

L'électrification rurale décentralisée



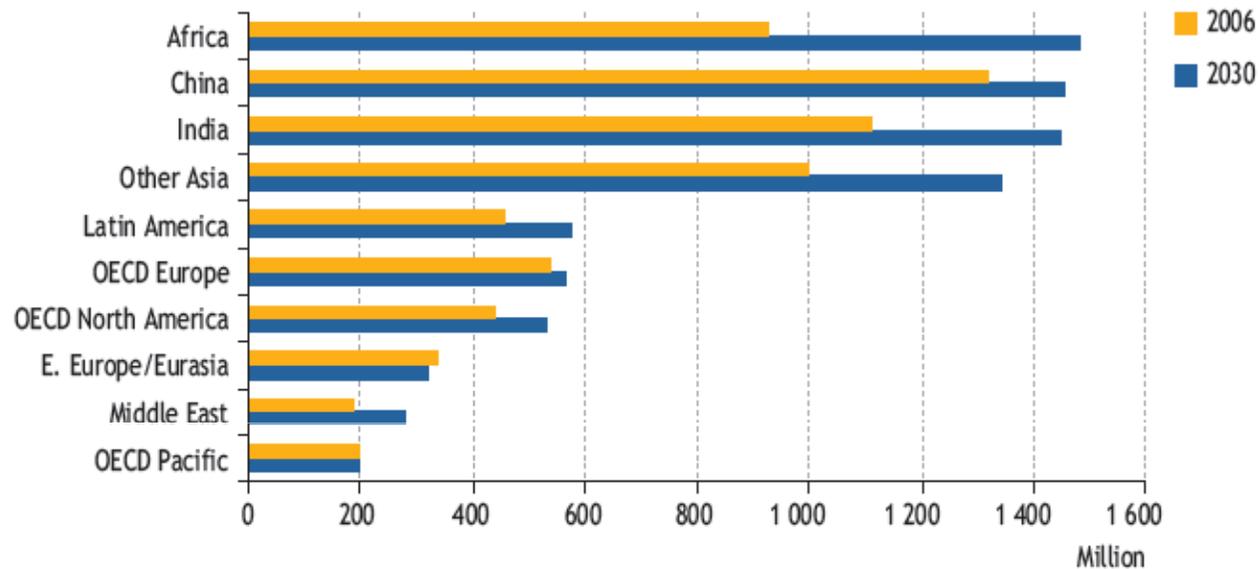


- **Pourquoi l'électrification rurale décentralisée ?**

- Les différentes techniques
- Les éléments d'un projet durable
- Un cas d'étude : blueEnergy

Evolution de la population mondiale

Figure 1.2 • Population by major region

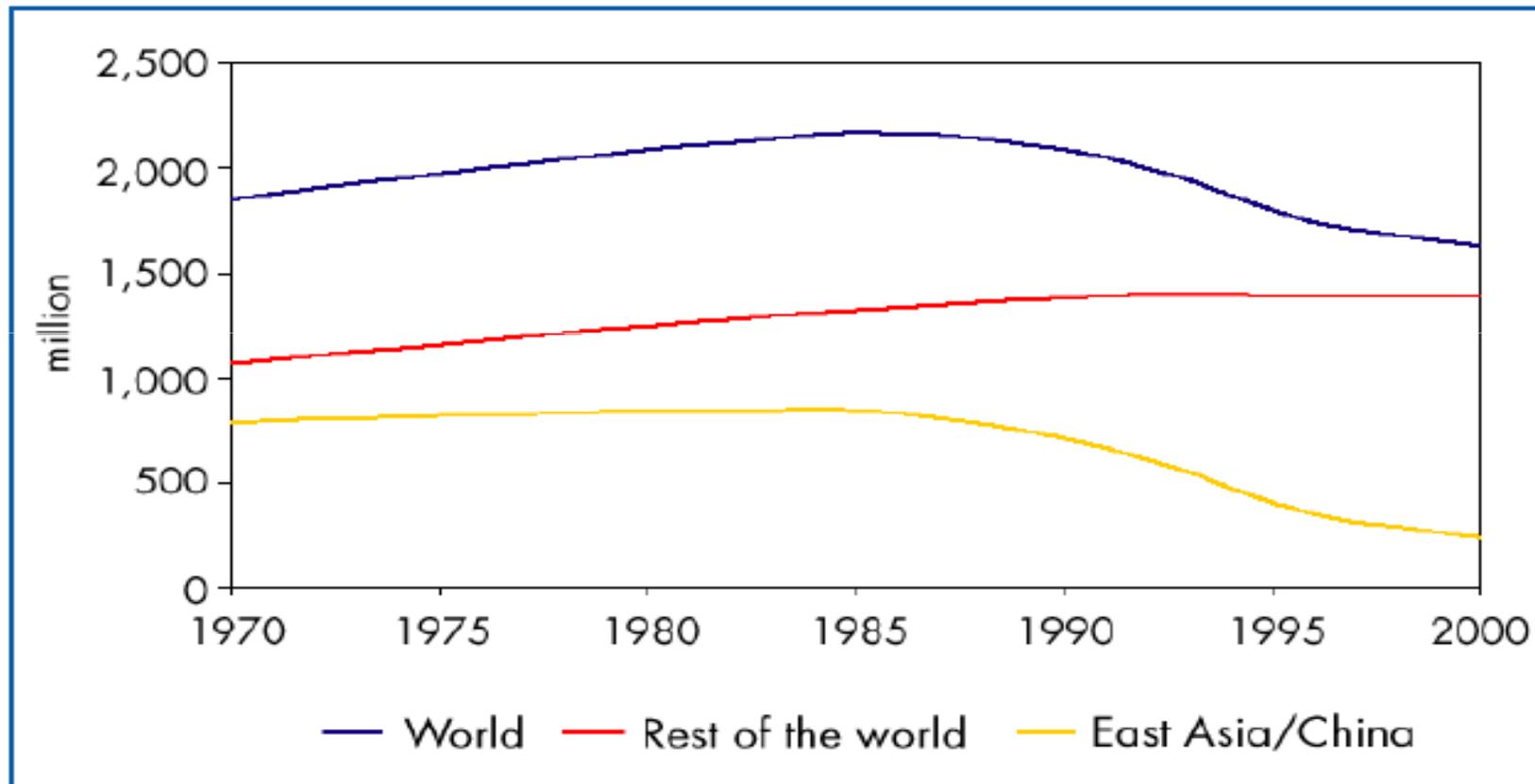


Source: WEO 2008 (AIE)

- 6,5 milliards en 2006 → 8,2 milliards en 2030
- 2008: population urbaine > population rurale
- Des régions principales de la planète vont rester largement rurales.
Ex: l'Afrique (~ +500m d'habitants d'ici 2030)

Evolution de l'électrification

Figure 13.6: Number of People without Electricity, 1970-2000

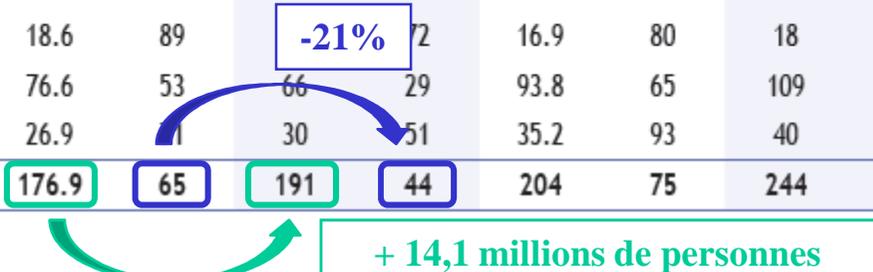


Source: IEA analysis.

Electrification de 10 pays en Afrique

Table 15.5 • Access to electricity and reliance on fuelwood and charcoal in assessed sub-Saharan African countries

	Number of people without electricity access				Number of people relying on fuelwood and charcoal for cooking			
	2006		2030		2006		2030	
	Million	%	Million	%	Million	%	Million	%
Angola	14.6	88	18	59	15.7	95	18	60
Cameroon	14.2	78	17	64	14.2	78	17	65
Chad	10.1	97	18	92	10.2	97	16	79
Congo	2.9	78	4	68	2.9	80	4	69
Côte d'Ivoire	11.6	61	14	50	14.7	78	21	73
Equatorial Guinea	0.4	73	0.4	50	0.3	59	0.4	42
Gabon	0.9	70	1.2	66	0.4	33	0.5	28
Mozambique	18.6	89	14.5	72	16.9	80	18	58
Nigeria	76.6	53	66	29	93.8	65	109	48
Sudan	26.9	71	30	51	35.2	93	40	69
Total	176.9	65	191	44	204	75	244	57



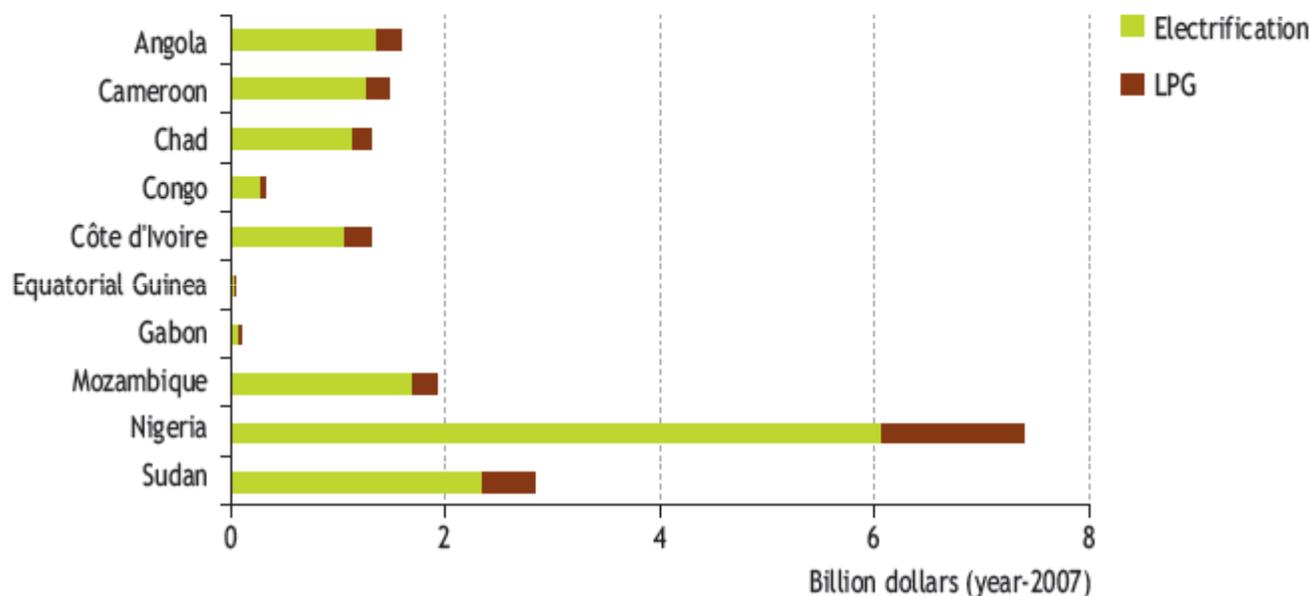
- **Personnes sans électricité en 2030:** diminution en pourcentage mais pas en nombre de personne
- **Accès à l'électricité d'ici 2030:** majoritairement dans les zones urbaines

Source: WEO 2008

Electrification de 10 pays en Afrique

L'électrification coûte cher

Figure 15.8 • Total additional cost* of universal access to electricity and clean cooking stoves in assessed sub-Saharan African countries



