



Fondation **T**ravail - **U**niversité ASBL

Centre de recherche Travail & Technologies

Rue de l'Arsenal 5, B - 5000 Namur
① +32-81-725122, fax +32-81-725128

Programme « Leviers du développement durable »

Contrat de recherche n° HL/DD/020

**L'innovation technologique
au service du développement durable**

**Working Paper n° 5
Un domaine technologique emblématique :
les sources d'énergie renouvelables
dans la production d'électricité**

*Cécile Patris
Françoise Warrant*

Février 2001

Ce document fait partie du rapport final de la recherche « L'innovation technologique au service du développement durable » (HL/DD/020), remis le 28 février 2001 aux Services fédéraux des affaires scientifiques, techniques et culturelles (SSTC), dans le cadre du programme « Leviers du développement durable ».

Fondation Travail-Université asbl
Centre de recherche Travail & Technologies
Rue de l'Arsenal, 5
B-5000 Namur
Tél. (0)81-725122, fax (0)81-725128
E-mail : gvalenduc@compuserve.com
<http://www.ftu-namur.org>

Un domaine technologique emblématique : les sources d'énergie renouvelables dans la production d'électricité

L'objectif de ce document est de situer la question des ressources énergétiques renouvelables pour la production d'électricité dans une perspective de développement durable. Après une présentation de la question, le présent Working Paper servira à faire connaître certains résultats du projet ATLAS mené dans le cadre du programme Joule-Thermie (4^{ème} programme cadre de RDT de la Commission européenne) et donnera un aperçu de la place réservée aux énergies renouvelables dans la production d'électricité en Belgique.

1. L'énergie au cœur du développement durable

1.1. Des questions urgentes

D'une part, le secteur de l'énergie se situe au cœur de la problématique du développement durable car il soulève les questions suivantes :

- l'épuisement des ressources en énergies fossiles ;
- la hausse de l'effet de serre essentiellement liée aux émissions de CO₂ ;
- l'existence de coûts externes supportés sans contrepartie par la collectivité ;
- la part croissante des pays du Sud dans la demande énergétique mondiale et le besoin de transfert de technologie et de savoir-faire pour maîtriser les risques liés à une augmentation massive de la concentration atmosphérique de CO₂ ;
- l'insécurité quant à l'approvisionnement (notamment liée à la hausse des prix des énergies fossiles) plaidant pour une plus grande autonomie énergétique via une diversification des sources d'énergie primaire et un recours aux sources locales.

D'autre part, le secteur énergétique illustre bien la panoplie d'instruments que les pouvoirs publics doivent déployer pour stimuler le développement et la diffusion d'innovations technologiques : il s'agit de lever des barrières techniques mais aussi non-techniques qui entravent la mise sur le marché d'innovations technologiques favorables au développement durable.

Parmi les facteurs qui influencent l'avenir de ce secteur figurent la libéralisation du marché de l'énergie, l'accès aux réseaux, le prix de rachat de l'électricité, la réglementation en matière d'aménagement du territoire, les schémas de financement.

Il faut aussi tenir compte de facteurs propres à la Belgique, nous y reviendrons plus tard.

1.2. Des technologies favorables au développement durable

Parmi les technologies énergétiques (1) favorables au développement durable, on trouve :

- les technologies économes en énergie ;
- les technologies destinées à accroître l'utilisation rationnelle de l'énergie ;
- les technologies destinées à améliorer l'efficacité énergétique (combustion en lit fluidisé, cycles combinés) ;
- les technologies destinées à améliorer le stockage et la distribution de l'énergie (ex. piles à combustible) ;
- les technologies alternatives de production d'énergie, basées sur des sources renouvelables (géothermie, solaire, énergie éolienne, biomasse, valorisation des déchets, énergie hydroélectrique, etc.) ;
- les technologies destinées à réduire les émissions polluantes (pollutions chimiques, pollutions thermiques, pollutions dues à des explosions liées au cycle de combustion) ;
- les technologies de surveillance et de monitoring ;
- les technologies permettant la modélisation de l'offre et de la demande énergétique.

2. Présentation du projet ATLAS

Le projet ATLAS (2) réalisé dans le cadre du programme européen Joule - Thermie a permis de réaliser une vaste synthèse sur les technologies énergétiques. Cette synthèse comporte un état de l'art sur les différentes technologies, une analyse des barrières à la diffusion et un examen des mesures de stimulation à adopter. Ce projet est donc fort instructif du point de vue de la politique d'innovation en matière énergétique, même s'il n'est pas axé sur les technologies énergétiques à caractère durable et s'il excède largement le cadre des énergies renouvelables.

Ce projet Atlas a été mené par une série d'experts provenant des agences nationales pour l'énergie sous la coordination de l'ETSU (UK). La Belgique y était représentée par l'Institut wallon et la Vlaamse Thermie Coördinatie.

(1) On consultera utilement sur ce point le JOCE 73/99 du 14 mars 2000 présentant le deuxième volet, relatif à l'énergie, du programme européen Energie, environnement et développement durable qui fait partie du Cinquième Programme-Cadre de RDT.

(2) European Commission - Thermie, *Energy technology, the next steps, summary findings from the Atlas project*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 1997

2.1. Des différences de maturité technologique

Dans l'étude ATLAS, chaque technologie énergétique est considérée en elle-même, en tenant compte de son degré de maturité technologique afin de déterminer si l'accent doit être placé dans les dispositifs d'appui sur la recherche, le développement, la démonstration, la dissémination ou la commercialisation. Une attention particulière est accordée au feed-back des utilisateurs et du marché.

L'importance de la phase de démonstration est mise en relief, c'est en effet au cours de cette phase que les besoins effectifs des utilisateurs peuvent être identifiés et pris en considération par les équipes de R&D. De plus, une démonstration qui réussit donne confiance aux développeurs mais aussi aux investisseurs et ce, avant de devoir investir des sommes importantes dans la promotion de technologies émergentes sur des marchés hautement concurrentiels.

Pour certaines technologies, les défis sont de nature technologique, pour la plupart il s'agit de comprimer les coûts. La recherche et l'innovation servent dans ce cas à améliorer les performances et à réduire les coûts de production.

Les fiches présentées ci-après font le point sur l'état de l'art de différentes technologies tel qu'il figure dans le projet ATLAS. Cet état de l'art dressé en 1997 concerne l'offre en matière d'énergies renouvelables, d'électricité combinée avec la chaleur et d'exploration et production du pétrole et du gaz, ainsi que les technologies liées à la demande de trois gros secteurs consommateurs (industrie, construction, transport).

