

COMPTE RENDU

DU

COLLOQUE ENERGIE 2003

ENSMA POITIERS

24-26 novembre 2003



PAR

Patrice JAUMOILLIÉ¹ & Emmanuel POTIRON²

Centre d'Analyse et d'Expertise de l'Action Concertée Energie

UMS Cartech 2407 - Perpignan

- Publié le 10 décembre 2003 -

1. jaumouil@univ-perp.fr

2. potiron@univ-perp.fr

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Préambule | 7 |
| I Lundi 24 novembre 2003 | 9 |
| I.1 Exposé introductif | 9 |
| I.2 Conférence plénière | 11 |
| I.3 Thématique - Vers l'habitat zéro énergie | 13 |
| I.3.1 PRI 2.1a - Recherches de base en photovoltaïque | 13 |
| I.3.2 PRI 2.1b - Recherches de base en photovoltaïque | 13 |
| I.3.3 PRI 6.1 - Froid solaire | 14 |
| I.3.4 PRI 6.2 - Habitat | 14 |
| I.3.5 PRI 9.1 - Réseaux de distribution de froid | 15 |
| I.3.6 PRI 8.1 - CARNOT | 16 |
| I.4 Discussion | 16 |
| I.4.1 GAT 2 - Cellules photovoltaïques du futur | 16 |
| I.4.2 GAT 6 - Habitat | 17 |
| I.4.3 GAT 9 - Gestion du froid et de la chaleur | 18 |
| I.4.4 Débat sur les GAT 2, 6 & 7 | 19 |
| II Mardi 25 novembre 2003 | 23 |
| II.1 Thématique - Les sources d'émission de CO_2 | 23 |
| II.1.1 PRI 1.1 - Biocarburant Ethanol | 23 |
| II.1.2 PRI 8.2 - Micro-échangeurs | 24 |
| II.2 PRI 10.1 - Combustion et capture de CO_2 | 25 |
| II.3 Discussion | 26 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| II.3.1 | GAT 1 - Biomasse | 26 |
| II.3.2 | GAT 8 - Thermique | 27 |
| II.3.3 | GAT 10 - Combustion et capture de CO_2 | 27 |
| II.3.4 | Débat sur les GAT 1, 8 & 10 | 28 |
| II.4 | Thématique - Le vecteur hydrogène et la gestion de l'électricité | 29 |
| II.4.1 | PRI 4.1 - Production et stockage d'hydrogène | 29 |
| II.4.2 | PRI 7.1 - Production d'hydrogène par énergie solaire "HYSOL" | 30 |
| II.4.3 | PRI 4.2 - Matériaux pour le stockage de l'hydrogène | 31 |
| II.4.4 | PRI 3.1 - Coeur de pile à combustible à électrolyte membrane | 32 |
| II.4.5 | PRI 5.1 - Gestion de l'électricité | 33 |
| II.4.6 | PRI 5.2 - Electronique de puissance | 33 |
| II.5 | Discussion | 34 |
| II.5.1 | GAT 4 - Production et stockage d'Hydrogène | 34 |
| II.5.2 | GAT 3 - Piles à combustible | 35 |
| II.5.3 | GAT 5 - Gestion de l'électricité | 36 |
| II.5.4 | GAT 7 - Solaire thermique | 36 |
| III | Mercredi 26 novembre 2003 | 39 |
| III.1 | Thématique - Nucléaire | 39 |
| III.1.1 | GAT 11a - Nucléaire du futur : Fission | 39 |
| III.1.2 | GAT 11b - Fusion Thermonucléaire contrôlée | 40 |
| III.2 | Les projets exploratoires | 42 |
| III.2.1 | PE 1 - Oxti-photobatterie | 42 |
| III.2.2 | PE 3 - SEAREV | 42 |
| III.2.3 | PE 5.1 - Biocagaz | 43 |
| III.2.4 | PE 5.5 - PlasmaSol | 43 |
| III.2.5 | PE 5.7 - Silicium solaire | 44 |
| III.3 | Discussion | 44 |
| III.3.1 | Socioéconomique de l'énergie | 44 |
| III.3.2 | Modélisation des politiques climatiques & PR 8.1 - ENEC 2050 | 44 |
| III.3.3 | Définitions Cycle de vie & PR8.2 - ETHEL | 45 |

| | |
|--|----|
| III.4 Synthèse du colloque | 46 |
| III.5 Conclusion du colloque | 46 |

Préambule

Le colloque Energie 2003, réunion annuelle de l'Action Concertée Energie, s'est déroulé à l'ENSMA de Poitiers du 24 au 26 novembre 2003. Il a regroupé environ 150 participants. Les travaux de 12 Groupes d'Analyse Thématique (GAT), de 14 Projets de Recherche Intégrée (PRI) et de 6 Projets Exploratoires (PE) ont été présentés durant les 5 demi-journées du colloque. Les thèmes abordés portaient sur l'habitat zéro énergie, sur les sources d'émissions de CO_2 (des ressources fossiles et biomasse à la combustion), sur le vecteur hydrogène (production, stockage, transport et utilisation) et électricité (gestion), sur le nucléaire, ainsi que sur le rôle de la socio-économie dans l'Action Concertée Energie. A l'issue de ces présentations, des discussions (parfois houleuses) ont eu lieu et devront conduire à la rédaction d'un livre blanc, qui servira de base de réflexion pour la prochaine loi d'orientation sur l'énergie.

L'énergie est un sujet vaste qui regroupe un grand nombre d'acteurs et nécessite une bonne coordination. Les actions du CNRS dans le cadre de l'Action Concertée sont de deux ordres :

- à court terme, le CNRS doit mettre ses compétences au service d'industriels spécialisés ;
- à long terme, le CNRS et les laboratoires associés ont un rôle majeur à jouer en débloquent certains verrous scientifiques et technologiques.

Les présentations de ce colloque seront prochainement disponibles sur cédérom, ainsi que sur le site de l'Action Concertée Energie (<http://www.imp.cnrs.fr/energie>).

I Lundi 24 novembre 2003

M. Bernard SPINNER, directeur du programme, étant souffrant, la présidence de ce colloque est confiée à Mme Monique Lallemand. M. Jean Michel Most introduit en présentant le personnel d'accueil et l'organisation des cinq demi journées. Il émet également le souhait que les réflexions sur les questions énergétiques puissent être étendues à l'Europe, avec un renforcement des partenariats et des financements.

I.1 Exposé introductif

Par M. Edouard Fabre.

L'année 2002 a vu le démarrage de l'Action Concertée Energie, et 13 thèmes de réflexion ont vu le jour: les groupe d'analyse thématique (GAT). En 2003, le ministère de la recherche et de la DGA ont ajouté leur contribution. Dans l'organisation générale du programme, le comité scientifique, constitué de 10 membres, fait des propositions au comité de pilotage (13 membres) qui décide par la suite du choix des projets de recherche à intégrer: les PRI et les PR. Un livre blanc, destiné au débat parlementaire, doit être produit pour le 10 décembre 2003. Il s'appuiera sur les travaux de ce colloque. Notons que les PRI ET PR photovoltaïque bénéficient d'une gestion différente des 12 autres thèmes de l'Action Concertée, car pris en charge par l'ADEME et gérés dans le cadre de l'action concertée. Les demi journées de ce colloque s'articulent autour de quatre thématiques: les vecteurs hydrogène et électricité, le confort de l'habitat en y incluant les EnR, la chaîne du CO_2 et le nucléaire du futur.