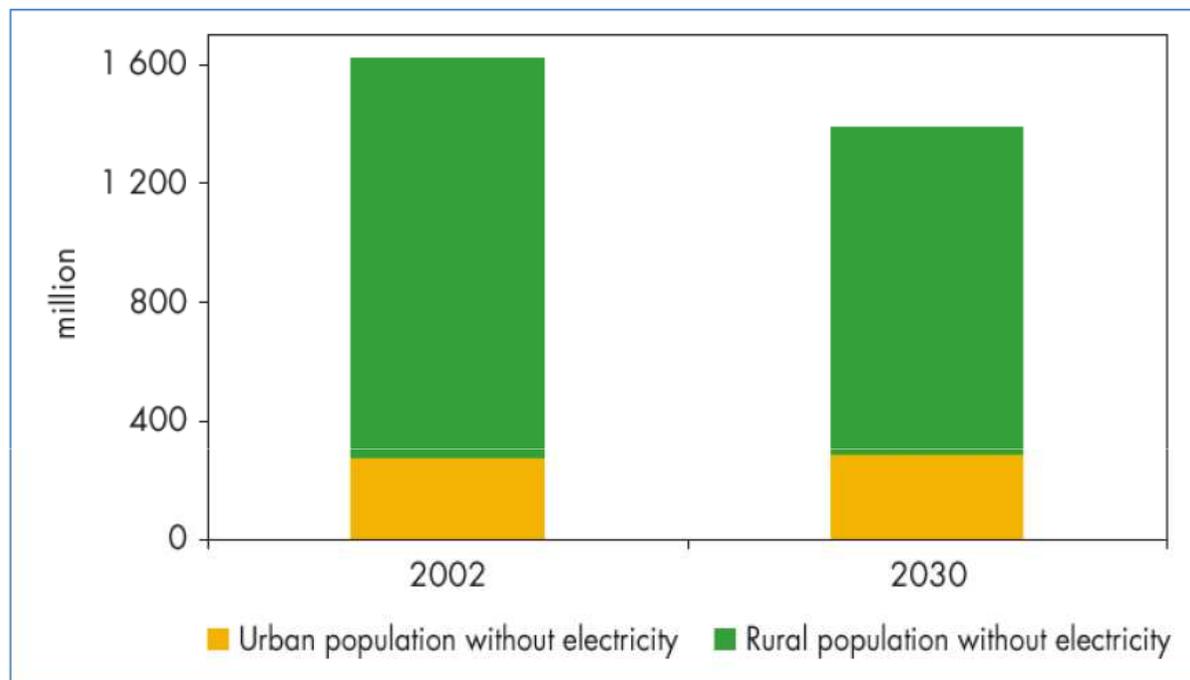
* From 2006 to 2030, over and above the Reference Scenario.
Source: IEA analysis.

Source: WEO 2008

→ **15 milliards de dollars** = donner accès à l'électricité aux 191 millions de personnes de ces 10 pays qui n'y auront pas accès selon les prévisions (production, transmission, distribution incluses)

Evolution de l'électrification rurale

Figure 10.10: World Population without Electricity in Rural and Urban Settings



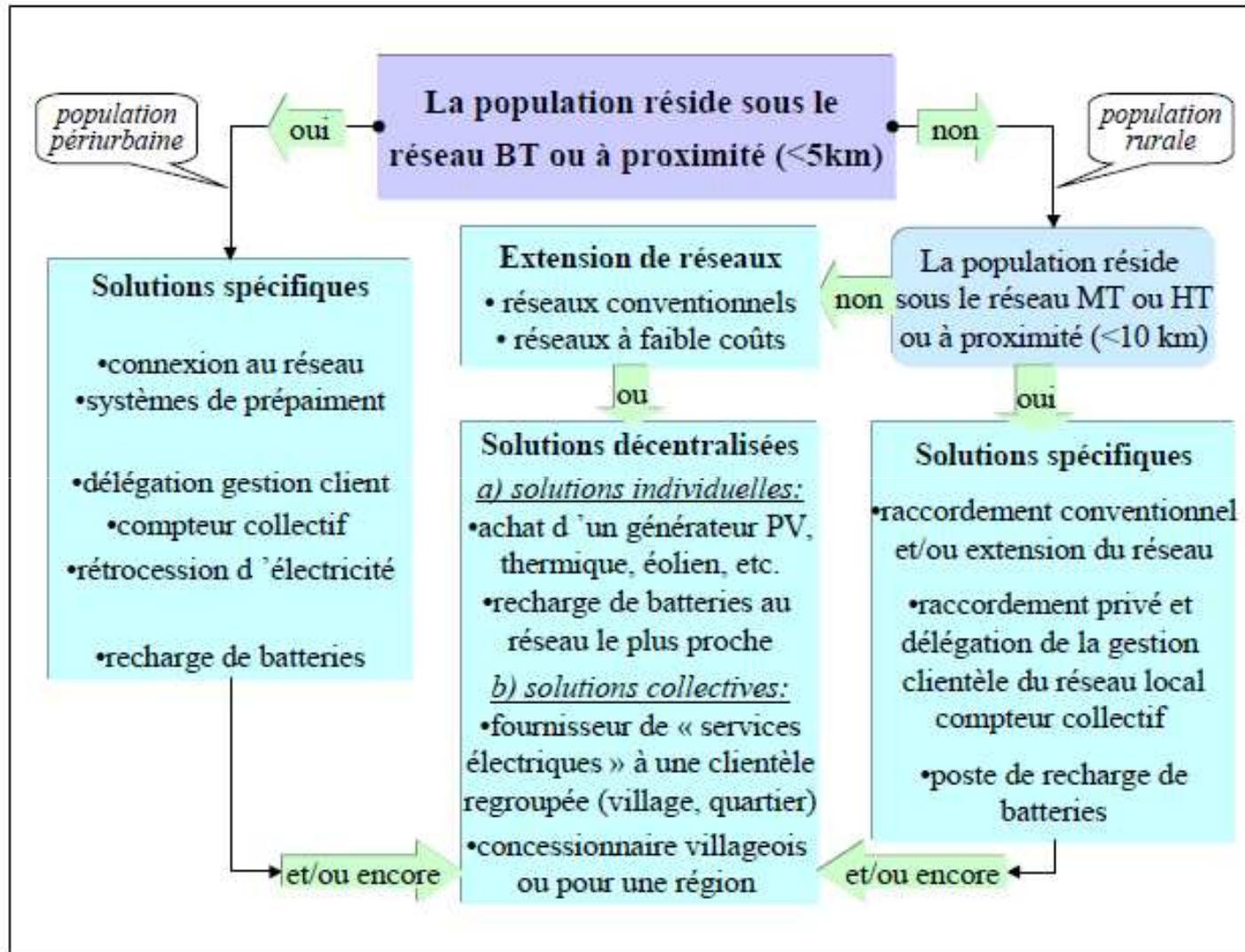
Source : WEO 2004 (AIE)

« Dans le cas où l'électrification rurale continuerait à progresser au même rythme que dans les 15 dernières années et par les mêmes méthodes, on peut évaluer ainsi le nombre de villages non électrifiés en 2030 :

- **Maroc..... 25 000 (80 %)**
- **Côte-d'Ivoire..... 6 000 (75 %)**
- **Mali..... 5 000 (100 %) »**

Source : FONDEME

Définition de l'ERD



Source: René Massé dans "Promoting Rural Decentralized Electrification Investment in Africa: Best Practices Paper", ESMAP publication, 2000.

Les limites des réseaux centralisés

Connexion au réseau d'autant moins rentable que les usagers sont dispersés et pauvres

- Coût de raccordement
- Coût d'exploitation : pertes en ligne, frais d'entretien et de gestion élevés pour de faibles consommations

Financements à l'échelle nationale limités

Moyens disponibles concentrés sur les villes

- Exode rural
- Nombreuses zones rurales éloignées sans réseau électrique

Solidarité plus forte à l'échelle locale

Solutions rurales décentralisées

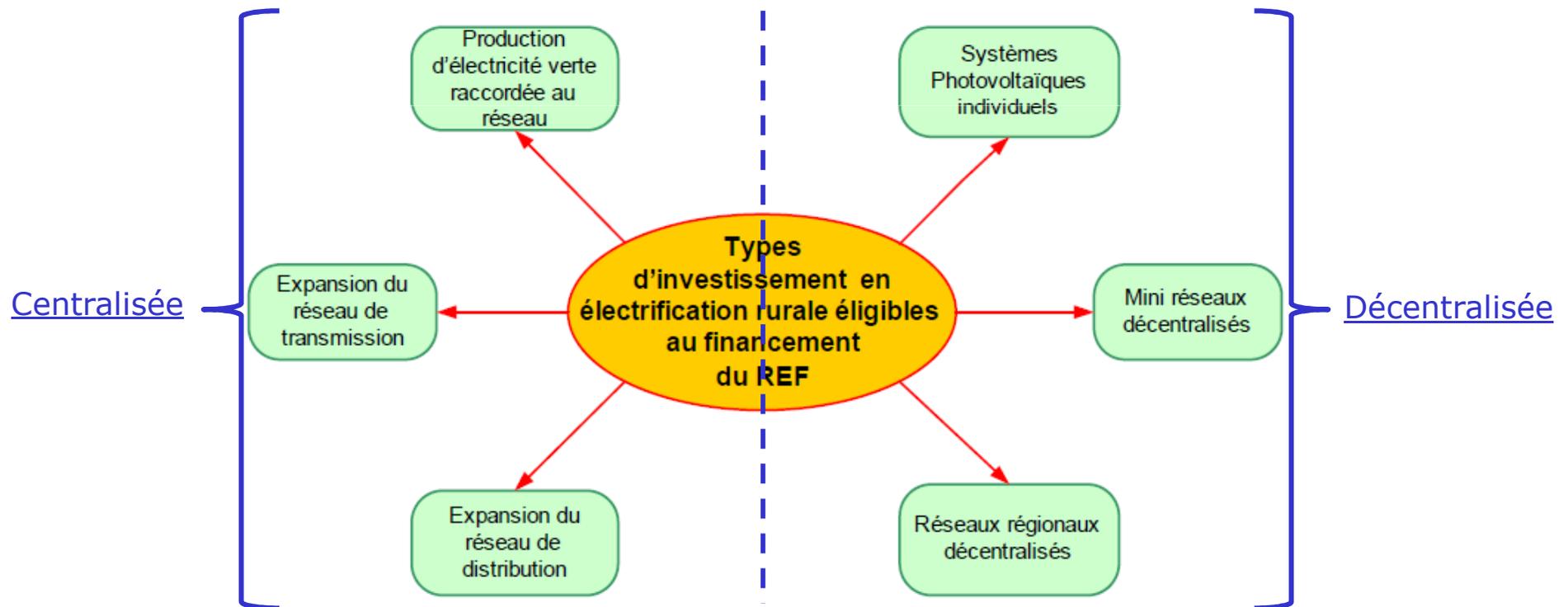
Electrification rurale

Plupart des pays

- Plan directeur de l'électrification rurale
- Recensement des communes nécessitant de l'électrification rurale.

Sinon on peut se référer pour définir l'électrification rurale

- Au réseau électrique principal
- À la zone urbaine
- À la technologie mise en œuvre pour produire l'électricité et/ou pour la distribuer



Différents schémas d'électrification rurale éligibles au financement du Rural Electrification Fund au Cambodge

Les acteurs de l'électrification rurale décentralisée

- **Les gouvernements des pays concernés**

Contexte très différent des pays développés: manque de moyens pour investir, pouvoir des états plus faibles.