2.2. Des barrières à la diffusion

Parmi les barrières à la diffusion des technologies énergétiques, au-delà des spécificités propres à une technologie en particulier, le projet ATLAS a mis en lumière des communs dénominateurs à toutes les technologies examinées. Il s'agit de :

Un manque d'information

Il n'est pas facile pour les décideurs de savoir quand une technologie dépasse le stade de la recherche/développement/démonstration et est mûre pour la commercialisation. De plus, de gros investissements pour la démonstration et la promotion de nouvelles technologies sont nécessaires pour dépasser cette barrière à la diffusion.

Un manque de confiance des investisseurs

Des investissements relativement élevés sont requis à la fois pour la production et pour la vente et l'installation de nouvelles technologies. Les investisseurs institutionnels et les autres investisseurs potentiels ont dès lors besoin d'une information de qualité afin d'accroître leur confiance dans l'utilisation de technologies énergétiques plus performantes et plus soutenables. Des efforts accrus en matière de promotion et de divulgation des bonnes pratiques sur la base de projets de démonstration concluants devraient permettre de dépasser cette barrière à la diffusion.

Le bas prix des énergies conventionnelles

Tant que le prix des énergies conventionnelles ne reflètera pas les coûts externes des dommages que cause à l'environnement leur utilisation, les technologies économes en énergie resteront peu compétitives. C'est à tous les niveaux de pouvoir concernés que des formes de prélèvement doivent être mis en place.

Dans les fiches présentées ci-après, on identifiera des barrières propres à certaines technologies énergétiques, telles qu'elles sont identifiées dans le projet ATLAS.

2.3. Des mesures techniques et non-techniques à déployer

Les mesures à déployer pour surmonter ces barrières à la diffusion sont d'ordre divers. Ces mesures peuvent être de nature technique : réglementations, standards, codes obligations de calendrier, etc. Ces mesures peuvent aussi être financières (incitants fiscaux, subsides publics, contrôle des prix de l'énergie), environnementales (contrôles d'émission, crédits CO₂) ou encore organisationnelles (à l'initiative des associations d'usagers ou d'organisations professionnelles).

Dans le projet ATLAS, la nécessité d'une mise en cohérence des diverses politiques est mise en avant. Ainsi, les réglementations en matière agricole, en matière de construction, en matière industrielle ont une incidence sur le marché des technologies énergétiques et doivent être harmonisées avec les mesures de politique énergétique ainsi qu'avec les dispositifs de soutien à la recherche et à l'innovation. Les mesures propres à certaines technologies sont décrites de façon plus détaillée dans les fiches suivantes.

2.4. Fiches de synthèse sur les résultats du projet ATLAS

Fiche n°1 : les technologies liées aux énergies renouvelables

Technologie	<p>Energie de la biomasse et des déchets</p> <ul style="list-style-type: none"> • Digestion anaérobique • Electricité et chauffage provenant de la biomasse • Gaz de récupération des déchets enfouis • Biocarburants liquides • Combustion municipale des déchets solides <p>Energie géothermique Production d'énergie par le photovoltaïque Electricité solaire Chauffage solaire Energie hydraulique à petite échelle Energie marée motrice Energie des vagues Energie éolienne</p>
Etat de l'art	<p>Grâce à la coopération en matière de R&D entre l'industrie, les institutions de recherche et les universités, encouragée par les financements européens et nationaux, on a vu s'accélérer le développement et l'arrivée à maturité de certaines technologies.</p> <p>Des programmes de lancement sur le marché ont été soutenus au niveau national, régional et local, ce qui a permis à certaines technologies d'atteindre le degré de commercialisation suffisant pour voir leur fiabilité renforcée et leur coût diminuer.</p> <p>Sur le plan technologique, certaines technologies telles que l'énergie hydroélectrique à grande échelle en sont au stade de la saturation du marché car elles sont matures et largement commercialisées. D'autres, comme l'énergie éolienne ou le chauffe-eau solaire, sont établies dans des niches de marché limitées et peuvent s'étendre à des marchés beaucoup plus larges. Une troisième catégorie comme la pyrolyse de la biomasse en est au stade de la R&D.</p> <p>Pour la plupart de ces technologies, davantage de R&D et de démonstration devraient permettre de faire diminuer les coûts, d'optimiser les performances et d'accroître leur compétitivité.</p>
Barrières	<p>Trois barrières concernent tout particulièrement les technologies liées aux énergies renouvelables :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les prix bas des énergies conventionnelles qui n'incluent pas le coût des externalités environnementales et maintiennent les énergies renouvelables dans un

	<p>état de non-compétitivité ;</p> <ul style="list-style-type: none"> • les structures de prix incohérentes et le faible taux de rachat offert par les entreprises d'électricité aux producteurs indépendants et la levée d'une TVA sur les composants renouvelables ; • la plupart des technologies d'énergies renouvelables sont le fait de nouveaux entrants alors que les structures institutionnelles, politiques et de régulation et l'infrastructure de fourniture d'électricité n'ont pas été conçues pour encourager leur déploiement.
Mesures	<p>Un large éventail de mesures doit être déployé afin que ces technologies arrivent sur le marché :</p> <ul style="list-style-type: none"> • renforcer la liaison recherche/marché en veillant à ce que les activités de R&D et de démonstration soient mieux pilotées et reliées davantage aux activités de promotion et de lancement sur le marché ; • stimuler la croissance de ces marchés par des mesures techniques mais aussi non-techniques (schémas de financement innovants, accords de rachat, participation des usagers) ; • développer et promouvoir des standards, des codes et des normes de conduite et permettre aux décideurs publics et privés de disposer d'une information de qualité et de formation pour réduire les délais d'approbation des projets ; • étudier le potentiel local, les impacts environnementaux et les possibilités de commercialisation afin de diminuer les frais généraux des entreprises pourvoyeuses de technologies ; • réduire le coût des énergies renouvelables via de la R&D supplémentaire sur les technologies elles-mêmes (matériaux, composants et systèmes) ou sur les techniques de production ou via des schémas financiers de lancement commercial (ex. : prix verts) ; • établir la confiance du marché via des démonstrations et des promotions d'applications et via l'encouragement de bonnes pratiques.

