

**évaluation  
des énergies renouvelables  
pour les pays  
en développement**

REPUBLIQUE FRANÇAISE

**MINISTÈRE  
DE LA COOPERATION**

**COMMISSARIAT  
A L'ENERGIE SOLAIRE  
(COMES)**

Collection « Technologies et Développement »

# **ÉVALUATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES POUR LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT**

2<sup>e</sup> édition.



1980



**sema**

*société de conseil, d'études et d'ingénierie*  
informatique, marketing, organisation, formation



*L'étude sur l' « Evaluation des énergies nouvelles pour le développement des Etats africains » avait été réalisée en 1976-1977 par Jacques GIRI et Bernard MEUNIER de SEMA pour le compte du ministère de la Coopération (\*) (1<sup>re</sup> édition 1978).*

*Le présent ouvrage, qui actualise et complète cette étude, a été réalisé par les auteurs de la première étude et par Yves LAMBERT du COMES, pour le compte du Commissariat à l'Energie solaire (COMES) (\*\*).*

*Les auteurs remercient vivement toutes les personnes tant en France qu'à l'étranger qui les ont aidés à réaliser cet ouvrage grâce à leurs informations et à leurs conseils. Ils remercient tout particulièrement les personnes du COMES et du ministère de la Coopération, qui ont apporté leur appui à la mise au point de ce document.*



\* Ministère de la Coopération, 20, rue Monsieur, 75700 Paris.

\*\* COMES, 208, rue Raymond-Losserand, 75014 Paris. Téléx : COMES 203 712 F.

## AVANT-PROPOS

Cet ouvrage, principalement destiné aux responsables et techniciens des pays en développement, peut aussi aider de nombreux autres lecteurs : industriels, organismes de financement, organismes internationaux, étudiants, etc., à :

- mieux connaître le contenu des technologies regroupées sous le terme d'énergies renouvelables;
- évaluer objectivement leur intérêt de multiples points de vue (technique, économique, financier, social, etc.);
- déterminer la place concrète qu'elles peuvent prendre dans les différents pays en développement.

On a cherché dans cet ouvrage à analyser les besoins énergétiques prioritaires des pays en développement, pour s'interroger sur les possibilités *concrètes* qu'offrent ces énergies renouvelables pour la satisfaction des besoins énergétiques identifiés comme importants. La hausse considérable du prix des énergies importées a naturellement renforcé très largement l'intérêt d'une telle recherche.

Cet ouvrage a été décomposé, pour la clarté de l'exposé, en quatre parties :

- La première partie : après une courte présentation des différentes formes d'énergie, évalue les ressources considérables associées à ces différentes énergies renouvelables;
- La seconde partie : présente les principales filières de conversion des énergies renouvelables.

Cette seconde partie, très complète, mais un peu technique, devrait, dans toute la mesure du possible, être lue, afin d'avoir une bonne compréhension des filières techniques envisageables et de leur évolution possible à long terme;

- La troisième partie : évalue la contribution possible des énergies renouvelables à la satisfaction des différents besoins énergétiques des pays en voie de développement.

Cette troisième partie a pour objectif de préciser dans quelle mesure les énergies renouvelables peuvent répondre aujourd'hui, ou à moyen terme, aux besoins énergétiques prioritaires des pays en voie de développement, tout particulièrement en milieu rural;

- La dernière partie, enfin, s'efforce de dégager des conclusions et une stratégie pour promouvoir ces énergies renouvelables.

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

# SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS .....	7
PRINCIPALES CONCLUSIONS .....	13
I — DISPONIBILITÉ DES ÉNERGIES RENOUVELABLES .....	17
CHAPITRE 1 — <i>Principales formes d'énergie - Transformation de l'énergie</i> .....	19
CHAPITRE 2 — <i>Ressources en énergies renouvelables</i> .....	28
A - Gisement solaire .....	28
B - Photosynthèse ou énergie verte .....	36
C - Gisement éolien .....	49
D - Gisement hydraulique .....	56
II — PRINCIPALES FILIÈRES DE CONVERSION .....	57
A — <i>Conversion directe de l'énergie solaire</i> .....	57
CHAPITRE 3 — Capteurs thermiques plans et à concentration .....	59
CHAPITRE 4 — Conversion thermodynamique faible puissance .....	76
CHAPITRE 5 — Conversion thermodynamique moyenne puissance ..	83
CHAPITRE 6 — Conversion photovoltaïque .....	88
B — <i>Conversion de la biomasse en énergie : énergie verte</i> .....	99
CHAPITRE 7 — Pyrolyse et gazéification .....	101
CHAPITRE 8 — Méthanol .....	112
CHAPITRE 9 — Fermentation méthanique .....	118
CHAPITRE 10 — Ethanol .....	138