- **Les acteurs privés**

- Expériences d'ouverture à la concurrence peu concluantes sauf lorsqu'elles prévoyaient un volet spécifique à l'accès.

Source : GNESD, Banque Mondiale

- Cependant marché très vaste (dit BOP pour Bottom of the Pyramid) et susceptible d'être soutenu → attrait croissant des entreprises multinationales

- **Les organismes multilatéraux**

Ex: Banque Mondiale, le PNUD

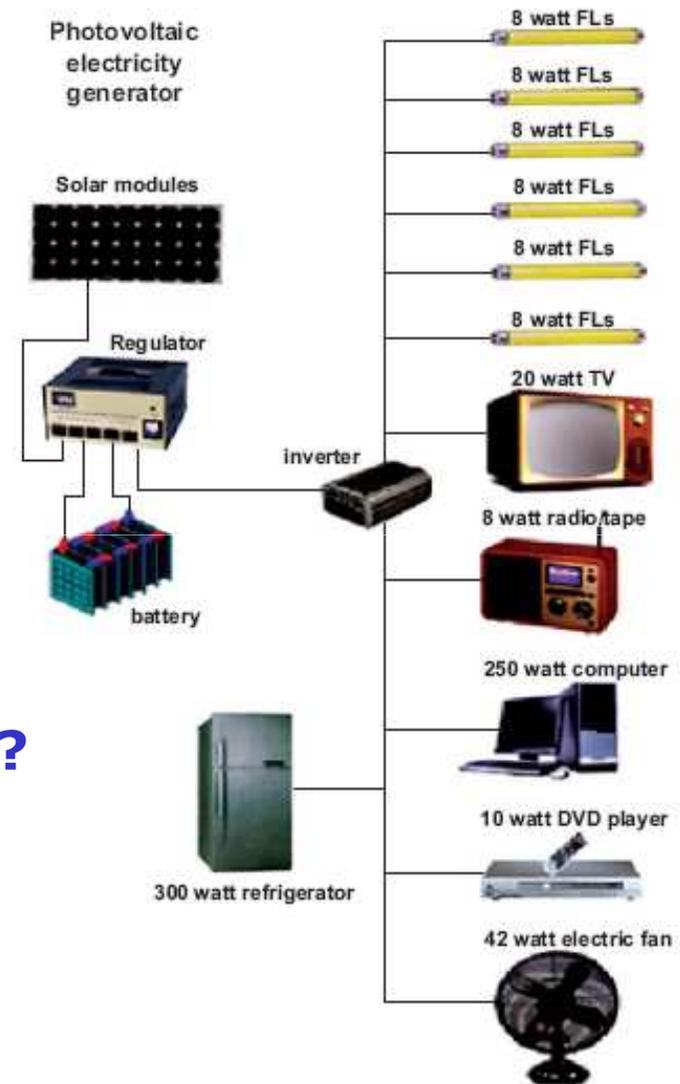
- **Les ONG**

Agissent souvent à l'échelle locale.

Les principaux usages de l'électricité en milieu rural

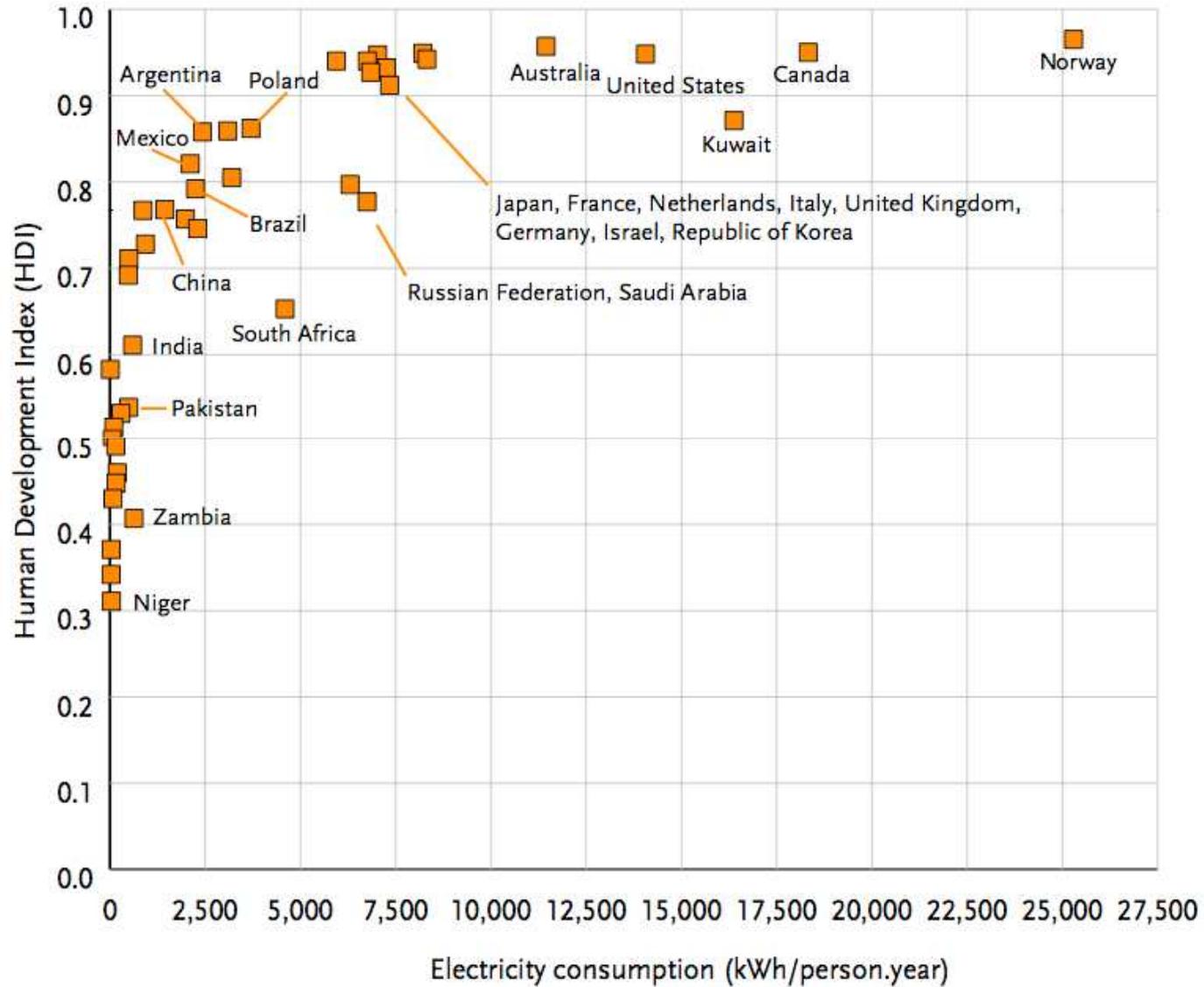
- Eclairage
- Communications
- Santé
- Education
- Pompage d'eau
- Réfrigération
- Mise en place de micro-entreprises

Quelle puissance, combien de kWh faut-il pour cela ?



The Open Renewable Energy Journal, 2009, 2, 99-110

L'importance des premiers kWh





- Pourquoi l'électrification rurale décentralisée ?
- **Les différentes techniques**
- Les clés d'un projet durable
- Un cas d'étude : blueEnergy

Générateur diesel: principale alternative aux ENR



Avantages

- Peu coûteux à l'investissement
- Complémentaire aux ENR (appoint)

Inconvénients

- Coûteux à long terme (carburant, pertes)
- Polluant et bruyant
- Maintenance complexe
- Approvisionnement en carburant difficile
- Inefficace si $P \ll P_{nom}$

Générateur diesel: principale alternative aux ENR

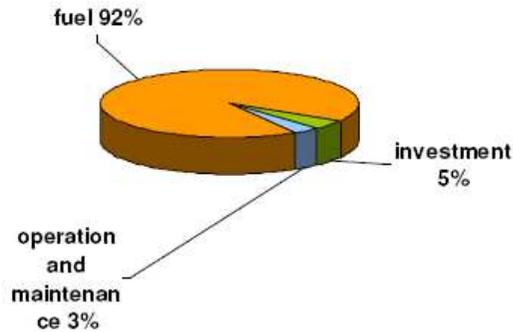


Figure 3: LCOE breakdown of diesel generators. Assumptions as mentioned in the text and average diesel price of 0.89 \$/l.

ELECTRIFYING THE POOR: HIGHLY ECONOMIC OFF-GRID PV SYSTEMS IN ETHIOPIA – A BASIS FOR SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT (Breyer, 2009)

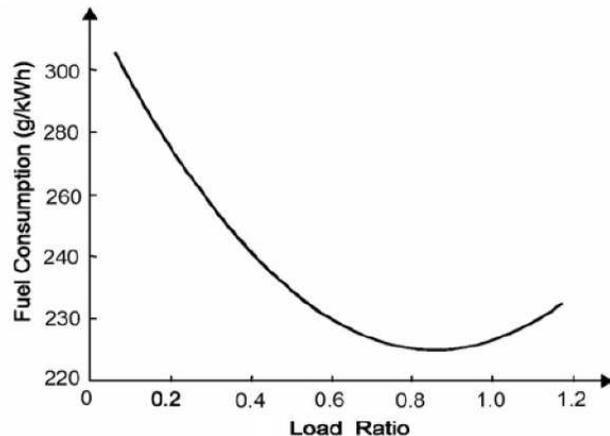


Figure 5: Fuel consumption as a function of the diesel engine load ratio for an 80 kW generator

CONTROL STRATEGIES FOR PV HYBRID POWER SUPPLY, N. Phuangpornpitak, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference

Avantages

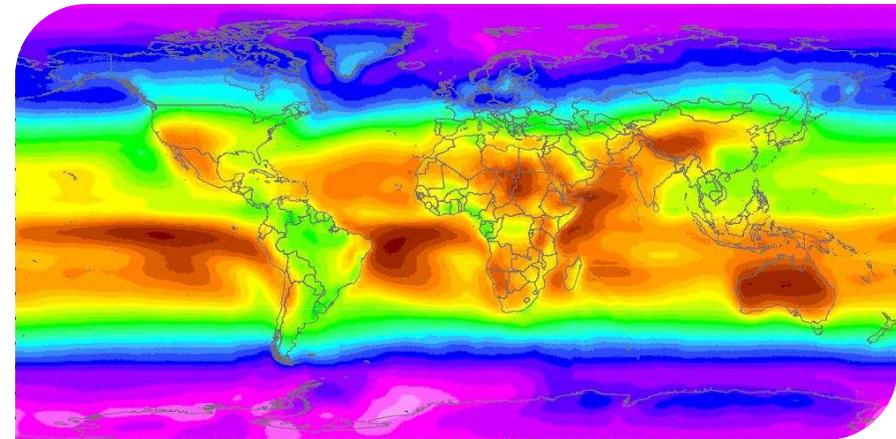
- Peu coûteux à l'investissement
- Complémentaire aux ENR (appoint)

Inconvénients

- Coûteux à long terme (carburant, pertes)
- Polluant et bruyant
- Maintenance complexe
- Approvisionnement en carburant difficile
- Inefficace si $P \ll P_{nom}$

