

# **NOUVELLES TECHNOLOGIES DE L'ENERGIE**

---

## **PROPOSITION DE PROGRAMME DE RECHERCHE**

---

## Table des matières

1. Introduction
2. Programme Hydrogène et pile à combustible PAN-H
3. Séparation et stockage du CO<sub>2</sub>
4. Electricité solaire photovoltaïque
5. Programme PREBAT « Maîtrise de l'énergie dans le bâtiment »
6. Programme « Bioénergies »
7. Conclusions
8. Tableau de financement récapitulatif
9. Annexes
  1. Détail du plan d'action « Electricité photo-voltaïque » présenté au chapitre 3
  2. Lettre accompagnant le précédent rapport sur les nouvelles technologies de l'énergie, adressée par le président du groupe de travail, Monsieur Thierry Chambolle, au ministre de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, au ministre de l'Ecologie et du Développement Durable, à la ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies et à la Ministre déléguée à l'Industrie,

# Introduction

La diversification du bouquet énergétique, favorisant les énergies non émettrices de gaz à effet de serre, est un axe fort de la politique énergétique française, que le gouvernement a affirmé récemment dans le Plan Climat, le Plan Véhicule propre et dans le Projet de Loi d'Orientation sur l'Énergie.

L'objectif est de réduire à l'horizon 2050 les émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité humaine au niveau de ce que la planète paraît en mesure de recycler naturellement. C'est un défi majeur, à cause de la croissance mondiale de la demande en énergie et de l'utilisation majoritaire des énergies fossiles. Compte-tenu des ambitions légitimes de développement des pays du sud, il sera nécessaire aux pays industrialisés de réduire leurs émissions par un facteur 3 à 5 d'ici 2050.

Il faut faire face à l'augmentation des prix de l'énergie et se préparer à une évolution profonde des comportements et de la réglementation. Le secteur de l'énergie est porteur d'innovations et de ruptures technologiques susceptibles de réduire sensiblement ses coûts, de contenir et limiter la dépendance énergétique de l'Europe et de contribuer significativement à la réduction des émissions de gaz à effet de serre par des actions sur l'offre et la demande énergétiques.

La maîtrise des nouvelles technologies de l'énergie (NTE) est un enjeu important pour notre économie, pour la compétitivité de nos entreprises et le niveau de vie des français qui sont indissolublement liés. L'Agence Internationale de l'Énergie estime à 16 000 Md\$, les investissements dans le secteur de l'énergie entre 2001 et 2030 pour satisfaire la demande. En outre, la croissance de certaines filières industrielles de production d'énergie d'origine renouvelable est de l'ordre de celles des plus performantes filières « High Tech » de l'industrie avec des projections de croissances de plusieurs dizaines de Md€ dans les prochaines années.

Le Ministre de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, la Ministre de l'Écologie et du Développement Durable, la Ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies et la Ministre déléguée à l'Industrie ont confié le 17 mars 2003 à un groupe de travail, présidé par Monsieur Thierry Chambolle, une double mission :

- Identifier les objectifs et les axes de priorité de la recherche française et européenne dans le domaine de l'énergie pour répondre à l'horizon 2050 aux enjeux permanents de ce secteur (disponibilité, compétitivité, indépendance, acceptation sociale, contribution au développement, ...) tout en réduisant de manière drastique les émissions de CO<sub>2</sub> afin de contenir le réchauffement climatique,
- Faire des recommandations sur l'évolution des dispositifs de soutien à la recherche et à l'innovation pour atteindre ces objectifs.

Les conclusions de ce rapport, remis au début de l'année 2004, insistent notamment sur l'importance de la maîtrise de l'énergie et du développement des énergies renouvelables, sur la gestion de ses déchets et le développement des prochaines générations de réacteurs nucléaires. Le rapport recommande également de lancer un programme "hydrogène et pile à combustible" et un programme "capture et stockage du CO<sub>2</sub>" dans le cadre des dispositifs pilotés par l'Europe.

Il a été demandé à la direction de la Technologie de s'appuyer sur ces conclusions et d'animer un second groupe de travail en collaboration avec les directions concernées des ministères en charge de l'Environnement (D4E avec l'appui de l'ADEME), de l'Equipement (DRAST, DHUHC) et de l'Industrie (DGEMP). La mission du groupe étant d'établir une proposition de programme de R&D sur les nouvelles technologies de l'énergie, en dehors du champ de l'énergie nucléaire.

Les travaux de ce nouveau groupe de travail, ont abouti à définir des priorités dans les domaines suivants :

1. Lancement d'un nouveau programme de R&D « Hydrogène et pile à combustible »,
2. Maîtrise de la chaîne du CO<sub>2</sub> : de la combustion des ressources possibles à la capture du CO<sub>2</sub> et à son stockage ,
3. Mise en place d'un programme de recherches coordonnées sur l'énergie solaire photovoltaïque,
4. Maîtrise de la consommation énergétique dans le bâtiment ,
5. Développement du potentiel de la biomasse, notamment en ce qui concerne les usages dans le secteur des transports.

**Ce rapport présente les propositions de programmes de R&D les plus prometteuses pour l'avenir, et le financement public nécessaire à leur réalisation.**

# Chapitre 1

## PAN-H

# Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible

Le plan d'action, proposé ici, porte sur le développement d'une filière de l'hydrogène et de la pile à combustible compatible avec les contraintes de l'automobile et sur le déploiement des technologies liées à l'émergence de nouveaux marchés. PAN-H a été élaboré en concertation avec les acteurs de l'industrie et des organismes de recherche publique concernés<sup>1</sup>, en tirant profit du retour d'expérience du réseau PACo. Les thèmes de R&D d'intérêt commun (voir tableau 1) retenus pour PAN-H<sup>2</sup> sont déclinés de la recherche jusqu'au déploiement de la pile à combustible, traduisant ainsi la finalité industrielle de la démarche.

### Les enjeux pour la France

PAN-H a pour ambition de construire un programme français de R&D à finalité économique et industrielle, en s'appuyant sur les spécificités nationales, dans un cadre pluriannuel (2005-2010, dans un premier temps). Il s'intégrera à la démarche européenne et devrait contribuer à l'élaboration de nouveaux programmes (7<sup>ème</sup> PCRD, HFP : *European Hydrogen Fuel cell technology Platform* ...). Il renforcera la position des acteurs français (organismes publics de recherche et industriels) en leur donnant une meilleure visibilité.

PAN-H garantira la cohérence entre les objectifs de recherche et les contraintes technologiques, tout en aménageant des espaces de liberté pour la recherche plus fondamentale<sup>3</sup> ou pour d'autres voies technologiques que celles privilégiées dans le programme ci-dessous. L'enrichissement de la propriété intellectuelle sera également une préoccupation majeure.

### Description du programme

Trois thèmes de travail ont été retenus : cœur de pile et composants auxiliaires, stockage embarqué d'hydrogène et déploiement (Projet "Systèmes pile") ; transport et distribution

---

<sup>1</sup> Participants du groupe PAN-H (liste ouverte) : Air Liquide, Axane, EDF, Gaz de France, Hélium, PSA Peugeot Citroën, Renault, réseau PACo, Total, ADEME, CEA, CNRS, IFP, INRETS, MINEFI (DGEMP, DiGITIP), M&R (DT, DR).

<sup>2</sup> Les autres thèmes de R&D d'intérêt commun "Biomasse" et "Capture et stockage du CO<sub>2</sub>" relèvent formellement d'autres sous-groupes de travail ministériels et ne sont pas détaillés ici, même si une coordination d'ensemble sera nécessaire pour préserver la cohérence de PAN-H.

<sup>3</sup> Une coordination avec des programmes de recherche amont lancés parallèlement sur des thématiques voisines est indispensable.

d'hydrogène (Projet "Pipeline") ; électrolyse et autres procédés à haute température (Projets ELEC-H2 et SUSHY-PRO).

Un Comité de pilotage unique de PAN-H assurera la cohérence d'ensemble du programme. Il sera composé de représentants des ministères, des organismes de recherche publique, des industriels spécialisés, des industriels utilisateurs, des "start-up", des collectivités territoriales.

### *Projet "Systèmes pile"*

Le groupe PAN-H a convenu que la maîtrise du développement des composants du "système pile" (cœur de pile, composants auxiliaires et intégration du système, stockage embarqué d'hydrogène) est vitale pour l'industrie française. Les cœurs de pile disponibles aujourd'hui sont livrés principalement par des entreprises nord-américaines. Ils ne sont pas adaptés aux contraintes de l'automobile (coût, fiabilité, performances) et doivent faire l'objet d'évolutions importantes telles que l'élévation de la température de fonctionnement et la réduction du taux de platine. De même, les composants auxiliaires de fonctionnement<sup>4</sup> nécessitent de la R&D dédiée aux "systèmes pile" complets et des ruptures technologiques sont nécessaires dans ce domaine.

Le projet "Systèmes pile " vise à développer, sur la période 2005-2010, une technologie centrée sur la pile à combustible PEMFC (*proton exchange membrane fuel cell*) compatible avec l'usage final automobile, considéré comme le plus prometteur à long terme, tout en favorisant le déploiement industriel de cette technologie dans des marchés de niche moins exigeants à plus court terme (applications stationnaires, résidentielles, tertiaires ; transports collectifs...) qui prépareront le marché automobile. La participation des industriels des composants des "systèmes pile" sera recherchée, de même que celle des intégrateurs des systèmes.

Le projet couvrira aussi la R&D nécessaire sur les options de stockage embarqué d'hydrogène susceptibles de répondre également au cahier des charges contraignant de l'application automobile, notamment en termes de volume, de poids et de coût, en complément du projet européen du 6<sup>ème</sup> PCRD StorHy (2004-2009). Il s'agira de rechercher des solutions innovantes de stockage à partir de nouveaux matériaux et procédés, en accordant la priorité à l'examen des procédés de fabrication des réservoirs et de synthèse des matériaux, pour faire baisser les coûts. La participation des industriels des composants des réservoirs sera également recherchée.