C — <i>Autres filières</i> .....	153
CHAPITRE 11 — L'énergie éolienne .....	155
CHAPITRE 12 — L'énergie hydraulique .....	167
CHAPITRE 13 — Les énergies de la mer .....	177
CHAPITRE 14 — L'énergie géothermique .....	189
D — <i>Stockage de l'énergie</i> .....	197
CHAPITRE 15 — Stockage de l'énergie .....	199
III — EVALUATION DES ÉNERGIES RENOUVABLES POUR LA SATISFACTION DES DIFFÉRENTS BESOINS ÉNERGÉTIQUES DES PAYS EN VOIE DE DÉVELOP- PEMENT .....	203
Introduction .....	205
A — <i>Satisfaction des besoins énergétiques domestiques</i> .....	207
CHAPITRE 16 — La cuisine .....	209
CHAPITRE 17 — Chauffe-eau solaire .....	220
CHAPITRE 18 — Séchage solaire .....	224
CHAPITRE 19 — Distillation et dessalement de l'eau .....	229
CHAPITRE 20 — Éclairage en milieu rural .....	240
CHAPITRE 21 — Climatisation et réfrigération .....	245
CHAPITRE 22 — Transport .....	252
CHAPITRE 23 — Artisanat et traitement des produits agricoles .....	253
CHAPITRE 24 — Evaluation comparative des technologies .....	257
B — <i>Satisfaction des besoins énergétiques liés à des équipements isolés</i> ..	261
CHAPITRE 25 — Télécommunications, signalisation : alimentation élec- trique en site isolé .....	261
CHAPITRE 26 — Hydraulique villageoise .....	288
CHAPITRE 27 — Hydraulique pastorale .....	303
CHAPITRE 28 — L'irrigation .....	312
C — <i>Satisfaction des besoins énergétiques associés à des réseaux électriques isolés (moyennes puissances)</i> .....	325
CHAPITRE 29 — Coût du kilowatt-heure produit par de petites centrales diesel en fonction de quelques paramètres .....	328
CHAPITRE 30 — Alimentation d'un centre isolé par une ligne électrique à moyenne tension .....	334

CHAPITRE 31 — Production d'électricité à partir d'une minicentrale hydraulique .....	336
CHAPITRE 32 — Alimentation à partir d'une centrale électrique diesel à gaz pauvre utilisant les déchets végétaux .....	345
CHAPITRE 33 — Utilisation des aérogénérateurs pour l'alimentation de réseaux électriques isolés .....	349
CHAPITRE 34 — Production d'électricité à partir de centrales solaires.	358
<b>D — Satisfaction des besoins énergétiques des agro-industries et des industries du bois par valorisation des déchets végétaux .....</b>	<b>363</b>
CHAPITRE 35 — Valorisation des déchets dans l'agro-industrie .....	366
CHAPITRE 36 — Valorisation des déchets dans l'industrie du bois ....	383
<b>IV — RECOMMANDATIONS ET STRATÉGIES DE DÉVELOPPEMENT .....</b>	<b>393</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>409</b>
— Adresses .....	411
— Références bibliographiques .....	423

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

## PRINCIPALES CONCLUSIONS <sup>(1)</sup>

Nous n'essaierons pas de résumer les conclusions partielles concernant les diverses technologies et les divers besoins évoqués dans cet ouvrage, et nous nous limiterons à quelques réflexions, d'ordre général, sur l'avenir des énergies renouvelables dans les pays en développement.

### A — *Les besoins en énergie et les énergies renouvelables*

Les besoins en énergie dans les pays en développement présentent certains traits bien particuliers que l'on ne retrouve pas dans les pays industrialisés. Ceci est particulièrement vrai dans les pays les moins avancés.

- L'énergie pour la cuisson des aliments y demeure un des besoins importants. Dans les pays les plus pauvres, c'est même le besoin essentiel (de 60 à 90 % des besoins totaux). L'explosion démographique du Tiers-Monde fait qu'il est de plus en plus mal satisfait par les combustibles traditionnels : bois, déchets animaux et végétaux.

Et un bon nombre de pays connaissent de ce fait une déforestation accélérée, inquiétante. Aujourd'hui, les énergies renouvelables ne peuvent jouer qu'un rôle encore marginal dans la solution des problèmes rencontrés. Celle-ci se trouve plutôt dans la reforestation<sup>2</sup>, l'amélioration de l'usage des combustibles traditionnels, le recours à d'autres combustibles, etc.