Photovoltaïque

Petites puissances → ~75Wc/foyer en moyenne, mais très variable selon les pays



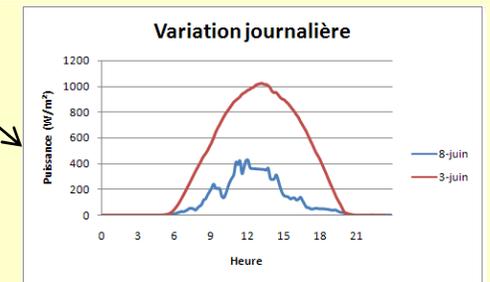
4-6 kWh/m².jour en Afrique

La puissance est proportionnelle à l'éclairement (puissance du soleil)

$E = P \times \text{Rendement système} \times \text{Heures d'éclairement équivalentes à } 1000 \text{ W/m}^2$
 Avec E: énergie produite (Wh)

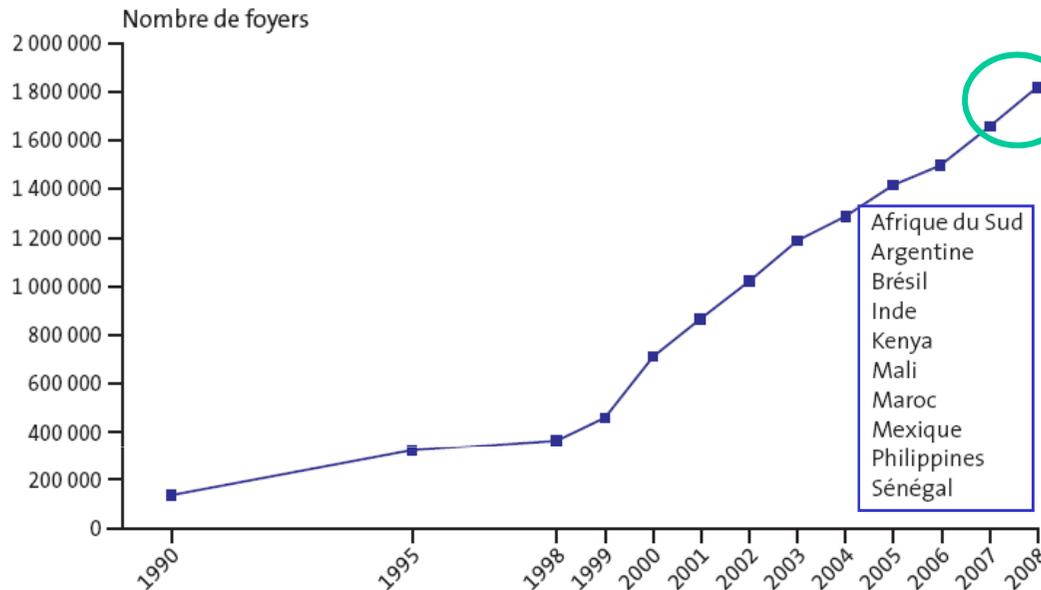
P: puissance photovoltaïque installée (Wc)

Rendement système: rendement de tous les éléments autres que le panneau (~65% si batteries)



Photovoltaïque

Évolution du nombre de foyers équipés de systèmes photovoltaïques dans les dix pays étudiés



Relance du PV pour des application hors réseau (cependant crise en 2009)

Au niveau mondial

- 2008 : on comptabilise 220 MWc non connectés au réseau
- Les systèmes décentralisés pour le pompage de l'eau ou l'électrification rurale constituent 10% du marché PV (WEO 2008)

Avantages

- Ressource solaire abondante dans une grande partie des pays en développement
- Facilité de mise en œuvre (fiable, maintenant faible)
- Modularité (adaptation de la puissance au cours du temps)

Inconvénients

- Coût du kWh élevé ~550-1200 \$/foyer → installations de puissance limitée
- Énergie intermittente
- Durée de vie des batteries

Petit éolien



- Nécessite la **présence de vent** en suffisance (moyenne > 4m/s)
- Il existe des modèles à axe vertical, en général peu adaptés pour l'électrification rurale.

Avantages

- Gamme de puissance plus large que pour le photovoltaïque (500W à quelques dizaines de kW)
- ➔ Possibilités de construction locale pour les systèmes de faible puissance (quelques kW)

Inconvénients

- Nécessité d'une maintenance régulière (pièces en mouvement)
- Saisonnalité

La puissance est proportionnelle au cube de la vitesse du vent.

$$P: P = \eta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 = \eta \cdot \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot S \cdot v) \cdot v^2$$

avec ρ densité de l'air (1,225kg/m³ en condition normales)

S surface balayée par les pales

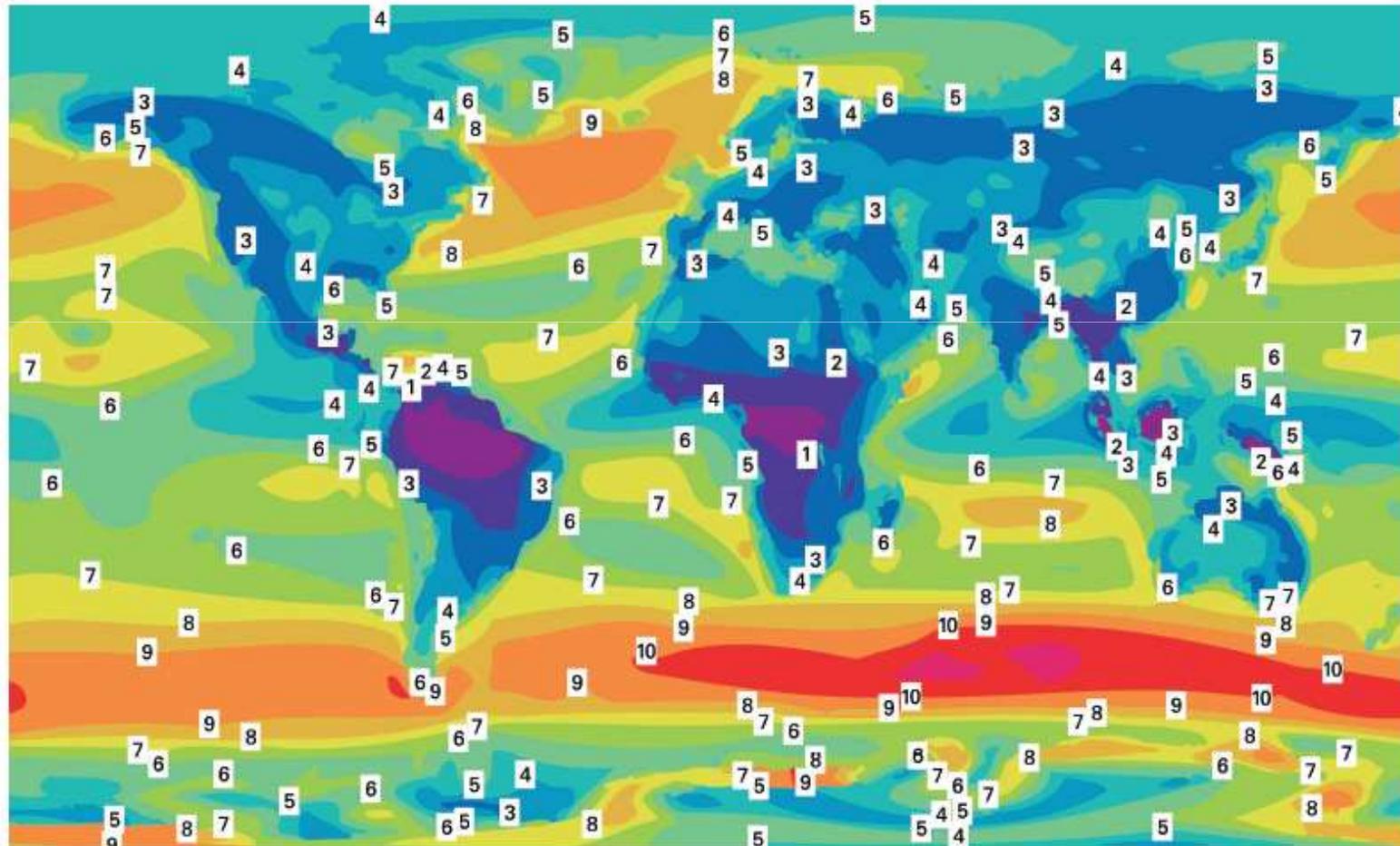
v vitesse du vent

η caractéristique de l'efficacité de l'éolienne

Limite de Betz : $\eta < 16/27$ soit $P < 0,37 \cdot S \cdot v^3$ soit **370W/m² pour v=10m/s**

Petit éolien

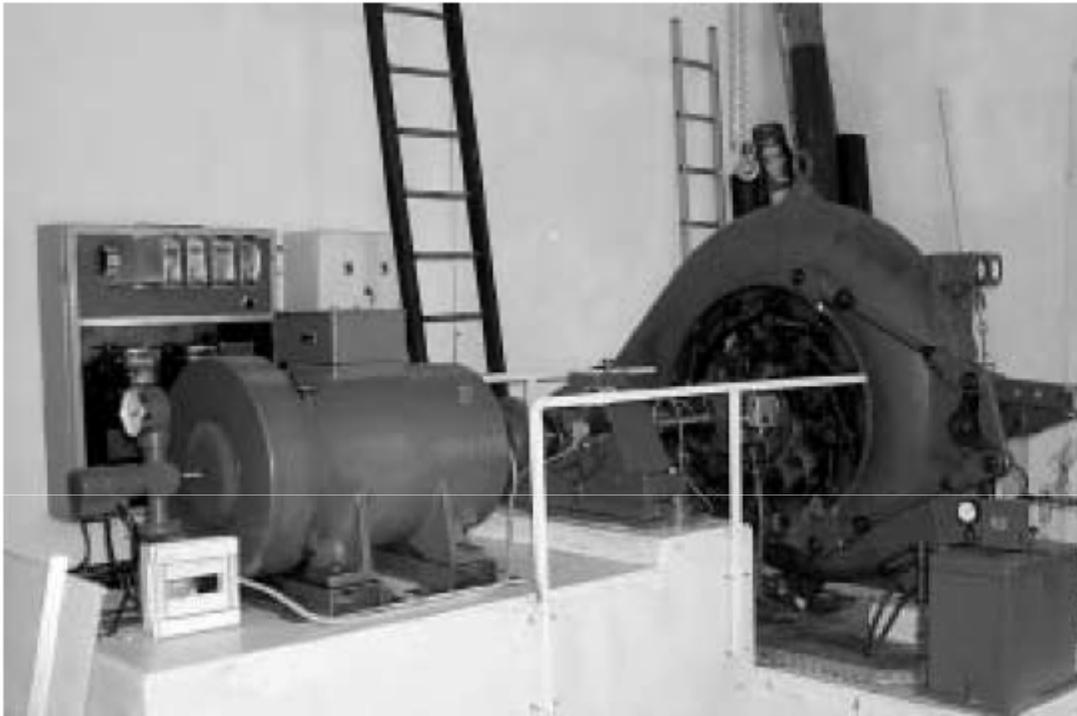
*Carte mondiale des vitesses moyennes annuelles de vent ou des isorythmes**



* en mètre/seconde.

Source : Département énergie éolienne du centre de recherche danois de Riso

Mini hydroélectricité



Turbine Francis (100 kW sous 25 m) et générateur asynchrone (France).

