

Expériences africaines des systèmes solaires PV hors réseau ou sur site isolé

Dr. Yao AZOUMAH
yao.azoumah@2ie-edu.org
Cel: 226-78 75 80 78



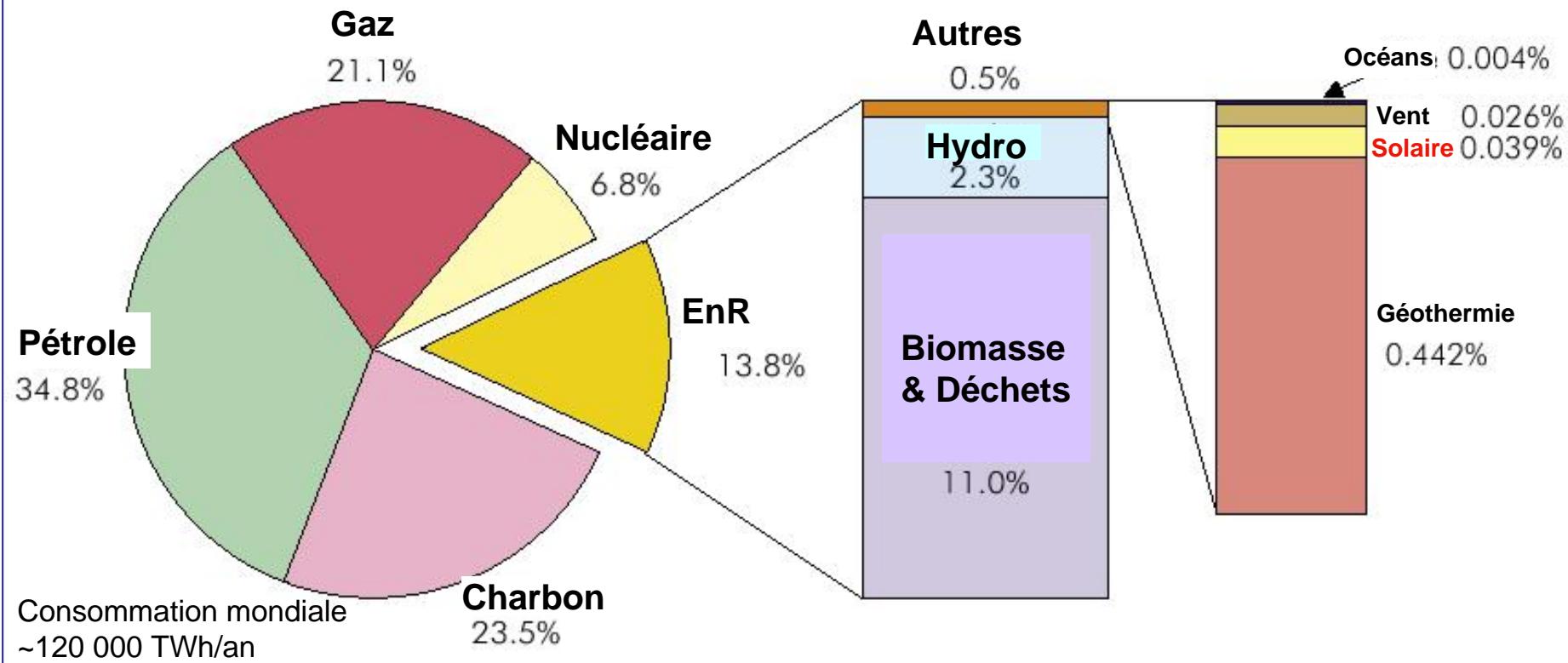
Plan

- **Contexte énergétique mondiale: part des ENRs**
- **Cas de l'Afrique vs Energie solaire**
- **Etat de l'art sur les systèmes solaires PV en site isolé**
- **Quels problèmes? Quels solutions?**