Fiche n°2 : chaleur et énergie a partir de combustibles fossiles

Technologie 3	<p>Combustion par pulvérisation de carburant (PF)</p> <p>Combustion en lit fluidisé atmosphérique (AFBC)</p> <p>Cycle combiné de production d'énergie</p> <p>Combustion en lit fluidisé pressurisé (PFBC)</p> <p>Combustion pulvérisée pressurisée (PPC)</p> <p>Piles à combustible pour des applications fixes</p>
------------------	---

(3) Ne sont reprises que les technologies qui dominent le marché de la production de chaleur et/ou d'électricité à partir de combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz)

Etat de l'art	<p>Il existe différents concepts de production de chaleur et d'énergie. Plusieurs peuvent produire de la chaleur (sous forme de vapeur ou d'eau chaude) ou de l'énergie (via par exemple le « rankine steam cycle ») ou les deux.</p> <p>Ces concepts visent à atteindre deux objectifs : améliorer l'efficacité du processus du point de vue du rendement du carburant et réduire les émissions tout en maintenant des coûts de production bas.</p> <p>Accroître l'efficacité énergétique peut signifier la réduction des matières premières nécessaires pour produire la même quantité d'énergie.</p> <p>Les technologies visées peuvent être utilisées pour de nouvelles applications ou pour la fourniture ou l'amélioration d'installations existantes. Elles peuvent servir pour certaines d'entre elles avec des matières premières renouvelables (biomasse).</p> <p>L'état de développement de ces technologies varie.</p> <p>La combustion par carburant pulvérisé est bien établie et fiable, la combustion en lit fluidisé et les cycles combinés alimentés au gaz naturel sont actuellement disponibles sur le marché tandis que beaucoup d'autres technologies approchent le stade de la viabilité commerciale. Certaines technologies plus sophistiquées telles que les piles à combustible ou la combustion pulvérisée pressurisée ne sont pas sur le point d'être commercialisées dans un futur proche.</p>
Barrières	<p>Parmi les barrières communes à l'ensemble de ces technologies, on trouve :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le coût d'investissement de départ très élevé en ce qui concerne ces unités de production avancées ; • le marché pour ces nouveaux types d'unités de production se trouvant surtout dans les économies émergentes ou en voie de développement, ce qui nécessite une prise en compte des besoins particuliers à ces pays ; • les risques réels ou perçus associés à ces technologies innovantes et leurs impacts environnementaux, pouvant décourager certains investisseurs ; • la relative compétition existant entre ces différentes technologies ; • certains aspects de fonctionnement du marché, certaines réglementations, le manque d'infrastructure appropriée pouvant restreindre le déploiement commercial de ces technologies.
Mesures	<p>Les mesures à mettre en œuvre dans ce domaine devraient permettre d'atteindre les deux objectifs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • améliorer la compétitivité économique en augmentant les rendements énergétiques ; • écourter le temps de passage de la R&D à la commercialisation notamment à l'aide de démonstrations, car celles-ci malgré leur coût constituent un pré-requis essentiel pour la commercialisation de la technologie.

Fiche n°3 : exploration et production du pétrole et du gaz

Technologie	<p>Géophysique, géologie exploratoire et modélisation des bassins</p> <p>Modélisation des réservoirs, prévision de la production</p> <p>Forage, repérage, test et achèvement de puits</p> <p>Systèmes de production</p> <p>Systèmes de stockage et de transport : distribution et transformation du gaz naturel et du gaz naturel liquéfié</p>
Etat de l'art	<p>Le secteur amont de l'industrie du pétrole et du gaz consiste en une série de procédés : l'exploration, menant à la découverte de réserves inconnues d'hydrocarbures, l'évaluation, le développement c'est-à-dire le montage d'un plan d'investissement et l'installation d'une unité de forage, la production et le désamorçage d'une installation de forage.</p> <p>Les domaines technologiques concernés par ces différents procédés en sont à un stade où les technologies sont disponibles sur le marché et ont déjà permis de réduire sensiblement les coûts de production par unité de volume. Il reste cependant un fort potentiel de R&D et de démonstration.</p>

Barrières	<p>Un certain nombre de barrières techniques, sociales, réglementaires et économiques empêchent la commercialisation de certaines technologies prometteuses :</p> <ul style="list-style-type: none"> • image négative du secteur pétrolier ; • lente évolution des technologies de l'information et de la communication par rapport aux exigences du secteur en termes de puissance de calcul et de vitesse d'échange, ; • manque de coordination pour aboutir à la taille critique suffisante pour mener des projets de R&D complexes ; • phénomène d'externalisation des activités de R&D de la part des grandes entreprises du secteur conduisant à une approche à plus court-terme, car les entreprises de service veulent un retour sur investissement à bref délai ; • aversion face au risque expliquant une préférence du secteur pour les innovations incrémentales.
Mesures	<p>Les mesures à mettre en œuvre devront permettre de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • accroître le rendement des champs pétrolifères et gaziers ; • développer de nouveaux champs à de très grandes profondeurs ; • adapter le secteur aux contrôles environnementaux de plus en plus exigeants en ce qui concerne la production et l'usage du pétrole et du gaz ; • permettre aux PME très pointues dans ces domaines de rester dans la course en maintenant un haut niveau de R&D à l'échelle européenne.

Fiche n°4 : industrie

Technologie	<p>Procédés de séparation Contrôle de process et management énergétique Intégration de process et intensification de process Réfrigération Pompes à chaleur, transformateurs de chaleur et « organic rankine cycle » Cogénération à haute température Techniques de combustion Propulseurs à vitesse variable</p>
-------------	--

Etat de l'art	<p>La plupart de ces technologies transsectorielles qui peuvent accroître les performances énergétiques dans l'industrie, y compris certaines déjà disponibles sur le marché, tireraient bénéfice d'un effort accru de R&D, de démonstration et de dissémination.</p> <p>Peu d'informations concernant les technologies spécifiques à un secteur sont disponibles dans le domaine public.</p> <p>Concernant les procédés de séparation, un développement plus conséquent des composants et des systèmes est souhaitable.</p> <p>Concernant le contrôle de process et le management énergétique, les technologies sont assez matures mais nécessitent une plus grande diffusion et une amélioration des capteurs pour faciliter l'automatisation.</p> <p>Concernant l'intégration et l'intensification de process, davantage de démonstration s'impose, en particulier pour ouvrir de nouveaux marchés pour les process de série.</p> <p>Concernant la réfrigération, besoin de diffusion pour promouvoir des systèmes plus performants et plus écophiles.</p> <p>Concernant les pompes à chaleur et transformateurs de chaleur, davantage de développement s'impose pour réduire les coûts et promouvoir des applications sur de nouveaux marchés.</p> <p>Concernant la cogénération à haute température, il faut poursuivre démonstration et diffusion pour réduire les coûts et ouvrir de nouveaux marchés.</p> <p>Concernant les techniques de combustion, davantage de développement à propos des contrôles d'émissions, couplé à des démonstrations et des actions de promotion.</p> <p>Concernant les propulseurs, besoin de diffusion pour une meilleure compréhension du fonctionnement des installations en place et démonstration pour développer de nouveaux marchés et réduire les coûts.</p>
Barrières	<p>Parmi les barrières communes à l'ensemble de ces technologies, on trouve ces éléments-ci :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le prix bas des énergies conventionnelles qui n'incite pas à investir dans ce domaine ; • les décideurs industriels qui n'ont pas tendance à considérer l'énergie comme un coût compressible pour améliorer la compétitivité ; • la perception des risques qui freine considérablement les innovations car le coût d'un échec est plus élevé que les gains attendus d'économies d'énergie ; • la modification des technologies énergétiques amenant souvent des changements au niveau des procédés de base des entreprises, face auxquels les industriels sont assez rétifs.
Mesures	<p>Tout en tenant compte de la spécificité de chaque secteur industriel, un certain nombre de mesures devraient être adoptées en vue de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • recueillir des données plus approfondies sur la consommation énergétique industrielle afin d'établir les priorités ; • promouvoir les meilleures pratiques dans le recours aux technologies transsectorielles ; • développer et démontrer des technologies applicables aux secteurs les plus énergivores.