Les pico-turbines

- Très utilisées en Asie (bonne ressource)
- Pas assez utilisées en Amérique du Sud au vu du potentiel

$P = Q * H_n * g * R_g$ avec P puissance en kW
Q débit en m³/s
H_n hauteur de chute nette en mètres
g gravité
R_g rendement global (0,5 à 0,8 pour ces puissances)

Mini hydroélectricité



Microcentrale de 42kW à Madagascar

Avantages

- solution pertinente sur les plans financiers et techniques dès qu'un cours d'eau est à proximité
- Vaste gamme de puissance
→ 0,5 à plus de 300kW
- Très longue durée de vie
→ turbines de 30 ans parfois renouvelées

Désavantages

- Nécessité de disposer d'une ressource suffisante : débit, hauteur de chute
- Saisonnalité
- Installations complexes et très dépendantes des sites : débit, hauteur de chute mais aussi possibilité de crues, ouvrages d'aménée et d'extraction d'eau, etc., ce qui rend nécessaire des études d'ingénierie détaillées
- Conflits possibles au niveau de l'usage de l'eau
- Distance production/utilisation < centaine de mètres

Biomasse

Production d'électricité

- à partir de biogaz ou de biomasse
- assez développée en Inde

Avantages

- Stockable
- Ressource importante

Désavantage

- Problèmes de déforestation

Importance de la biomasse

2,5 milliards de personnes en dépendent pour leurs besoins en énergie (cuisson et chauffage essentiellement)

Bio-waste gasifier



End of 2009 in India

Off-Grid/Distributed Renewable Power (including Captive/CHP Plants)

Biomass Power / Cogen.(non-bagasse) 211 MW

Biomass Gasifier 110 Mweq

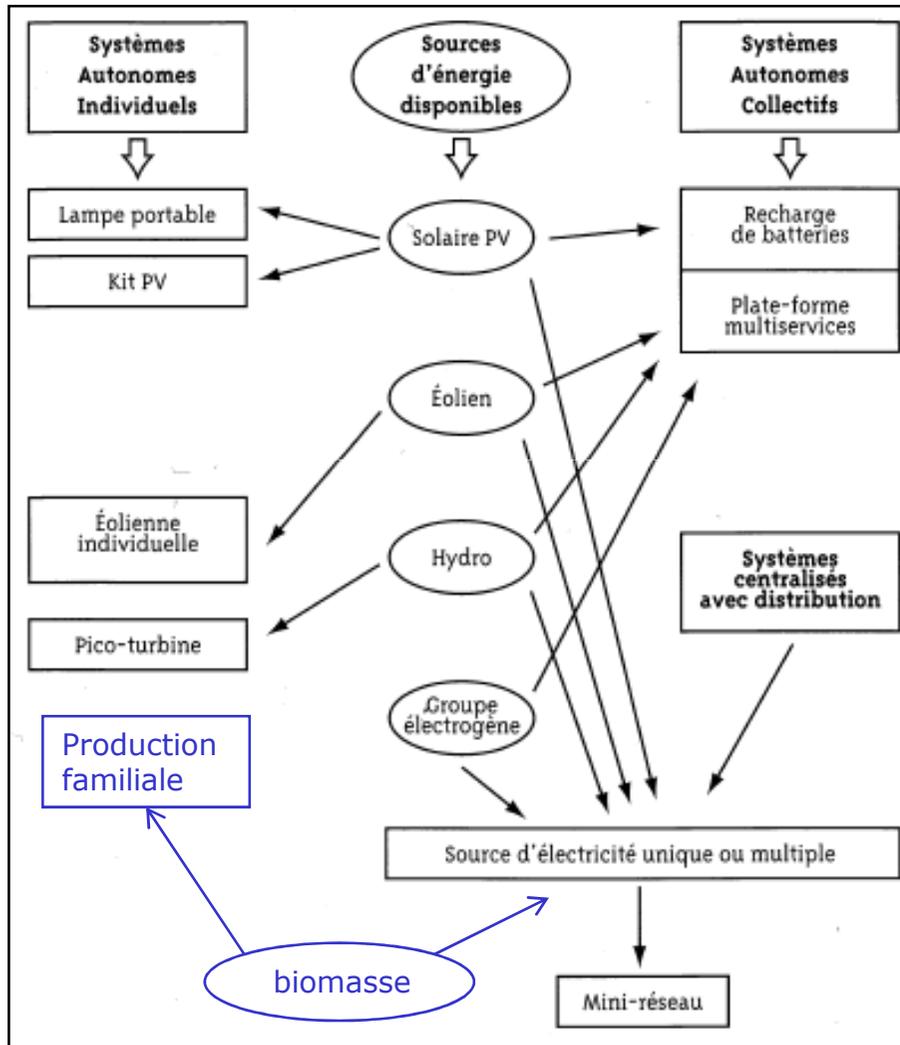
Decentralized Energy Systems

Family Type Biogas Plants 41.68lakh*

*lakh or lac = 10 000

Source: Ministry of New and Renewable Energy of India <http://mnes.nic.in/>

Choix technologiques



Critères de sélection

- Gamme de puissance souhaitée
- Ressource disponible
- Gestion des intermittences
- Impact environnemental
- Difficulté de mise en œuvre, modèle de gestion
- Coût d'investissement et d'opération
- Conflits d'usage

➔ **Choix technique ET adaptation à la population visée**

Energies renouvelables et ERD

Box 15.4 • The prospects for renewables to meet rural household energy needs

Renewable energy supply – mostly hydropower – is expected to grow rapidly in the coming decades in Africa. Yet, introduction of these technologies will require strong government support. *Hydropower* potential in sub-Saharan Africa is estimated to amount to more than 1 800 TWh of technically exploitable resources (Karekezi and Kithyoma, 2008). *Small hydropower* is an important source of energy in rural areas. The Hidraluapasso mini-hydro project in northern Angola, for example, will provide 26 MW at a cost of \$120 million (UNEP, 2008).

Solar energy is perhaps the most widespread renewable energy resource. A very large number of African countries have daily solar radiation ranging between 4 and 6 kWh per square metre. Nonetheless, the cost of an off-grid installation can be prohibitive, ranging from \$550 to \$1 200 per household (Moner-Girona *et al.*, 2006). *Wind energy* is gaining popularity, but many sub-Saharan African countries have low wind speeds, particularly those near the equator. Chad, however, has good wind potential in some parts of the country.

The use of renewable energy in sub-Saharan Africa could help mitigate the impact of high oil prices, especially if renewable energy systems replace diesel generators. But the institutional frameworks and infrastructure needed vigorously to expand renewable energy systems has been lacking. Government policies and programmes to promote renewable energy are needed.

Développement attendu de l'hydraulique en Afrique dans les prochaines décennies

→ Notamment le mini-hydro

Solaire

- 4-6 kWh/m².jour en Afrique
- Coût élevé (550-1200\$/foyer)

Eolien

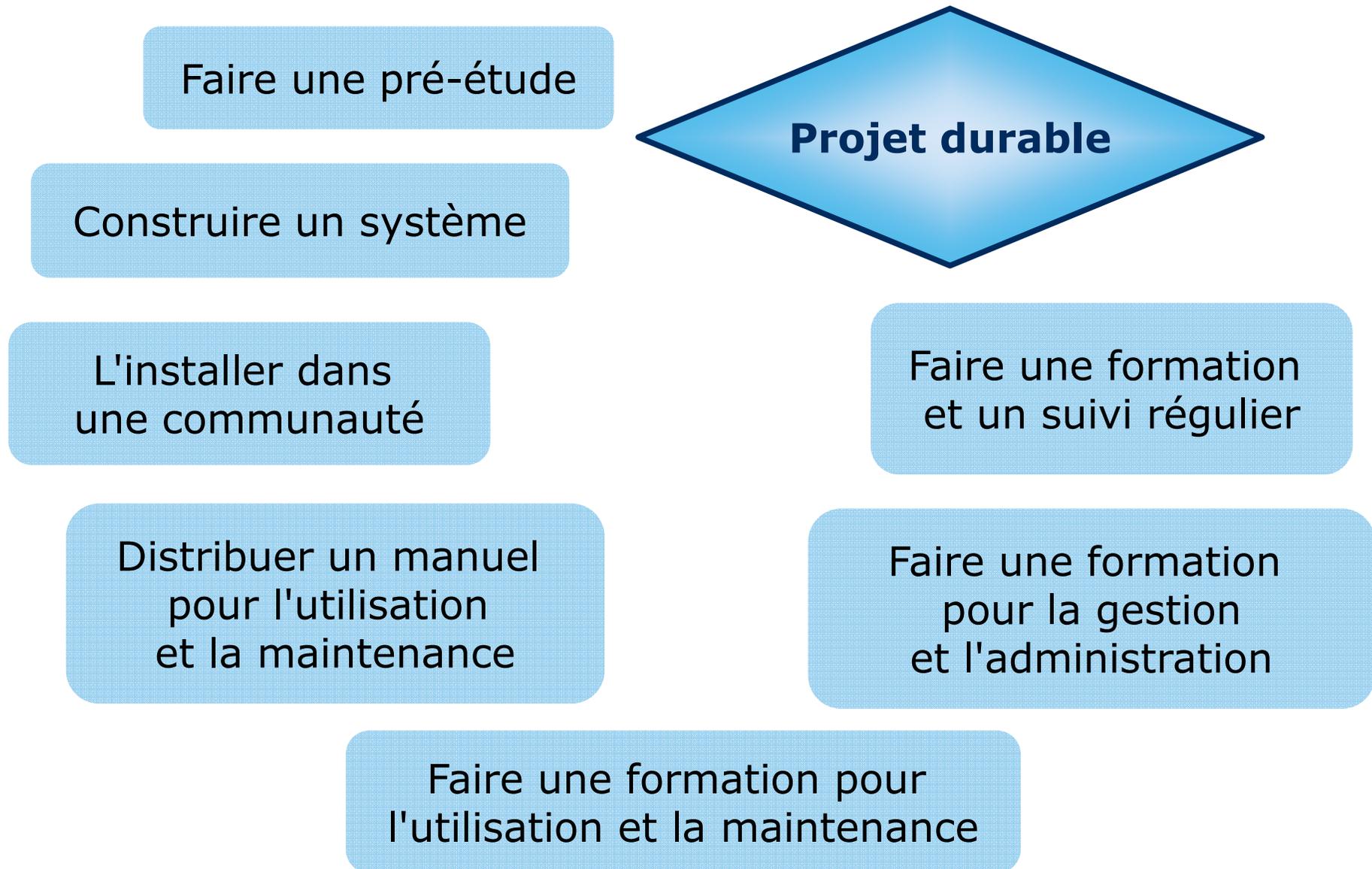
- Populaire
- Manque de ressource à l'équateur

Source: WEO 2008



- Pourquoi l'électrification rurale décentralisée ?
- Les différentes techniques
- **Les clés d'un projet durable**
- Un cas d'étude : blueEnergy

Appropriation du projet (technique et sociale)



Prévoir la maintenance

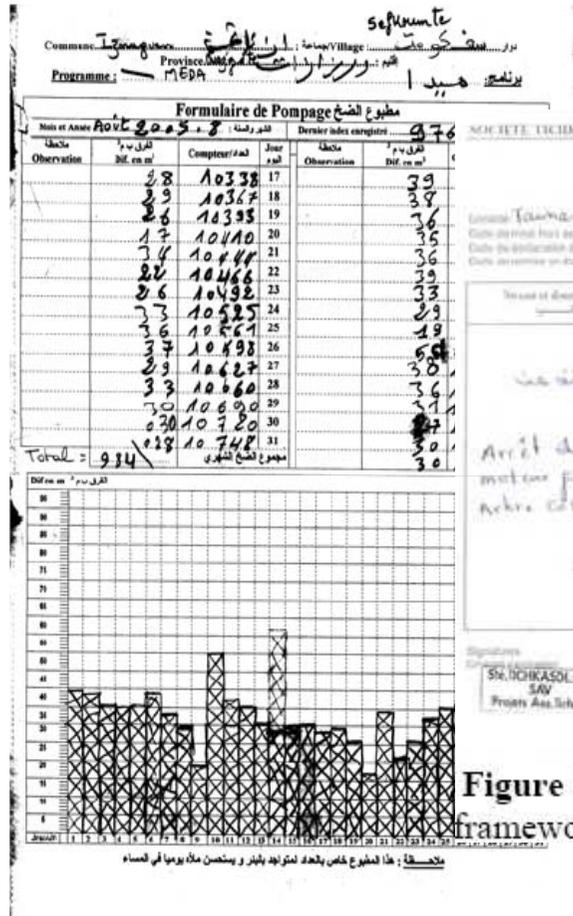


Figure 1: Examples of management documentation of local water committees.