Contexte énergétique mondiale: part des ENRs

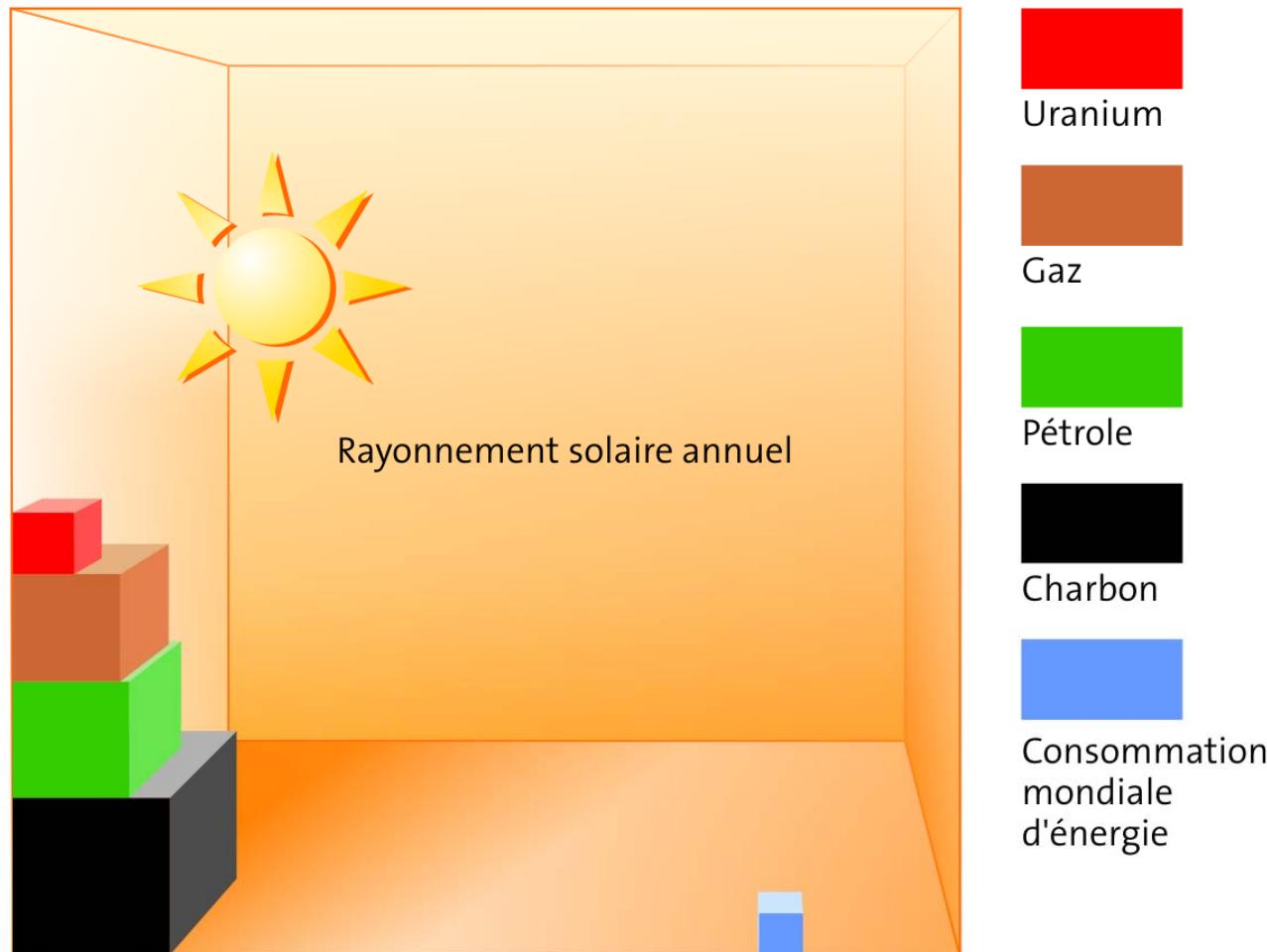
Répartition des ressources dans la production mondiale d'énergie primaire

(source: AIE, 2002)

