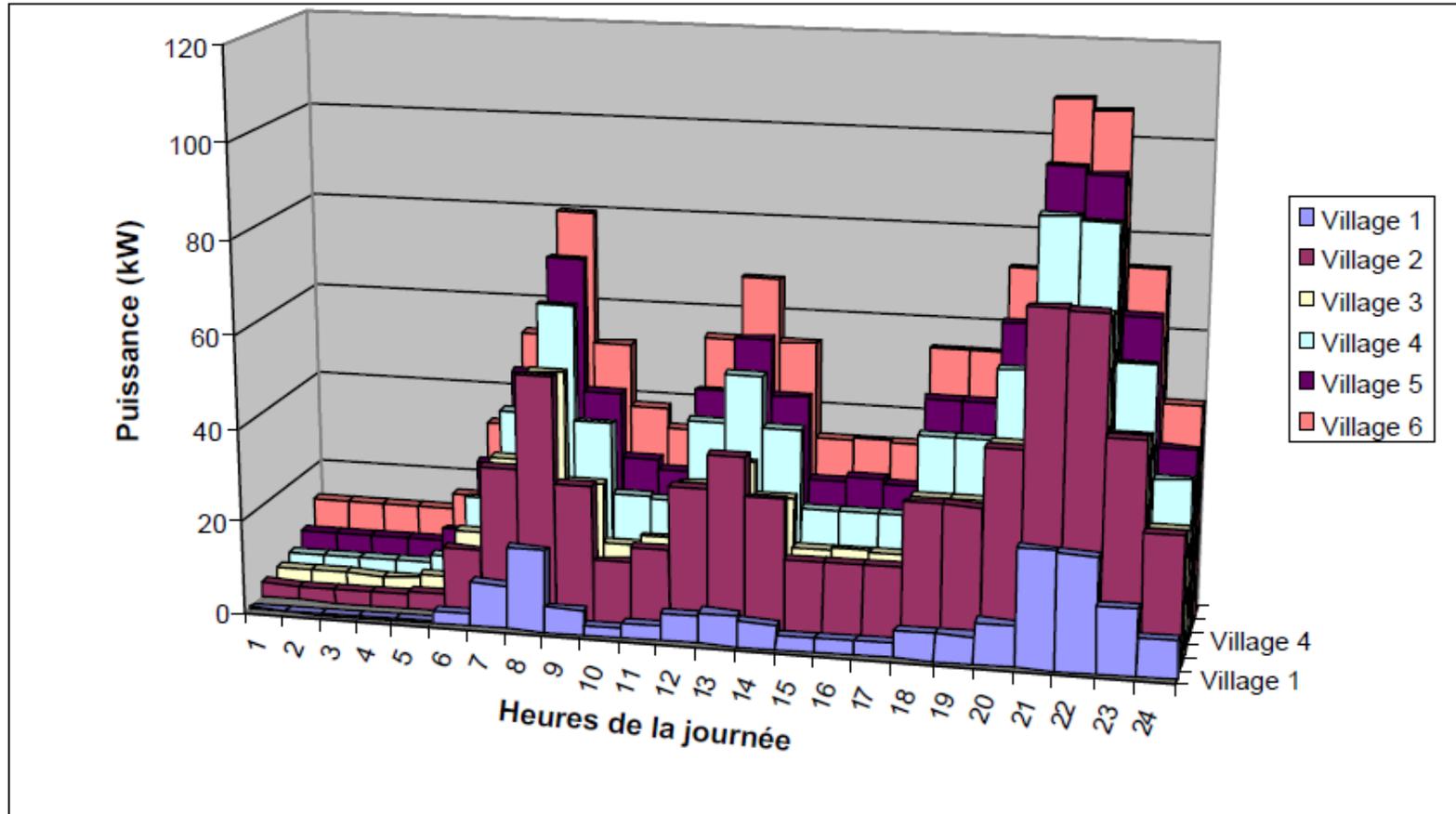
	Village 1	Village 2	Village 3	Village 4	Village 5	Village 6
S1	60 %	10 %	10 %	5 %	5 %	0 %
S2	20 %	10 %	10 %	5 %	5 %	1 %
S3	10 %	20 %	30 %	10 %	5 %	2 %
S4	9,9 %	50 %	30 %	30 %	15 %	2 %
S5	0,1 %	9 %	10 %	45 %	40 %	80 %
S6	0 %	1 %	5 %	2,5 %	10 %	10 %
S7	0 %	0 %	5 %	2,5 %	20 %	10 %

Source: D. Thirault, 2004.