A court terme, les énergies fossiles tel le gaz naturel sont des sources d'énergie incontournable. Mais elles ne sont inépuisables, et il est nécessaire de mener une politique énergétique à plus long terme, c'est à dire 20 à 30 ans.

Dans cette perspective, c'est le vecteur hydrogène qui semble faire l'unanimité, notamment pour sa possibilité à pouvoir être produit à partir des EnR. Les techniques de stockage de l'hydrogène ont encore une bonne marge de progression et il faut les améliorer sensiblement. Actuellement c'est la compression qui est la plus utilisée, mais d'autres méthodes prometteuses sont en cours de développement dans les laboratoires (hydrures, nanotubes de carbone), mais on ne pense pas pouvoir les utiliser industriellement avant 30, 40 voire 50 ans. Le transport de l'hydrogène devra faire l'objet d'une étude socio-économique afin d'en évaluer sa faisabilité. Enfin des efforts sont à faire en ce qui concerne les piles à combustibles (PACo), car la France est en retard sur d'autres pays tels que les USA, qui viennent d'investir 1 milliard de dollars dans un programme de développement pour les transports.

Pour l'électricité, l'augmentation probable des interconnexions va rendre la gestion de sa distribution problématique. Son stockage est également un problème. La voie électrochimique semble être la plus intéressante, à condition que l'on puisse fournir 1,2 kWh durant 10 000 cycles. Une amélioration des performances de stockage d'un facteur de 5 à 10 suffirait à se passer d'un saut technologique.

Les énergies fossiles utilisées dans l'habitat devront progressivement disparaître au profit des EnR. Des gros progrès devront être fait dans l'isolation thermique ainsi que sur la climatisation. D'une façon générale, l'habitat devra avoir une meilleure structure pour évacuer les énergies fossiles et améliorer la gestion de l'électricité.

En ce qui concerne la chaîne du CO_2 , dans l'immédiat, on ne peut que réduire les émissions car il est utopique de penser qu'il est possible de ne plus émettre de CO_2 . L'utilisation de la biomasse est une solution, une meilleure combustion des énergies fossiles en est une autre. La capture de ce gaz n'est pas un problème en soit car les technologies existent, mais elles ont un coût. Par contre sa séquestration, que l'on envisage dans des puits, pourrait constituer une bombe à retardement pour les générations futures, et l'on peut se poser la question si cela entre dans une politique de développement durable.

Dans le cadre du nucléaire, les ressources en combustible fissile correspondent à 50 ans de consommation, à condition que les pays en voie de développement ne se mettent pas à construire des réacteurs. Il n'est donc pas raisonnable de continuer à construire des réacteurs de type REP. La fusion thermonucléaire constitue clairement l'avenir, mais elle

ne devrait pas apparaître avant la fin du siècle et l'on attend pas de démonstrateur avant 50 ans.

Pour conclure cette introduction, il est intéressant de noter que les programmes en matière d'énergie sont différents suivant les pays : alors que les USA cherchent à supprimer leur indépendance vis-à-vis du pétrole, les Anglais s'organisent en fonction de leur dépendance. L'Allemagne mise sur le charbon et en France, une loi sur l'énergie devrait apparaître d'ici un an.

I.2 Conférence plénière

Exposé de M. Dominique Finon : Accélération du changement technologique et mutation des systèmes énergétiques : les leçons de l'histoire.

” Quand on cherche à anticiper des catastrophes, elles n'arrivent jamais ”. Par cette phrase d'introduction, M. Finon précise qu'il faut toujours garder un esprit critique sur les prévisions. En effet, en 1975 on émettait l'hypothèse que l'énergie consommée en 2000 serait de 100 *Gtep*, dont 2000 *GW* de nucléaire. Or cela fut respectivement de 9,7 *Gtep* et 360 *GW*. Cet exemple relate bien les incertitudes des perspectives que l'on émet souvent pour 2050.

Les nouvelles technologies ont du mal à percer car elles font face à celles déjà en place. Il faut tenir compte des externalités (environnement de sélection). Par exemple pour la PACo, il est nécessaire d'avoir un réseau d'hydrogène. Pour le photovoltaïque, il faut pouvoir stocker l'électricité. L'environnement de sélection est important : n'importe quelle technique ne peut être développée pour n'importe quelle utilisation.

M. Finon énumère la terminologie utilisée en socioéconomique pour différents types d'innovation : l'innovation radicale, qui concerne la création d'un processus (nucléaire, PACo, ...), l'innovation incrémentale, qui concerne le perfectionnement (par exemple les éoliennes ou la géothermie), et l'innovation majeure, qui concerne l'amélioration de la base d'un processus (turbine à gaz).

Deux périodes de transformation de l'environnement de sélection des technologies se distinguent : 1960 à 1985, avec principalement des innovations radicales entre 1950 et 1973 et des innovations incrémentales et majeures entre 1975 et 2000, et 1985 à 2000, où d'autres

facteurs interviennent : l'effet de serre, la concurrence des groupes pétroliers, la production indépendante d'électricité, la diversification internationale pour toutes industries et la libéralisation nationale (plus de grands programmes). Pour l'évolution future, on s'attend à avoir de grandes compagnies et les innovations seront principalement incrémentales. Mais des innovations radicales seront aussi nécessaire.

De nos jours, le marché n'est pas autoritariste comme avant mais plutôt libéral, et il y a une augmentation de l'importance des politiques d'environnement. De plus, il faut incorporer de nouveaux savoirs génériques (biotechnologies), et réaliser des innovations incrémentales, notamment dans les systèmes de conversion et dans les techniques d'utilisation. Par exemple dans l'exploitation des ressources fossiles, en améliorant les rendements (taux de récupération). Il faut aussi établir des ponts entre les différents types de ressources, et notamment renouvelables pour lesquelles les émissions de CO_2 ne sont plus un obstacle, et les intégrer aux grands pétroliers.

Pour l'électricité primaire il existe des incertitudes sur la relance du nucléaire. Il ne semble en effet pas aisé de revenir en arrière, compte tenu de libéralisation des marchés qui préfèrent une rentabilité rapide plutôt qu'un lourd investissement, et de l'acceptabilité sociale vis à vis des déchets. Néanmoins une relance du nucléaire aux USA pourrait changer la donne.

Pour les PACo et les système à hydrogène, il faut comparer cette filière aux filières concurrentes. Par exemple, pour un moteur à explosion le coût est de 100 \$/kW, or avec une PACo, il est de 1000 \$/kW. Mais sans programme d'aide, ne pourrait il pas y avoir un ralentissement technologique?