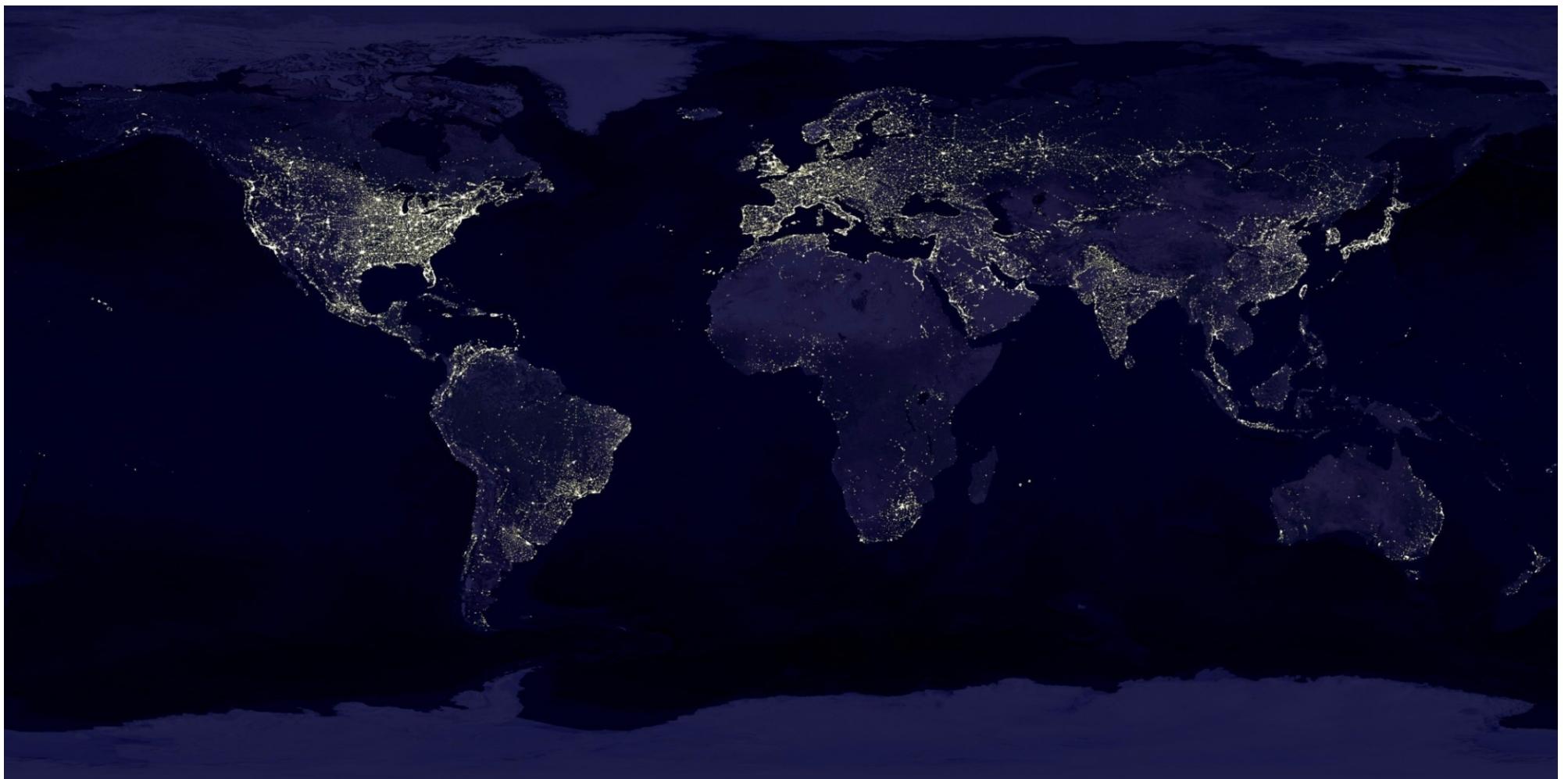


Contexte énergétique mondiale: part des ENRs

Réserves mondiales d'énergie primaire



Cas de l'Afrique vs Energie solaire



Cas de l'Afrique vs Energie solaire

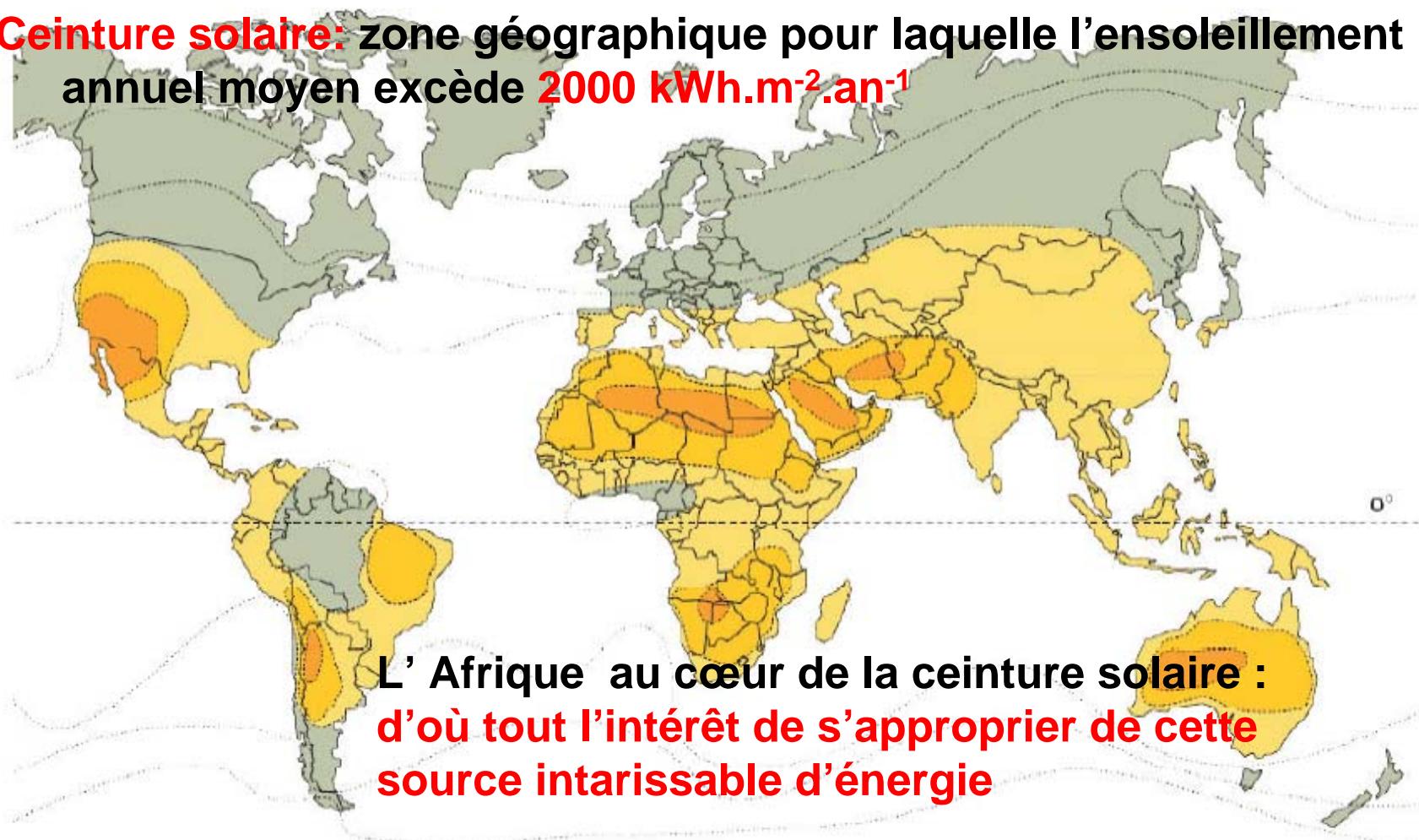
Table 1: Electricity access in 2008 - Regional aggregates

