



PRODUIRE DE L'ELECTRICITE AVEC DU VENT

Introduction

Les éoliennes modernes sont des engins extrêmement évolués qui tirent pleinement parti d'une technologie de pointe. Profitant des derniers perfectionnements en aérodynamisme et en conception des structures, en technologie des matériaux et en génie mécanique, en génie électrique et en technique des asservissements, elles sont capables de générer une puissance électrique de plusieurs mégawatts. Dans les années 1980, les coûts de la puissance installée ont considérablement baissé. Depuis lors, l'énergie éolienne est devenue une option économiquement attractive pour la production d'électricité industrielle. Les grands parcs éoliens ou centrales éoliennes se sont insérés dans le paysage de bon nombre de pays occidentaux.

À un degré moindre, on a assisté en parallèle au développement des petites éoliennes destinées à fournir de l'électricité pour recharger les batteries, pour les applications autonomes et pour les raccorder à de petits réseaux électriques. Le tableau 1 présente le système de classement des éoliennes:



Figure 1 : Les éoliennes gagnent en taille et les parcs éoliens se répandent. Great Orton Windcluster. Photo : Wind Prospect / Parc éolien de Cumbria

Tableau 1: Système de classement des éoliennes

Source : Spera (1994) et Gipe (1999)

Taille	Diamètre du rotor	Puissance nominale
Micro	moins de 3 m	50 W à 2 kW
Petite	3 m à 12 m	2 à 40 kW
Moyenne	12 m à 45 m	40 à 999 kW
Grande	46 m et plus	Plus d'1 MW

Production d'électricité éolienne dans les pays en développement

Contrairement à la tendance constatée dans les pays occidentaux où de grosses éoliennes sont raccordées au réseau d'électricité, la demande de fourniture d'une énergie rurale de proximité enregistrée dans les pays en développement est destinée à alimenter des petites machines dont la puissance ne dépasse pas environ 60 kW. Ces éoliennes sont raccordées à de petits micro-réseaux de proximité et sont couplées à des groupes électrogènes à gazole et/ou à des systèmes solaires photovoltaïques.



Figure 2 : Les petites éoliennes peuvent jouer un rôle important dans les zones rurales des pays en développement. Photo: Practical Action South Asia.

Actuellement, le recours à l'énergie éolienne pour la production d'électricité dans les pays en développement est faible, le principal secteur en croissance étant les toutes petites éoliennes de recharge de batteries (50 à 500 Watts). Autres domaines d'application des petites éoliennes : le pompage de l'eau, l'alimentation électrique des systèmes de télécommunications et l'irrigation.

Transformer le vent en watts

L'énergie électrique provenant du vent est exposée dans la synthèse technique de Practical Action intitulée [L'Énergie éolienne](#). Bien que l'équation énergétique présentée dans cette Synthèse nous donne l'énergie électrique provenant du vent, l'énergie réelle qu'on peut tirer du vent est beaucoup plus faible que ce que ce chiffre laisse entendre. L'énergie réelle dépendra de plusieurs facteurs, comme le type d'engin et de rotor utilisé, ou la complexité de la conception des pales. En réalité, ce chiffre est de l'ordre de 45% (maximum) pour une grosse éolienne et autour de 30% à 40% pour une pompe éolienne (voir plus loin le paragraphe sur le coefficient de performance). Ainsi, en modifiant la formule de l'Énergie électrique provenant du vent', on peut dire que l'énergie électrique produite par l'éolienne s'obtient à l'aide de cette équation :

$$P_M = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

P_M étant la puissance (en Watts) disponible sur l'éolienne

C_p étant le coefficient de performance de l'éolienne

Diverses vitesses du vent importantes doivent être envisagées :

- **Vitesse de démarrage** : vitesse du vent faisant tourner un rotor freins relâchés
- **Vitesse de fourniture** : vitesse du vent à laquelle le rotor commence à produire de l'électricité
- **Vitesse nominale (ou vitesse non perturbée optimale)** : vitesse du vent à laquelle l'éolienne fonctionnera de manière optimale (au rapport de vitesse périphérique optimum).
- **Vitesse critique** : vitesse du vent à laquelle l'éolienne enclenchera le dispositif de protection pour éviter toute détérioration.
- **Vitesse de calcul maximale** : vitesse du vent au-delà de laquelle l'éolienne risque de se détériorer.