Le projet "Systèmes pile" a donc pour but de développer un programme de R&D cohérent avec les objectifs des marchés visés, afin de construire une filière française de la pile à combustible, de la recherche et l'innovation à l'expérimentation et au déploiement. Le livrable industriel, visible et fédérateur, sera l'installation de 55 MW entre 2005 et 2010 pour arriver à un minimum de 20 MW/an installés à partir de 2010. A cette date, il s'agira essentiellement d'applications stationnaires, premier marché permettant de diffuser la technologie et d'amorcer la réduction des coûts, en préparant ainsi le marché automobile (à partir de 2015).

Un tel projet nécessite de mobiliser une équipe de projet multidisciplinaire de 7 personnes à plein temps, animée par un chef de projet unique issu de l'industrie, sur des objectifs de court,

---

<sup>4</sup> Reformeur, humidificateur, système thermique, alimentation d'air...

moyen et long terme quantifiés pour l'ensemble de la filière technologique, industrielle et commerciale.

Ce projet comportera trois pôles : a) un pôle "Recherche", dont les projets de recherche sur les composants du système feront l'objet d'appels à propositions ; b) un pôle "Technologies et innovations", dont les projets de développement des composants et des systèmes feront également l'objet d'appels à propositions ; c) un pôle "Expérimentation et déploiement", dont les projets seront choisis, à l'issue d'appels à propositions, en fonction de la stratégie des industriels impliqués dans les applications visées (transport, véhicule personnel ou utilitaire, stationnaire, infrastructure) ; ces projets devront être accompagnés par les collectivités territoriales, afin d'y associer une plus value environnementale et socio-économique.

L'équipe de projet veillera à la cohérence du programme, en particulier entre l'offre de technologies produites par la filière et la demande des marchés, tant dans le cadre des appels à propositions que lors de l'examen de propositions spontanées qui lui seront soumises au fil de l'eau.

Il comportera également trois tâches transversales, qui permettront de mutualiser les actions de l'ensemble des acteurs de la filière, du laboratoire de recherche à la collectivité territoriale : a) une tâche "Essais et évaluation", qui concentrera les moyens de tests des "systèmes pile" au sein d'une structure nationale adaptée (laboratoire commun de Belfort en cours de définition) ; b) une tâche "Analyse économique" ; c) une tâche "Relations extérieures".

Le budget global du projet est estimé à 600 M€ sur la période 2005-2010 : 300 M€ pour les pôles "Recherche" et "Technologies et innovations" et 300 M€ pour le pôle "Expérimentation et déploiement". Le montant de l'aide publique est estimé à 250 M€ sur 6 ans (2005-2010), soit, en linéaire, environ 40 M€/an.

### *Projet "Pipeline"*

Le projet "Pipeline" vise à définir et mettre en œuvre une solution optimale pour le transport et la distribution d'hydrogène par des canalisations pendant la phase de transition vers une utilisation massive de l'hydrogène énergie. Il couvre la R&D nécessaire sur les canalisations d'hydrogène pur (perspective à long terme) et sur les canalisations de gaz naturel existantes dans lesquelles de l'hydrogène est incorporé (scénario de transition). Les canalisations de transport sont en acier à haute pression et celles de distribution en acier et polyéthylène à basse pression.

Le projet tient compte des travaux internationaux en cours sur ce thème, notamment ceux du projet européen du 6<sup>ème</sup> PCRD NaturalHy (2004-2009) qui étudie notamment les conditions de fragilisation des aciers par l'hydrogène, mais sans aborder la problématique des mélanges riches en hydrogène ou de l'hydrogène pur. Il permettra donc de s'intéresser aux spécificités des réseaux français, en intégrant des éléments non pris en compte dans le projet NaturalHy actuel.

Dans une phase I (2005-2008), le projet "Pipeline" comportera des études sur les matériaux des canalisations et la modélisation de leur comportement en présence de défauts, et sur les équipements des canalisations. Il développera également un modèle économique pour évaluer

différents scénarios de déploiement. Il s'appuiera sur la réalisation de deux canalisations pilotes équipées, de quelques dizaines de mètres, l'une contenant de l'hydrogène pur, l'autre un mélange gaz naturel/hydrogène. Le budget total de cette phase I est estimé à 8 M€

Dans une phase II (2008-2010), le projet "Pipeline" réalisera un mini-réseau d'hydrogène et/ou de mélange gaz naturel/hydrogène (plusieurs centaines de mètres, plusieurs branches) qui permettra de tester et de valider à plus grande échelle les choix de matériaux et d'équipements appropriés. Ce projet de mini-réseau, dont le budget total est estimé à 19 M€, pourra être établi en cohérence avec un projet européen ambitieux de démonstration d'applications consommant l'hydrogène (projet phare).

### *Projet "Electrolyse et autres procédés HT"*

Ce thème de R&D d'intérêt commun englobe le procédé d'électrolyse de l'eau à haute température (EHT) à finalité industrielle de court/moyen terme et, plus largement, les procédés HT innovants et durables (non-fossiles) de production d'hydrogène (EHT, cycles thermochimiques...) qui pourront utiliser, à long terme, l'énergie nucléaire fournie par des réacteurs du futur ou des énergies renouvelables adaptées (solaire, géothermie...). Cette thématique a été analysée par le groupe PAN-H comme un point fort de la France à préserver et à développer, susceptible de lui donner une avance technologique importante dans le domaine de la production massive d'hydrogène.

Dans un premier temps, le *projet ELEC-H2* (EDF, CEA) sera lancé pour développer à court terme un électrolyseur HT décentralisé, à haut rendement mais à faible coût, qui bénéficiera des progrès de la R&D sur la pile à combustible à haute température SOFC (*solid oxide fuel cell*) mise en œuvre en France pour diverses applications (cogénération, transports lourds, auxiliaires de puissance). Ce projet s'appuiera sur les résultats du projet européen du 6<sup>ème</sup> PCRD Hi2H2 (2004-2006) piloté par EDF, qui vise à développer un petit démonstrateur d'électrolyse HT utilisant la technologie plane d'une pile SOFC. Sa réalisation sera partagée entre des laboratoires de recherche français privés et publics, pour un budget du projet estimé à 6 M€ sur la période 2005-2007 (main d'œuvre seulement).

Le projet ELEC-H2 s'inscrit dans le *projet SUSHY-PRO* du CEA, qui vise à mettre en place d'ici 2010 une plateforme européenne de développement et d'essais pour tester les procédés HT de production d'hydrogène et accélérer le développement des technologies, sans attendre le développement industriel des réacteurs nucléaires du futur, en collaboration avec des partenaires comme l'ENEA (Italie) et le CIEMAT (Espagne). Une masse critique de 200 personnes en Europe pourrait se mobiliser d'ici 2-3 ans sur ce sujet. En régime établi (cinquième année), le budget pour la France serait d'environ 20 M€/an, sans prendre en compte des investissements lourds de R&D (de l'ordre de 30 M€). L'effort total sur la période 2005-2010 serait voisin de 80 M€ (dont 30 M€ d'investissement).

### *Articulation avec la démarche européenne et internationale*

La Commission européenne a créé la plateforme "HFP" (voir ci-dessus) dans laquelle la France s'est fortement impliquée, notamment en prenant la présidence du Groupe Miroir des Etats membres. La France est également partenaire de l'IPHE (*International Partnership for*



*the Hydrogen Economy*) du DOE américain et fait partie de l'HIA (*Hydrogen Implementing Agreement*) de l'IEA (*International Energy Agency*).

Le plan d'action PAN-H s'appuie donc sur une volonté nationale et des atouts que la France pourra valoriser au niveau européen et international : maîtrise d'une filière française de pile à combustible à hydrogène compatible avec l'usage final automobile, en retenant l'objectif industriel visible et fédérateur d'installer 20 MW/an en 2010 ; complémentarité des projets nationaux avec les projets européens du 6<sup>ème</sup> PCRD ; structuration en cours de la recherche française sur la pile PEMFC en vue de piloter le réseau d'excellence européen correspondant ; développement, dans un cadre européen, de procédés HT innovants et durables (non-fossiles) pour la production massive d'hydrogène...

*Plan d'action national PAN-H : actions prioritaires à lancer dès 2005 :*

- mise en place du Comité de pilotage de PAN-H ;
- lancement du projet "Systèmes pile" : mise en place de l'équipe de projet et présentation de l'ensemble du projet au Comité de pilotage (fonctionnement, axes de recherche, objectifs, planning, budget...) ; lancement des premiers projets des pôles "Recherche" et "Technologies et innovations", après appels à propositions ; lancement des premières actions d'expérimentation et de déploiement, après appels à propositions, en concertation avec les collectivités territoriales ; lancement des propositions spontanées validées (pour les trois pôles) ;
- lancement des actions prévues en 2004, dans la continuité de la dynamique du réseau PACo, dans la mesure où elles s'inscrivent dans la stratégie de PAN-H ;
- lancement du projet "Pipeline", après mise en place de l'équipe de projet et présentation du projet au Comité de pilotage ;
- lancement du projet ELEC-H2, après présentation au Comité de pilotage ; spécification et validation, auprès du Comité de pilotage, de la démarche du projet SUSHY-PRO.

Une aide publique pour le démarrage du plan d'action national PAN-H est nécessaire à hauteur de 20 M€ en 2005, dont 14 M€ pour le projet "Systèmes pile" (à titre indicatif le budget annuel du réseau PACo a été de 10 M€ par an ).

Voir le tableau 1, page suivante.

**Tableau 1 : les thèmes de R&D d'intérêt commun de PAN-H**

	<b>Thèmes de R&amp;D d'intérêt commun *</b>	<b>Coordinateurs</b>
<b>Comité de pilotage</b>	<i>"Electrolyse et autres procédés de production d'hydrogène à haute température"</i>  <b>Projet ELEC-H2    Projet SUSHY-PRO</b>	<b>EDF</b>  <b>CEA</b>
	<i>"Transport et distribution d'hydrogène"</i>  <b>Projet "Pipeline"</b>	<b>Gaz de France</b>  <b>Total</b>
	<i>"Système pile à combustible"</i> <i>"Stockage embarqué d'hydrogène "</i> <i>"Déploiement des technologies"</i>  <b>Projet "Systèmes pile"</b>  <b>Pôle "Recherche"</b>  <b>Pôle "Technologies et innovations"</b> <b>Pôle "Expérimentation et déploiement"</b>  <b>Tâche "Essais et évaluation"</b>  <b>Tâche "Analyse économique"</b>  <b>Tâche "Relations extérieures"</b>	<b>Equipe de projet "Systèmes pile"</b>

Direction de la Technologie  
15 février 2005

\* Il est proposé que les thèmes "*Biomasse*" et "*Capture et stockage du CO<sub>2</sub>*" soient étroitement coordonnés avec PAN-H pour préserver la cohérence de la recherche sur les NTE.