Calcul des puissances appelées

- Modèles à partir des consommations d'électricité des utilisateurs finaux
 - Calcul consommation totale par appareil dans différentes catégories sociales
 - Consommation standard d'un appareil S
 - Taux de pénétration p
 - Consommation "Ea" (kWh) = $S * 'p'$
 - Ex: Réfrigérateur 150 litres 2,5% des catégories S6 et S7 dans village 4
- Différentes approximations pour villages avoisinants en associant à des données officielles?
 - Comportement type par catégories sociales ou par types de compteurs?
 - Utilisation chaque appareil heure par heure
 - Agrégation = courbe de charge
 - Pour un village donné - nombre d'habitants dans chaque catégorie sociale/de services
 - Evolution socio-économique des villages = évolution des consommations finales suivant mobilité sociale

Courbes de charge par village



Cas d'analyse au Sénégal – village 196 ménages

US. DOMESTIQUES	Puissance unitaire (W)	Niveau 1 nb lampes : 4			Niveau 2 nb lampes : 6			Niveau 3 nb lampes : 9			Niveau 4 nb lampes : 12				
		Taux de pénétrat°	Durée d'utilisat° (h/j)	Conso spécifique (Wh/j)	Taux de pénétrat°	Durée d'utilisat° (h/j)	Conso spécifique (Wh/j)	Taux de pénétrat°	Durée d'utilisat° (h/j)	Conso spécifique (Wh/j)	Taux de pénétrat°	Durée d'utilisat° (h/j)	Conso spécifique (Wh/j)		
Lampe fluo	10	100%	8	80	100%	11	110	100%	16	160	100%	20	200		
Radio	10	80%	6	60	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0		
Radio K7	15	0%	0	0	100%	5	75	100%	6	90	100%	7	105		
TV N&B	25	0%	0	0	80%	4	100	15%	5	125	0%	0	0		
TV Coul	50	0%	0	0	0%	0	0	80%	5	250	95%	6	300		
Réfrigérateur	90	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	80%	x	900		
Congélateur	100	0%	0	0	0%	0	0	0%	0	0	30%	0	1500		
Ventilateur	30	0%	0	0	0%	0	0	15%	3	90	20%	3	90		
Vidéo ou autre	30	0%	0	0	0%	0	0	10%	1	30	15%	1	30		
Consommation spécifique (Wh/j)				140					285					745	3125
Consommation moyenne (Wh/j)				128					265					485	1783
Puissance spécifique (W)				50					100					215	435
Puissance max moyenne (W)				48					95					153	295

nb de ménages total	196	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	TOTAL
Taux de raccordement		22%	22%	20%	10%	74%
nb ménages raccordés		43	43	39	20	145
Consommation totale (Wh/j)		5 500	11 400	18 920	35 650	71 470
Puissance Max village		2 064	4 085	5 948	5 900	17 997
Coefficient de simultanéité		85%	80%	80%	90%	
Puissance max foisonnée		1 754	3 268	4 758	5 310	15 090