En conclusion, il est évident que des efforts importants sont à faire :

- sur les technologies classiques ;
- sur les technologies d'offre et de demande ;
- sur l'acceptabilité.

Questions et remarques :

Didier Tondeur : *En fournissant une aide importante, l'innovation peut devenir radicale. En fait, il faudrait plutôt parler d'innovations majeure et mineure.*

Edouard Fabre : *Dominique Finon a noté l'importance majeure des grands groupes. Mais les états ont également un rôle important à jouer. Les états " accompagnent " les innova-*

tions mais ce sont les grands groupes qui les créent. Le rôle des états est important mais ce n'est pas le seul car nous sommes dans une culture de marché.

Claude Lamy (Poitiers): La PACo par exemple est née grâce à la volonté politique. Elle a d'abord été choisie par la NASA. La Californie a choisi de développer la PACo. En fait tout les constructeurs automobile font de la veille technologique sur les PACo, et dès que les composants seront moins chers, ils se ruèrent dessus.

Jean-Claude Muller (GAT Photovoltaïque): Le Japon représente 50% du marché dans le domaine du photovoltaïque, mais il est regrettable que la France ne fasse pas assez d'effort dans ce domaine.

I.3 Thématique - Vers l'habitat zéro énergie

Séance présidée par M. Jean-Michel Most.

I.3.1 PRI 2.1a - Recherches de base en photovoltaïque

Exposé de M. Jean-François Guillemoles - CNRS - UMR 7575: Hétérojonctions en Couches Minces Polycristallines.

Le financement de ce projet provient conjointement de l'Action concertée et de l'ADEME. Le sujet porte sur les couches minces polycristallines et présente l'influence des traitements chimiques de surface. Ainsi les rendements peuvent être sensiblement améliorés: de 10 à 12% sans traitement à 15 ou 16% après traitement. On observe donc des avancées dans la maîtrise des interfaces. Il est nécessaire de favoriser l'émergence de procédés propres, performants et économiques.

I.3.2 PRI 2.1b - Recherches de base en photovoltaïque

Exposé de M. Jean-Michel Nunzi - Université d'Angers - POMA - UMR 6136: Programme Erbaphot: chimie organique et nouveaux concepts.

Pour progresser vers une technologie à bas coût, trois verrous sont à faire sauter, parmi lesquels la gestion de la nanostructure. Trois voies sont proposées pour la gérer: la chimie supra-moléculaire, la thermodynamique de la démixion et les cristaux liquides. La première voie a un rendement inférieur à 1%, mais on peut théoriquement atteindre 3% en travaillant

sur divers paramètres (électrode, concentration, ...). La seconde voie a un IPCE de 37% à 460 nm. Enfin, un des avantages de la voie cristaux liquides est qu'elle apporte une bonne mobilité des excitons. De plus le rendement peut atteindre 20%.

I.3.3 PRI 6.1 - Froid solaire

Exposé de M. Driss Stitou- IMP - CNRS - UPR 8521 : Congélation par procédé thermo-chimique à partir d'une source solaire basse température.

On atteint actuellement des température de 4 à -10°C en utilisant une réfrigération solaire. Le but est ici d'étudier la faisabilité d'un procédé thermo-chimique permettant d'obtenir une température de -30°C (congélation), puis de construire un démonstrateur de 50 W. Le COP du système est de 0,14.

Questions et remarques :

?: *Quel est le rendement du système ?*

↔ *Driss Stitou : Le COP est de 14%. Pour le cyclage, la durée du demi-cycle est de 12 h le jour et de 6 à 7 h la nuit.*

I.3.4 PRI 6.2 - Habitat

Exposé de M. Christophe Menezo - CETHIL - UMR 5008 : Intégration de capteurs hybrides photovoltaïques-thermiques au bâti.

Ce projet, qui regroupe 7 laboratoires a pour but d'identifier les verrous au développement des EnR dans l'habitat. Car le livre blanc prévoit le recours aux EnR dans l'habitat, et si le renouvellement du parc immobilier en France est faible (1%), la rénovation des bâtiments, qui sont des gros consommateurs d'énergie, en milieu rural ou péri-urbain va constituer un marché important. Il faut par exemple valoriser l'électricité locale, en limitant les pertes en ligne lors du transport, en diminuant les impacts environnementaux, et en diminuant les coûts, en préchauffant l'air ou l'eau pour maintenir le rendement dans les installations solaires. Comme le rendement des cellules photovoltaïques augmente avec la température, il serait intéressant de récupérer cette chaleur. Il existe des capteurs photovoltaïque/thermique (PV/T) à air et à eau, ce qui rend possible la conception de capteurs qui privilégient soit le thermique, soit le photovoltaïque. Notons que le Japon est un concurrent important car il possède 50% du marché du photovoltaïque.

Questions et remarques :

?: *Il existe un PCDR et une plate forme à Lausanne (UNIVERSOL). Y-a-t-il un retour?*

↔ Christophe Menezo: *Des contacts ont également été pris en Espagne.*

I.3.5 PRI 9.1 - Réseaux de distribution de froid

Exposé de M. André Lallemand - CETHIL - UMR 5008: Distribution de froid par fluide frigoporteur diphasique, cas du coulis stabilisé.

Cinq laboratoires, soit un total de huit équivalents temps plein travaillent sur ce sujet. Le sujet concerne le transport du froid, principalement dans le domaine agroalimentaire. Pour cela, l'utilisation d'un fluide frigoporteur diphasique, tel le coulis de glace (solution aqueuse) convient. Ce coulis est un gel organique poreux (90 à 95% de porosité) contenant de l'eau. Le liquide porteur est de l'huile de faible viscosité pour minimiser les pertes de charges.

Le LBHP est fournisseur du matériau. Il a produit un broyat d'acryamide et des billes d'alginate et de carghénane. Mais les travaux sur ces dernières ont été abandonnés. Le LaTEP étudie le matériau et plus précisément la surfusion, son comportement, la présence de surfactant et son évolution dans le temps. L'UR GPAN effectue des mesures de teneur en glace. Le GRETH étudie les propriétés mécaniques, thermiques et de transfert du coulis. Le CETHIL se penche sur l'écoulement thermique et l'évaluation des coefficients de transfert. Le GRETH réalise une modélisation locale et le CETHIL une modélisation d'ensemble (climatisation d'un bâtiment). Ceci emmène une excellente synergie entre les équipes.

Questions et Remarques :

Edouard Fabre: *Quelle est la distance pour la distribution de froid?*

↔ André Lallemand: *Elle est faible (<50 à 100 m). Pour l'application climatisation, il est possible de créer un réseau de chaleur mais il faut améliorer la fiabilité.*

?: *Quelle est la dimension des billes?*

↔ André Lallemand: *Les billes de broyat ont une taille d'environ 1 mm de diamètre.*

?: *Quelle est la température du coulis?*

↔ André Lallemand: *La température du coulis est de 0°C (c'est de l'eau!). On peut la faire varier en ajoutant de l'alcool.*

I.3.6 PRI 8.1 - CARNOT

Exposé de M. André Lallemand - CETHIL - UMR 5008 (à la place de M. Feidt) : Communauté d'Analyse et de Recherche des Nouvelles Orientations de la Thermodynamique.