## Chapitre 2

# Séparation et stockage du gaz carbonique

### 1. Remettre le carbone sous terre : la « soupape de sécurité » des politiques mondiales de lutte contre l'effet de serre

La combustion de produits fossiles, extraits du sous-sol, provoque l'envoi dans l'atmosphère de grandes quantités de gaz carbonique ; l'augmentation brutale des émissions de ce gaz à effet de serre depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle entraîne un dérèglement climatique.

Pour faire face à cette menace, trois parades complémentaires sont envisagées :

- limiter les besoins en combustible en améliorant l'efficacité énergétique,
- substituer aux énergies fossiles des énergies non productrices de gaz à effet de serre (renouvelables, nucléaires, ...),
- capturer et stocker le gaz carbonique pour une certaine durée, ralentissant ainsi le changement climatique. En utilisant des technologies d'ores et déjà commercialisées, il semble ainsi possible de capturer le gaz carbonique émis par les grands sites industriels (centrales thermiques, aciéries, cimenteries, raffineries, ...) et de le réinjecter sous terre, en profitant des nombreux confinements naturels qu'offre le sous-sol de notre planète. Il s'agit en quelque sorte de « remettre le carbone sous terre » ... là d'où il vient.

Cette dernière solution semble incontournable à l'échelle mondiale, à moyen terme. En effet, au cours des prochaines décennies, les combustibles fossiles continueront à jouer un rôle prédominant, par exemple pour assurer la production d'électricité dans des zones qui disposent de réserves de charbon abondantes (comme l'Australie, la Chine ou l'Amérique du Nord).

Les technologies de séparation et de stockage du gaz carbonique doivent faire leurs preuves. Il s'agit d'une part de rendre la capture moins coûteuse et d'autre part de garantir la maîtrise du stockage et de ses rejets sur le long terme.

### 2. Les enjeux pour la France : mobiliser contre le changement climatique, réduire les émissions françaises

La France s'est fortement engagée au niveau international en faveur de la lutte contre le changement climatique. Elle ne peut que s'intéresser de près à une technologie qui pourrait bien être, à court et moyen terme, la clé d'une plus grande mobilisation politique mondiale.

De plus, bien qu'elle ait récemment confirmé son intérêt pour l'énergie électrique d'origine nucléaire, la France pourrait elle aussi avoir besoin, pour atteindre ses objectifs de réduction des émissions à long terme, de recourir au stockage souterrain du gaz carbonique. Les industriels présents sur le sol français doivent y être préparés.

La France dispose d'équipes de recherche privées (EDF, Gaz de France, entreprises de toutes tailles du secteur parapétrolier, Total, Air Liquide, Alstom, Arcelor, Lafarge, ...) ou publiques (IFP, BRGM, IPGP, ENSMP, universités, ...) qui lui permettent de jouer un rôle de premier

plan dans la mise au point de l'ensemble des équipements et services associés à la capture, au transport et au stockage du gaz carbonique. Au delà de la maîtrise du stockage souterrain, sur le long terme, et de la nécessaire acceptation sociale de ces stockages, l'enjeu industriel majeur, qui concerne directement des entreprises comme Alstom et Air Liquide, est sans doute la mise au point d'une technologie de séparation du gaz carbonique nettement plus compétitive.

La France souffre d'un effort public de R&D qui ne soutient pas la comparaison avec les efforts de recherche annoncés par les grands pays. Il est nécessaire de disposer en particulier d'installation de démonstration, catalyseur d'une politique ambitieuse dans les domaines de la R&D, de l'industrie et de développer la concertation essentielle pour le positionnement de la France en Europe dans ce domaine.

### **3. Faire de la France un des plus gros exportateurs des biens et services associés**

Les technologies de capture et de stockage de carbone sont d'une importance stratégique sur le plan économique. La France peut prétendre jouer un rôle majeur dans la fourniture des équipements et services associés à ces technologies. L'enjeu économique est important : sur une période de 20 ou 30 ans, les investissements additionnels liés à la mise en œuvre de technologies de capture et de stockage pourraient en effet s'élever à plusieurs centaines de milliards d'euros au niveau mondial (dont une grande partie dans des pays comme l'Inde ou la Chine).

L'exemple de l'industrie pétrolière montre que les services ne doivent pas être négligés. L'industrie para-pétrolière française emploie aujourd'hui plus de 60 000 personnes et réalise un chiffre d'affaires supérieur à 16 milliards d'Euros, en très grande partie à l'export. Dans le domaine du stockage souterrain du gaz carbonique, des sociétés françaises pourront proposer de l'ingénierie, des services de certification, des services d'injection du gaz, des services de surveillance (monitoring) ...

### **4. L'objectif de la recherche : réduire les coûts et maîtriser le stockage dans la durée**

Il s'agit de :

- valider des solutions techniques et géologiques permettant de traiter durablement une partie significative des émissions des grands sites industriels, à un coût accepté par la collectivité. Un premier objectif à 5 ans pourrait être de réduire d'un facteur 2 le coût constaté avec les technologies actuelles. Il s'agit de passer, pour la capture et le stockage, d'un coût global de 40 à 60 Euros par tonne de gaz carbonique (ce qui implique par exemple un doublement du coût de l'électricité produite à partir du charbon) à un coût de 20 à 30 Euros par tonne de gaz carbonique.
- définir et valider de manière concertée des règles relatives à l'implantation et à la surveillance des stockages souterrains sur la base d'une ou plusieurs expérimentations de taille industrielle,. Il s'agit de démontrer l'intérêt de ces solutions pour réduire les émissions nettes de gaz carbonique et l'absence de nuisances significatives pour les populations habitant à la surface.
- confirmer la faisabilité d'une application généralisée à certains secteurs en France. Ceci exige la présentation d'études économiques, géographiques (identification des lieux potentiels de stockage ou d'utilisation du gaz carbonique en France ou à proximité de la France, évaluation des capacités de stockage, évaluation des possibilités de transport de la source jusqu'au lieu de stockage), ...

**Nous proposons donc comme objectif prioritaire de mettre en place en France une installation de démonstration de séparation et de stockage du gaz carbonique.**

Cette installation, dont l'objectif est de catalyser les efforts nationaux, servira en particulier à :

- améliorer la communication entre nos équipes de R&D, facilitant en particulier le transfert de savoir des centres de recherche publics vers l'industrie et une meilleure appréhension de la problématique industrielle par ces centres ,
- réaliser une vitrine du savoir faire national en vue de faciliter l'exportation de biens et de services,
- assurer la concertation avec les élus, les ONG et le grand public, dans la perspective d'une application étendue de ces techniques en France et à l'étranger.

Le projet de démonstrateur actuellement en discussion sera présenté en 2005. Il s'appuiera sur les recherches en cours, notamment à l'IFP et au BRGM, au sein des entreprises et dans le cadre de programmes de recherche soutenus par les fonds publics nationaux et européens,

Ce projet de recherche scientifique et technique sera développé en cohérence avec les contraintes écologiques, politiques, sociales, budgétaires et économiques.

## **5. Plan d'action**

- rédiger avant la fin de l'année 2004, un programme national de recherche, en concertation avec l'ensemble des acteurs français concernés, en détaillant . les axes de R&D à moyen terme (2006-2010). Ce programme s'appuiera notamment sur les travaux existants au sein du « Réseau des technologies pétrolières et gazières » et au sein du « Club CO<sub>2</sub> ». Il précisera les axes de R&D prioritaires pour la France qui assureront la compétitivité de la R&D nationale, pour chacune des « briques technologiques » nécessaires au succès du programme.
- Développer la recherche technologique au sein des organismes de recherche publics qui ont déjà engagé des efforts notamment au sein de collaborations internationales et de l'Union Européenne et de rendre plus efficace et plus visible l'action publique nationale dans ce domaine grâce notamment à la mise en place, avant l'été 2005, d'une comptabilisation et d'une coordination des actions des principaux acteurs publics
- En ce qui concerne les aspects réglementaires associés au projet de démonstration, il est proposé de mettre en place un groupe de travail conjoint ministère en charge des mines / ministère en charge de l'environnement, ayant pour objectif de préciser, avant la fin de l'année 2004, les scénarios envisageables ainsi que les avantages et inconvénients de chacun.
- Etablir le budget du programme de recherche à moyen terme et de l'opération de démonstration. **Une première estimation conduit à des aides d'un montant de 75 M€** pour un programme de l'ordre de 150- 200M€.

**10 M€ dès 2005** sont nécessaires pour accélérer la recherche française et ne pas prendre de retard irréversible dans la compétition internationale.

# Chapitre 3

## Électricité solaire photovoltaïque

L'industrie photovoltaïque est en constante progression, de 25 à 30 % par an dans les pays industrialisés. Les pays moteurs du développement sont en particulier le Japon et l'Allemagne avec des programmes de promotions ambitieux (80 MW installés en Allemagne en 2002 et 130 MW en 2003, 4,8 GW en 2010 pour le Japon). Le Japon, en particulier, est en train de prendre une avance industrielle, technologique et commerciale. On s'attend à des progrès considérables dans ce domaine au cours des prochaines années. Pour remédier à cette situation, la DG Recherche de la Commission Européenne a proposé la création d'une plateforme technologique européenne dans le domaine photovoltaïque qui a pour objectif de donner une impulsion nouvelle à la Recherche et à l'Industrie Européenne. L'ADEME participe activement à la construction de ce projet.