Source: PERACOD, 2003

Quelque points clefs enquête

- Analyse des attentes/besoins
 - des comportements énergétiques actuels observés chez les ménages ruraux non électrifiés,
 - des souhaits et des attentes de ces ménages
 - des types d’usages effectivement rencontrés chez les ménages des village environnants connectés au réseau.
- Analyse de la capacité à payer
 - Les Dépenses Energétiques Substituables (DES) correspondent à la somme des dépenses mensuelles naturellement remplaçables par l’électricité (qui disparaîtraient avec la venue de l’électricité),
 - La Disposition à Payer des ménages est le montant mensuel par lequel un ménage déclare être en mesure de disposer de l’électricité
- Analyse du taux de diffusion des équipements
 - le niveau de diffusion actuel dans les villages non électrifiés
 - les souhaits exprimés par les villages non électrifiés
 - le niveau de diffusion actuel dans les villages déjà électrifiés

Dimensionnement de la production en fonction des sites

- Zonage géographique
 - Zones géographiques-climatiques
 - Revenus socio-économiques
 - Accès au réseau (ancienneté) / proximité des voies de communication
 - ➔ agrégation de villages/districts « similaires »?
 - ➔ Se constituer une banque de données
- Ilotage en centres de production décentralisée /distribution
- Taille du système électrique
 - Coefficient de foisonnement
 - » Au sein d'habitation ou d'un village
 - Perte réseau distribution / transmission
 - Nombre de nouvelles connections
 - Phénomène de rattrapage
 - Evolution future

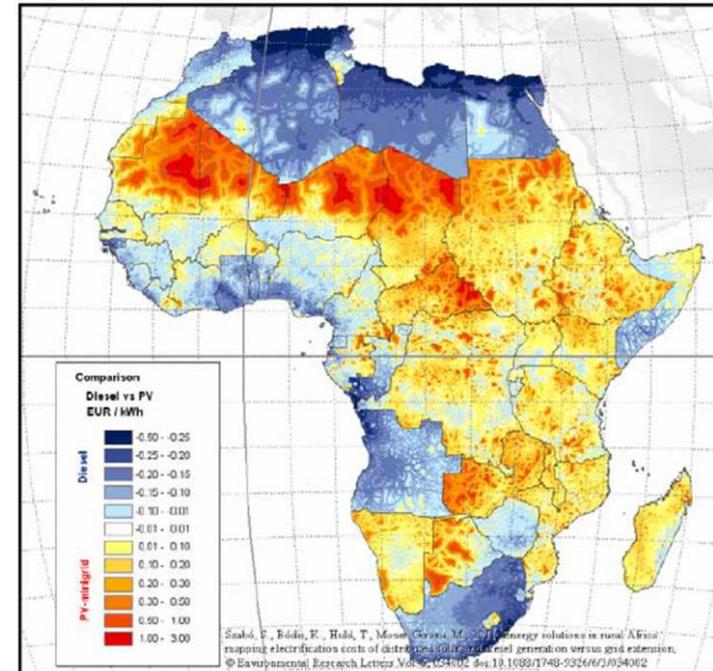
Analyse de sensibilité

- A court terme
 - Variations de la demande journalière/saisonnière
 - Variables: température; fluctuation du revenu (agricole/récolte)
 - Conditions socio-économiques stable (PIB/habitant)
 - ➔ (Séries chronologiques) - modélisation à partir données enquêtes ou à partir d'autres villages/habitations conditions similaires
 - + demande industrie déterminée ou méthode stochastique
- A long terme
 - Variations socio-économiques
 - Variables: évolution démographique, évolution du PIB/habitant, [glissement des catégories socio-économiques] [évolution du taux d'équipement des habitants], évolution du taux de connexion
 - [évolution du nombre d'hectares cultivés], [implantation de nouvelles industries]
 - Evolution technologique – prix diesel; coût PV; tarif électricité (coût connexion)

Prise en compte des systèmes décentralisés

- Mini-réseau vs extension du réseau
- Prévion de la demande hors réseau
 - Auto-suffisant → calcul courbe de charge village par village
- Prise en compte de l'intermittence des ENR
 - Surdimensionnement
 - Stockage
 - Combinaison avec diesel
- Optimisation avec des logiciels
 - <http://www.homerenergy.com/>

Compétitivité du solaire PV vs diesel



Source: Szabo et al. Env. Research Letter, 6 (2011)