Fiche n°5 : construction

Technologie	Techniques de refroidissement (passif, hybride, à faible énergie) Eclairage du jour Enveloppe et composants solaires passifs Fenêtres et vitrage Ventilation Eclairage artificiel Systèmes et contrôles dans la gestion du bâtiment Conservation d'énergie thermique Eau chaude domestique Production chaleur/fraicheur Cogénération à petite échelle
Etat de l'art	Actuellement disponibles, le savoir-faire, les matériaux de construction et les technologies comme l'éclairage à basse énergie, les systèmes améliorés de chauffage et de refroidissement ont démontré leur impact important sur la consommation énergétique des bâtiments. Bien que simples, largement disponibles et fort rentables, leur pénétration sur le marché reste faible en raison de la structure fragmentée de l'industrie de la construction.
Barrières	<p>Les caractéristiques de l'industrie de la construction ont d'importantes conséquences sur sa capacité innovatrice. Le secteur en est toujours à un degré assez bas de développement technologique et les principaux efforts qui sont menés par les organismes de recherche ont trait à l'élaboration de standards et à la tenue de tests plutôt qu'à l'innovation. Les pratiques et les techniques varient considérablement selon les régions et les pays. De telles variations constituent un frein naturel au transfert de technologies et à l'adoption de bonnes pratiques. Les usagers ou les acheteurs de technologies énergétiques liées au bâtiment sont difficiles à identifier et peu présents lors de l'établissement des agendas de recherche des développeurs. Ces usagers prennent des micro-décisions difficiles à harmoniser en raison de conflits d'intérêts.</p> <p>Les principales barrières à l'application des technologies énergétiques dans le secteur tiennent aux éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • manque de confiance dans ces technologies de la part des propriétaires de bâtiments et des installateurs d'équipement ; • faible coût de l'énergie ; • durée de vie élevée des bâtiments, faible taux de construction, et écarts importants entre cycles d'approvisionnement ; • investissement en capital élevé pour ces technologies, or beaucoup d'organismes et d'entreprises préfèrent limiter les investissements en capital plutôt qu'alléger les dépenses de fonctionnement ; • peu d'inclinaison des consommateurs intermédiaires à améliorer l'efficacité énergétique de leurs bâtiments car la facture énergétique est adressée aux consommateurs finaux.
Mesures	<p>Il faudra veiller à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • prendre en compte les différents acteurs en présence et les modes de conscientisation propres à chacun (architectes, urbanistes, autorités locales, constructeurs ...) • améliorer les standards en matière énergétique ; • promouvoir les bonnes pratiques et les exemples probants ; • faire le marketing du concept d'économie d'énergie en le présentant comme partie intégrante du label de qualité dans la construction.

Fiche n°6 : transports

Technologie	Nouvelles technologies dans les moteurs à combustion Design automobile et matériaux légers Piles à combustible et applications dans les transports
-------------	--

	<p>Carburants gazeux et alternatifs</p> <p>Biocarburants</p> <p>Véhicules électriques et hybrides</p> <p>Gestion du trafic et du transport</p> <p>Technologies de transport et de trafic</p> <p>Transport de marchandise</p> <p>Transport par rail</p>
Etat de l'art	<p>Certaines technologies sont déjà développées et disponibles sur le marché, d'autres sont encore au stade de la R&D.</p> <p>Le marché actuel et potentiel est gigantesque, ces technologies se situent donc dans un champ hautement concurrentiel à l'échelle mondiale.</p>
Barrières	<p>Les barrières communes à l'ensemble des technologies visées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le manque d'information fiable pour les décideurs quant aux opportunités d'investissement technologique ; • des distorsions de prix (ex. : différents taux de taxation pour les carburants) et des écarts de prix (ex. : le prix élevé du biocarburant par rapport au diesel) freinant l'adoption des technologies ; • l'accès difficile au financement pour couvrir les gros investissements nécessaires pour introduire ces technologies dans le secteur public et dans le domaine du rail ; • le faible taux de rénovation et de renouvellement du parc de véhicules, peu propice au déploiement des innovations dans le secteur public et dans le rail ; • le manque d'infrastructure, de standards communs et de certification en matière de sécurité.
Mesures	<p>Au-delà des mesures propres à chaque technologie, il faudra combiner mesures politiques et développement technique afin d'améliorer l'efficacité énergétique dans ce secteur et de réduire les atteintes à l'environnement.</p> <p>Les objectifs suivants devraient être poursuivis :</p> <ul style="list-style-type: none"> • réduire la dépendance vis-à-vis du transport (par le biais de l'aménagement du territoire, des télécommunications, du téléshopping, du télétravail, des facilités à destination des cyclistes et des piétons) ; • inciter à l'utilisation plus rationnelle des transports (via incitants économiques, réglementations, tarification des transports, via aussi des technologies permettant de corrélérer tarification de la route avec consommation énergétique, réduction des émissions polluantes et congestion du trafic) ; • accroître l'attractivité du transport public en optimisant le transport intermodal et en le rendant aussi attractif et performant que le transport individuel ; • promouvoir le passage à un transport plus économe en énergie en menant davantage de R&D en matière de technologies et de comportements (notamment sur les applications télématiques, l'approche de service intégré, le comportement du conducteur, ...).

3. Les énergies renouvelables et la production d'électricité en Belgique

Il nous a paru intéressant d'examiner la place réservée aux énergies renouvelables en Belgique parce que d'une part, leur contribution favorable au développement durable n'est plus à démontrer, et d'autre part, le projet Atlas souligne que pour la plupart de ces technologies, davantage de R&D et de démonstration devraient permettre de faire diminuer les coûts, d'optimiser les performances et d'accroître leur compétitivité. Ce

qui, à terme, devrait améliorer la position concurrentielle de ces technologies sur le marché de l'énergie et donc renforcer leur contribution au développement durable. Il s'agit là d'un cercle vertueux dont il faut amorcer ou plutôt stimuler le démarrage.

Dans cette partie, nous envisagerons uniquement le rôle des énergies renouvelables dans la production d'électricité. Un bref rappel des caractéristiques du secteur de l'électricité introduira cette analyse.