Le choix du rotor est largement dicté par la caractéristique de la contrainte subie, et donc de l'utilisation finale. Les éoliennes lentes, comme les modèles à pales multiples, servent à pomper l'eau tandis que les éoliennes rapides servant à produire de l'électricité sont équipées d'un axe horizontal et d'une hélice à deux ou trois pales.

Eoliennes raccordées au réseau d'électricité ou servant à recharger les batteries

Selon les circonstances, la distribution d'électricité à partir d'une éolienne peut se faire de diverses manières.

Les grandes éoliennes sont raccordées au réseau public de distribution. Il peut s'agir du réseau national principal, auquel cas l'électricité peut être vendue à l'entreprise d'électricité en cas de production excédentaire, puis rachetée lorsque le vent est faible, à condition qu'un contrat soit passé entre le producteur et le réseau. L'utilisation du réseau national apporte de la flexibilité au système et élimine la nécessité d'un système d'appoint lorsque le vent faiblit. *Voir la Note Technique intitulée [Grid Connection](#) (Raccordement au réseau).*

Les micro-réseaux distribuent l'électricité sur des secteurs réduits, habituellement sur un village ou une ville. Lorsque le vent est utilisé pour fournir de l'électricité à un réseau de ce genre, on utilise souvent en appoint un système hybride constitué d'un groupe électrogène diesel pour les cas où la vitesse du vent est faible. Autre possibilité : on peut aussi stocker l'électricité, mais il s'agit d'une option coûteuse et peu pratique.

Les systèmes hybrides font appel à un ensemble de deux ou plusieurs sources d'énergie pour fournir de l'électricité par tous les temps. Les dépenses d'infrastructures pour un système de ce genre sont élevées, mais les frais de fonctionnement qui en découlent seront faibles par rapport à un système tournant purement et simplement au gazole.

Dans les secteurs où les habitats sont très dispersés, ou lorsque les frais de raccordement au réseau sont très élevés, la recharge de batteries est une possibilité. Dans les zones rurales, il suffit généralement de quelques dizaines de watts de puissance pour l'éclairage et une radio ou un téléviseur. L'option à privilégier pour ces éoliennes est l'utilisation de postes familiaux (un poste par famille), mais dans certains cas, on pourra également recourir à des stations de recharge de batteries, bien que cela ne soit pas courant. L'utilisation de batteries rechargeables diminue l'inconvénient de l'alimentation par intermittence due aux variations de la vitesse du vent. Les éoliennes à courant continu 12 et 24 Volts sont adaptées à la recharge des batteries, et sont en vente dans le commerce. Les petites turbines (50 - 150 W) sont destinées à être raccordées à un foyer (maison individuelle). Practical Action a mis au point des petites éoliennes à bas coût pour recharger les batteries.

Aérogénérateur

Une éolienne productrice d'électricité ordinaire ou aérogénérateur possède un rotor directement couplé à un groupe électrogène pour produire de l'électricité (en courant alternatif) à 120 / 240 V. Ce courant est ensuite redressé à 12 / 24 V de courant continu destiné à un usage domestique ou à recharger les batteries.

- 1 Turbine & pylône
- 2 Contrôleur de charge
- 3 Régulateur
- 4 Coffrets de fusibles
- 5 Résistance de déchargement
- 6 Batterie
- 7 Onduleur (en option, pour les appareils à courant alternatif)
- 8 Prise électrique

Au moment de concevoir un système à énergie renouvelable, il faudra étudier attentivement la demande énergétique. Les éoliennes à petite échelle conviennent pour alimenter les ampoules basse consommation, les radios, recharger les téléphones portables et regarder occasionnellement la télévision, tandis que les appareils à forte demande énergétique comme les radiateurs électriques, les grille-pain et fers à repasser ne conviendront pas, leur consommation d'énergie étant trop élevée.

La turbine

La production locale à l'aide des modèles existants est plus simple que la mise au point d'une nouvelle machine, mais la conception devra s'adapter aux possibilités de fabrication locale et à la disponibilité de matériaux, ce qui signifie que les turbines à installer dans les pays en développement devront peut-être être différentes des produits fabriqués en grandes séries.