Cet exposé traite des nouvelles approches dans le contexte de la thermodynamique, en particulier :

- les analyses entropiques, qui évaluent le plus ou moins bon fonctionnement d'un système (équipartition, constructal) ;
- les analyses exergetiques ;
- la thermodynamique en temps fini ou en surface finie (type de transfert, modèle de transfert) ;
- la thermodynamique des processus irréversibles (régime linéaire hors équilibre, le flux est une fonction linéaire des forces).

Questions et Remarques :

Edouard. Fabre : *L'article dans Science & Vie sur la théorie constructale est à consulter.*

M. Finon demande des précision sur ce qu'est l'exergie.

Dominique Finon : *Il existe des liens entre l'économie et la réflexion exergetique. Le but est d'arriver à faire payer les " déchets " énergetiques (mauvaise utilisation de l'énergie).*

I.4 Discussion

Animée par Philippe MATARASSO.

I.4.1 GAT 2 - Cellules photovoltaïques du futur

Exposé de M. Jean-Claude Muller - CNRS - PHASE

Trois priorités se dégagent de ce GAT :

- à court terme il s'agit d'une part d'améliorer le silicium cristallin, qui constitue 93% du marché du photovoltaïque (qui a dépassé les 500 MW), afin de diminuer les coûts et obtenir un meilleur rendement (actuellement de 16% dans l'industrie et de 20% dans les laboratoires). Ce marché est actuellement dominé par le Japon avec la moitié des parts. D'autre part, il s'agit d'intégrer le photovoltaïque au réseau pour une gestion intelligente ;

- à moyen terme il s'agit de maîtriser les nouveaux matériaux comme les couches minces qui représentent 5% du marché, et les matériaux organiques (0,5% du marché), dans le but d'augmenter le rendement et de diminuer les coûts. Parmi ces nouveaux matériaux, le CIS devrait monter en puissance) ;
- à plus long terme il faut se pencher sur la recherche fondamentale des cellules de troisième génération, représentées par les matériaux nano-structurés nanocristallites minéraux/organiques).

Aujourd'hui, on utilise 2/3 de fossiles et 1/3 de charbon pour produire de l'électricité. L'électricité représentait 22% de l'énergie mondiale en 1970, 30% en 2000, et les prévisions sont de 36% pour 2010. La part du photovoltaïque dans le monde est estimée à 15 000 *TWh*, soit 0,014% de la production mondiale d'électricité. Dans 20 ans elle sera de 0,6%, et dans 40 à 50 ans, elle sera de 14% (50% des EnR). En France, elle est actuellement de 0,003%, dans 20 ans, elle sera de 0,2%, et dans 40 à 50 ans de 3%. Ainsi, on arrive enfin dans notre pays à un chiffre qui n'est pas uniquement constitué que des zéro, le photovoltaïque progressant de 34% par an depuis 5 ans.

En remplaçant les énergies fossiles par le photovoltaïque dans la production d'électricité, on économise évidemment du CO_2 (dix fois plus d'économie). En France, les émissions sont actuellement de 0,012 *Mt/an*, dans 20 ans elles devraient être de 1,4 *Mt/an* et dans 40 à 50 ans, elles seront de 28 *Mt/an*. Dans le monde, les économies actuelles s'élèvent à 1,75 *Mt/an*, dans 20 ans à 200 *Mt/an*, et dans 40 à 50 ans à 4 000 *Mt/an*.

I.4.2 GAT 6 - Habitat

Exposé de M. François Penot - CNRS - UMR 6608 : Apport des EnR et maîtrise des échanges dans l'habitat.

La production de CO_2 dans le secteur habitat et tertiaire a fortement augmenté depuis 1990 (+1,8%/an). En 2000, elle représentait 23,7 *Gt* dans le monde, et 365 *Mt* pour la France. La consommation d'énergie dans l'habitat a également beaucoup progressée : 100 *Mt* (dont 34 *Mt* pour le chauffage) soit + 37% en 25 ans.

Grâce entre autre à une meilleure isolation des logements, l'énergie nécessaire pour chauffer un mètre carré de surface est passée de 323 *kWh/m²/an* en 1973 à 180 *kWh/m²/an* en 2000. Par contre, la surface habitable a fortement augmentée car il y a de plus en plus

de logements individuels. Cela a conduit à une augmentation globale de la consommation d'énergie dans l'habitat. De plus, le taux de réhabilitation n'est que de 1%/an, si bien que la réhabilitation totale du parc immobilier français ne se sera pas produite avant 2050. La consommation d'énergie est également en forte progression dans le secteur tertiaire.

Les objectifs à atteindre sont des économies d'énergie dans l'habitat de 200 TWh/an, et une division par 4 des émissions de CO_2 (grâce entre autre à l'apport des EnR), et de notre consommation d'énergie. Il faudra alors soit une rupture technologique, soit un changement de nos modes de vie.

La France alloue 0,1% de son chiffre d'affaire national pour la R&D dans l'habitat (contre 1% en électronique), ce qui est vraiment trop faible compte tenu des enjeux. La recherche nationale concerne 10 laboratoires en France. Les thèmes scientifiques retenus concernent l'élaboration de modèles du bâtiment (il faudra alors mieux connaître les interactions homme-environnement proche et habitat-environnement proche), et intégrer des idées nouvelles, comme la nanotechnologie.

I.4.3 GAT 9 - Gestion du froid et de la chaleur

Exposé de M. Anré Lallemeand - CETHIL - UMR 5008.

10 laboratoires font partie intégrante de ce GAT avec 3 sous-groupes de travail. 4 réunions plénières se sont déroulées au cours de l'année. Les idées fortes sont les suivantes :

- conception et valorisation des systèmes thermiques par approche thermo-économiques et exergo-économique ;
- gestion des systèmes thermiques pour des régimes variables en plus des régimes nominaux ;
- intégration de la fonction de stockage thermique dès la conception des systèmes (couplage aux réseaux et stocks) ;
- récupération des rejets thermiques lors des transports longue distance par gazoducs. L'idée est ici de transporter la chaleur par un gaz (par exemple les rejets thermiques du centre Pujet à Lyon permettraient de chauffer la ville à eux seuls).

Les composants permettant ces améliorations sont entre autre la cogénération et la pompe à chaleur. Les gains attendus sont :

- pour l'optimisation des machines, systèmes et procédés énergétiques (10 % de l'énergie

- pour le génie climatique industriel et agroalimentaire) ;
- pour la récupération des rejets thermiques (5% sur l'énergie globale en matière de chauffage).

La poursuite des actions du GAT consiste à :

- effectuer un état des lieux ;
- hiérarchiser des actions de recherche.