3.1. Les contours du secteur de l'électricité en Belgique

3.1.1. La production d'électricité en Belgique

La production d'Electrabel et du producteur public SPE intervient pour 96.8% du total de la production belge, le solde étant assuré par les autoproducteurs. En 1999, la production totale nette des centrales électriques situées en Belgique a été de 80.85 TWh.

Tableau 1
Sources d'énergie primaire dans la production d'électricité en Belgique

Source d'énergie	pourcentage
nucléaire	55.2%
combustibles gazeux	26.8%
combustibles solides	11.5%
hydraulique	1.8%
autres	1.1%
combustibles liquides	1.0%

Source : Fédération professionnelle des producteurs et distributeurs d'électricité de Belgique (FPE), annuaire statistique

La modernisation de l'appareil de production passe par une montée en puissance des combustibles gazeux dans les centrales TGV (turbine gaz vapeur) et les unités de cogénération.

3.1.2. La consommation d'électricité en Belgique

Tableau 2
Répartition de la consommation
d'électricité en Belgique (1998)

Energie distribuée	GWh	pourcentage
clientèle directe	28 587	39%
basse tension	24 189	33/
• éclairage public	733	1%
• résidentiel	16 126	22%
• professionnel	7 330	10%
haute tension	20 524	28%

Source : AMPERE (2000)

Le taux de croissance annuel moyen de la demande d'électricité est de 4.5% pour la période 1960-1999 mais seulement de 2.3% pour les 6 dernières années. Quant aux estimations du taux de croissance attendu pour la décennie 2000-2010, elles varient de 0.9% à 3%. Notons également que depuis 1983, la densité électrique en Belgique (Consommation d'électricité/Produit Intérieur Brut) dépasse celle des autres pays européens.

3.1.3. Des orientations européennes déterminantes

Deux directives européennes ont ou auront un impact important sur la politique énergétique de la Belgique des prochaines années :

- La directive 96/92 transcrite en droit belge par la loi du 29 avril 1999 concerne l'ouverture progressive du marché de l'électricité selon un calendrier déterminé en fonction de la consommation annuelle. L'ouverture totale devrait être atteinte au début de 2007.
- La Commission européenne a adopté en 2000 un projet de directive visant à augmenter la production d'électricité d'origine renouvelable. Les quotas nationaux sont attribués en fonction du potentiel d'énergies renouvelables et la Belgique devrait passer à 6% en 2010. Cette directive est anticipée par les décrets régionaux qui transposeront la directive 96/92 pour les matières relevant de la compétence des régions (voir point ci-dessous).

3.1.4. La répartition des compétences

Les lois de régionalisation de 1980 et 1988 ont attribué aux Régions, en matière d'énergie, les compétences suivantes :

- distribution de gaz ;
- distribution d'électricité (tension inférieure ou égale à 70 kV) ;
- réseau de chaleur ;
- utilisation du grisou et des gaz fatals (hauts fourneaux et cokeries) ;
- valorisation des terrils ;
- utilisation rationnelle de l'énergie ;
- valorisation des énergies renouvelables.

L'autorité fédérale reste compétente pour le secteur de l'offre, à savoir :

- le plan d'équipement électrique ;
- les cycles du combustible nucléaire ;
- les grandes infrastructures de stockage, le transport et la production d'énergie ;
- les tarifs.

3.2. L'électricité produite à partir d'une source d'énergie renouvelable

3.2.1. Les réalisations

L'électricité produite à partir d'une source d'énergie renouvelable (électricité SER) se distingue de l'électricité verte. La définition de cette dernière peut être plus large. Elle comprend naturellement l'électricité SER, mais en région wallonne par exemple, elle comprend également la cogénération (projet de décret wallon - mai 2000). L'incinération de déchets ménagers n'est considérée ni comme électricité SER, ni comme électricité verte. Ce qui est normal, puisque ces déchets sont composés en partie de matières pétrochimiques et que leur incinération relève de la valorisation énergétique d'un processus industriel. Le tableau ci-dessous met en évidence les actuelles réalisations et la contribution de chaque type d'énergie renouvelable.

Tableau 3
Sources d'électricité SER en Belgique (1998)

Energie	production nette (GWh/a)	en %
hydraulique	385	79
biogaz	49	10
bois	42	9
éolien	11	2
Total	487	100

Source : FPE, Eurostat

Le tableau 3 révèle que la part d'électricité SER est de 0.6% du total de la production électrique, dont la part de lion est assurée par l'hydroélectricité.

3.2.2. Le potentiel de l'électricité SER en Belgique

Dans son rapport d'octobre 2000, la Commission pour l'Analyse des Modes de Production de l'Electricité et le Redéploiement des Energies (AMPERE) évalue le potentiel des énergies renouvelables dans la production d'électricité.

Tableau 4
Potentiel d'électricité SER en Belgique

source d'énergie	potentiel	prix approximatif du kWh
vent offshore	3 TWh/an	entre 2.4 et 4 BEF
vent onshore	entre 1.2 à 2.4 TWh/an	entre 1.8 et 2.6 BEF
biomasse	entre 0.92 et 3.5 TWh/an	entre 2 et 5 BEF
énergie photovoltaïque	0.5 TWh/an	entre 15 et 25 BEF
énergie hydraulique	puissance installée : 0.3 TWh/an, proche du potentiel total	3.6 BEF et jusqu'à 11 BEF pour les petites centrales
Total réaliste	8.8 TWh/an	

Source : AMPERE (2000)

Ce tableau appelle quelques commentaires :

- Pour l'énergie éolienne, les zones économiquement les plus favorables se situent dans une bande côtière d'une quinzaine de km de large. Toutefois la disponibilité de ces zones d'implantation est très réduite et suscite des problèmes d'aménagement du territoire et d'enjeux économiques. C'est notamment en raison de cette contrainte que le total du potentiel est qualifié de "réaliste".
- La biomasse reprend différentes sources énergétiques, à savoir : les cultures énergétiques (taillis à courte rotation), les résidus de bois, les boues d'épuration des eaux, les résidus agricoles et de l'élevage du bétail, les déchets ménagers et industriels ainsi que les gaz de décharge. Certaines de ces sources font appel à des technologies qui sont encore en phase de démonstration.
- Le total du potentiel représente 10% de la consommation actuelle d'électricité. Ce potentiel ne pourrait être atteint avant 2010 voire 2020 et représenterait alors un pourcentage inférieur à la consommation totale si aucune mesure volontariste de gestion de la demande n'était mise en œuvre.
- Le coût des énergies renouvelables est nettement supérieur au coût des centrales classiques (centrale nucléaire entre 1.18 et 1.67 BEF le kWh, centrale TGV entre 1.31 et 1.48 BEF le kWh).