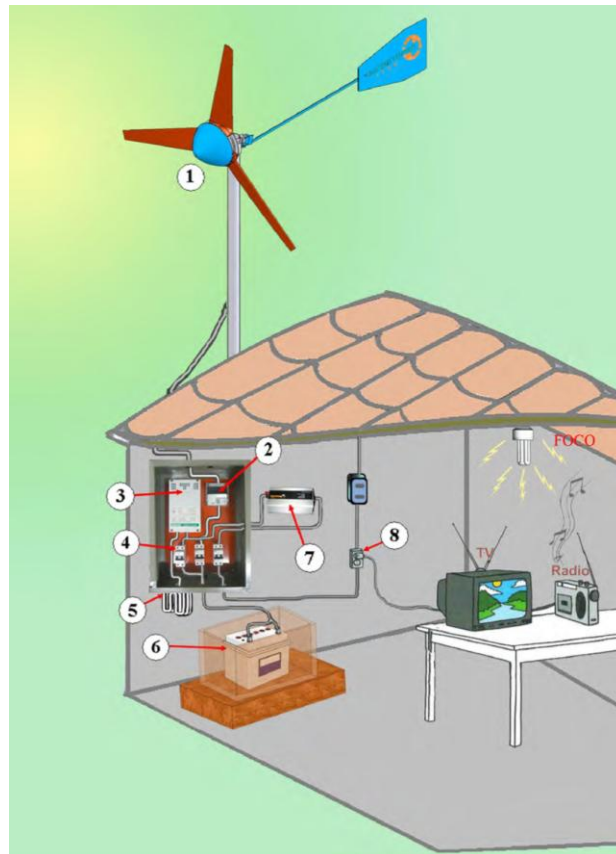


Figure 3 : Eléments constitutifs d'un petit système à énergie éolienne.

Illustration : Soluciones Prácticas.

La production d'éoliennes de petite et moyenne taille à l'échelon local est en général beaucoup moins coûteuse que les éoliennes d'importation. Elle permet également aux fabricants d'apporter des modifications mineures pendant le processus de production, leur permettant d'adapter les systèmes aux utilisations finales qu'ils recherchent et aux conditions dans lesquelles ils comptent les faire fonctionner.

Tandis que la plupart des composants peuvent être fabriqués par de petits ateliers de mécanique, certaines pièces, comme les aimants ou le matériel électrique devront peut-être être importées.

Les pylônes peuvent être fabriqués en acier soudé, de préférence galvanisé, qu'on pourra produire dans une usine de mécanique locale. Les fondations peuvent être réalisées sur place en béton armé.

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques techniques des turbines éoliennes à petite échelle de Practical Action (n'oubliez pas que la conception varie considérablement d'un modèle à l'autre) :

Type	à 2/3 pales, face au vent
Diamètre du rotor	1,7 mètres
Entraînement	Direct
Puissance nominale	100 W
Vitesse de démarrage	3,5 m/s
Vitesse de fourniture	3,5 m/s
Vitesse nominale	8,0 m/s
Vitesse critique	14,0 m/s
Générateur	Alternateur à aimant permanent
Puissance de sortie maxi	200 W

Tableau 2 : Caractéristiques techniques de la turbine d'un petit ensemble à énergie éolienne destiné à recharger les batteries

Pales

Selon la disponibilité des matériaux, les pales peuvent être fabriquées localement en bois stratifié, acier, aluminium, fibre de verre ou en associant ces matériaux.

Les pales en fibre de verre ont recours à un moule qui peut servir à fabriquer de multiples pales.

La photo représente les deux moitiés d'un moule à fibre de verre.

Une fois construite, la pale du rotor passe par un processus d'équilibrage dynamique et statique.

[Wind Rotor Blade Construction](#) (Réalisation des pales du rotor de l'éolienne)

[Fibre glass wind turbine blade: manufacturing guide. Version 1.4](#) (Pale de turbine éolienne en fibre de verre : guide de fabrication. Version 1.4)



Figure 4 : M. W.A. Fernando, de Dinusha Marine Works, à Panadura, fabriquant des pales pour petits systèmes éoliens. Photo : Practical Action South Asia.

L'alternateur

Cet élément de la turbine transforme le mouvement de rotation des pales et de l'axe en énergie électrique.

L'alternateur à aimant permanent (PMG) développé par Practical Action produit un courant alternatif 'triphase' à basse tension, puis le transforme en 'courant continu' (DC) destiné à recharger des batteries 12 Volts.

L'alternateur à aimant permanent est appelé '*alternateur*' parce qu'il produit du courant alternatif (c.a.), sans toutefois produire un courant alternatif à 'tension de secteur' ni une 'alimentation sur secteur'.

Des redresseurs sont raccordés au stator pour produire du courant continu.