Figure 2: Example of documentation generated in the framework of maintenance actions.

Table I: Summary of number and types of failures after the signing of the maintenance contract

Visit	Corrective action	Date
1	Pump repair	Feb 08
1	Stolen PV modules	Apr 08
1	Deepen the well	Jun 08
1	Water meter cleaning	Jun 08
3	Pump cleaning	Jul-Sep 08
2	Well deepen	08
2	Stolen PV modules	Dec 08
	Well conditioning	
3	Pump repair	Dec 08
	Stolen PV modules	Jan 09
1	Broken PV modules due to wind	Jan 09
1	Pump repair	Mar 09

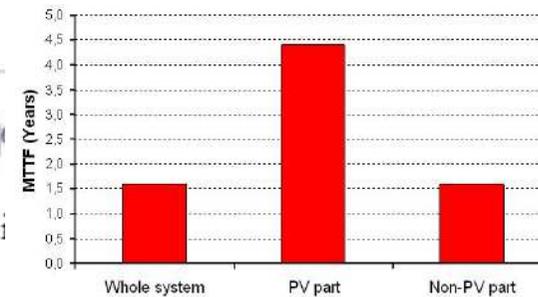


Figure 3: MTTF values of the PV pumps of the programme. It includes the MTTF values corresponding to the photovoltaic part (PV generator, frequency converter and motor-pump) and to the non photovoltaic part (well, water tank and distribution network).

PV PUMPING AND SUSTAINABILITY: A SUCCESSFUL 12-YEARS STORY (Lorenzo)

Assurer la pérennité financière

- **Faire payer au moins une partie de l'énergie ou des services permis par l'énergie**

- Modèle de gestion défini par la communauté et l'opérateur

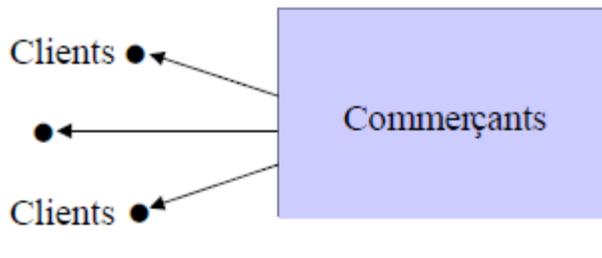
Problèmes :

- Certains services basiques (santé, éducation...) ne devraient-ils pas être gratuits ?
- Proposer un prix qui n'exclue pas les plus pauvres
- Assurer l'investissement : l'amortissement ne peut avoir lieu que dans le long terme

- **Accompagner la création grâce à l'énergie d'activités productives**

Modèles de gestion

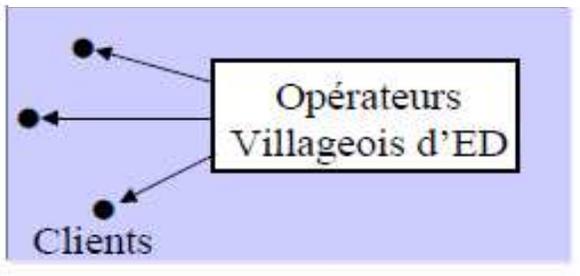
La fourniture d'équipements individuels



De nombreux points à définir, notamment :

- Structure gestionnaire
- Fourniture d'équipement seul / Fourniture de service
- Propriété des systèmes
- Micro-réseaux / Centre de charge de batteries
- Participation des bénéficiaires à l'investissement
- Formation
- Maintenance
- Administration
- Suivi du projet

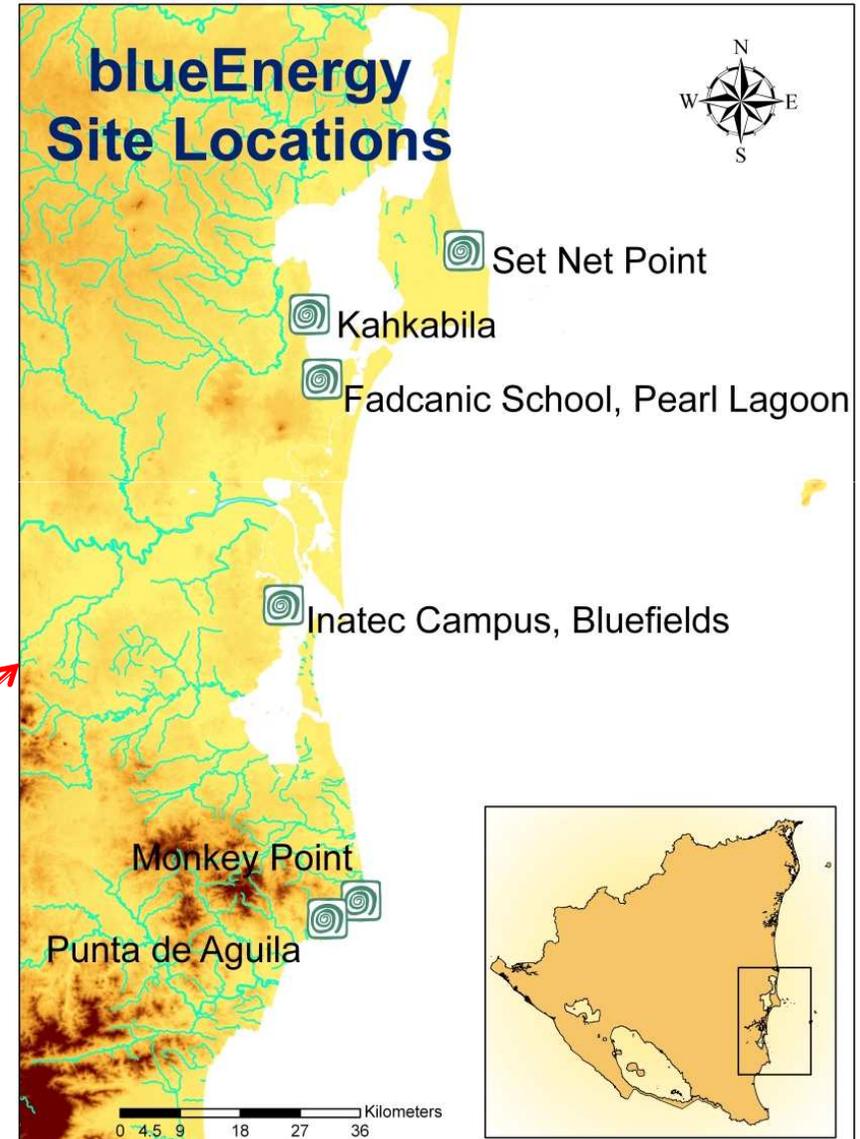
La vente d'électricité ou de services générés par l'électricité





- Pourquoi l'électrification rurale décentralisée ?
- Les différentes techniques
- Les clés d'un projet durable
- **Un cas d'étude : blueEnergy**

Contexte : localisation des projets



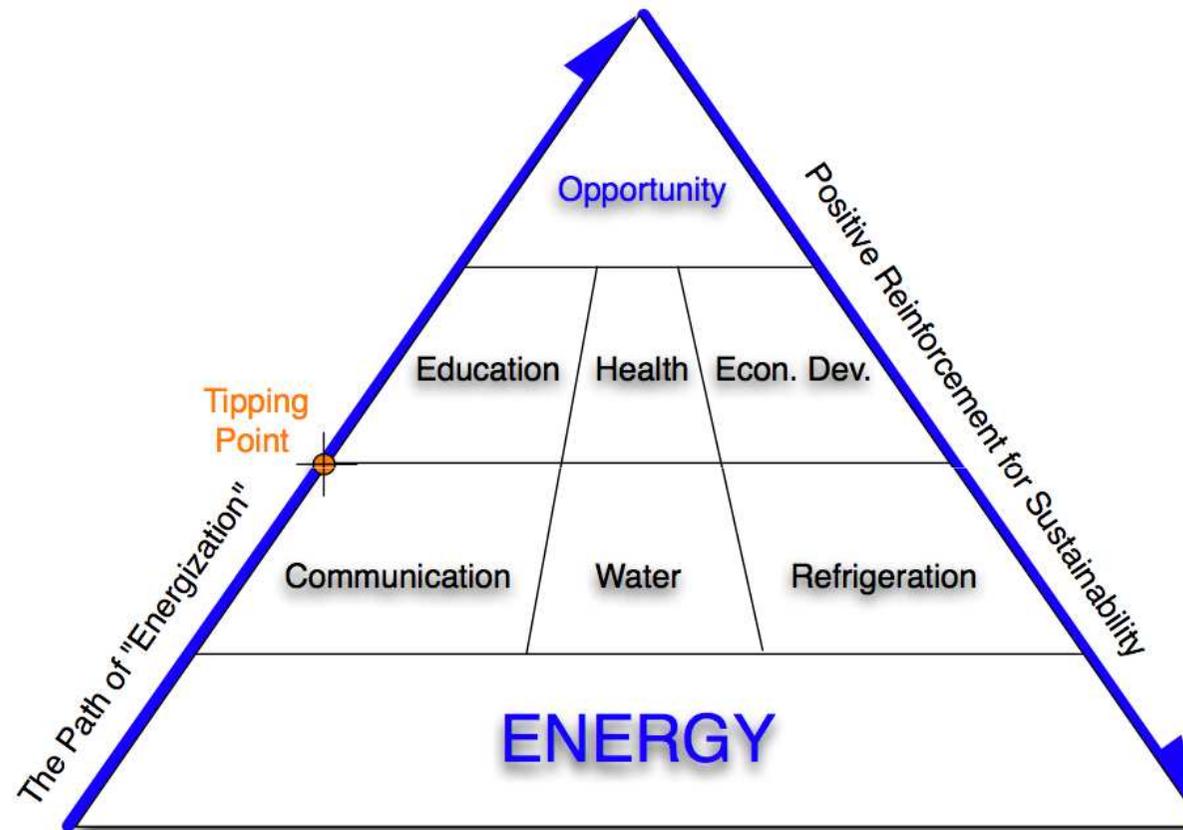
Le contexte

- Nicaragua : pays le plus pauvre d'Amérique Centrale
- Population : 6 millions d'habitants
- Superficie : 130.000 km²
- Histoire : dictature, révolution (1979), guerre civile (1979-1990)
- Taux d'électrification : 61% (de nombreux foyers non électrifiés, coupures d'électricité fréquentes, parfois quotidiennes)
- RAAS :
 - Région isolée : très peu d'infrastructures (absence de routes)
 - Région sous-développée du Nicaragua : très peu d'activités économiques
 - Présence de nombreux groupes ethniques
- Environnement difficile : chaleur, humidité, salinité