3.2.3. Les barrières à la diffusion

Parmi les barrières à la diffusion des technologies de l'électricité SER identifiées par le projet Atlas figurent :

- le mauvais rapport de prix entre l'électricité conventionnelle et l'électricité SER ;
- le poids économique, politique et institutionnel des producteurs d'électricité conventionnelle laissant peu de place pour l'émergence de l'électricité SER, souvent le fait de nouveaux entrants.

Le premier point saute aux yeux lorsqu'on compare les coûts mentionnés dans le tableau 4 et le coût des centrales classiques. La Commission AMPERE attire toutefois l'attention sur le fait qu'actuellement, seuls les coûts techniques sont pris en compte. Les coûts sociaux et environnementaux sont externalisés. C'est pourtant l'ensemble de ces coûts qui doit être considéré.

Quant au deuxième point, il nous paraît particulièrement pertinent dans un pays comme la Belgique où le producteur d'électricité a bénéficié d'une position de monopole absolu jusqu'à la récente ouverture des marchés. Electrabel a toutefois mis sur pied une plate-forme des énergies renouvelables afin d'être actif dans le secteur de l'électricité verte. Cette stratégie lui permet d'être présent sur ce marché émergent. Faut-il y voir une volonté de participer à l'élaboration des politiques publiques en la matière sur base de son expérience dans l'électricité conventionnelle ? Il est en tout cas frappant de constater que sa filiale active dans le photovoltaïque que est très fréquemment associée aux discussions dans ce domaine (commission AMPERE, par exemple), ce qui n'est pas le cas de l'entreprise concurrente que nous avons rencontrée.

Mais d'autres obstacles peuvent bloquer la diffusion de ces technologies tels que :

- leur impact environnemental ;
- la compétition pour l'occupation de l'espace ;
- des mesures administratives de nature diverse.

Les barrières environnementales concernent notamment l'exploitation des ressources hydrauliques. Le potentiel exploité est déjà assez important pourtant d'autres petits sites ont été identifiés. Toutefois, leur exploitation ne serait pas sans conséquence environnementale. De même, l'exploitation systématique du potentiel de la biomasse sous forme de cultures énergétiques ne peut se faire au détriment des terres boisées notamment, très importantes au niveau de la biodiversité.

La difficulté d'implantation de parcs à éoliennes le long de la bande côtière illustre la compétition pour l'occupation de l'espace.

D'autres barrières nous sont apparues lors de nos études de cas en entreprise. Il s'agit de barrières émanant des autorités publiques, soit volontairement soit indirectement. Les deux exemples repris ci-dessous illustrent ces situations.

L'entreprise de montage et de commercialisation d'éoliennes a récemment construit de nouveaux bâtiments pour installer ses bureaux et son hall de montage. Ce bâtiment a été conçu de manière à minimiser son impact environnemental. Un soin tout particulier a été porté à sa consommation énergétique en recourant à des technologies d'architecture climatique, de cogénération et de panneaux solaires. Mais paradoxalement, cette firme n'a pas obtenu de permis d'urbanisme pour installer une éolienne sur son propre site.

Une entreprise de production et de commercialisation de panneaux solaires photovoltaïques utilise la technique très peu répandue du silicium amorphe. Les rendements de cette technologie sont inférieurs à la technologie du silicium cristallin généralement utilisé. Ce handicap est toutefois compensé par une intégration paysagère nettement supérieure à la technologie classique, qui permet de doubler les surfaces de captage du rayonnement solaire sans nuire à l'environnement visuel.

Cependant, en raison de ces faibles rendements, la technologie se voit exclue du programme de subvention du gouvernement flamand du photovoltaïque qui couvre jusqu'à 75% des frais d'investissement.

3.3. Les mesures favorables au développement de l'électricité SER

3.3.1. Actions sur les coûts

Actuellement, le principal handicap des énergies renouvelables est leur coût très important qui ne peut se répercuter que sur des temps de retour trop long pour amorcer un changement dans la structure des approvisionnements en énergie. Ce coût très élevé est-il à mettre sur le compte d'une production trop limitée pour atteindre des rendements d'échelle qui rendent le coût des technologies des énergies renouvelables attractif par rapport aux énergies conventionnelles ? Si c'est le cas, comment atteindre la taille critique ? Greenpeace Nederland a posé ces deux questions au bureau d'étude KPMG pour le marché du solaire photovoltaïque (4).

Cette étude se base notamment sur les résultats d'une autre étude menée conjointement par BP Solar et la Commission européenne (5). Elle examine les principaux outils susceptibles d'améliorer le rapport de prix entre l'électricité photovoltaïque et l'électricité conventionnelle. Parmi ceux-ci figurent:

- la R&D orientée vers une diminution des coûts ;
- des subsides pour des installations de panneaux photovoltaïques;
- l'augmentation de la taille du marché afin de bénéficier de rendements d'échelle positifs soit en stimulant l'offre de panneaux PV, soit en suscitant la demande par le biais de prescriptions urbanistiques.

Les réponses aux questions de Greenpeace sont très claires : "Opschaling van de productie van zonnepanelen is bij de huidige stand van de techniek technisch haalbaar. Om een prijsdaling te bewerkstelligen tot het niveau van conventionele energie is een opschaling nodig tot 500MWp per jaar. De meest effectieve manier om de markt tot de noodzakelijke ontwikkeling te brengen is het voorschrijven van de toepassing van zonnepanelen bij nieuwbouw en renovatie."

KPMG identifie également un effet induit des prescriptions urbanistiques qui est la stimulation de la R&D dans le secteur, ce qui génère à son tour une baisse des prix.

Dans la réalité, les prescriptions urbanistiques ne sont pas encore obligatoires en matière d'électricité SER. Par contre, d'autres initiatives stimulent favorablement le développement des technologies liées aux énergies renouvelables. Les exemples repris ci-dessous (non exhaustifs) ne concernent pas uniquement la production d'électricité SER, néanmoins, les moyens mis en oeuvre peuvent être transposés au développement d'un réseau d'autoproducteurs d'électricité SER.

(4) KPMG, Bureau voor Economische Argumentatie, *Zonne-energie : van eeuwige belofte tot concurrerend alternatief*, Hoofddorp, juli 1999.

(5) Bruton T.M. en anderen, *Multi-Megawatt Upscaling of Silicon and Thin Film Solar Cell and module manufacturing (MUSIC FM)*, 1996.

La première initiative se situe dans la droite ligne des recommandations de l'étude KPMG puisqu'elle vise à réduire les coûts en augmentant directement la taille de l'usine. Son originalité est d'émaner du secteur privé et donc de se situer du côté de l'offre. Une entreprise belge, qui a fait l'objet d'une étude de cas (voir Working Paper 3), a décidé d'investir dans une nouvelle usine de production de panneaux solaires en silicium amorphe. Cette nouvelle usine sera 5 fois plus grande que celle d'aujourd'hui, ce qui devrait permettre de diminuer d'environ de moitié le coût des panneaux.