L'énergie solaire photovoltaïque a donné naissance à une industrie de pointe apparentée aux secteurs de l'électronique et de l'électrotechnique. De part sa nature de production d'électricité décentralisée, le photovoltaïque est créateur d'emplois locaux de plus en plus reliés à l'industrie du bâtiment. La recherche en France a pris du retard dans ce domaine, mais son industrie photovoltaïque s'appuie heureusement sur des PME performantes et couvre l'ensemble du secteur : élaboration de la matière première ; fabrication des divers composants des systèmes photovoltaïques ; installation ; suivi, contrôle réglementaire, ...

**L'une des conclusions importantes du groupe NTE est la nécessité de rattraper le retard de la France dans le domaine de l'électricité solaire photovoltaïque, par rapport notamment aux USA, au Japon, et à l'Allemagne et l'Espagne en Europe.**

### Objectifs du programme

Les objectifs généraux à moyen terme (2015) sont les suivants :

- réduction des coûts de fabrication des différents composants d'un système photovoltaïque (modules PV à 2 €/W soit 200 €/m<sup>2</sup>) ;
- augmentation des rendements de conversion des modules photovoltaïques (passer de 13% à 20 %), des appareils de conversion/gestion (onduleurs à 5 % de pertes, fiabilité supérieure à 15 ans, ...), du stockage pour certaines applications (durée de vie 10 à 15 ans), du système complet (1 500 kWh annuel par kW PV en France métropolitaine) ;
- fiabilité accrue de l'ensemble des composants et des systèmes complets (fiabilité 30 ans) ;
- amélioration de l'intégration du générateur photovoltaïque au bâti (garanties clos et couvert 30 ans).

Le plan national de recherche sur le photovoltaïque s'appuie sur un ensemble de projets portant sur le développement de technologies dans trois filières, chacune correspondant à une génération et à des horizons de déploiement s'étageant du court au long terme.

La première génération (CT) porte sur le silicium cristallin. C'est la technologie la plus développée actuellement, des progrès sont néanmoins nécessaires pour réduire les coûts du

kW produit par les modules et pour intégrer ces modules dans des systèmes optimisés. La production du matériau soit à partir de « chutes » de silicium de qualité électronique, soit par amélioration du silicium de qualité « métallurgique » fait partie de ce volet. Les acteurs industriels de cette filière sont essentiellement des PME innovantes, qui ont besoin d'un soutien en R&D pour développer leurs produits ou leurs procédés (Photowatt, Total énergie, Apex-BP solar, Solar Force, EMIX, Apollon Solar...).

La seconde génération (MT) concerne les couches minces déposées sur des substrats. Un laboratoire expérimental réunit EdF et le CNRS autour de la plate-forme CISEL (cellules à base de Cuivre, d'Indium et de Sélénium, sur un substrat verrier produit par St Gobain). Les rendements au m<sup>2</sup> seraient un peu moins bons que ceux obtenus avec le silicium cristallin mais les coûts pourraient être très inférieurs et les progrès technologiques devant soi. Cette filière fait l'objet d'un projet à part entière.

La troisième génération (LT) est davantage prospective. Il s'agit d'utiliser les propriétés électriques des matériaux organiques plastiques pour le développement d'une filière de cellules photovoltaïques plastiques à très bas coût. Le but serait de fabriquer de la surface photovoltaïque comme on produit du film « plastique ». La voie pour des rendements de 10% semble ouverte. Il faut noter la proximité technologique de cette filière avec celle des diodes électroluminescentes polymères qui affichent aujourd'hui des durées de vie qui excèdent les 30.000 heures.

Sur l'ensemble de ces horizons des projets sont déjà définis et ont débuté ou devraient pouvoir être bientôt lancés dans le cadre des financements actuellement disponibles (notamment à l'ADEME, mais aussi à l'ANVAR). Mais seules les phases initiales sont prises en compte et la plupart de ces projets doivent être découpés pour s'inscrire dans des budgets annuels. Ces projets, constitutifs de ce programme, sont décrits dans le tableau de synthèse qui termine ce chapitre. Un budget de recherche et développement stabilisé à un niveau de 5 M€an permettrait de conduire cette partie du programme (Hors INES)

Ce programme de recherche comprend également la mise en place d'un institut de recherche permettant de rassembler les compétences qui permettront à la France de répondre à ses ambitions au niveau international.

Dans les pays les plus avancés, l'efficacité du dispositif national de Recherche / Développement / Innovation industrielle (RDI) repose sur la mise en place d'un ou de plusieurs instituts nationaux. De tels instituts, ayant une taille critique en terme de moyens et de compétences, sont à même de porter une politique d'innovation scientifique et technologique au meilleur niveau mondial de manière pérenne et ainsi d'assurer la compétitivité de la filière industrielle nationale.

A ce jour, la France ne dispose pas d'institut national de ce type et présente un dispositif morcelé sur le territoire qui ne permet pas d'exploiter les effets de masse critique et de synergie. Aussi, plusieurs organismes dont notamment le CEA, le CNRS et le CSTB se sont étroitement coordonnés pour proposer un projet d'Institut National de l'Energie Solaire à Chambéry avec un soutien fort des collectivités locales de la région Rhone-Alpes. La réalisation de ce projet remettra le dispositif français au meilleur niveau international. Au-delà de l'amélioration de l'efficacité opérationnelle, il permettra à la France de participer efficacement à la construction de la plate-forme européenne photovoltaïque qui sera mise en place cet automne.



## **Création d'un Institut National de l'Energie Solaire : le projet INES**

Les acteurs institutionnels nationaux du domaine RDI (CNRS, CEA en liaison avec le CSTB), en concertation avec les ministères concernés (Ministère de la Recherche, Ministère de l'Industrie, ADEME) ont relayé l'initiative commune du Conseil Général de la Savoie, de la Région Rhône-Alpes, Université de Savoie pour constituer l'Institut National de l'Energie Solaire (INES) sur la technopole de Savoie-Technolac à Chambéry.

Cet institut a vocation à regrouper sur le même site la grande majorité des acteurs français du domaine de l'énergie solaire et tout particulièrement de la filière photovoltaïque. Il sera constitué de trois plates-formes complémentaires et en parfaite synergie :

- Une plate-forme « Recherche / Développement / Innovation industrielle (RDI) » portée par les organismes nationaux de recherche, le CEA et le CNRS en liaison avec le CSTB, auxquels se joignent les acteurs universitaires locaux. Cette plate-forme a pour but de constituer le cœur de compétences au meilleur niveau international de l'INES. Il constitue également l'outil de couplage avec le monde industriel sous forme de laboratoires communs avec les industriels de manière à transformer les innovations en réalités industrielles.
- Une plate-forme « Formation » en charge d'une part d'assurer l'enseignement universitaire des futurs acteurs du domaine du solaire en France et d'autre part de former et de sensibiliser les différents utilisateurs de l'énergie solaire (corps de métiers du bâtiment, décideurs et maîtres d'ouvrage, ...)
- Une plate-forme « Démonstration » qui constitue le lieu de mise en situation et d'évaluation des produits et procédés issus de la plate forme RDI et le lieu de démonstration de la viabilité des systèmes solaires auprès des différents publics concernés. Cette plate-forme représente le point d'échange naturel entre tous les groupes d'acteurs concernés par la thématique solaire en France.

Dans la phase de mise en place l'INES atteindra rapidement une taille de 80 personnes puis verra ses effectifs croître jusqu'à une taille comprise entre 150 et 200 personnes qui correspond à la masse critique des principaux instituts homologues au niveaux européen et international.

La proposition de localisation à Savoie Technolac résulte d'une initiative personnelle de Michel Barnier, alors Ministre de l'Environnement et de la conjonction de facteurs différenciant uniques en France :

- La présence en Rhône-Alpes de la plupart des industriels français du demain du solaire et tout particulièrement de la filière photovoltaïque (PECHINEY AVENSIL / Chambéry ; PHOTO WATT /Bourgoin-Jallieu ; TOTAL ENERGIE / Lyon ; SUNWATT / Annecy ; CLIPSOL / Aix-Les-Bains ; ...)
- L'existence d'une volonté politique et associative locale ancienne et forte (département de la Savoie, région Rhône-Alpes, ville et agglomération de Chambéry) en faveur du développement des énergies renouvelables et tout particulièrement du solaire qui a conduit à une multiplication des installations collectives et privées faisant de la région Rhône-Alpes la région leader dans le domaine en France
- La présence de nombreux laboratoires de recherche dans le domaine sur le site même de Savoie-Technolac (Université de Savoie, Ecole d'Ingénieurs) mais aussi à Grenoble

avec notamment toute la puissance de recherche de ses pôles micro technologiques et énergie et à Lyon principalement dans le domaine des matériaux.

Sur la base de ces constats les différents partenaires ont décidé d'apporter des contributions significatives au projet INES de manière à assurer les conditions de sa viabilité au meilleur niveau international :

- Les collectivités locales (Conseil Général de la Savoie et Région Rhône-Alpes) se sont engagées à créer les conditions d'attractivité du site de Savoie-Technolac pour attirer les meilleurs chercheurs et les activités pilotes avec les industriels. Elles mettront donc à disposition de ces acteurs opérationnels des bâtiments et des équipements pour un montant de 30 M€ sur 5 ans.
- Les organismes de recherche CEA et CNRS se sont engagés à mettre en place les compétences de recherche en regroupant dans l'INES la majorité de leurs équipes concernées par le solaire à hauteur de 80 personnes dans un premier temps.
- Les industriels français du domaine s'engagent à créer des laboratoires communs et des lignes pilotes sur le site de l'INES au sein de la plate-forme RDI de manière à maximiser le transfert de technologie.

L'ensemble de ces moyens seront opérationnels à l'échéance 2006-2007, l'année 2005 étant consacrée à une phase de préfiguration de l'INES dans des bâtiments d'accueil provisoires sur le site de Savoie-Technolac.