	Population without electricity millions	Electrification rate %	Urban electrification rate %	Rural electrification rate %
Africa	589	40.0	66.8	22.7
<i>North Africa</i>	2	98.9	99.6	98.2
<i>Sub-Saharan Africa</i>	587	28.5	57.5	11.9
Developing Asia	809	77.2	93.5	67.2
<i>China & East Asia</i>	195	90.2	96.2	85.5
<i>South Asia</i>	614	60.2	88.4	48.4
Latin America	34	92.7	98.7	70.2
Middle East	21	89.1	98.5	70.6
Developing countries	1,453	72.0	90.0	58.4
Transition economies & OECD	3	99.8	100.0	99.5
World	1,456	78.2	93.4	63.2

Source: WEO 2009

Cas de l'Afrique vs Energie solaire

Ceinture solaire: zone géographique pour laquelle l'ensoleillement annuel moyen excède $2000 \text{ kWh.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$



Implantation des centrales solaires thermodynamiques

■ Excellent ■ Très bon ■ Bon ■ Inapproprié

Afrique de l'Ouest

Quelques pays tels que le **Burkina Faso**, le **Mali**, le **Ghana** et le **sénégal** se démarquent dans la promotion des ENRs en Afrique de l'Ouest.

Burkina Faso

Plus de 2000 kWc sont actuellement installés. Les services concernés sont entre autres:

- **La télécommunication,**
- **L'électrification ,**
- **Le pompage d'eau,**
- **Etc...**

Burkina Faso

Années	Bailleurs	Projets	Puissance s installées
1990 à 1998	Union Européenne (UE)	<ul style="list-style-type: none"> - 315 systèmes de pompage PV - 287 systèmes communautaires (éclairage, réfrigération, TV) 	473,85 kWc
1993 à 2000	Banque Mondiale (BM)	<ul style="list-style-type: none"> - Plates formes de développement (éclairage, réfrigération et TV) 	9, 45 kWc
1999 à 2003	ONG Plan International	<ul style="list-style-type: none"> - Eclairage de 39 centres de santé, 71 écoles, 7 centres d'alphabétisation, 1 centre communautaire - Installations de pompage PV dans 8 villages 	33, 58 kWc
2002 à 2005	Programme National de Gestion des terroirs (PNGT)	<ul style="list-style-type: none"> - 109 systèmes d'éclairage pour écoles, centres d'alphabétisation et de santé - 3 systèmes de réfrigération dans les centres de santé - 3 systèmes de pompage PV 	27, 2 kWc
2006	Projet Crédit Energie du Kouritenga	<ul style="list-style-type: none"> - Mise à la disposition des populations de 2000 kits à usages domestiques et pour des activités génératrices de revenus 	7 kWc
1998 à 2000 et 2009 à 2011	Projet Espagnol	<ul style="list-style-type: none"> - 65 systèmes de pompage PV pour l'irrigation 	480 kWc

Burkina Faso

Difficultés rencontrées



- Le vol des panneaux solaires**
- Une fiscalité très peu attrayante pour les investisseurs dans les ENRs**
- Pas de mains d'œuvre qualifiées pour le suivi et la maintenance des installations**

Burkina: Cadre institutionnel

- **Création du FDE (Fond de développement de l'électrification) en 2003 en tant qu'organe facilitateur et de financement de la politique d'électrification rurale.**
- **L'une des missions du FDE est de développer l'électrification rurale ou la planification de l'approvisionnement en électricité par la promotion de nouvelles technologies.**
- **La loi n°027-2007/AN du 20/11/2007 ouvre la concurrence dans le secteur de la production d'électricité.**
- **Des mécanismes sont mis en place par le gouvernement pour soutenir le secteur privé qui s'engagerait dans l'électrification rurale.**

Mali

-Electrification domestique

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,03	0,01	0,01	0,10	0,08	0,08
Total cumulé en MWc	0,26	0,27	0,28	0,38	0,45	0,53
N° de foyers équipés en cumul*	5 100	5 300	5 500	7 500	9 000	10 500