L'intercommunale flamande IVEG est une intercommunale pure dans la région d'Anvers qui distribue de l'énergie à plus de 100 000 clients. Elle accorde à ses clients une prime de 25 000 BEF à l'installation d'un chauffe-eau solaire, prime éventuellement complétée par un subside communal. Mais IVEG a franchi une étape supplémentaire en mettant sur pied un système de leasing pour chauffe-eau solaires, ce qui permet aux candidats d'éviter l'investissement de départ tout en bénéficiant des avantages de réduction de la facture énergétique. Cette mesure est également à l'étude dans la commune de Rochefort.

Un autre exemple nous provient du Danemark qui est bien connu pour sa politique de soutien au développement de l'énergie éolienne. Deux mesures essentielles ont contribué à ce résultat :

- dès 1975, le gouvernement danois a lancé un vaste programme de R&D sur l'énergie éolienne ;
- le prix de rachat de l'électricité éolienne est fixé à un niveau tel que le coût d'une éolienne est remboursé en moyenne en 6 ans. La production d'électricité au-delà de cette période est au bénéfice du propriétaire. Le gouvernement facilite également l'accès au crédit pour les candidats investisseurs à condition que ces derniers respectent une série de critères qui portent notamment sur l'environnement.

La combinaison de ces deux mesures a permis au Danemark de produire un tiers des éoliennes mises sur le marché dans le monde.

3.3.2. Mesures administratives diverses

Dans la partie consacrée aux barrières à la diffusion des ER, nous avons vu que volontairement ou involontairement, diverses barrières administratives peuvent bloquer la diffusion des ER. Inversement, des mesures bien conçues peuvent contribuer à lever des barrières de type culturel ou organisationnel.

C'est le cas en Région wallonne avec la mise sur pied du programme Soltherm (voir Working Paper 4, fiche 10) visant à favoriser la diffusion de chauffe-eau solaires. L'approche est intéressante par son caractère global. Elle joue sur différents points :

- financier : prime de 25 000 BEF à laquelle certaines communes ajoutent une contribution propre ;
- culturel : cet aspect n'est pas négligeable dans un pays au climat pluvieux comme la Belgique où peu de personnes soupçonnent le potentiel d'économies d'énergie qu'un chauffe-eau solaire peut réaliser (50 à 70% des besoins annuels en eau chaude d'un ménage belge). L'objectif fixé par le programme est ambitieux, 1 chauffe-eau solaire pour 30 ménages. Toutefois, en surface installée, les objectifs

restent bien en dessous (environ le quart) de ce qui est réalisé actuellement en Autriche ;

- réglementaire : procédures allégées pour l'obtention du permis d'urbanisme pour l'installation de capteurs solaires ;
- technique : formation de technicien et sélection des meilleures technologies.

De la même manière, l'attribution de concessions en Mer du Nord place la Belgique dans la course aux parcs d'éoliennes off-shore. Cette politique volontariste s'est déjà traduite en 2 nouveaux projets émanant de promoteurs différents (Electrabel et un consortium de 2 entreprises et une intercommunale de distribution d'énergie).

3.3.3. Préparation de l'avenir : le projet de pile à combustible à Liège

Au stade actuel d'utilisation, la pile à combustible (PAC) fonctionne essentiellement avec de l'hydrogène qui provient du gaz naturel. En ce sens, la pile à combustible n'utilise pas une énergie renouvelable. Toutefois, à long terme, on peut envisager de déconnecter les lieux de production et d'utilisation de l'hydrogène. Sa production peut alors être réalisée là où les énergies renouvelables sont abondantes et là où l'hydrogène peut être transporté sur de longues distances. Il s'agit là de projets à long terme. Néanmoins, au stade actuel de développement, la pile à combustible a déjà démontré de nombreux avantages environnementaux :

- Contrairement à la production conventionnelle d'électricité, les performances de petites PAC sont les mêmes que celles des grandes, ce qui permet de décentraliser la production, par exemple une PAC pour 20 à 30 maisons ;
- La cogénération est généralisable puisque la chaleur ne doit pas être transportée sur de longues distances, ce qui permet de porter le rendement total de la PAC à environ 80% (ces économies pourraient à elles seules permettre le financement des nouvelles infrastructures à mettre en place) ;
- Il n'y a pas de perte énergétique au cours du transport ni d'impact visuel par les pylônes ;
- L'absence de combustion permet d'éviter tous les problèmes qui y sont liés (imbrûlés, CO₂, NOX, poussières, etc.) ;
- Enfin, pour les installations mobiles, le gros avantage est le rendement sur le cycle d'utilisation nettement plus élevé que pour un moteur à combustion dont les rendements sont particulièrement faibles à l'arrêt et à des vitesses réduites.

C'est dans ce contexte qu'il faut situer le projet mené par Alstom (leader mondial dans la fabrication de matériel électrique) et Promocell (6). Ce projet vise à :

- Prouver la fiabilité de la technologie.

(6) Promocell est une société anonyme dont les actionnaires sont la Société régionale d'investissement en Wallonie, la Société coopérative liégeoise d'électricité, l'Association liégeoise d'électricité, l'Association liégeoise du gaz, Meusinvest, la Société d'investissement du bassin liégeois, Ecotech, la Société de gestion de projets de valorisation de recherche de l'ULG.

- Démarcher une clientèle soucieuse d'un approvisionnement fiable en électricité (antennes GSM, services informatiques des banques, des hôpitaux, etc.) et qui utilisent actuellement des groupes électrogènes. Pour ces utilisateurs potentiels, le prix ne devrait pas être un obstacle. Promocell se chargerait de l'entretien et du fonctionnement.
- Qualifier et former du personnel à cette technologie. Ce dernier aspect est très important car dans les centrales classiques, la production d'électricité s'adapte à la demande. Dans le cas de la pile à combustible, il est probable que la production d'électricité devrait s'adapter à la demande de chaleur, avec toutes les variations quotidiennes et saisonnières que cela implique.

Cette initiative s'inscrit en droite ligne dans la relation entre l'innovation technologique et le développement durable et ce d'autant plus que le potentiel d'innovation technologique est énorme. Citons à titre d'exemple :

- remplacement éventuel de l'hydrogène par un autre liquide car les conditions de transport et de stockage de l'hydrogène sont très contraignantes ;
- remplacement des métaux nobles et du graphite utilisés par les piles à combustible par d'autres matériaux moins chers ;
- amélioration du rendement électrique de la pile à combustible.

4. Recommandations pour la R&D et l'innovation en matière énergétique

La partie précédente attire à plusieurs reprises l'attention sur la nécessité d'augmenter les efforts de recherche dans le secteur des énergies renouvelables. Mais d'autres aspects de la politique énergétique font l'objet de recommandations récentes en matière de politique de recherche pour la Belgique.