La conception de l'alternateur à aimant permanent (PMG) est adaptée à une fabrication en faibles quantités dans les pays en développement. On trouvera des renseignements complémentaires sur la manière de réaliser un alternateur à aimant permanent dans le document *The Permanent Magnet Generator (PMG): A manual for manufacturers and developers (L'alternateur à aimant permanent : Manuel à l'intention des fabricants et développeurs)*.

[The Permanent Magnet Generator \(PMG\)](#) (Les petits systèmes à énergie éolienne destinés à recharger les batteries (Manuel de l'alternateur à aimant permanent).

NB : gros fichier de 930 Ko

Gouvernail

Une éolienne est souvent équipée d'un gouvernail qui maintient le rotor au vent. La plupart des éoliennes à petite échelle possèdent un gouvernail conçu pour le déclenchement automatique du dispositif de protection à vitesse critique, faisant pivoter les pales en-dehors du vent sur son roulement de lacet lorsque le vent souffle à grande vitesse (plus de 15m/s) afin d'éviter toute détérioration de la turbine. Plusieurs mécanismes peuvent être utilisés en fonction de la gravité ou des ressorts destinés à contrer la force du vent.

Les grandes machines sont équipées de pales à pas variable : on peut alors régler l'angle auquel les pales attaquent le vent. Ce dispositif a la même fonction.

Le pylône

Le pylône présente une faible solidité (il est mince) pour minimiser les interférences du vent. Les pylônes sont souvent haubanés pour accroître leur maintien. Dans le cas des petits pylônes, les câbles des haubans peuvent être ancrés à l'aide d'un morceau d'échafaudage ou d'un tube enfoncé dans le sol.

Système auxiliaire

Contrôleur / régulateur de charge

Le contrôleur de charge a pour fonction de prévenir la détérioration des batteries. Si les batteries sont en pleine charge, le courant de charge sera détourné. Le contrôleur détourne alors la charge excessive vers la charge de lissage. Des types de batteries différents nécessitent des types ou des paramétrages de contrôleurs de charge différents.



Figure 5 : Fabrication d'un générateur à aimant permanent au Sri Lanka.
Photo : Practical Action Asie du Sud.

note technique

Coffrets de fusibles & coupe-circuits

Pour protéger les appareils des courants à haute intensité, il faudra installer à l'intérieur du système des fusibles ou des coupe-circuits. Ces dispositifs de sécurité sont importants pour tous les systèmes électriques.

Résistance tampon

Dans les systèmes les plus simples, la charge de lissage est consommée en dirigeant le courant excédentaire vers un jeu d'ampoules ou vers un élément chauffant capable de chauffer l'air ou un réservoir d'eau.

Onduleur

L'onduleur s'utilise si les appareils sont conçus pour le courant alternatif.

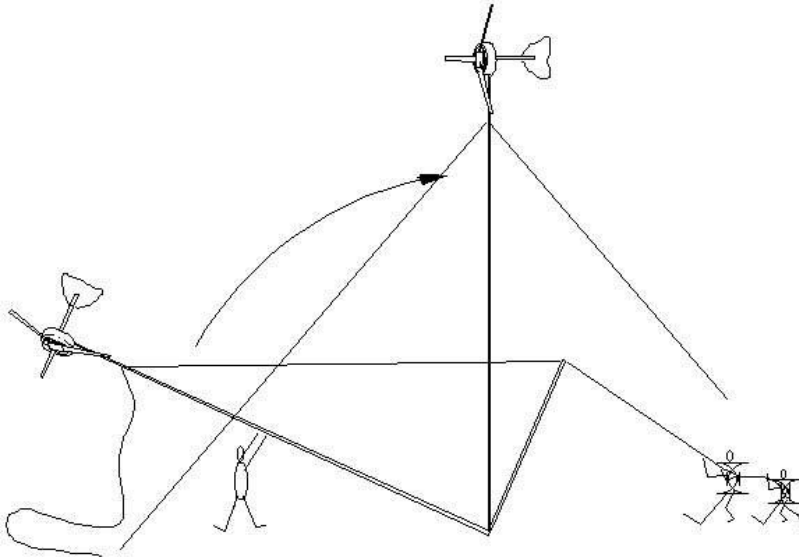
Batterie

Il existe bel et bien des batteries à charge profonde spécialement conçues pour les systèmes à énergies renouvelables. Toutefois, elles sont coûteuses et disponibles uniquement en certains endroits. C'est la raison pour laquelle on utilise souvent des batteries de voiture à la place. Une batterie peut se détériorer si on la décharge trop fortement ; c'est pourquoi un sectionneur basse tension est souvent utilisé pour la protéger.