Dans la perspective d'une politique d'incitation forte en faveur du solaire photovoltaïque en France, il convient d'être attentif au risque de voir des industriels étrangers, Est asiatiques en particulier, racheter les PME françaises du domaine afin de s'assurer de têtes de pont pour la diffusion de leurs propres produits. Pour ces industriels, les réseaux commerciaux des PME françaises, établis de longue date, en métropole, dans les DOM-TOM et dans les pays d'Afrique de pratique francophone, représentent un atout important pour écouler leurs produits à partir de la France. En effet, s'ils ont l'avantage de prix de revient des plus compétitifs grâce à l'effet d'échelle de leurs vastes marchés nationaux et aux années d'expérience acquises, il leur manque, par contre, la culture relative aux activités de services liées à la fourniture d'énergie dans notre pays.

L'Etat qui a soutenu les PME photovoltaïques pendant de nombreuses années serait le premier lésé.

**Les collectivités locales apportent un soutien de 30 M€ au projet INES. Il serait nécessaire que le financement public (ministères chargés de la Recherche, Industrie, Equipement et Environnement, avec le soutien de l'ADEME) contribue au financement des projets de recherche soit dans la phase d'acquisition d'innovation soit dans la phase de valorisation industrielle à hauteur de 60 M€ sur la période 2005-2010, dont 30 M€ serait affecté à l'INES. Cela permettrait de construire un programme de 120 à 150 M€, en tenant compte de la part apportée par l'industrie.**

## **Chapitre 4**

### **« PREBAT »**

## **Maîtrise de l'énergie dans le bâtiment**

La préparation « du plan climat » a identifié le besoin de créer un programme de recherche et d'expérimentation sur les bâtiments existants et à construire, axé notamment sur la réduction des consommations d'énergie. Ce programme devra viser à la modernisation, selon les principes du développement durable, des bâtiments existants et à la construction de bâtiments neufs, dits à énergie positive, produisant l'énergie dont ils ont besoin.

Parmi les trois types de parades qui peuvent être envisagées face à l'émission des gaz à effet de serre et au changement climatique qui en résulte, à savoir :

- limitation de la consommation,
- remplacement partiel des énergies fossiles par des énergies renouvelables,
- stockage et emprisonnement du gaz carbonique.

la maîtrise de la dépense énergétique dans le bâtiment se situe pleinement dans la première et très largement dans la seconde, c'est dire qu'elle permet de traiter le problème le plus à la source possible, de manière « active » et non « curative ».

Sur une consommation annuelle totale d'énergie finale en France de 162 MTep (industrie, transports, bâtiment...), le bâtiment consomme 70 MTep (43 %) se répartissant pour environ 2/3 pour le résidentiel et 1/3 pour le tertiaire. Cette part de la consommation se subdivise en 49 MTep pour le chauffage et 21 MTep pour les autres besoins (eau chaude sanitaire ; cuisson ; éclairage domestique ; climatisation notamment pour le tertiaire). La réduction des consommations d'énergie des bâtiments existants est un enjeu majeur.

La présente proposition PREBAT situe les résultats à l'horizon 2050 avec des objectifs intermédiaires en 2020.

A l'horizon 2020 l'objectif pourrait être de réduire les consommations énergétiques des bâtiments neufs de 40% par rapport aux constructions actuelles ; une étape intermédiaire permettrait de disposer en 2010 des solutions validant, sur un secteur pilote significatif, cet objectif « - 40% ». Pour le bâti existant, ce même objectif de 40% pourrait être atteint pour une part significative grâce à des matériaux et des technologies spécifiquement adaptées à ce marché. Il serait notamment possible de disposer en 2010 de solutions permettant d'atteindre, lors de réhabilitations lourdes, le niveau actuel du neuf.

Ces résultats seront rendus possibles grâce à la synergie entre un effort de recherche important organisé par le PREBAT et l'augmentation continue des performances requises par la réglementation telle que prévue par le plan climat.

A l'horizon 2050, c'est le bâtiment à énergie positive qui est visé. Le bâtiment peut être un lieu de production d'énergie décentralisée utilisant les énergies renouvelables : vent, soleil,

géothermie superficielle, biomasse... Le bâtiment assure alors ses propres besoins et l'énergie non consommée est restituée dans le réseau.

De façon générale, nous nous inscrivons à cet horizon dans une perspective où :

- la consommation hors chauffage restera stable, malgré l'évolution démographique : la croissance des besoins sera compensée par des progrès techniques sur les rendements des appareils ;
- la consommation pour le chauffage passera de 170 kwh/m<sup>2</sup>/an à 50 kwh/m<sup>2</sup>/an, soit une réduction de 70 % de la consommation c'est à dire une réduction de 70% de l'émission des gaz à effet de serre. (réduite à 66 % environ, si l'on tient compte de l'augmentation des surfaces bâties).

On passerait donc de 150 MTCO<sub>2</sub> émis chaque année à 51 MTCO<sub>2</sub> triplant ainsi dans le temps les capacités de stockage<sup>5</sup> (ou peut être simplement s'accordant mieux aux capacités de photosynthèse) du CO<sub>2</sub>.

Une réduction aussi drastique des consommations énergétiques, notamment fossiles quant au chauffage, passe par des progrès menés en parallèle dans plusieurs domaines :

I - Dans le domaine des matériaux et des technologies les travaux concerneront aussi bien la construction neuve que la réhabilitation de l'existant et devront être adaptés à ces deux marchés en tant que de besoin. Ils porteront sur :

- la recherche de solutions alternatives au système binaire chauffage/réfrigération
- le re-engineering de l'enveloppe et l'approfondissement du concept de façades actives et de murs solaires,
- l'amélioration franche des performances énergétiques des équipements de production et de transfert ;
- la recherche systématique des « niches » pour les énergies renouvelables (photovoltaïque, éolienne, biomasse...) qui pour être développées doivent faire l'objet de recherches nouvelles,
- les techniques d'isolation et de ventilation pour limiter les déperditions directes par l'utilisation de nouveaux matériaux (isolants sous vide par exemple) et de produits multi-fonctionnels,
- l'aide à la conception avec la prise en compte des interactions sur la santé,
- l'optimisation des filières énergétiques et la gestion délocalisée de l'énergie,
- les techniques spécifiques de mise en œuvre, notamment pour l'existant,
- le choix des échelles pertinentes de décision : bâtiment, quartier, ville...

On notera que le programme PREBAT aura de fortes connections avec le programme Energie Renouvelables (photovoltaïque, bio masse). Il requiert certainement de nombreuses ruptures technologiques pour satisfaire les objectifs ambitieux qu'il vise.

A côté des recherches sur les technologies (et les sciences dites dures), il est indispensable de conduire des recherches dans le champ de l'économie et des sciences du comportement.

II - Dans le domaine de l'économie, le choix définitif des filières passe par la prise en compte des coûts globaux à court, moyen et long terme. Seules des études économiques peuvent permettre d'opérer des choix dont certains sont quasi irréversibles. En particulier, le

---

<sup>5</sup> A titre d'exemple, les capacités de stockage des seuls gisements pétrolifères français passeraient de 830 ans 2450 ans pour le seul CO<sub>2</sub> émis par le bâtiment.

programme s'attachera à dégager des filières technologiques structurantes au sens où elles permettront l'assemblage ou l'intégration des nouvelles technologies.

III - Dans le champ de la sociologie, la consommation en matière de chauffage, de climatisation et d'énergie en général est très liée au mode de vie des occupants qui peuvent avoir des attitudes en complète contradiction avec les logiques technologiques ou économiques. Il est indispensable que toute solution proposée soit d'emblée acceptée par les utilisateurs pour avoir de réelles chances de mise en application.

En parallèle aux travaux de recherche, des expérimentations seront conduites pour valider avec l'ensemble des acteurs professionnels les conditions de faisabilité et d'appropriation des solutions innovantes, tant en construction neuve qu'en réhabilitation.

Ce programme, par la mobilisation des acteurs économiques et sociaux favorisera l'implication des petites et moyennes entreprises de la construction qui créeront des emplois sur ces nouveaux marchés. Il permettra en outre, par effet réseau, de faire collaborer des chercheurs scientifiquement et géographiquement dispersés (CNRS, CEA, CSTB, COSTIC, CETIAT, CTBA...)

Son succès sera déterminant pour le respect des engagements internationaux tel que l'accord de Kyoto ou le respect de la directive européenne sur les économies d'énergie.

---

Budgets publics nécessaires : 5 M€ en 2005 ; 10 M € en 2006 ; 15 M€ en 2007 et années suivantes

---

# Chapitre 5

## Programme Bioénergies

Le développement des bioénergies<sup>6</sup> est une composante clef pour permettre à la France d'atteindre les objectifs ambitieux qu'elle se fixe dans le domaine des énergies renouvelables, dès 2010, et ce pour tous les usages de l'énergie dans tous les secteurs de consommation :

- augmenter de 50% la production d'énergie thermique d'origine renouvelable;
- porter à 21% la part de la consommation d'électricité d'origine renouvelable ;
- porter à 5,75% la part des biocarburants d'origine biomasse.

Lors d'une communication en Conseil des Ministres en août 2004, le gouvernement a annoncé qu'il entendait poursuivre le développement des bioénergies dans le cadre du plan climat et du projet d'orientation sur l'énergie en confirmant ses engagements et en renforçant la mise en œuvre des actions ainsi décidées. En effet l'essor des bioénergies et notamment des biocarburants constitue une priorité nationale en raison des enjeux qui s'inscrivent au premier plan de notre stratégie du développement durable : la protection de l'environnement, les débouchés pour l'agriculture et la forêt et les emplois et la richesse qui y sont associés, ainsi que la promotion des énergies renouvelables. C'est également un enjeu majeur pour l'Europe qui a décidé de lancer<sup>7</sup> un plan d'action « biomasse - énergie ».