* puissance moyenne installée : 50 Wc

-Electrification communautaire

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,006	0,006	0,012	0,006	0,045	0,039
Total cumulé en MWc	0,07	0,08	0,09	0,10	0,14	0,18
N° de systèmes installés en cumul*	240	260	300	320	470	600

* puissance moyenne installée : 300 Wc (systèmes institutionnels)

Mali

-Pompage photovoltaïque

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,014	0,028	0,028	0,035	0,021	0,028
Total cumulé en MWc	0,64	0,67	0,70	0,74	0,76	0,78
N° de systèmes installés en cumul*	460	480	500	525	540	560

* puissance moyenne installée : 1400 Wc

-Applications professionnelles

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,00	0,00	0,005	0,005	0,020	0,013
Total cumulé en MWc	0,05	0,05	0,05	0,06	0,08	0,09
N° de systèmes installés en cumul*	18	18	20	22	30	35

* puissance moyenne installée : 2500 Wc

La première centrale solaire du Mali

Caractéristiques

▪ Puissance Nominale PV	: 72 KWc
▪ Puissance maxi AC	: 80 KVA- 400V
▪ Puissance appelée actuellement	: 25 KW AC
▪ Énergie produite par le champ des modules	: 144.5 MWh/an
▪ Énergie disponible aux abonnés	: 85.7 MWh/an
▪ Foyers électrifiés actuellement	: 217
▪ Foyers visés à moyen terme	: 500
▪ Prix de vente du KWh actuel	: 175 Fcfa

La première centrale solaire du Mali a été inaugurée le 7 octobre 2008 à Kimparana (à 450 km au sud de Bamako).

- Réalisée dans le cadre d'un partenariat public-privé-communauté locale, son financement a été partagé entre la coopération néerlandaise, qui a décaissé 328 millions de Fcfa à travers le Programme PSOM, la société néerlandaise NUON, l'AMADER et l'opérateur privé Yéelen Kura (pour 8%).
- L'installation permet d'alimenter un réseau électrique qui dessert 500 clients pendant 10 heures par jour. Sa gestion a été confiée à une société de droit malien "Yéelen Kura".

Mali: La centrale d'Ouléssébougou

- Champ solaire photovoltaïque de 216 kWc composé de 1136 modules de 190Wc/26V – 7,31 A
- Système de stockage batteries, 400 accumulateurs étanches 160PZV 2000-2110 AH/C10-2V et accessoires
- Onduleurs et systèmes de protection
- Deux groupes de 220KW chacun



Mali: La centrale d'Ouléssébougou

Inauguré en juin 2010

- La centrale hybride utilise suivant les périodes de la journée, soit l'électricité produite par les panneaux solaires, soit par les groupes électrogènes.
- Durant la journée les quelque 500 abonnés sont servis en énergie solaire, tandis que les groupes électrogènes prennent le relais la nuit. Ce qui permet une réduction d'environ 75 % du temps de fonctionnement des deux générateurs.
- La réalisation a coûté 1,2 milliards de Fcfa. Les travaux ont été effectués en huit mois par l'entreprise malienne ZED-SA.

Mali: Le cadre institutionnel

- Crédation de l'AMADER (Agence Malienne pour le Développement de l'Energie Domestique et de l'Electrification rurale) en mai 2003 par la loi N°03-006 du 21 mai 2003
- L'AMADER est soutenue par de grands bailleurs (Banque mondiale, Fonds pour l'environnement mondial, banque de développement allemande KfW et Banque africaine de développement).
- L'objectif principal de l'AMADER est d' augmenter le taux d'électrification dans les zones rurales à hauteur de 12% en 2010 et de 55 % à l'horizon 2015 (partant de 1% en 2005 avec un taux de 11,2% en janvier 2009) dans les zones rurales.
- L'AMADER a instauré un Partenariat Public Privé matérialisé par la délivrance d'Autorisations d'Electrification Rurale (AER) et l'octroi subventions d'investissements aux Opérateurs Privés à travers le fonds d'Electrification rurale.
- L'AMADER a financé la centrale de Kiparana à hauteur de 30% .

Sénégal

- Electrification domestique

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,08	0,02	0,17	0,08	0,10	0,15
Total cumulé en MWc	0,08	0,45	0,87	1,02	1,12	1,27
N° de foyers équipés en cumul*	1 500	9 060	17 400	20 400	22 400	25 400

* puissance moyenne installée : 50 Wc

- Electrification communautaire

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,002	0,002	0,016	0,040	0,030	0,041
Total cumulé en MWc	0,00	0,05	0,10	0,22	0,25	0,29
N° de systèmes installés en cumul*	8	230	383	527	532	600

* puissance moyenne installée en 2009 : 600 Wc

Sénégal

- Pompage photovoltaïque

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,002	0,000	0,003	0,004	0,009	0,018
Total cumulé en MWc	0,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44
N° de systèmes installés en cumul*	3	430	446	454	459	469

*puissance moyenne installée: 900 Wc jusqu'en 2007

- Applications professionnelles

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,001	0,063	0,005	0,010	0,065	0,070
Total cumulé en MWc	0,00	0,24	0,32	0,44	0,51	0,58
N° de systèmes installés en cumul*	2	373	508	665	675	780