I.4.4 Débat sur les GAT 2, 6 & 7

Concernant les échanges thermiques, il faut se pencher à la fois sur l'isolation intérieure et sur l'isolation extérieure (propriétés thermiques des enceintes), tout en gardant une certaine ventilation du bâtiment. Notons également que 30 000 logements en France sont équipés de pompes à chaleur géothermique.

La notion de confort est un problème physico-psychologique à étudier. La température de confort a augmenté ces dernières années, ce qui entraîne une augmentation de la consommation énergétique. Les réseaux et le stockage sont également un problème. Pour convaincre consommateurs et industriels, il est nécessaire de construire une installation de démonstration exemplaire.

Questions et remarques :

André Claverie (ADEME Sophia-Antipolis) : *Le thème zéro énergie n'a pas été cité dans le GAT Habitat, qu'en est il exactement ?*

↔ François Penot : *L'habitat zéro énergie concerne avant tout les économies d'énergie, puis en second lieu la production individuelle d'énergie (photovoltaïque...). Pour un logement existant, il est très difficile d'atteindre le zéro énergie.*

Jean-Claude Muller : *Des programmes au Japon (70 000 toits PV) et en Allemagne (100 000 toits PV) sur le photovoltaïque, pour les habitats ancien et neuf, ont été lancés. Il faut en France un programme similaire.*

Marc Weckstein (CSTB) : *Les efforts de recherche dans le bâtiment ne sont pas à la hauteur de l'enjeu. Le CSTB travaille également sur un programme zéro énergie. Il est donc nécessaire de mieux communiquer les résultats. Il serait alors intéressant d'associer les idées du CSTB avec la thématique habitat.*

↔ François Penot : 40 personnes travaillent sur la thématique habitat dans le cadre de l'Action Concertée. Ils sont également 40 au CSTB. Il est nécessaire d'avoir une coordination avec le CSTB et donc une réunion. L'habitat zéro énergie est un problème de financement.

Alain Alexandre (ENSMA) : Les réseaux de chaleur ne sont pas développés en France, or dans certains pays c'est automatique. Malheureusement il n'y a pas de politique de développement des réseaux dans notre pays.

↔ André Lallemand : Il existe des réseaux de chauffage. La France est dans la moyenne au niveau mondial (370 réseaux soit 20 GW). Mais il n'y a effectivement pas de politique en France, si ce n'est dans les hôpitaux. Les décisions sont prises au niveau local. Faisons remarquer qu'il y a un problème de la présence de réseaux souterrains (eau, égouts, ...). Où les faire passer compte tenu de l'encombrement actuel ? Il existe peu de réseau de froid car les villes sont réticente pour cela. Ajoutons enfin que Gaz de France préfère vendre du gaz aux particuliers (donc plus cher) qu'à une industrie produisant du chaud et le distribuant par l'intermédiaire de réseaux de chaleur. C'est un problème socio-économique.

Edouard Fabre : Le problème de l'habitat zéro énergie devrait se poser en terme d'habitat zéro émission de CO₂. Il faut donc trouver d'autres sources d'énergie, autres que les EnR. Et il est possible d'équiper les habitats anciens. Il a été cité une perspective de production de 5 000 TWh de photovoltaïque en 2050. Alors comment faire pour atteindre ce chiffre important et quels vont être les besoins de stockage d'électricité associés ?

↔ François Penot : Les économies d'énergie seront importantes, mais il faudra aussi modifier nos habitudes de confort.

↔ Jean-Claude Muller : La production décentralisée de 5 000 TWh risque de déstabiliser le réseau. La technologie photovoltaïque et basée principalement sur celle du silicium cristallin qui est une ressource abondante (1/4 de la croûte terrestre), donc intéressante en terme de coût (2,6 euros/W). Les autres filières fournissent un champ d'application important. Le stockage d'électricité peut se faire par pompage d'eau.

?: Le stockage par pompage d'eau n'est pas acceptable. Si la quantité d'électricité est trop importante (quelques TWh) , il n'est pas possible de la stocker par pompage. Une autre solution est la production d'hydrogène.

Jean-Pierre Traisnel : Une comparaison entre l'Habitat et le Transport peut être faite. Pour

l'habitat, beaucoup d'acteurs sont concernés et le temps de renouvellement des logements est long. Le parc immobilier français peut être classé en 3 catégories : 1/3 avant 1949, 1/3 entre 1949 et 1970, 1/3 depuis 1975 et d'ici 2050, 40% des logements seront neufs. Une amélioration de l'isolation des logements permet une réduction de la consommation d'un facteur 5. Il y a une démarche similaire entre les secteurs Habitat et Transport. Elle concerne la technologie et le comportement de l'utilisateur. 3 thèmes se dégagent : confort, santé et environnement.

II Mardi 25 novembre 2003

II.1 Thématique - Les sources d'émission de CO_2

Séance présidée par Mme Monique Lallemand.

II.1.1 PRI 1.1 - Biocarburant Ethanol

Exposé de Mme Carole Jouve - INSA Toulouse - UMR 5504.

D'ici 2010, on attend une progression du parc de véhicule Européen de 50%, et 1 113 *Mt* de CO_2 émises. En 2020, la production de pétrole sera très faible (99 Mtep). A partir de ces perspectives, le but est d'arriver à une part de 5,75% de biocarburant dans la vente de carburant en Europe. Pour le bio-éthanol, on peut en incorporer 10% dans l'essence sans modification du parc automobile, pour l'ETBE (éthyl tertio butyl éther) le taux est de 15%. Ces mesures permettront d'éviter 2,7 *t* de CO_2 émises par tep.

Le Brésil est le premier producteur d'éthanol au monde avec 170 *Mhl/an* (départ en 1973), vient ensuite les USA (75,8 *Mhl/an*, essentiellement à partir de maïs, départ en 1978) et le Canada (2,38 *Mhl/an*, départ en 1994). En France cette production est de 1,14 *Mhl* (70% à partir de la betterave et 30% du blé).

Le biocarburant est un combustible liquide ou gazeux utilisé dans le transport qui provient directement de la biomasse. La production s'effectue principalement par fermentation à partir de sucres fermentescibles d'origine agricole. Toutefois la performance industrielle est moyenne et l'objectif est d'améliorer le rendement de production.

Les actions du PRI comprennent 4 étapes :

- choisir les enzymes les plus performant et les mettre en oeuvre ;
- étude génomique du micro-organisme, pour fabriquer une hyper levure capable de résister à une très forte concentration d'éthanol ;

- améliorer les procédés pour mettre en oeuvre les hyper levures (la production mondiale est de 1 g/l/h, comparée à 15 g/l/h en laboratoire);
- diminuer la perméabilité des membranes à l'éthanol.