Logiciel HOMER

Loads

- Primary Load 1
- Primary Load 2
- Deferrable Load
- Thermal Load 1
- Thermal Load 2
- Hydrogen load

Components

- PV
- Wind Turbine 1
- Wind Turbine 2
- Hydro
- Converter
- Electrolyzer
- Hydrogen Tank
- Reformer
- Generator 1
- Generator 2
- Generator 3
- Generator 4
- Generator 5
- Generator 6
- Generator 7
- Generator 8
- Generator 9
- Generator 10
- Battery 1
- Battery 2
- Battery 3
- Battery 4
- Battery 5
- Battery 6
- Battery 7
- Battery 8
- Battery 9
- Battery 10

Grid

- Do not model grid
- System is connected to grid
- Compare stand-alone system to grid extension

Help Cancel OK

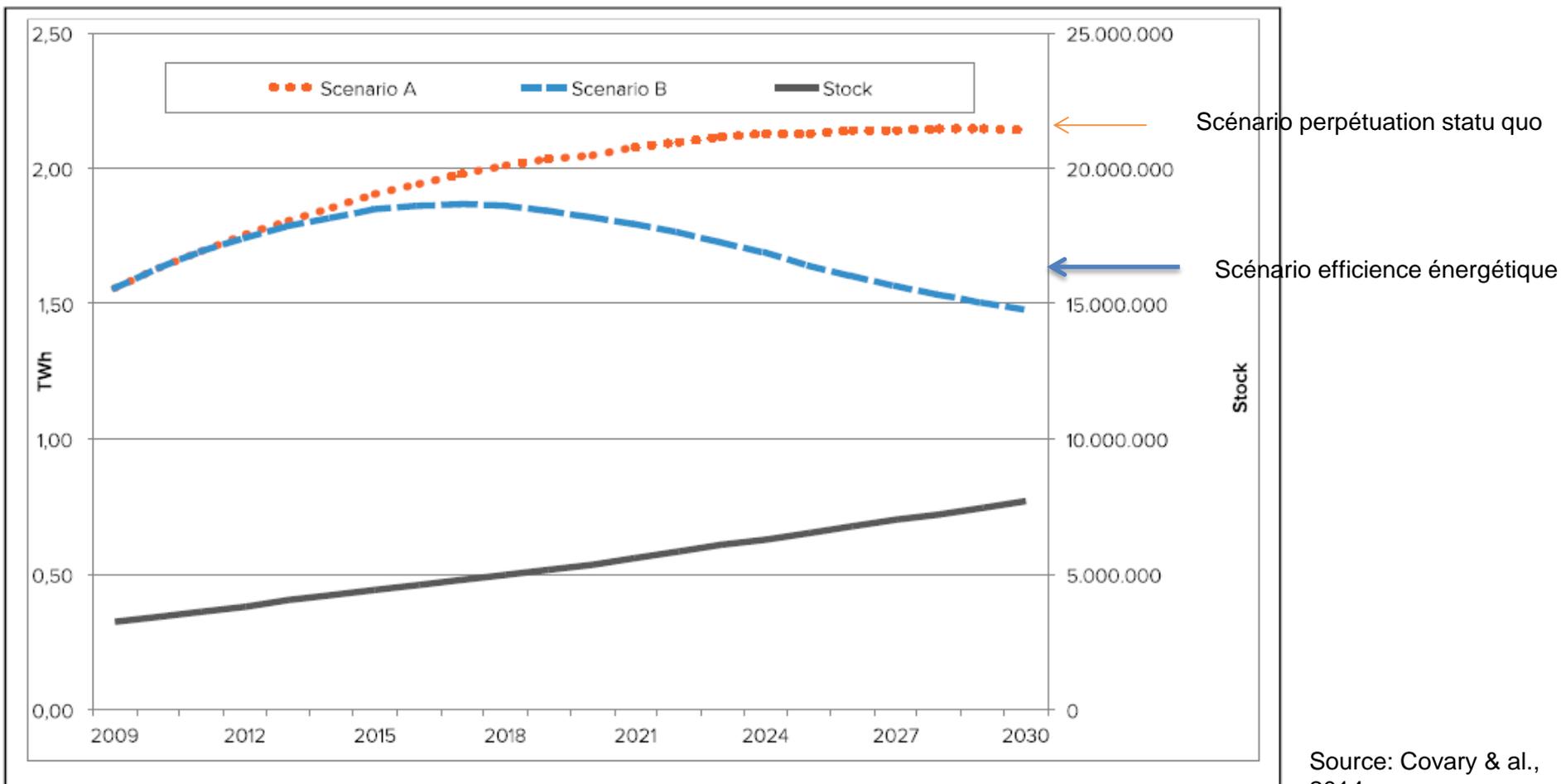
Sensitivity Results Optimization Results