Les communautés



La vision de blueEnergy

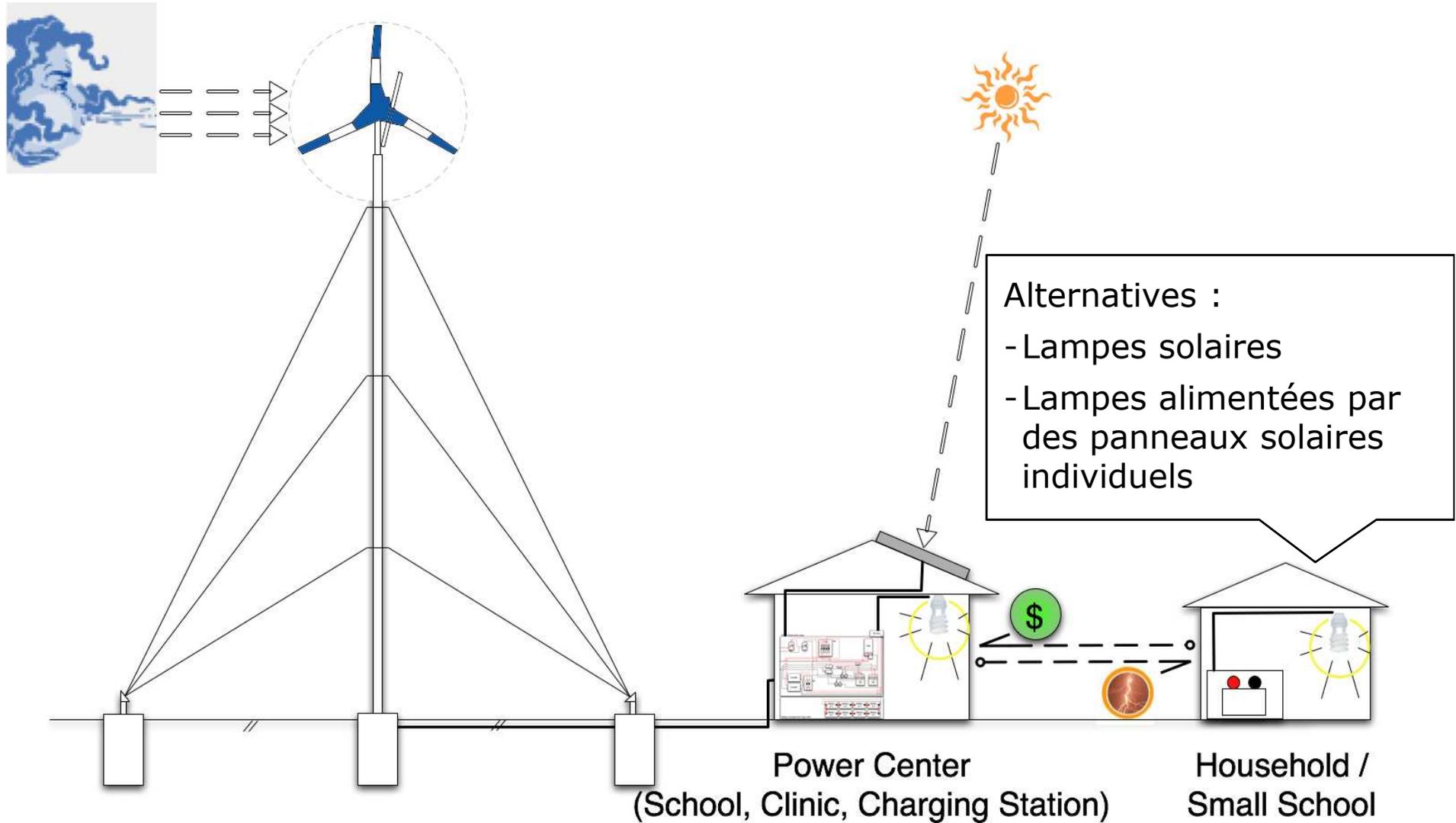


- **Énergie et eau = base de tous les services**
- Énergie produite/eau + Capacité technique + adoption => émergence de services plus développés => viabilité financière du projet à long terme

Une approche globale pour un projet durable

- Développement et implémentation de solutions **techniques adaptées** (eau, électrification rurale : production et efficacité énergétique) **respectant l'environnement**
- **Transfert de technologie** via la **formation** des employés, des bénéficiaires, et cursus national sur les énergies renouvelables
- Définition conjointe des besoins avec les communautés : **diagnostic participatif** puis **accompagnement pour la gestion des systèmes**
- Aide au financement via le **micro-crédit**

Les systèmes énergétiques



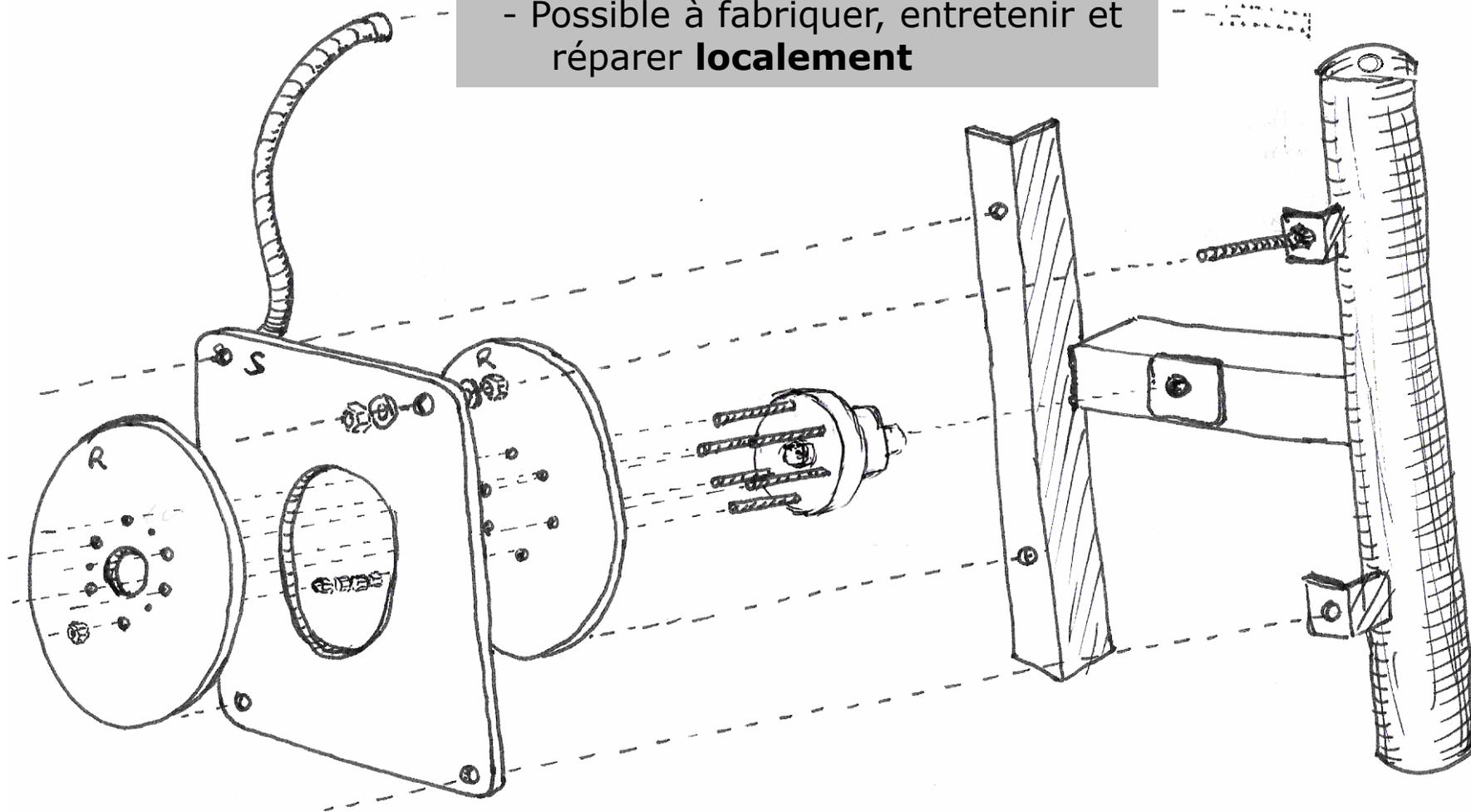
Les systèmes énergétiques : une technologie adaptée

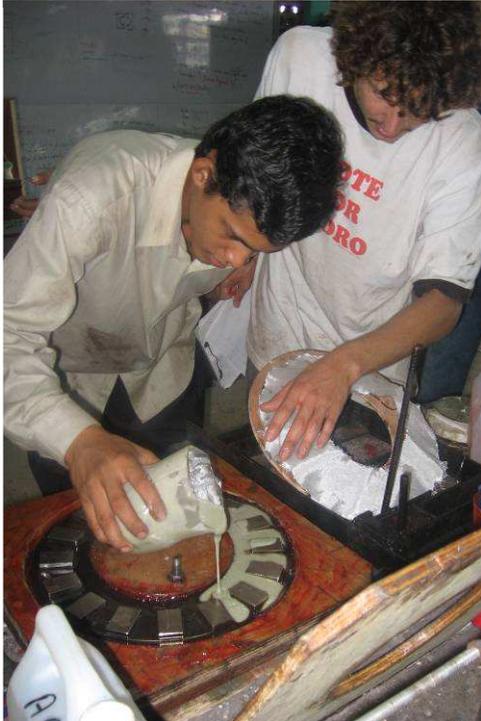


Générateur de l'éolienne

Technologie simple:

- Limite les défaillances
- Possible à fabriquer, entretenir et réparer **localement**