Questions et Remarques :

?: *L'oxygène dans les carburants est un problème car il peut conduire à la formation d'aldéhydes. La Californie a entrepris un programme de normalisation.*

Edouard Fabre: *Pour la voie lignocellulose, peut-on supprimer la phase acide?*

↔ Carole Jouve: *Pour la stratégie lignocellulosique, il n'y a pas de marché global mais un marché de niche. La voie choisie doit être économiquement rentable. Actuellement 1 ha correspond à 1 000 euros, or l'objectif est d'arriver à 2 000 euros.*

Edouard Fabre: *Aux USA, le maïs coûte 2 \$ contre 8 \$ pour le carburant.*

↔ Carole Jouve: *1 ha produit 1 000 euros de biocarburant, l'objectif est d'atteindre 2 à 3 000 euros.*

Bernard Bourgeois: *Peut-on évaluer les gains économiques du procédé?*

↔ Carole Jouve: *Il semble trop tôt car le procédé nécessite encore des mises au point.*

Edouard Fabre: *A-t-on réalisé des comparaisons entre la voie lignocellulosique et la gazéification?*

↔ Carole Jouve: *Il ne s'agit pas des mêmes horizons.*

II.1.2 PRI 8.2 - Micro-échangeurs

Exposé de Mme Monique Lallemand - CETHIL - UMR 5008.

Le diamètre des micro-canaux varie de 10 mm à 1 mm. Leur longueur est limitée à cause du comportement mécanique lorsque l'on passe de la macro-échelle vers la micro-échelle (chute de pression, transfert thermique, ...).

Le problème de ce PRI réside dans l'étude du comportement thermo-hydraulique en canaux aux micro-échelles. Il est alors nécessaire de développer une métrologie adaptée et une technologie des micro-échangeurs. L'étude parle de l'influence des conditions aux limites, de la géométrie et donc des conditions hydrauliques pour des écoulements mono ou diphasiques (ébullition convective) dans les micro-échangeurs.

Une étude a montré que les lois de l'hydrodynamique ne sont pas modifiées (par rapport aux macro-échangeurs) dans le cas de parois lisses et en régime turbulent en paroi rugueuse. Seules des modifications interviennent en paroi rugueuse et en régime laminaire. On observe

alors une augmentation des frottements. En ce qui concerne l'ébullition convective, on constate une instabilité et les lois d'échange sont modifiées.

Les verrous sont :

- la précision des capteurs ;
- la fabrication des micro-échangeurs ;
- la maîtrise des instabilités.

Questions et Remarques :

?: *Le coefficient de diffusivité est-il pris en compte ?*

↔ Monique Lallemand : *Oui.*

Michel Le Bouché : Le flux critique est un facteur limitant. Le plus petit diamètre réalisé est de 7 mm, avec du silicium. Avec un matériau polymère, il est possible de descendre à quelques mm mais dans ce cas quelles sont les applications ? Sur le marché, le diamètre est de l'ordre de 500 mm.

↔ Monique Lallemand : *Il n'a y pas d'application directe pour les micro-échangeurs au niveau échange thermique. Ils peuvent être utilisés pour faire circuler des fluides.*

D. Tondeur : *Dans la littérature les résultats sont contradictoires. Qu'en pensez-vous ?*

↔ Monique Lallemand : *Il est possible que, pour les études que l'on trouve dans la littérature, la rugosité n'est pas été bien maîtrisée.*

II.2 PRI 10.1 - Combustion et capture de CO_2

Exposé de M. Daniel Tondeur - CNRS - UPR6811 : Capture par adsorption du CO_2 de gaz de centrales thermiques et injection en gisement d'hydrocarbures.

L'objectif principal de ce PRI est d'évaluer l'impact énergétique de la capture et de la séquestration de CO_2 dans une filière particulière. Les émissions de CO_2 se chiffrent à 1 t par habitant et par an dans le monde. La déforestation a un effet non négligeable. En tête des pays les plus gros émetteurs de CO_2 , on retrouve les USA puis la Chine. En plus pour cette dernière, les émissions augmentent au même rythme que son PIB. La France, quant à elle, émet environ 6,5 t de CO_2 multipliées par 60 millions d'habitants, soit 400 Mt/an (moins de 2% des émissions dans le monde, évaluées à 22 Gt), dont 5 Mt pour la production d'électricité. Sans l'effet de serre, la température moyenne serait de $-15^\circ C$

au lieu de 15°C . Pour arriver à un état stationnaire vis-à-vis de l'effet de serre (le CO_2 contribue à 50% à l'effet de serre et le méthane, dont l'impact est 23 fois celui du CO_2 , contribue pour 19%), il faut séquestrer 10 Gt de CO_2 par an, soit la moitié de notre production actuelle. Un projet actuel canadien permet de séquestrer 1 Mt de CO_2 par an. Le travail emmené sur la comparaison des filières montre qu'une centrale au fioul émet 0,88 kg de CO_2 par kW_e contre 0,4 pour une centrale au gaz naturel. Les centrales à gazéification combinée (IGCC) semblent être une solution d'avenir. Leur rendement est de 45% et leur puissance de 300 MW_e .

Parmi les différents moyens de capture du CO_2 , la technique d'adsorption est majoritairement employée et utilise des charbons actifs. L'adsorption fonctionne bien mais le problème se situe à l'étape de désorption. En effet, celle-ci s'effectue soit en diminuant la pression, soit en diluant (déplacée par de l'air). Dans les deux cas, cela a un coût car il faut ultérieurement recomprimer le gaz.

Questions et Remarques :

Driss Stitou (IMP) : *La capture de CO_2 peut être réalisée dans la mer soit par dissolution soit à l'aide de phytoplanctons. Quelle est la proportion ?*

↔ Daniel Tondeur : *Pas de réponse. Une réunion du réseau PACo se déroulera à Toulouse du 19 au 21/01/04.*

II.3 Discussion

Animée par M. Dominique Finon.

II.3.1 GAT 1 - Biomasse

Exposé de M. Gérard Goma - CNRS - UMR 5504 : Biomasse pour l'énergie.

La biomasse représente actuellement 3% de la production mondiale d'énergie des pays en développement (OCDE), et 14% pour les pays en voie de développement (PVD). On constate de plus une augmentation des produits alimentaires pour l'énergie. Le gisement mondial est estimé de 50 à 106 t par an. Mais il reste à évaluer sa disponibilité. De plus, la biomasse est de nature diverse ce qui peut poser des problèmes : on produit 7 à 8 t de blé par ha , 2 t de colza par ha , 4 à 5 t de bois par ha , ... Il existe deux filières

complémentaires voir supplémentaires de traitement de cette biomasse : la voie sèche et la voie humide. D'ici 2010, les efforts doivent être entrepris sur la filière biodiesel, car le diésel a tendance à supplanter l'essence. Pour la filière éthanol, les efforts doivent être maintenus et la filière glycérol valorisée. Des études sur de nouvelles souches d'enzymes doivent aussi être entreprises, tout comme la bioproduction d'hydrogène. Enfin, l'agriculture en France représente 400 milliards de Francs (61 millions d'euros).

II.3.2 GAT 8 - Thermique

Exposé de M. Michel Le Bouché - CNRS - UMR 7563.