- En revanche, il existe, en milieu rural notamment, d'autres besoins en énergie : éclairage, pompage de l'eau pour les hommes, les animaux ou l'irrigation, alimentation de petits moteurs, etc., qui sont ponctuels et disséminés sur de vastes étendues dépourvues de réseaux de distribution d'électricité. C'est là un domaine privilégié pour les énergies renouvelables, qui sont, dès aujourd'hui, et seront encore

---

1. Des conclusions partielles sont établies à la fin de chaque chapitre, et des recommandations détaillées sont présentées à la fin du document (quatrième partie).

2. Le bois constitue en lui-même une énergie renouvelable extrêmement intéressante, sous réserve qu'on lui assure les conditions nécessaires à sa croissance...

plus demain, aptes à satisfaire dans de bonnes conditions de prix et de fiabilité des besoins dispersés sur de grandes surfaces. Les zones rurales des pays en développement devraient donc être, au cours des prochaines années, un champ d'application important des énergies renouvelables. Et celles-ci pourraient offrir une voie originale au développement de ces régions.

• Si on considère au contraire les besoins en énergie en milieu urbain, les besoins pour la grande industrie ou les transports, les pays en développement ne sont pas dans une situation très différente de celle des pays industrialisés. Dans les uns et les autres, les énergies renouvelables devraient contribuer, très progressivement, à la satisfaction de ce type de besoins.

## B — *L'avenir des filières technologiques*

Pour la satisfaction de chaque type de besoin par les énergies renouvelables, plusieurs filières technologiques sont envisageables. Le choix d'une filière sera déterminé par son adaptation aux ressources et aux besoins locaux, son coût, sa fiabilité, etc. Etant donné la diversité des conditions que l'on rencontre dans le Tiers-Monde, il est peu probable qu'une filière unique s'imposera. Mais, aujourd'hui, certaines paraissent avoir devant elles un avenir plus prometteur :

- *La valorisation des déchets végétaux* par gazéification, production de biogaz, d'éthanol ou de méthanol. Certaines techniques sont déjà tout à fait compétitives avec l'utilisation de produits pétroliers pour fournir l'énergie mécanique ou électrique dans certaines conditions : c'est le cas de la gazéification de certains déchets, le gaz servant à alimenter des moteurs diesel mixtes. Les filières biogaz, méthanol, éthanol devraient aussi devenir compétitives à brève échéance;
- *Les générateurs photovoltaïques*. Aujourd'hui, limités à l'approvisionnement en énergie électrique de très petites installations isolées, leur champ d'application devrait se développer avec la baisse attendue du prix des cellules. On peut penser aux télécommunications, à la signalisation, au pompage de l'eau, à l'alimentation de petits réseaux de distribution d'électricité dans les villages, à l'éclairage individuel, aux petits réfrigérateurs, etc.;
- *Les micro-centrales hydrauliques*. De technologie très fiable, elles constituent aussi une solution très intéressante pour approvisionner en électricité les collectivités situées à proximité d'un cours d'eau, de bonnes caractéristiques;
- *Les aérogénérateurs*. Ils constituent une solution particulièrement intéressante dans les pays ventés, pour les applications les plus diverses. Dans les régions à la fois isolées et ventées, ils sont compétitifs pour la production d'énergie électrique.

## C — *L'insertion des énergies renouvelables dans les plans énergétiques*

Les énergies renouvelables, sous des formes multiples, prendront une place croissante à côté des énergies dites classiques; cette place peut être amenée à

croître beaucoup plus rapidement que prévu, si les incertitudes concernant l'avenir du pétrole rendent l'approvisionnement en cette forme d'énergie de plus en plus précaire.

Les pays en développement, producteurs de pétrole ou non, auraient donc tout intérêt à mener une réflexion sur leurs approvisionnements en énergie et à dresser un plan énergétique prenant en compte toutes les sources d'énergie.

Dans ces plans, les énergies renouvelables prendront la place qui leur revient et qui ira sans doute en croissant, notamment dans les domaines, comme la satisfaction des besoins énergétiques disséminés, où leurs caractères propres leur donnent un avantage comparatif certain.

Bien entendu, ces plans doivent prendre en considération les prix futurs des énergies classiques et non leurs prix actuels, ce qui devrait être un puissant stimulant au développement des ressources énergétiques nationales et en particulier des énergies renouvelables.