* puissance moyenne installée: 667 Wc en 2009

Sénégal: Evolution du nombre de foyers équipés en photovoltaïque



Sénégal

En 1998, un projet pilote de centrale hybride PV/Diesel avec stockage est mis sur pied dans la localité de Dionewar-Niodor

Caractéristiques

- Puissance PV de 100 kWc (960 modules)
- Un onduleur de 100 kW
- 188 batteries de stockage d'un total de 2500Ah/2V
- Un groupé électrogène de 250 kVA
- Un redresseur de 35 kW

Sénégal

D'autres projets ont suivi:

- Projet ISOFOTON: Mise sur pied de 9 centrales hybrides PV/Diesel avec stockage dans les îles du Saloum (sites enclavés)**

Première mise en marche en septembre 2007 et seconde en avril 2010

Une centrale : Champ PV 40kWc + GE 100kVA + Stockage 2300Ah C100/240Vdc

Une centrale : Champ PV 20 kWc + GE 63kVA + Stockage 1200Ah C100/240Vdc

Trois centrales : Champ PV 15 kWc + GE 28kVA + Stockage 3000 Ah C100/48Vdc (chacune)

Quatre centrales : Champ PV 10 kWc + GE 28kVA + Stockage 3000 Ah C100/48Vdc (chacune)

Sénégal: Cadre institutionnel

- **Création de l'ASER (Agence Sénégalaise de l'Electrification Rurale) en 1998**
- **Plusieurs mesures et actions ont été mises en œuvre pour accélérer la pénétration de l'électricité en zones rurales**
- **Le recours à la technologie solaire photovoltaïque jusque là très marginalement utilisé comme technique d'électrification a été fortement encouragée par les autorités: 850 kWc seulement installé en 2000**
- **Le taux d'électrification rural passe de 8 à 16 % entre 2000 et 2007**
- **La Puissance PV installée est de plus de 2000 kWc en fin 2007 et de près de 3000 kWc en 2010**
- **L'objectif est d'atteindre un taux de desserte en milieux rural de 62% en 2022**

Ghana

Applications	Puissances installées
Eclairage domestique	4500
Pompage solaire PV	80
Réfrigération (Centres de santé)	210
Stations de télécommunication	63
Radiodiffusion	34
Stations de recharge de batteries	20
Centres de téléphonie	3
Total	950 kWc

Ghana

- Ces réalisations pour la plupart s'inscrivent dans le cadre de deux projets:
 - « off-Grid Solar PV electrification Project » financé par le gouvernement Espagnol
 - « Renewable Energy Services Project (RESPRO) » financé par le PNUD

Problèmes rencontrés

- La plupart des installations sont abandonnées 3 ans après leur mise sur pied
- car les revenus réalisés ne permettent pas d'assurer le remplacement des composants du système, le moment venu.

Ghana: Cadre institutionnel

- **création d'une commission de l'énergie en 1997**
- **Mesure prise pour la réduction des taxes d'importation sur les modules PV en 1999**
- **Mise sur pied d'un programme national d'électrification avec pour objectif: d'étendre l'accès à l'électricité à toutes les communautés de plus de 500 habitants en 2020.**
- **Soumission à l'assemblée en 2010 d'un projet de loi visant à créer un environnement attrayant pour les investisseurs privés dans le domaine des énergies renouvelables**

Afrique de l'Est: Kenya

1. Cas du Kenya

Moins de 5% des populations en zones rurales ont accès à l'énergie.

Les projets d'installations PV concernent:

- L'éclairage domestique**
- L'électrification communautaire**
- Les applications professionnelles**

Kenya

Projets d'électrification domestique

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,30	0,40	0,33	0,35	0,15	0,40
Total cumulé en MWc	0,60	3,08	4,78	5,42	5,56	5,96
N ^{bre} de foyers équipés en cumul*	50 000	171 000	265 000	301 000	309 000	330 000

* puissance moyenne installée : 18 Wc

Projets d'électrification communautaire

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,10	0,04	0,02	0,01	0,01	0,10
Total cumulé en MWc	0,20	0,86	1,02	1,04	1,05	1,153
N ^{bre} de systèmes installés en cumul*	250	920	1 100	1 120	1 130	1 238