On trouvera des renseignements complémentaires sur l'utilisation et l'entretien des batteries dans la Note Technique Practical Action intitulée [Batteries](#) (Batteries)

Installation

Les turbines éoliennes peuvent être installées sans équipements de levage lourds. Le pylône pivote sur sa base pour pouvoir être hissé à l'aide d'une perche de levage.



Une autorisation d'aménagement pourra être nécessaire en certains endroits, et il faudra tenir compte des éventuelles restrictions juridiques.

Préoccupations environnementales

L'énergie éolienne est une source d'énergie renouvelable propre. Il faut toutefois avoir à l'esprit certaines considérations environnementales en aménageant un projet éolien. Citons :

- **les interférences électromagnétiques.** Certaines bandes de fréquences télévisuelles sont sensibles aux interférences provenant des alternateurs d'éoliennes.
- **le bruit.** Les rotors, boîtes d'engrenages et alternateurs d'éoliennes génèrent un bruit

acoustique lorsqu'ils fonctionnent, dont il faut tenir compte au moment de choisir un emplacement pour l'engin.

- **L'impact visuel.** Les éoliennes modernes sont des engins de grandes dimensions ; elles ont donc un impact visuel important sur ce qui les entoure. Certains affirment que cet impact visuel est positif, d'autres prétendent le contraire.

Coût / économie

Le coût de la production d'électricité d'origine éolienne est fonction du régime des vents local. Comme indiqué précédemment, la puissance délivrée par l'éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent, ce qui fait qu'une légère augmentation de la vitesse du vent se traduira par une forte augmentation de la puissance et aura pour conséquence une diminution des coûts unitaires. Les dépenses d'infrastructures dans l'électricité d'origine éolienne sont élevées, mais les frais de fonctionnement sont faibles, et donc l'accès à l'apport initial, aux subventions ou aux emprunts à faible taux d'intérêt constitue un avantage évident lorsqu'on envisage d'installer un système de production d'électricité d'origine éolienne. Si l'on met en place un système hybride, il faudra impérativement procéder à une analyse coûts-avantages approfondie. Une étude comparative poussée des options de charge et d'approvisionnement en énergie devra être réalisée pour maximiser l'utilisation de l'énergie du vent (une charge qui admet un niveau d'entrée variable convient à merveille pour la nature intermittente de l'énergie éolienne.)

Références et ressources

[Energie éolienne](#) Note Technique

Cette Synthèse Technique donne un aperçu de la manière de passer à l'énergie éolienne. L'électricité d'origine éolienne peut jouer un rôle utile dans les pompes d'approvisionnement en eau et d'irrigation, ainsi que dans les groupes électrogènes.

[L'énergie pour les Communautés Rurales](#) Note Technique

Presque un tiers de la population mondiale n'est pas raccordé à un réseau d'électricité. Les ménages peuvent recourir à des systèmes à énergies renouvelables pour fournir de l'électricité.

[Grid Connection \(Raccordement au réseau\)](#) Note Technique

Le potentiel de raccordement au réseau et ses solutions alternatives pour fournir de l'électricité dans les zones rurales : tout cela est étudié dans cette Synthèse Technique.

[Batteries](#) (Batteries) Note Technique

Il existe une gamme étendue de batteries disponibles. Cette Synthèse Technique présente les arguments pour et les arguments contre les différents types de batteries.

Small Wind Systems for Rural Energy Services (Petits systèmes éoliens destinés aux services ruraux d'approvisionnement en énergie)

S Khennas, S Dunnett & H Piggott : Practical Action Publishing, 2003, ISBN 1 85339 5552

Windpower Workshop : Building your own wind turbine (Groupe de travail sur l'électricité d'origine éolienne : pour réaliser votre propre éolienne.)

Hugh Piggott : Centre for Alternative Technology (Centre des Alternatives Technologiques), 1997

[The Permanent Magnet Generator \(PMG\)](#) (Les petits systèmes à énergie éolienne destinés à recharger les batteries (Manuel de l'alternateur à aimant permanent).

NB : gros fichier de 930 Ko

[Wind Rotor Blade Construction](#) (Réalisation des pales du rotor de l'éolienne)

[Fibre glass wind turbine blade: manufacturing guide. Version 1.4](#) (Pale de turbine éolienne en fibre de verre : guide de fabrication. Version 1.4)

Technologie des éoliennes : concepts fondamentaux de l'ingénierie des éoliennes.