**La présente proposition d'un programme national de recherche sur les bio-énergies** situe la mise en application des recherches à l'horizon 2020 avec des objectifs intermédiaires en 2010. Ce programme vise :

- *l'élargissement du périmètre des bioressources utilisables* et économiquement acceptables (sciences agronomiques, exploitation forestière et chaîne d'approvisionnement, y compris déchets) par des études sur la ressource Biomasse
- *le développement et la démonstration de la faisabilité économique de nouvelles technologies de conversion énergétique<sup>8</sup> de biomasse ligno-cellulosique* notamment pour la production de biocarburants et d'hydrogène;
- *l'élaboration de stratégies globales d'utilisation des ressources* et des coproduits : étude de systèmes complets de valorisation de la biomasse

La valorisation énergétique est, avec la « chimie verte », une valorisation non alimentaire de la biomasse d'origine agricole et celle issue de la sylviculture (biomasse ligno-cellulosique). Le programme devra s'appuyer sur une analyse à court et long terme de ces filières de valorisation des points de vue technologique, industriel et commercial avec des objectifs quantifiés pour chacune des

---

<sup>6</sup> Les bioénergies sont les énergies produites à partir de la biomasse et du biogaz. La biomasse est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes. Elle comprend également la fraction, biodégradable des déchets industriels et ménagers.

<sup>7</sup> Projet de communication de la Commission au Conseil et au Parlement Européen "The share of renewable energy in the EU" (en cours d'examen)

<sup>8</sup> Remarque concernant les bioénergies pour la production d'électricité et de chaleur : l'amélioration incrémentale des technologies déjà prouvées (cycles combinés et turbines à gaz de synthèse issu de la gazéification de biomasse pour la production décentralisée d'électricité) ne fait pas partie du périmètre du programme en tant que tel mais doit être suivie de près notamment dans la perspective de la construction de filières d'approvisionnement pérennes et d'une utilisation harmonieuse des ressources

utilisations, ne serait ce que pour des questions de concurrence des usages de la biomasse et d'écoulement des coproduits.

Le programme pourra s'appuyer sur les travaux menés au cours des années passées par le GIS AGRICE, et surtout sur les partenariats qui ont été créés entre industriels et laboratoires de recherche.

Pour que la valorisation énergétique des biomasses soit durable, il faut avancer dans la construction du programme avec une recherche pluridisciplinaire, focalisée et coordonnée. Aussi le programme est-il structuré en deux projets menés en parallèle :

### **1. l'élargissement du périmètre des bioressources utilisables et économiquement acceptables (sciences agronomiques, exploitation forestière et chaîne d'approvisionnement, y compris déchets) par des études sur la ressource Biomasse**

Ce projet vise d'abord à renforcer les connaissances, afin de constituer une banque de données sur les biomasses susceptibles d'être utilisées en valorisation énergétique et « chimie verte » (cultures, forêts, déchets, résidus), au regard des utilisations industrielles envisageables et sur les conditions pédagogiques, climatiques et socio-économiques favorables à leur exploitation. Des analyses de cycle de vie et impacts environnementaux des filières d'approvisionnement seront menées.

Le projet « ressources » comportera des travaux de R&D sur le génie génétique pour les cultures énergétiques, y compris forestières, les technologies de récolte ou de collecte, de densification, de stockage et de transport des biomasses. Il s'appuiera sur des expérimentations de cultures énergétiques rapides (TCR, TTCR) à une échelle suffisante pour leur utilisation pour la production d'électricité et de chaleur qui bénéficie déjà de mécanismes de soutien<sup>9</sup>.

Cette partie du programme devra analyser l'intérêt de la valorisation énergétique dans la gestion de la biomasse contingente (traitement des déchets, aménagement de l'espace forestier, bioremédiation et génie écologique...).

### **2. le développement et la démonstration de la faisabilité économique de nouvelles technologies de conversion énergétique, notamment pour la production de biocarburants et d'hydrogène à partir de biomasse ligno-cellulosique ;**

Les terres agricoles en jachère (de l'ordre de 1,5 Mha) sont a priori suffisantes pour atteindre l'objectif qui a été fixé à 5,75% de biocarburants dans les carburants en 2010. Mais pour aller au-delà de ce premier objectif de 5,75%, l'utilisation des bioénergies d'origine agricole risque d'être limitée par plusieurs facteurs :

- le rendement médiocre de production de la biomasse par unité de surface cultivée (de l'ordre du tep substitué / ha de culture) ;
- la disponibilité et le coût des ressources non seulement du fait des surfaces disponibles mais aussi de la structuration des filières entre les usages alimentaires, les usages énergétiques ou la chimie verte,....
- le coût élevé et le rendement limité des filières de transformation
- La gestion des coproduits tels que la glycérine, les tourteaux, dans les filières de production de biocarburants à partir d'oléagineux .

Pour poursuivre et amplifier cette politique de développement des biocarburants, il faut donc également prendre en compte la filière biomasse ligno-cellulosique, qui est issue majoritairement de l'exploitation forestière, mais aussi des déchets agricoles (paille, tourteaux, ...). Cette filière, complémentaire de la filière agricole non alimentaire, est en développement. Elle permettra la production soit de biocarburants, soit d'hydrogène renouvelable pour l'alimentation des piles à combustible.

---

<sup>9</sup> Tarifs d'achat et appels d'offres.

Ce projet a été élaboré par un groupe de travail animé par l'ADEME et regroupant les acteurs industriels et institutionnels du secteur<sup>10</sup>. Il couvrira la R&D nécessaire dans deux voies de synthèse de vecteurs énergétiques (carburants et hydrogène) présentant le meilleur potentiel :

- **La voie thermochimique** (ou voie sèche) : production de gaz de synthèse (CO+H<sub>2</sub>) par gazéification de la biomasse ligno-cellulosique (bois, déchets de bois, paille,...). Cette première étape production du gaz de synthèse peut être suivie au choix
  - de la production de carburants liquides directement substituables (gazole) par le procédé Fischer-Tropsch,
  - ou de la production d'hydrogène par le procédé de gaz-shift.

Des procédés déjà expérimentés à l'échelle pilote existent pour l'ensemble des étapes de gazéification, synthèse Fischer-Tropsch et hydrocraquage des cires produites. L'ensemble de cette chaîne doit être optimisé en tenant compte des contraintes spécifiques de transformation de la biomasse, Il s'agit notamment d'étudier des étapes de prétraitement de la biomasse et de purification des effluents de l'unité de gazéification. Des concepts innovants, en particulier au niveau de la gazéification, doivent être également étudiés pour améliorer la compétitivité de la filière. Le programme de recherche associé à cette voie « thermochimie » doit conduire à une maîtrise de l'ensemble de la filière. La réalisation d'une **plate-forme de développement** est envisagée. D'une capacité de l'ordre de quelques centaines de kg /heure, intermédiaire entre l'échelle laboratoire (~1kg/h) et l'échelle pré-industrielle (~10 t/h), cette plate-forme aurait pour objectif de valider les choix technologiques de la filière en termes de rendements énergétique et masse, et en termes de coûts de l'hydrogène ou du gazole produit.

- **La voie biochimique** (ou voie humide) : production d'éthanol à partir de matières premières ligno-cellulosiques à partir de procédés biochimiques optimisés notamment l'hydrolyse par des enzymes cellulolytiques et la fermentation éthanolique par des souches de levures utilisant les pentoses. Les « biotech » qui seront développées pourront avoir des usages dans d'autres secteurs de la « chimie verte ». Ce programme fera appel aux compétences en biochimie, biologie moléculaire, microbiologie, génétique microbienne, développement de bioprocédés, modélisation et évaluation économique. Ces travaux seront réalisés à l'échelle du laboratoire ou du petit pilote.

Enfin,, des modélisations et évaluation économiques des filières de l'amont à l'aval, y compris la valorisation des co-produits, seront menées au sein du programme. L'objectif sera de déterminer des outils les plus à même de favoriser la promotion et le déploiement des bioénergies en tenant compte des différents usages (énergie/chimie/agroalimentaire). Des études technico-économiques porteront sur l'élaboration d'un concept de bioraffinerie appliqué aux stratégies industrielles et commerciales des acteurs du secteur.

## Structure et Pilotage du programme Bioénergies

La réalisation du programme nécessite la mise en place d'une structure de pilotage coordonnée dans une vision stratégique de la recherche amont aux applications et aux marchés, avec des objectifs et des réalisations clairement identifiées :

- Un comité de pilotage national regroupant les ministères concernés par le programme, des représentants des collectivités locales soutenant le programme, l'ADEME et des représentants de la recherche, de l'industrie, de l'agriculture et de la sylviculture. Ce comité aura en charge l'élaboration de la mise en œuvre du programme et sa coordination. Il veillera à la promotion du programme et notamment de ses plates-formes au niveau européen (fin du 6<sup>ème</sup> PCRD et surtout 7<sup>ème</sup> PCRD).

---

<sup>10</sup>IFP, CEA, INRA, CNRS, CEMAGREF, constructeurs automobiles, raffineurs, équipementiers, constructeurs, sociétés d'ingénierie



- Une équipe de projet pluridisciplinaire et permanente chargée de la maîtrise d'œuvre des 2 projets du programme.

Le programme pourrait fonctionner par appels à propositions et/ou examen de propositions au fil de l'eau.

## **Plan d'action**

**Des actions doivent être menées dès fin 2004 et en 2005 pour lancer efficacement le programme :**

- mise en place du comité de pilotage<sup>11</sup>.
- élaboration du cahier des charges d'une plate-forme régionale de R&D pour valider les choix technologiques des filières développées.
- constitution de l'équipe projet de maîtrise d'œuvre et lancement des premiers appels à projets de R&D

## **Rayonnement international du programme Bioénergies**

**Le programme Bioénergies doit permettre à la France de valoriser ses atouts en matière de valorisation de la biomasse, agricole et forestière (biomasse ligno-cellulosique) au niveau européen, avec des enjeux pour sa recherche et surtout pour la compétitivité de son industrie.**

Il faudra identifier des forums où présenter cette initiative à nos partenaires européens pour mettre la France en position de peser sur les choix qui seront faits dans le 7<sup>ème</sup> PCRD et mettre la plate-forme régionale en position pour répondre aux futurs appels à projets européens.

La création d'un cluster Eurêka sur l'un des thèmes cibles du programme peut être également envisagée pour mettre en place un partenariat industriel fort.