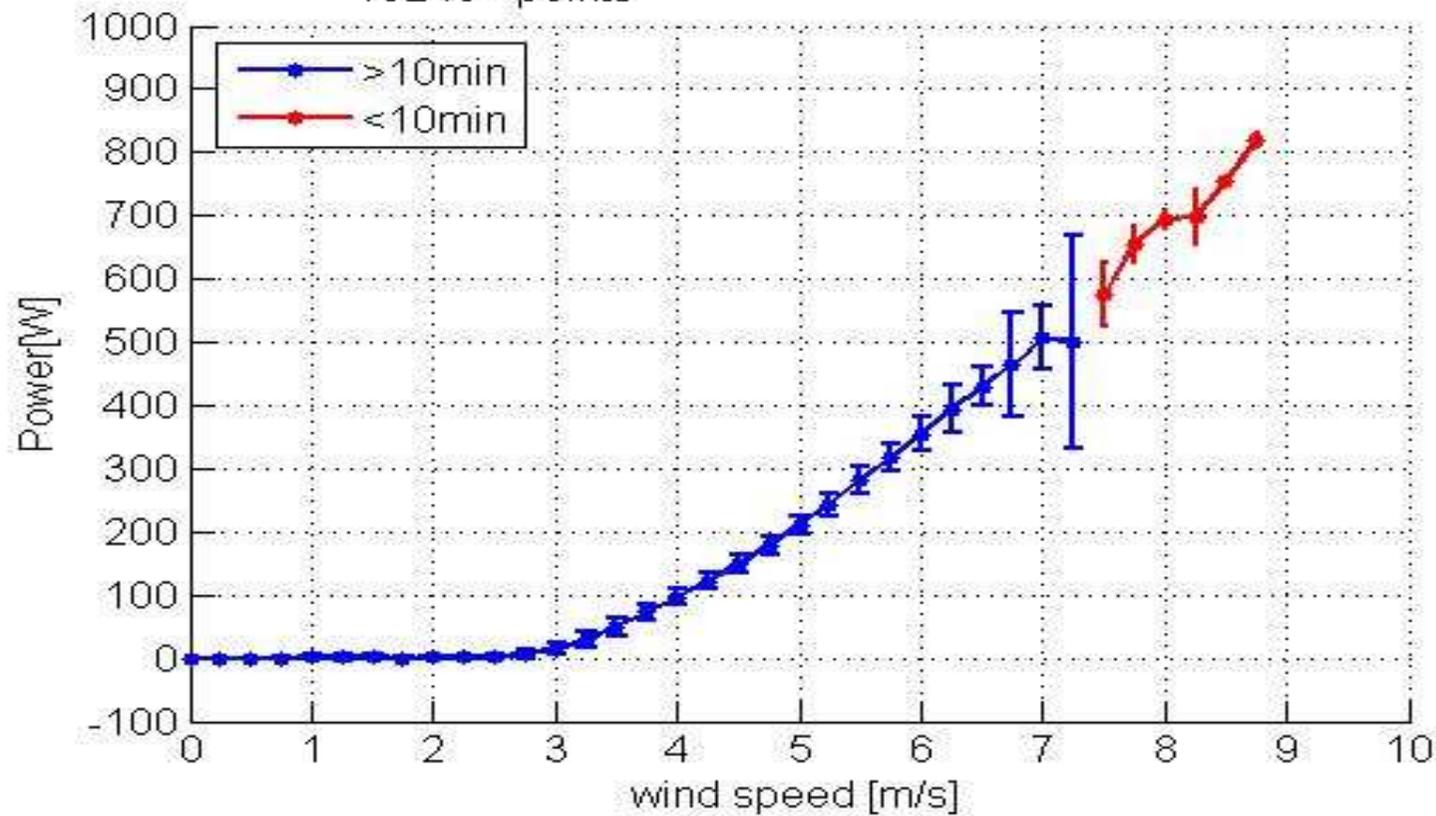


Caractéristiques de l'éolienne

- Tour de 13 à 30m
- Type: haubanées, en treillis ou à bascule
- Type: tripale à axe horizontal
- Diamètre de l'hélice: 3,60m
- Vitesse de démarrage: 2,5m/s
- Vitesse nominale : 12.5m/s
- Puissance nominale: 1kW
- Vitesse de mise en protection: 12 m/s
- Système de protection: gravitaire, permettant à l'éolienne de ne plus être face au vent
- Générateur à aimants permanents
- Tension de sortie: 24Vcc nominal (12 et 48 Vcc également disponible)

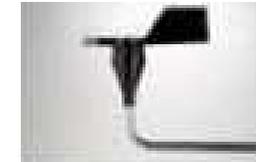
Courbe de puissance

Measured power curve corrected to sea level air density 1.225kg/m^3
 mayoBD4.dat / 09-Jun-2009
 13243 - points

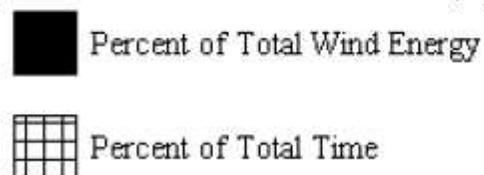
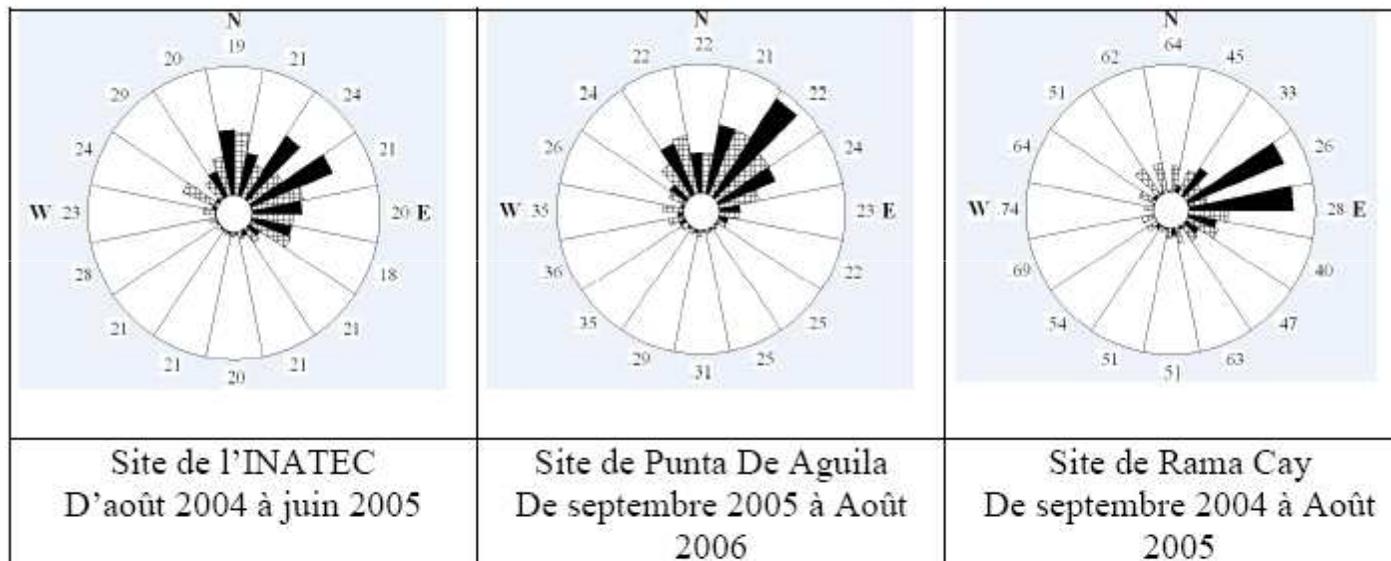


Etudes de vent -> Prévisions

Instruments de mesure



Analyse des résultats

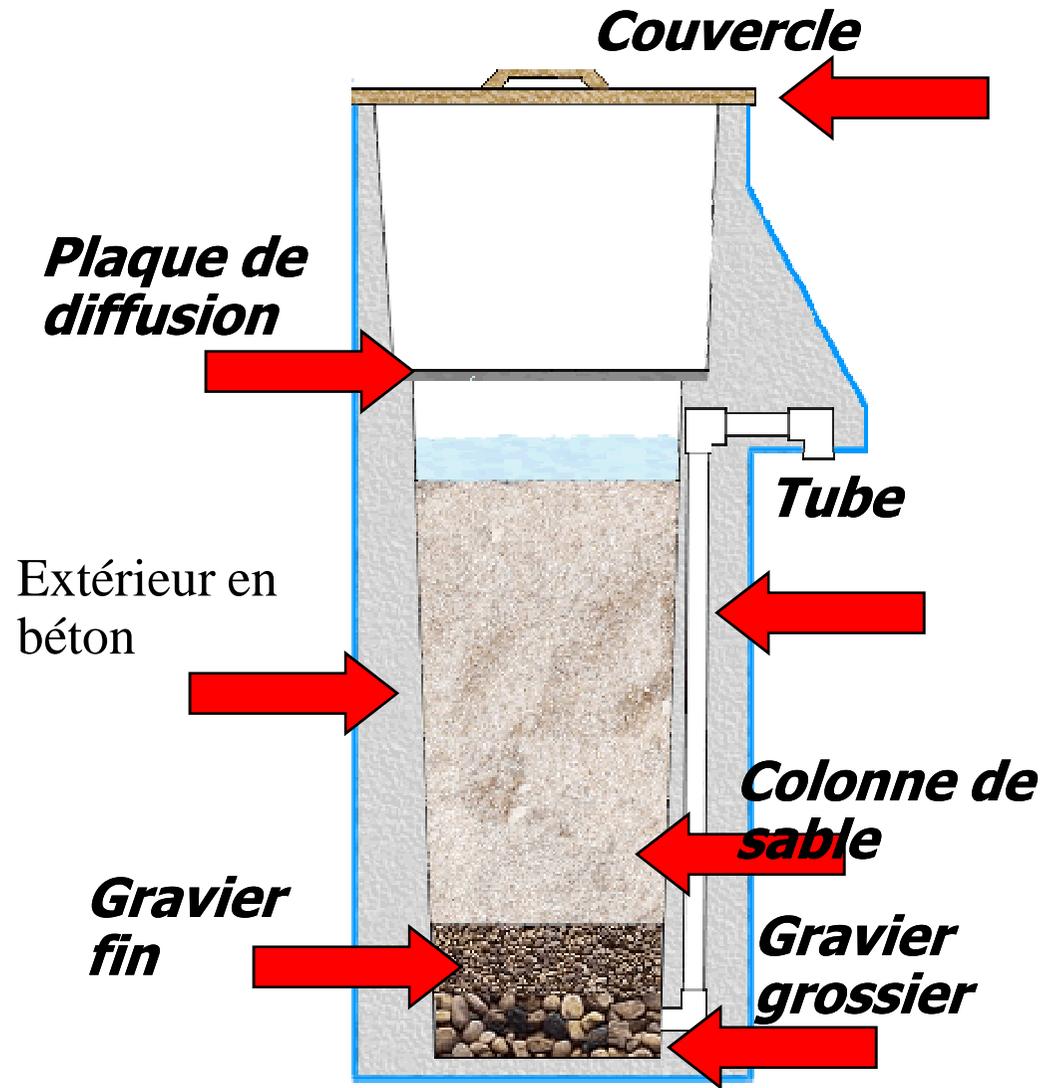


Les nombres à l'extérieur sont la turbulence moyenne calculée pour les vitesses supérieures à 0,5 m/s.

Figure 12 : Roses des vents annuelles des 3 sites de mesure

Extrait du rapport de Claire Gabarrou, 2007

Les filtres pour l'eau potable



Travail avec les communautés



Diagnostic participatif

Objectifs :

- Compréhension du fonctionnement de la communauté
- Définition par les habitants des besoins prioritaires
- Définition conjointement les solutions les plus adaptées : technique, gestion, etc.

Priorités exprimées dans la communauté de Kahkabila

Accompagnement pour la gestion

- Création d'une commission de l'énergie au sein de la communauté
- Définition d'un règlement pour l'utilisation du centre de charge
- Accompagnement pour la mise en place de solutions de micro-crédit

Formation

- Employés et volontaires de blueEnergy
- Bénéficiaires directs dans les communautés
- Coursus de formation en partenariat avec le réseau de lycée techniques INATEC



blueEnergy en quelques chiffres

Une ONG créée en 2003

Moyens

- Un atelier de production d'éoliennes et un centre de formation situé à Bluefields, Nicaragua
- 20 employés locaux
- 22 volontaires au Nicaragua (à Bluefields et Managua)
- des équipes d'appui aux Etats-Unis et en France

Résultats

- 12 communautés desservies
- 2900 bénéficiaires
- 12 kW de puissance installée
- 35 systèmes d'éclairage domestique ajoutés
- 175 éclairages domestiques remplacés
- 253 lampes de poche LED distribués
- 54 filtres à eau installés



Merci pour
votre attention

Pauline CAUMON

pauline.caumon@blueenergygroup.org

Anne-Claire IMPENS

anne-claire.impens@blueenergygroup.org