Dans le rapport établi en 1995 par la Belgian Academy Council of Applied Sciences (BACAS) sur *L'Énergie dans la Belgique de demain*, plusieurs axes de recherche-développement étaient recommandés :

- les applications des énergies renouvelables qui participent toutes de la haute technologie ;
- les nouvelles technologies : pompes à chaleur, chaudières à haut rendement et à émissions réduites de NOx et de fumées, etc. ;
- les techniques d'ensemblers : cycles combinés, cogénération, conversion d'énergies, développement de systèmes et de leurs régulations, car c'est un domaine où les entreprises belges jouissent d'une excellente réputation ;
- l'intégration dans le réseau de petites unités décentralisées (micro-centrales) ;
- le domaine nucléaire : radioprotection, élimination et stockage des déchets, démantèlement des installations, tenue des matériaux dans le réacteur.

Ces recommandations mettent en évidence la nécessité pour les décideurs en matière de politique énergétique et en matière de politique d'innovation en Belgique de :

- dépasser l'approche centrée sur la remédiation et d'anticiper en développant et en diffusant des technologies énergétiques propres et sobres ;
- tirer parti des domaines d'excellence des entreprises belges, en particulier dans les techniques d'ensemblers ;
- adapter la configuration du réseau en fonction du développement de centrales de production de taille modeste.

Cinq ans plus tard, la Commission AMPERE souligne l'importance de privilégier les axes de recherche mentionnés ci-dessous, et ceci tant pour les pouvoirs publics que pour le secteur privé :

- les matériaux à haute température dans le but d'augmenter les températures d'entrée dans les turbines et ainsi d'augmenter le rendement des centrales ;
- les éoliennes, tant au niveau des éoliennes elles-mêmes qu'en matière de mise en œuvre et de conduite d'un parc d'éoliennes ;
- la gestion des réseaux et en particulier l'insertion de la production décentralisée dans les réseaux de transport et de distribution ;
- la capture du CO₂ dans les fumées et la séquestration commercialement et écologiquement réalisable de ce CO₂ ;
- la sécurité nucléaire, la gestion de la chaîne nucléaire (entre autres la conduite des centrales et la gestion des déchets) et, dans le cas du secteur privé, la participation éventuelle au développement de nouveaux réacteurs ;
- les panneaux solaires et la conception de centrales solaires. Le marché de l'énergie solaire pourrait en effet, dans le long terme, être porteur à l'exportation, particulièrement vers les pays en développement. Bien que le solaire ouvre surtout des perspectives à long terme, il faut néanmoins dès à présent investir dans des programmes de démonstration ;
- la pile à combustible.

Bibliographie

Altener programme, *The European renewable energy study : prospects for renewable energy in the European Community and Eastern Europe up to 2010- annex 2 : country profiles /Belgium*, Luxembourg, Office for official publications for the European Communities, 1994.

Belgian Academy Council of Applied Sciences (BACAS), « L'Energie dans la Belgique de demain », *Bacas papers*, travaux du groupe de travail XX, 1995.

Bruton T.M. en anderen, *Multi-Megawatt Upscaling of Silicon and Thin Film Solar Cell and module manufacturing (MUSIC FM)*, 1996.

European Commission- Thermie, *Energy technology, the next steps, summary findings from the Atlas project*, Office for official publications of the European Communities, Luxembourg, 1997.

European Commission, *European Union Energy outlook to 2020, the shared analysis project*, Luxembourg, Office for official publications of the European Communities, 1999.

KPMG, Bureau voor Economische Argumentatie, *Zonne-energie : van eeuwige belofte tot concurrerend alternatief*, Hoofddorp, juli 1999.

Ministère des Affaires Economiques, *Rapport de la Commission pour l'Analyse des Modes de Production de l'Electricité et le Redéploiement des Energies au Secrétaire d'Etat à l'Energie et au Développement durable, Conclusions et recommandations – Résumé exécutif*, Bruxelles , octobre 2000.

Plusieurs sites à consulter sur la question :

<http://mineco.fgov.be/ampere.htm>

<http://www.apere.org/>

<http://www.agores.org/>

<http://europa.eu.int/en/comm/dg17/atlas/>

Table des matières

<u>1. L'ÉNERGIE AU CŒUR DU DÉVELOPPEMENT DURABLE</u>	3
<u>1.1. DES QUESTIONS URGENTES</u>	3
<u>1.2. DES TECHNOLOGIES FAVORABLES AU DÉVELOPPEMENT DURABLE</u>	4
<u>2. PRÉSENTATION DU PROJET ATLAS</u>	4
<u>2.1. DES DIFFÉRENCES DE MATURITÉ TECHNOLOGIQUE</u>	5
<u>2.2. DES BARRIÈRES À LA DIFFUSION</u>	5
<u>2.3. DES MESURES TECHNIQUES ET NON-TECHNIQUES À DÉPLOYER</u>	6
<u>2.4. FICHES DE SYNTHÈSE SUR LES RÉSULTATS DU PROJET ATLAS</u>	6
<u>Fiche n°1 : les technologies liées aux énergies renouvelables</u>	6
<u>Fiche n°2 : chaleur et énergie à partir de combustibles fossiles</u>	7
<u>Fiche n°3 : exploration et production du pétrole et du gaz</u>	8
<u>Fiche n°4 : industrie</u>	9
<u>Fiche n°5 : construction</u>	11
<u>Fiche n°6 : transports</u>	11
<u>3. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN BELGIQUE</u>	12
<u>3.1. LES CONTOURS DU SECTEUR DE L'ÉLECTRICITÉ EN BELGIQUE</u>	13
<u>3.1.1. La production d'électricité en Belgique</u>	13
<u>3.1.2. La consommation d'électricité en Belgique</u>	14
<u>3.1.3. Des orientations européennes déterminantes</u>	14
<u>3.1.4. La répartition des compétences</u>	14
<u>3.2. L'ÉLECTRICITÉ PRODUITE À PARTIR D'UNE SOURCE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE</u>	15
<u>3.2.1. Les réalisations</u>	15
<u>3.2.2. Le potentiel de l'électricité SER en Belgique</u>	15
<u>3.2.3. Les barrières à la diffusion</u>	16
<u>3.3. LES MESURES FAVORABLES AU DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ SER</u>	18
<u>3.3.1. Actions sur les coûts</u>	18
<u>3.3.2. Mesures administratives diverses</u>	19
<u>3.3.3. Préparation de l'avenir : le projet de pile à combustible à Liège</u>	20
<u>4. RECOMMANDATIONS POUR LA R&D ET L'INNOVATION EN MATIÈRE ÉNERGÉTIQUE</u>	21
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	23