## **Budgets nécessaires :**

Le programme Bioénergies pourrait nécessiter 120 à 180 M€ sur la période 2005 – 2008 dont 60 M€ d'aides publiques<sup>12</sup> réparties sur les trois projets<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> Une première réunion dans une configuration provisoire a eu lieu le 28/09

<sup>12</sup> Etat et collectivités locales, hors financements européens

Le projet B pourrait réclamer 40 à 50 M€ pour la réalisation du démonstrateur de gazéification

## Conclusions

La priorité donnée aux propositions de programmes de recherche décrits dans ce rapport a pour but d'accélérer le développement des nouvelles technologies de l'énergie en coordonnant efficacement les recherches publiques et privées. Ces priorités ont été définies pour assurer un maximum de cohérence et d'efficacité avec les programmes de recherche existant.

Le vecteur hydrogène nécessite pour son développement la mise au point de la technologie de la pile à combustible, depuis la recherche et l'innovation jusqu'à l'expérimentation et au déploiement. De gros progrès restent à faire pour rendre cette technologie compatible avec l'usage automobile, notamment sur le cœur de pile, les composants auxiliaires et l'intégration du système, tout en favorisant son déploiement industriel dans des marchés de niche moins exigeants à plus court terme (applications stationnaires, résidentielles, tertiaires ; transport collectif...) qui prépareront le marché automobile. Des solutions innovantes de stockage embarqué d'hydrogène, compatibles avec l'usage automobile, restent également à développer, en utilisant de nouveaux matériaux et procédés. La R&D est aussi nécessaire pour mettre au point une filière française d'approvisionnement en hydrogène compatible avec les contraintes environnementales et de sécurité d'approvisionnement, d'une part en recherchant une solution optimale pour le transport et la distribution d'hydrogène par des canalisations pendant la phase de transition vers une utilisation massive d'hydrogène, d'autre part en développant des procédés de production massive d'hydrogène innovants et durables (non-fossiles).

La solution de la capture et du stockage du gaz carbonique pourrait être la « soupape de sécurité » des politiques mondiales de lutte contre l'effet de serre. Rapidement disponible, elle pourrait être acceptée par les pays les moins disposés - jusqu'à présent - à réduire leurs consommations énergétiques et la part des énergies fossiles dans ces consommations. Elle permettrait de donner à l'humanité le temps nécessaire pour migrer vers une civilisation plus économe et « sans carbone ».

L'importance de la consommation énergétique dans l'habitat conduit à mobiliser des ressources importantes pour développer des idées nouvelles, en particulier pour la gestion et l'optimisation de l'utilisation de l'énergie dans l'habitat avec un recours accru aux énergies nouvelles et renouvelables pour la production de chaleur et d'électricité..

A long terme le solaire photovoltaïque pourrait représenter une contribution significative de la production d'électricité dans les pays développés comme dans les pays en voie de développement mais les coûts de production sont encore très élevés et doivent diminuer d'un facteur 5 à 10. L'analyse des verrous dans le domaine des composants photovoltaïques liés à des coûts élevés, un contenu énergétique pour la fabrication, des rendements faibles et une stabilité au rayonnement insuffisante, enfin le passage au stade industriel nécessitent des recherches. Elles doivent conduire à court terme, pour le silicium cristallin massif, à des rendements des cellules de grandes tailles industrielles de 18 à 20% et à une gestion intelligente de systèmes hybrides, à moyen terme au développement industriel de la filière cellules en couches minces de grandes surfaces ; enfin, pour le long terme, la recherche portera sur des concepts de cellules innovantes avec de nouveaux matériaux.

Au niveau de l'Europe, il faut signaler l'ambitieux programme de recherche sur l'exploitation de la chaleur du sous-sol profond (5000 m), dont le leadership est franco-allemand. Le projet de Soultz sous-forêt mobilise un budget de 22 M€ pour la période 2004-2007 (dont 5 M€ pour la France).

Le développement des bioénergies pour la production de chaleur, d'électricité et les biocarburants pour les transports est une composante à part entière de la diversification du bouquet énergétique et des objectifs ont été établis à l'horizon 2010. Des enjeux non énergétiques sont également liés au développement des biotechnologies et à la valorisation des forêts et des ressources agricoles. A plus long terme, une politique de développement encore accru de la part des bioénergies est envisageable à condition que les technologies de transformation de la biomasse voient leurs rendements s'améliorer, que les coûts de production soient fortement réduits et que l'approvisionnement soit accru et diversifié. Les carburants de synthèse issus de la biomasse, dont la production peut faire appel à des « process » chimiques ou biologiques et être le cas échéant combinée avec le stockage du gaz carbonique, pourraient apporter une réponse partielle à la demande de carburants liquides dans les transports en attendant la généralisation d'une solution hydrogène – pile à combustible.

L'accroissement de l'effort de recherche et de développement est la seule façon d'atteindre les objectifs fixés par le gouvernement pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et respecter les accords de Kyoto. L'ensemble de ces propositions a été établi par des personnalités choisies parmi les plus compétentes du monde de la recherche technologique française, représentant les organismes publics et industriels fortement impliqués au niveau de l'Europe et dans les collaborations internationales. En accord avec le rapport du groupe présidé par Monsieur Chambolle, leurs conclusions confirment l'absolue nécessité de combler le fossé qui s'est creusé entre la recherche sur les nouvelles technologies de l'énergie en France et dans les autres pays par un financement adapté aux enjeux économiques considérables.

Le tableau de la page suivante résume le financement actuel et les investissements nécessaires pour les programmes proposés dans ce rapport.

**Tableau récapitulatif des programmes PAN-H, BIO-ENERGIES, CO2, solaire PV/INES et PREBAT**

Programme	Durée	Montant total	Aide publique totale demandée	Crédit incitatif (moyenne annuelle)	Crédits incitatifs actuels (moyenne annuelle)	Programmes/organismes (financements possibles en cours)
PAN-H	2005- 2010	600 M€	240 M€	40 M€	PACo (ADEME, FRT, Digitip) : 10 M€/an	Min. recherche ADEME, CNRS, ACE PCRD
BIO-ENERGIES	2005- 2008	120 - 180M€	60 M€	15 M€	ADEME ( AGRICE) 3 M€	ADEME (Agrice) CNRS, ACE* PCRD
CO2	2005-1010	150-200 M€	85 M€	10M€ en 2005 15M€/ an ensuite	RTPG 1M€ ADEME" 1M€	ADEME, BRGM, IFP CNRS, ACE* PCRD, IGP IPGP
SOLAIRE PV/INES	2005- 2010	120-150M€	60 M€ au total (dont 30 M€ INES)	10M€/an	ADEME (PV) : 3M€	ADEME, CEA, CNRS EDF Min. Recherche ACE* PCRD
PREBAT	2005- 2010	235 M€	75 M€	5M€ 2005 10M€ 2006 15M€ 2007 = suivantes	ADEME (Bât 2010) : 2,5, M€	ADEME BÂT 2010 CNRS, ACE* PCRD

- Action concertée Énergie 2003 du Ministère de la Recherche (DR) avec CNRS et DGA

## **Annexes**

**Annexe 1 : Plan d'action « Électricité solaire photovoltaïque »**

Thème	5 ans	2010	10 ans	2015	20 ans	2025
<b>Silicium cristallin massif (1<sup>re</sup> génération PV)</b>						
Projet SiNERGIES CEA, CNRS Cellules au silicium cristallin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- rendement de conversion ; 20 %</li> <li>- dimension cellule 400 cm<sup>2</sup></li> <li>- procédés transférables à l'industrie</li> <li>- coût cellule &lt; 1 EUR/W</li> </ul>	x	Évolution vers des procédés à haute productivité industrielle	x		
Projet RÉDUCOP Photowatt, CEA, CNRS Lingots, cellules et modules au silicium multicristallin	Objectifs industriels <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût direct de fabrication module : 1,2 EUR/W</li> <li>- Rendement de conversion pré-industriel cellule : 17 % (225 cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Fiabilité modules PV: 30 ans</li> </ul>	x	Technologie de sciage pour épaisseur des plaques de 150 µm, 400 cm <sup>2</sup> Rendement de conversion module 20 % Coût de production module : 1 EUR/W	x		
Projet PHOTOSIL Pechiney-Invensil, Apollon Solar, CEA, CNRS, université Matière première et briques de Si multicristallin	Pilote pré-industriel procédé électrométallurgique (induction, plasma) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Silicium de qualité solaire PV à 15 EUR/kg</li> <li>- Briques de silicium mc-Si 225 cm<sup>2</sup> de section à coût 2 fois inférieur à celui de l'industrie classique</li> </ul>	x	Technologie plasma haute productivité, purification in situ, faible coût 10 EUR/kg	x		

Thème	5 ans	2010	10 ans	2015	20 ans	2025
Projet creuset froid EMIX, CNRS, université Lingots de Si multicristallin	Optimisation de la méthode de moulage en creuset froid électromagnétique Objectifs R&DT en cours de définition sur outil industriel en voie de validation	x	Haute productivité, plasma inductif sur creuset électromagnétique	x		
Projet RST 150 Solarforce, CEA, CNRS, université Ruban de silicium sur substrat temporaire	Pilote en voie de construction Épaisseur ruban 150 µm et cellule à 15 %		RST 80 : Optimisation machines industrielles Cellules épaisseur 80 µm à 18 % pour module < 0,8 EUR/W	x		
<b>Couches minces, films (2<sup>e</sup> génération)</b>						
Projet CISEL EDF R&D, CNRS, St Gobain, université Matériau Cu-In-Se-Ga sur substrat verrier	Validation du procédé pilote électrodépôt et recuit rapide – Rendement de conversion cellule : 15 %; module 0,1 m <sup>2</sup> : 12 % – Coût de production : 0,7 EUR/W	x	Progrès sur les rendements industriels des procédés à pression atmosphérique Modules de 1 m <sup>2</sup> à 14 %, coût de production < 0,6 EUR/W	x	Rendement de conversion des modules à 18 % sur 1 m <sup>2</sup> et plus à 0,4 EUR/W	x
<b>Autres matériaux (3<sup>e</sup> génération) et nouveaux concepts</b>						
Matériaux organiques, molécules, nanocomposites CEA, CNRS, université	Recherche de base sur la synthèse des matériaux Démonstration de cellule 1 cm <sup>2</sup> à 5 % stable (5 000 h)		Recherche de base Cellules stables (10 ans) à 10 % et module à 8 %	x	Cellules à 15 %, modules à 10-12 %, 20 ans et 0,2 EUR le watt	x
Nouveaux concepts	Recherches fondamentales effets de points et plots quantiques, nanostructures, multijonctions, ...	x	Recherches de base, premières cellules à 10 %	x	Cellules prototypes à 25 %	x





## Annexe 2

### **Lettre accompagnant le rapport sur les nouvelles technologies de l'énergie, adressée par le président du groupe de travail, Monsieur Thierry Chambolle, aux ministres de l'Équipement, de l'Environnement, de l'Industrie et de la Recherche.**

Vous avez demandé à un groupe de travail composé principalement de représentants des organismes de recherche et du monde industriel :

- d'identifier les objectifs et les axes de priorité de la recherche française et européenne dans le domaine de l'énergie pour répondre à l'horizon 2050 aux enjeux permanents de ce secteur (disponibilité, compétitivité, indépendance, acceptation sociale, contribution au développement, ...) tout en réduisant de manière drastique les émissions de CO<sub>2</sub> afin de contenir le réchauffement climatique,
- de faire des recommandations sur l'évolution des dispositifs de soutien à la recherche et à l'innovation pour atteindre ces objectifs.