David, A. Spera: ASME Press, 1994

Eléments d'énergie éolienne : présentation des petits systèmes et microsystèmes éoliens.
Paul Gipe, Chelsea Green Publishing Company, 1999

Microaerogeneradores de 100 y 500 W : Modelos IT-PE 100 y SP-500

<http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/Microaerogeneradores%20de%20100%20y%20500%20W.pdf>

Microaerogenerador IT-PE-100 para la electrificación rural

<http://www.solucionespracticas.org.pe/publicaciones/pdf/Microaerogenerador%20IT%20PE%20100%20para%20electrificacion%20rural.pdf>

Vidéo : *L'Energie Renouvelable au Sri Lanka* 2 mn 15 s [modem 565k](#) | [en transmission à large bande 1,6 Mo](#)

Adresses utiles

Enterprise Works

1828 L Street, NW, Suite 1000
Washington DC 20036
USA

Tél.: +1 202 293 4600

Fax : +1 202 293 4598

E-mail : espositor@enterpriseworks.org

Site web : <http://www.enterpriseworks.org>

Enterprise Works était représenté officiellement par Appropriate Technology International (ATI) et a été lancé dans le cadre de la réponse de l'Etat Fédéral américain à Schumacher. Ils ont engagé des projets éoliens en Afrique de l'Ouest.

Humanity First

22 Deer Park.

London.

SW19 3TL

Royaume-Uni

Tél.: +44 (0)20 84170082

Fax : +44 (0)20 84170110

E-mail : info@humanityfirst.org.uk

Site web : <http://www.humanityfirst.org.uk/>

Intervient en Afrique de l'Ouest, en Gambie, au Sierra Leone à la fourniture d'éoliennes à des collectivités éloignées.

CAT (Centre for Alternative Technology)

(Centre des Alternatives Technologiques)

Llwyngwern Quarry

Machynlleth, Powys SY20 9QZ.

Royaume-Uni

Tél.: +44 (0) 1654 702409

Fax : +44 (0) 1654 702782

E-mail : info@cat.org.uk

Site web : <http://www.cat.org.uk>

M. Hugh Piggott

Scoraig

Dundonnell

IV23 2RE

Royaume-Uni

Tél.: +44 (0)1854 633 286

Fax : +44 (0)1854 633 233

E-mail : hugh@scoraigwind.co.uk

Site web : <http://www.scoraigwind.com/>

Conseil en énergie éolienne à petite échelle. Il a travaillé chez CAT, Practical Action & Enterprise Works.

Adresses de sites Internet

Magazine Home Power

<http://www.homepower.com/>

Wind Prospect Ltd.

<http://www.windprospect.com/>

Créateur de parcs éoliens dont le siège est au Royaume-Uni.

Energy Source Guide (Guides sur les sources d'énergie)

<http://energy.sourceguides.com/>

Fournisseurs des acteurs des énergies renouvelables : solaire thermique et photovoltaïque, hydraulique, marémotrice, etc.

Fieldlines

<http://www.fieldlines.com/section/wind>

Site de discussion sur le bricolage et les énergies renouvelables

African WindPower (L'énergie éolienne en Afrique)

<http://www.power.co.zw/windpower/>

Centre for Renewable Energy and Sustainable Technology (Centre d'études sur les Énergies Renouvelables et la Technologie Durable)

<http://www.solstice.crest.org>

Institute for Global Communications. (Institut de Communications Planétaires)

<http://www.igc.apc.org/energy/wind.html>

Bonne source de liens sur l'énergie éolienne

Practical Action
Schumacher Center for Technology and Development
(Centre Schumacher pour la Technologie et le Développement)
Bourton-on-Dunsmore
Rugby, Warwickshire, CV23 9QZ
Royaume-Uni
Tél.: +44 (0)1926 634400
Fax : +44 (0)1926 634401
E-mail : inforsev@practicalaction.org.uk
Site web : <http://practicalaction.org/practicalanswers/>

Practical Action est une organisation caritative différente axée sur le développement. Nous savons que les idées les plus simples peuvent transformer en profondeur la vie des gens du monde entier. Cela fait plus de 40 ans que nous travaillons au plus près des plus pauvres du monde, en utilisant une technologie simple pour lutter contre la pauvreté et transformer leur vie pour le meilleur. Nous intervenons dans 15 pays d'Afrique, d'Asie du Sud et d'Amérique Latine.

note technique