* puissance moyenne installée : 930 Wc

Kenya

-Projets pour des applications professionnelles

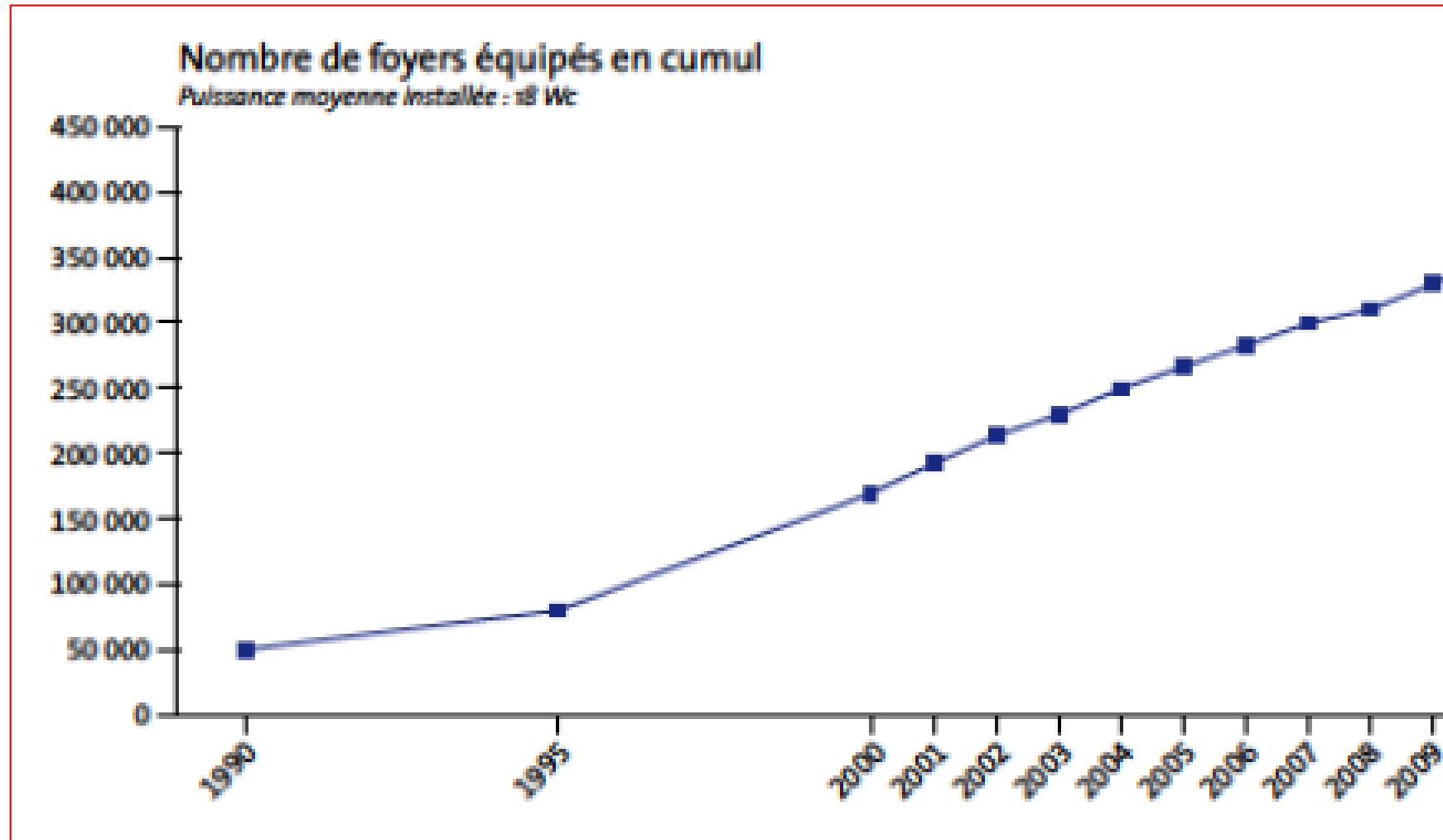
	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,30	0,15	0,10	0,20	0,50	0,60
Total cumulé en MWc	1,60	3,40	4,45	4,75	5,25	5,85

-Puissances PV totale installées

	1990	2000	2005	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,70	0,59	0,45	0,56	0,66	1,10
Total cumulé en MWc	2,40	7,34	10,25	11,21	11,87	12,97

-Chaque année environ 20 000 ménages en zones rurales sont électrifiées par des systèmes PV

Kenya: Évolution du nombre des foyers équipés en photovoltaïque



Kenya: Cadre institutionnel

L'autorité de l'électrification rurale (REA) travaille à mettre sur pied un cadre pour accroître l'utilisation de l'énergie solaire PV par les ménages et les institutions privées.

Ouganda

-Electrification domestique

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,30	0,30	0,40	0,40	0,45	0,50
Total cumulé en MWc	1,30	1,60	2,00	2,40	2,85	3,35
N° de foyers équipés en cumul*	26 000	32 000	40 000	48 000	57 000	67 000

* puissance moyenne installée : 50 Wc

-Electrification communautaire

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,075	0,050	0,038	0,028	0,025	0,030
Total cumulé en MWc	0,23	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40
N° de systèmes installés en cumul*	450	550	625	680	730	790

* puissance moyenne installée : 500 Wc (systèmes institutionnels)

Ouganda

Pompage photovoltaïque

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,021	0,007	0,014	0,021	0,028	0,021
Total cumulé en MWc	0,06	0,07	0,08	0,11	0,13	0,15
N° de systèmes installés en cumul*	45	50	60	75	95	110

* puissance moyenne installée: 1400 Wc

Applications professionnelles

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Variation annuelle en MWc	0,20	0,30	0,50	0,20	0,30	0,30
Total cumulé en MWc	8,20	8,50	9,00	9,20	9,50	9,80

Ouganda: Exemple de projet

En 2009, la société ougandaise « Computer Low System,» a été sélectionnée par la Uganda Communications Solutions pour fournir de l'électricité dans des laboratoires informatiques de 52 écoles en Ouganda (Un laboratoire par école).