Le rapport joint répond à votre commande. Sur la base d'une analyse de la situation actuelle, il propose des priorités pour la recherche sur l'énergie et des recommandations pour sa conduite en France et en Europe.

Pour réduire à l'horizon 2050 les émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité humaine au niveau de ce que la planète paraît en mesure de recycler naturellement et compte-tenu des ambitions légitimes de développement des pays du sud, il sera nécessaire aux pays industrialisés, et en particulier à la France, de réduire leurs émissions par un facteur 3 à 5 d'ici 2050. C'est en soi un défi majeur. Mais il est rendu encore plus difficile sur la période considérée par une tendance spontanée à une croissance de la demande en énergie, même dans les pays industrialisés comme la France et par la possibilité de toujours satisfaire, sans risque immédiat d'épuisement, une part majoritaire de cette demande à partir des réserves d'énergies fossiles accessibles.

La réponse à ce défi, dont les acteurs économiques n'ont pas encore pris conscience dans toute sa mesure, nécessitera des évolutions dans les comportements, la réglementation, les prix de l'énergie mais surtout des innovations technologiques indispensables pour maintenir, voire améliorer encore, le niveau de vie des français et la compétitivité internationale de la France qui sont indissolublement liés.

Conformément à son mandat, le groupe a centré ses travaux sur ce seul domaine des innovations technologiques et comparé les efforts actuels ou programmés de R&D des grands pays industrialisés.

En dépit des déficiences généralisées de l'appareil statistique, il a constaté que l'addition des financements publics des pays européens et du PCRD conduisait à un effort de recherche dans le domaine de l'énergie inférieur à l'effort consenti respectivement par les USA et le Japon.

Pour faire jeu égal avec ces pays, l'Europe doit accentuer son effort financier mais elle doit surtout et d'abord surmonter le handicap lié à la jeunesse relative de sa constitution et à la complexité de ses modes de décision et de fonctionnement en améliorant de manière substantielle l'organisation et la coordination de sa recherche dans l'énergie.

Le groupe propose, à cet effet, de confirmer le leadership de l'Europe pour la conduite des grands programmes de R&D sur la fusion, l'hydrogène et la pile à combustible, la séquestration, et d'une manière sans doute différente les grands réseaux électriques européens, en demandant à tous les acteurs nationaux concernés de travailler dans ce cadre. Il suggère que, corrélativement, l'Europe accepte de s'impliquer financièrement dans les programmes "Eureka" consacrés à la maîtrise de l'énergie, suivant des modalités simples à définir avec elle.

Ainsi, l'Europe qui a eu le courage de prendre des décisions unilatérales sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et pris le risque de générer des distorsions de concurrence, pourrait, à la fois, être l'interlocuteur efficace des USA et du Japon pour quelques grands programmes de moyen et de long terme et contribuer à l'amélioration des positions concurrentielles de ses propres industries.

Elle devrait parallèlement renforcer son organisation, prévoir dans le 7ème PCRD un programme prioritaire de R&D dans l'Energie, regrouper dans une direction générale unique les crédits correspondants et viser davantage, au travers de ce programme, l'efficacité de la recherche que l'intégration européenne.

Au sein de l'ensemble européen, l'effort français est significatif ce qui est cohérent avec ses ambitions dans l'Europe de l'Energie. Cet effort est surtout focalisé sur le nucléaire et les fossiles. En outre, l'organisation actuelle de la R&D publique n'est pas complètement adaptée à ce nouveau défi et les industriels français, s'ils ont montré leur volonté d'y faire face en s'engageant dans des programmes de réduction des émissions dans le cadre de l'AERES, doivent encore préparer et engager les programmes de R&D nécessaires pour maintenir ou renforcer leur compétitivité dans ce nouveau contexte énergétique.

Sur ces bases, le groupe de travail, qui a eu connaissance des études prospectives remarquables conduites parallèlement sur le thème de l'énergie par différentes instances a émis les recommandations suivantes à partir d'analyses multicritères combinant objectifs et perspectives de faisabilité :

La priorité des priorités doit être accordée à la recherche d'efficacité énergétique et d'amélioration du bilan carbone dans les trois domaines d'utilisation de l'énergie que sont les transports, l'habitat/tertiaire et l'industrie. Certaines évaluations permettent de penser qu'en France la moitié de la réduction recherchée (facteur 4) peut être atteinte par cette voie si elle est suivie avec détermination et continuité.

Compte-tenu de son potentiel de recherche et de production dans ces domaines, la France peut jouer un rôle de leader ou de co-leader.

**Elle a déjà organisé avec un succès reconnu sa R&D dans le domaine des transports terrestres dans le cadre du PREDIT (Programme Recherche et Développement, Innovation pour les Transports). Le groupe recommande d'organiser, avec l'appui de l'ADEME, de façon similaire la R&D pour l'efficacité énergétique dans l'habitat/tertiaire et l'industrie, de façon à mobiliser les acteurs, publics et privés, à orienter les programmes et à susciter les financements nécessaires.**

Le nouveau dispositif de fondation et le système "Eureka" amélioré par l'intervention de l'Europe devraient être utilisés pour renforcer l'aide à la recherche industrielle et accroître ainsi sensiblement l'effort de recherche dans l'habitat/tertiaire et l'industrie.

Le CNRS, en liaison avec les Universités, mais aussi le CEA et l'IFP, devraient prendre en compte cette priorité et redéployer progressivement une partie croissante de leurs capacités humaines et financières à cette fin.

En ce qui concerne l'offre d'énergie, le groupe recommande pour cette première moitié du XXIème siècle, au moins, de miser sur un mix énergétique combinant nucléaire, fossiles et renouvelables.

En effet, même dans une perspective optimiste de maîtrise de l'énergie dans les usages et de mise en oeuvre de la séquestration sur les sources concentrées de CO<sub>2</sub>, le groupe estime que dans l'état actuel des connaissances, ce serait un pari technologique très risqué de tabler sur la seule association fossiles-renouvelables pour répondre à la demande, à des coûts compétitifs et réaliser la division par environ quatre des émissions de CO<sub>2</sub> à l'horizon 2050.

Cette constatation, étayée par l'étude de nombreux scénarii, conduit à recommander une R&D visant à consolider nos acquis dans le nucléaire tout particulièrement en ce qui concerne les facteurs d'acceptabilité sociale (sécurité, devenir des déchets nucléaires) au travers notamment des centrales de troisième et quatrième génération et les fossiles avec la séquestration (captage, transport et stockage du CO<sub>2</sub>), et à les renforcer très sensiblement sur les renouvelables en donnant une priorité au développement de carburants de synthèse produits à partir de la biomasse. L'effort sur ce dernier thème doit être accru.

Le groupe considère, en effet, que les carburants de synthèse issus de la biomasse, dont la production peut faire appel à des process chimiques ou biologiques et être le cas échéant combinée avec la séquestration, pourraient apporter une réponse partielle à la demande de carburants liquides dans les transports en attendant une éventuelle généralisation d'une solution hydrogène – pile à combustible qui ne peut être envisagée qu'à long terme et dont l'acceptabilité dans les transports n'est pas avérée.

Dans les trois domaines évoqués ci-dessus (facteurs d'acceptabilité sociale du nucléaire, séquestration, carburants de synthèse), la France peut avoir l'ambition d'être un leader ou un co-leader. Mais elle ne peut se désintéresser d'un ensemble de recherches diversifiées dont ses centres publics de recherche et les laboratoires privés doivent être des partenaires importants, notamment au niveau européen.

C'est le cas bien sûr de l'hydrogène et de la pile à combustible, du photovoltaïque, de la production de carburants liquides à partir d'énergies fossiles et du stockage de l'électricité, sujets qui méritent sûrement des moyens accrus, mais aussi de la fusion, de l'éolien off-shore, de l'exploration-production,...

La conduite au niveau français d'un projet d'une telle ampleur et d'une telle durée requiert une maîtrise d'ouvrage sensiblement renforcée, agissant dans un cadre plus interministériel pour assurer la cohérence entre les politiques de l'énergie et de l'environnement d'une part, et la programmation de la recherche d'autre part, et disposant, grâce à l'observatoire de l'énergie, de données plus fiables sur les stratégies des grands pays industrialisés et sur les moyens de leur mise en oeuvre.

Cette maîtrise d'ouvrage doit disposer des moyens humains et financiers nécessaires pour assurer, avec l'appui de l'ADEME en ce qui concerne principalement l'efficacité énergétique, la préparation des programmes, leur suivi, leur valorisation et les ajustements qui ne manqueront pas d'être nécessaires sur une aussi longue période.

La L.O.L.F. constitue une opportunité pour la mise en place d'une telle maîtrise d'ouvrage sous réserve que le programme R&D dans l'énergie ne soit pas lui-même arbitrairement subdivisé.

Enfin le groupe a souhaité que la France prenne en compte dans cette recherche les enjeux du développement, les pays du nord et du sud ayant des approches diversifiées mais largement solidaires pour l'atteinte de l'objectif global