Double click on a system below for simulation results. Categorized Overall

	PV (kW)	GE (kW)	H1000	Conv. (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Jatropha Oil (L)	GE (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	50	9.6	120	15	LF	\$ 265,286	17,900	\$ 441,032	0.703	0.93	2,979	1,735	11.7
	60		144	20	CC	\$ 304,072	14,336	\$ 444,827	0.709	1.00			12.0
		9.6	48	15	CC	\$ 66,250	48,269	\$ 540,165	0.861	0.00	26,032	8,751	18.7
	40	20.0		15	CC	\$ 151,400	49,990	\$ 642,206	1.024	0.52	24,775	6,018	
		20.0			CC	\$ 27,720	69,766	\$ 712,693	1.136	0.00	35,400	8,760	

Les scénarios intégrant l'efficacité énergétique – cas de l'Afrique du Sud

Consommation totale et stock de frigidaire



Source: Covary & al., 2014

La prise en compte de l'efficacité énergétique hors réseau

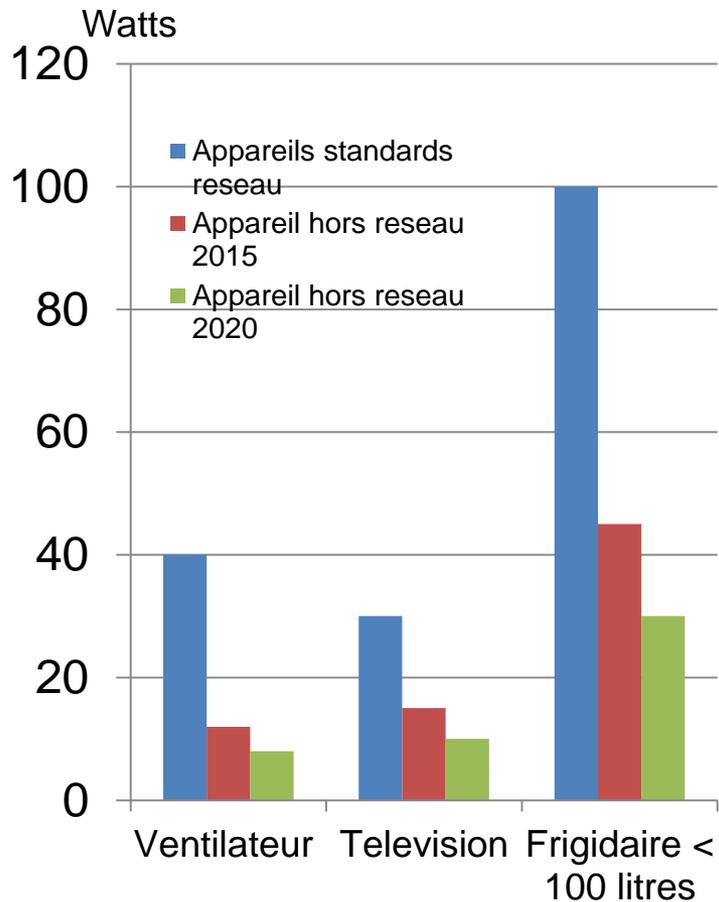
Service énergétique	Technologies	Gain
Lumière	LED	LED 10 W = Ampoule incandescente 60 W
Télévision	LED-LCD TV	LCD 10 W = TV CRT 60 W
Ventilateurs	Moteur à courant continu sans balais	DC 6 W = ventilateur standard 10 W