La partie micro-échangeur a bien évolué. Le verrou principal est de disposer d'une métrologie adaptée aux recherches, compte tenu de la forte miniaturisation des différents composants électroniques. Il est donc nécessaire d'avoir une concertation entre GAT comme par exemple dans le domaine de la thermique de la PACo (maîtrise de l'humidité des membranes). Les échangeurs multifonctionnels constituent une rupture technologique. Les micro-échangeurs ont une application en thermomécanique dans le domaine de l'agro-alimentaire et plus précisément en ce qui concerne la sécurité alimentaire. La Société Française de Thermique élabore un livre blanc sur la thermique.

II.3.3 GAT 10 - Combustion et capture de CO_2

Exposés de M. Jean-Michel Most - CNRS - UPR 9028 puis M. D. Tondeur - CNRS - UPR6811.

Il faut, pour diminuer les rejets de CO_2 , avoir des systèmes à haut rendement. Mais il faut aussi s'intéresser aux autres polluants. Par exemple en améliorant la combustion en effectuant une gazéification au préalable. Il est possible de faire fonctionner une turbine à gaz avec de l'hydrogène mais ceci pose actuellement des problèmes de stabilité. Les efforts actuels, et même à venir (séquestration), ne sont pas adaptés à la grande échelle. L'effort doit surtout porter sur la diminution de la consommation. De plus, on ne faut pas tenir à l'écart les problèmes de sécurité que peuvent poser le stockage, le transport, ...

II.3.4 Débat sur les GAT 1, 8 & 10

Une personne ne croit pas à la capture/séquestration du CO_2 , mais pense plutôt que la solution se trouverait sur l'amélioration des équipements.

Edouard Fabre : *Où va t'on mettre le CO_2 et que deviendra t'il dans 100 ans ou 1 000 ans ? Si la séquestration de CO_2 n'est pas la solution (selon Daniel Tondeur), alors pourquoi les USA puis l'Allemagne se lancent sur ce sujet ?*

↪ Daniel Tondeur : *La séquestration est une solution jusqu'à 100 ans. Ensuite, le CO_2 séquestré sera comme une " bombe à retardement ". La pénalité pour la capture de CO_2 est de 10 points sur une centrale thermique. Le coût capture+séquestration est actuellement de 16 à 19 \$ par tonne de CO_2 .*

Etienne Lebas (IFP) : *Il faut examiner la réalité économique : la coût de la tonne de CO_2 en 2005 devrait être de 30 \$. Alors, comment capturer le CO_2 à moins de 30 \$ par tonne de CO_2 ?*

Dominique Finon (à Jean-Michel Most) : *Quelles sont les priorités sur la combustion ?*

↪ Jean-Michel Most : *Il s'agit d'abord de récupérer la chaleur. Ensuite , il faut améliorer les turbines à gaz et les adapter aux comburants que sont le méthane ou l'hydrogène. La combustion par catalyseur est plus propre.*

Gérard Goma : *Les études portent principalement sur le CO_2 , mais le méthane est également très important.*

Diogo Queiros-Conde contredit Gérard Goma sur le fait que la quantité de CO_2 produite par les feuilles dégradées est plus élevée que la quantité de CO_2 dégagée par les transports.

?: *En ce qui concerne les micro-échangeurs, il faut concentrer les efforts sur la détermination du taux de vide. Le verrou de la métrologie ne pourra être levé qu'à l'aide des méthodes optiques.*

Daniel Tondeur : *Faut-il obligatoirement augmenter le flux de matière pour augmenter le flux thermique ? Il semble que non.*

Diogo Queiros-Conde : *Il existe des différences entre le flux thermique et le flux de matière, notamment au niveau des phénomènes d'intermittence. La loi citée par Daniel Tondeur n'est donc pas toujours vraie.*

?: *On en revient à la non maîtrise dimensionnelle des canaux qui souffrent de la grande approximation des moyens métrologiques.*

Dominique Finon : *Quelles sont les priorités sur le sujet de la biomasse, quel est la hiérarchisation de ces priorités ?*

↪ Gérard Goma : *Tout d'abord l'indice d'octane, ensuite le gaz puis les biocarburants et enfin l'hydrogène.*

? : *Il est importance d'avoir des données de base sur les micro-échangeurs. Le flux critique va dimensionner le canal.*

Edouard Fabre : *On a besoin de 3 Mm³ de carburant en France, 17 Mm³ en Europe. Actuellement la biomasse est brûlée. Plus tard, les biocarburants seront de plus en plus employés dans les transports. Quelles alors sont les technologies pour produire de l'hydrogène à partir de la biomasse ?*

↔? : *Par le procédé Fischer-Tropsch. La voie catalytique semble être la voie royale.*

Pour Edouard Fabre, la production d'énergie se fera :

- à partir du nucléaire ;
- à partir de l'hydrogène ;
- à partir de la biomasse, qui est le plus grand réservoir de matière première pour la production d'hydrogène.

II.4 Thématique - Le vecteur hydrogène et la gestion de l'électricité

Séance présidée par M. Jean-Bernard Saulnier.

II.4.1 PRI 4.1 - Production et stockage d'hydrogène

Exposé de M. Jack Legrand - CNRS - UMR 6144 : Production d'hydrogène par des Énergies Renouvelables.

Les méthodes de production d'hydrogène à partir du solaire et de l'eau sont dites " propres " car elles n'émettent pas de gaz à effet de serre. Deux approches ont été envisagées pour la production d'hydrogène pur : l'approche bioréacteur et l'approche biomimétique :

- l'approche biologique permet de produire de l'hydrogène à partir de l'énergie solaire et de microorganismes que sont les microalgues vertes unicellulaires (Chlamydomonas, qui est une enzyme fortement producteur d'hydrogène). La capacité d'échange

est de quatre photons pour une molécule d'hydrogène, ce qui conduit à un rendement de 10%. L'hydrogénase est sensible à l'oxygène. Ainsi, avec une carence en soufre, la quantité d'oxygène diminue et alors la quantité d'hydrogène produite augmente.

- le système biomimétique conduit à une capacité d'échange de deux photons pour une molécule d'hydrogène, soit un rendement de 20%.

Remarques et Questions :

E. Fabre : *Peut-on donner quelques chiffres sur le débit de production ?*

↔ Jack Legrand : *La production est de 10 litres d'hydrogène par m³ et par heure. En régime transitoire, on peut arriver à un résultat dix fois supérieur. Le problème sera de l'extrapoler à l'échelle du mois, de la semaine. Il est plus intéressant de comparer les performances surfaciques entre les 2 voies possibles.*

G. Flamant : *Y-a-t-il eu une étude sur l'optimisation de la lumière sur la production d'hydrogène ?*

↔ Jean-Bernard Saulnier : *L'absorption se fait sur presque tout le domaine spectral.*

II.4.2 PRI 7.1 - Production d'hydrogène par énergie solaire "HYSOL"

Exposé de M. Gilles Flamant - CNRS - IMP.