Le projet a été réalisé fin 2009. **L'ensemble des systèmes solaires installées représente une puissance de 40 kWc.**

Afrique Centrale: Cameroun

- **Le marché du photovoltaïque est beaucoup plus timide en Afrique centrale.**
- **Les productions solaire PV décentralisées sont rares**
- **Les projets existants sont de tailles très réduites.**

Système privé dans la commune rurale de Kouoptomo-Ouest Cameroun



**Puissance crête installée: 2,8 kWc:
éclairage, pompage eau, service
internet**

Cameroun: Projet Electricité et Lumière pour les pauvres du Cameroun (ELPC)



Le village de Bôtbadjang, situé à 200 km de Douala a été équipé de 30 kits solaires en 2009.

30 maisons du village ont chacune été équipée d'un kit solaire de 160 Wc pour une capacité totale de 4,8 kWc.

Cameroun: Projet à venir

- Appel d'offre international lancé en octobre 2011 par **l'Agence d'Electrification Rurale du Cameroun (AER)** dans le cadre du projet « **Electricity for Rural Development in Rumpi area (ERDRUMPI)** »
- Le projet consiste en la fourniture, l'installation et le service après vente de systèmes solaires photovoltaïques pour les infrastructures communautaires (écoles, établissements secondaires, centres de santé, éclairage public) dans 32 localités isolées de la zone RUMPI dans la Région du Sud ouest.

Un concept innovant: Le concept « Flexy Energy »

- Pour prendre son envol, l'électrification des milieux ruraux Africains par voie solaire photovoltaïque a besoin en se servant des expériences passées, d'imaginer de nouveaux modèles.
- L'idéal étant d'avoir un mode de gestion approprié tenant compte de la maintenance régulière et du renouvellement programmé des installations ainsi que des revenus des populations rurales.
- En ce sens, le concept « Flexy Energy » est un concept innovant car il entend produire de l'électricité décentralisée dans les zones rurales et péri-urbaines à travers une centrale PV/Diesel sans stockage d'énergie dans les batteries.

Concept « Flexy-Energy »: Système hybride PV/GE sans stockage

L'électrification rurale n'est pas rentable aujourd'hui en Afrique Subsaharienne...



Générateur Diesel (avec
gas oil)

- Coûts d'exploitation et de maintenance élevés
- Problèmes environnementaux (émission CO2)



PV+batteries

- Coût d'investissement très lourd
- Difficulté à répondre aux appels de charge importante
- Batteries représentent 40% de l'investissement total
- Problèmes de durée de vie et de recyclage des batteries.



Générateur Diesel (avec gas oil)+
PV+batteries

- Coûts d'exploitation et de maintenance élevés
- Problèmes environnementaux (émission CO2)
- Batteries représentent 20% de l'investissement total
- Problèmes de durée de vie et de recyclage des batteries.

Concept « Flexy-Energy »: Système hybride PV/GE sans stockage

« Flexy Energy » Concept: Système hybride PV/Diesel sans batteries avec la flexibilité d'utiliser le biocarburant comme substitut au gas oil.



- L'enjeux majeur reste une gestion intelligente des charges

Concept « Flexy-Energy »: Système hybride PV/GE sans stockage

Défis à relever:

- Conception optimisée
- Gestion optimisée avec des systèmes intelligents

Plusieurs types de profils de demande sont simulées (urbain, péri-urbain et zone rurale) par des bancs de charges

Objectif principal:

Trouver un compromis optimal (réduction du prix de production du kWh) entre les coûts d'investissement et d'opération d'un système hybride pour un profil de demande et un lieu donnés

16/11/2011



Concept « Flexy Energy » : 1 pilote qui marche au 2^{ie}!

Résumé du projet « Flexy Energy »

Titre du projet: Production durable d'électricité aux services des populations rurales et périurbaines en Afrique: développement du concept « flexy-energy »

Objectif spécifique:

Démontrer la faisabilité technique, économique, sociale et environnementale de la production d'électricité décentralisée par des centrales hybrides solaires/Groupe Electrogène (diesel puis biocarburants selon les disponibilités) en milieux rural et périurbain en Afrique.

Action principale: Construction et expérimentation de deux centrales de démonstration basé sur le concept flexy (une au Burkina et la seconde au Mali); puissance comprise entre 100-150kW.

Partenariats: INES-CEA, Polytech Savoie, Savoie Technolac, SONABEL, EDM, Photalia, MicroSow, PPI

Budget total du projet: 3 391 654 euros

Financement UE: 2 377. 654 euros soit 70,1% du budget total

Durée du projet: 42 mois

Démarrage: 1^{er} juin 2011