Source: traduit de Phadke & al., 2015

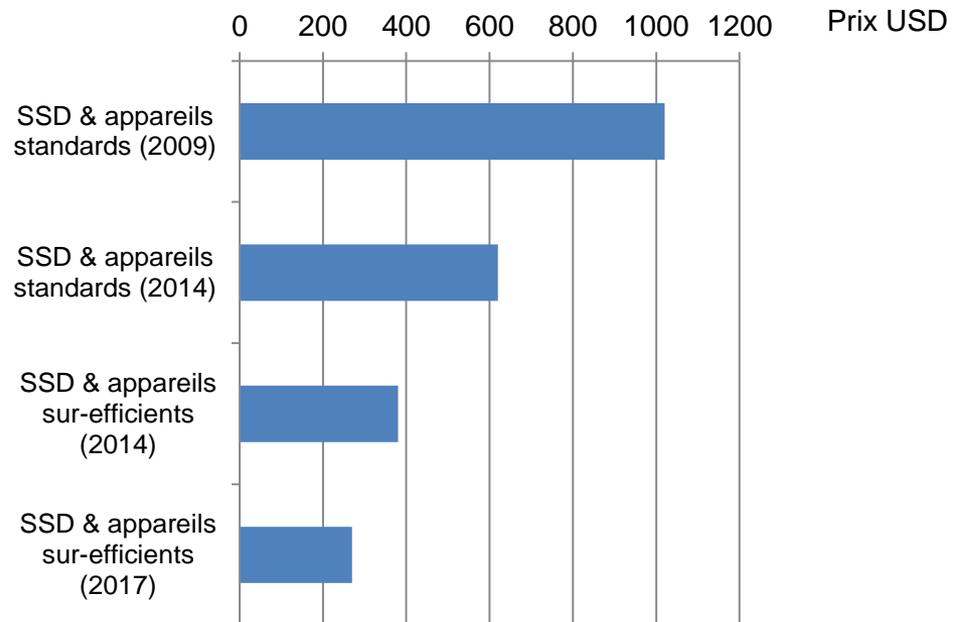
Lors des enquêtes prendre en compte le remplacement de technologies obsolètes par des technologies innovantes.

Efficiency énergétique hors réseau

Puissance d'appareils hors réseau (en W)



Prix detail des systemes solaires domestiques (SSD)



Traduit de Jordan, 2016.

Conclusions

- Prévisions reposent sur analyse des tendances historiques
- En milieu rural africain données souvent lacunaires
 - Cas A) Données existent & taille système suffisante → modélisation classique
 - Cas B) Données locales nécessaires
 - Récolter les données de terrain existantes (rapports,...)
 - Créer les données à travers des enquêtes
- Enquêtes de terrain nécessaire
 - Technologies facilitent la récolte de données (tablette, compteur intelligent,...)
 - Constituer une base de données de services/sites types?
 - Echantillonnage possible
- Innovation technologique
 - Systèmes décentralisés impliquent des données locales fines
 - Efficience énergétique à prendre en compte impérativement

Nous vous remercions de votre participation!

Un enregistrement audiovisuel de ce webinar sera disponible après la présentation.

- Pour l'enregistrement du webinar, des présentations et d'autre information sur les webinaires antérieurs et à venir
<https://cleanenergysolutions.org/training>
- Des enregistrements de webinaires sur la chaine Youtube du Centre de solutions pour les énergies propres
<https://www.youtube.com/user/cleanenergypolicy>
- Pour en savoir davantage sur le programme «Demandez à un expert»
<https://cleanenergysolutions.org/expert>