Trois voies ont été étudiées pour la production d'hydrogène à partir de l'énergie solaire : le craquage, le reformage thermique et non catalytique, et les cycles thermochimiques :

- le craquage permet d'économiser 14 kg de CO₂ par kg d'hydrogène produit. Le craquage du méthane conduit à du carbone et de l'hydrogène. Cette co-synthèse est thermodynamiquement réalisable mais cinétiquement très lente, si bien qu'il est nécessaire d'accroître la température de réaction. Aucun résultat sur l'hydrogène a été présenté à cause de problèmes de mesure. Par contre, le noir de carbone obtenu a été étudié. Il est de type fourneau.
- le reformage non catalytique est réalisé avec du propane (car N'GHY possède l'expérience sur le propane).
- il existe 196 Cycles thermochimiques recensés. Seuls les cycles comprenant 1 à 3 étapes ont été retenus.

Remarques et Questions :

Annick Percheron : *Quel est la pureté de l'hydrogène et quels sont les débits obtenus ?*

↔ Gilles Flamant : *L'hydrogène obtenu par craquage contient de l'acétylène et de l'éthylène à un taux de quelques %. Il sera néanmoins nécessaire de les séparer de l'hydrogène. Pour le débits, le calcul reste à faire mais cela ne pose pas de problème car on connaît les enthalpies de réaction. Les prix présentés tiennent compte de la valorisation du carbone.*

Edouard Fabre : *Concernant le technique par craquage, comment la chaleur de la lumière est elle transmise ?*

↔ Gilles Flamant : *La lumière est transmise des parois de transfert.*

II.4.3 PRI 4.2 - Matériaux pour le stockage de l'hydrogène

Exposé de M. Fermin Cuevas - CNRS - LCMTR.

Les travaux comportent deux parties axées sur deux matériaux de stockage différents : les nanotubes de carbone et les hydrures métalliques :

- Pour les nanotubes de Carbone, le but est d'améliorer les connaissances sur le sujet. La synthèse est réalisée par voie chimique. La quantité d'hydrogène stockée varie jusqu'à 2% en poids si le nanotube est ouvert, et 1% s'il est fermé ;
- Hydrures métalliques (type AB_n). C'est le seul système de stockage renversible de l'hydrogène à température et pression ambiante. Certains AB_n conduisent à une liaison forte avec l'hydrogène, ce qui pose des problèmes lors de la désintercalation. Par exemple, le magnésium a une forte capacité (7,6% en poids d'hydrogène capturé) mais il est très stable d'où une hydrogénation lente.

Ainsi les actions portent, d'une part sur l'utilisation du composé $Mg_{50}Ni_{50}$ - *amorphe*, et d'autre part sur l'amélioration de la cinétique de réaction à l'aide de l'ajout de phases catalytiques (WO_3 ou V).

Remarques et Questions :

Jean-Bernard Saulnier : *La réaction: $Mg + H_2$ est exothermique. La chaleur dégagée peut être un facteur limitant.*

Dominique Perreux (Besançon) : *La mécano-synthèse conduit à deux problèmes que sont le phénomène d'amorphisation, et la réduction de la taille des particules conduisant à une plus grande sensibilité.*

François Beguin (Orléans) : *M. J.-M. Tarascon a montré que le broyage de Magnésium conduisait à une oxydation en surface. C'est pour cette raison qu'il ajoute du carbone au*

magnésium avant le broyage. La mécano-synthèse est globalement mal comprise.

Luc Brohan : *La taille des grains de magnésium est inférieure à 10 nm, pourquoi ne pas passer à l'échelle manométrique et faire de la synthèse micellaire ?*

Fermin Cuevas : *Ceci n'a pas été réalisé.*

II.4.4 PRI 3.1 - Coeur de pile à combustible à électrolyte membrane

Exposé de M. Claude Lamy - CNRS - UMR 6503.

La courbe tension-intensité d'une PEMFC présente trois zones : la zone de polarisation de transfert de charge, la zone de chute ohmique et la zone de polarisation de transport de matière. Chaque équipe associée au projet travaille sur une zone de cette courbe. Le catalyseur des piles basse tension est toujours constitué de platine. Pour des raisons évidente de coût, il faut en mettre le moins possible. Aujourd'hui, on arrive à des proportions d'environ 600 à 700 g par m^2 de surface du catalyseur. Il peut être déposé soit par une technique micellaire soit par plasma. Le carbone conserve tout de même sa surface spécifique. Actuellement, le platine ne peut pas être remplacé pour la réduction de l'oxygène. Notons qu'au niveau du catalyseur, 1/3 de l'oxygène est perdu. En ce qui concerne la membrane, la PEEK présente une conductivité similaire à celle du Nafion mais elle est moins stable. Les performances d'une membrane dépendent de sa température de fonctionnement. Par exemple, en passant de 80°C à 120°C, la vitesse de réaction est multipliée par 5. Néanmoins, si la température est trop élevée, le membrane peut aussi se dessécher et entraîner l'arrêt de la pile. Il est donc important de concentrer les recherches sur l'amélioration du coeur des piles à combustible.

Remarques et Questions :

Daniel Tondeur : *Connait-on les caractéristiques de l'interface Electrode/Membrane ? Et à partir de quand sera t'il intéressant de réunir toutes les technologies intéressantes, pour faire un coeur de pile ?*

↔ Claude Lamy : *Cette interface est complexe car elle comprend des aspects électrique et thermique. Un bon contact électrique doit être établi car la résistance globale du système est la somme des résistances : résistance interface + anode + cathode + ... Il est nécessaire d'améliorer chaque composant du coeur de la pile. Un des inconvénients des membranes est leur durée de vie trop faible. Le platine est également un inconvénient du fait de son*

coût élevé. Sa réduction d'un facteur 10 rendra rentable la pile à combustible.

Les marges de manoeuvre pour améliorer les piles à combustibles apparaissent plus importante au niveau du catalyseur que sur la membrane.

Robert Perret : *Existe-t-il des aides à la modélisation ?*

↔ Claude Lamy : *Elles existent dans le GAT.*

II.4.5 PRI 5.1 - Gestion de l'électricité

Exposé de M. Nourdine Hadj-Said - IDEA : Etude des transferts d'énergie dans les réseaux.

La libéralisation du marché et la production décentralisée d'électricité vont créer une contrainte sur le réseau qui n'est pas conçu pour cela. Le système de réseau est proche de ses limites (surtension), et il faut en concevoir un nouveau. Les thèmes de recherche sont l'intégration de la production décentralisée et l'analyse des grands systèmes Une étude comparative de transformateurs avec régulateurs en charge a été réalisée. Elle compare les régulateurs avec et sans compoundage (régulation de charge). Le compoundage évite la dépassement de tension mais abaisse le tension en d'autres points du réseau. A l'aide de la détermination du temps critique d'élimination des défauts, il est possible de localiser les zones à problème dans le réseau. Un examen de la stabilité du réseau a été réalisée. Elle simule la perte du producteur au consommateur.

II.4.6 PRI 5.2 - Electronique de puissance

Exposé de M. Robert Perret - INPG - LEG : Electronique de puissance haute tension.

L'électronique de puissance doit traiter les hautes tension (>10 kV) de façon rapide. Le but de ce PRI est d'augmenter la capacité en tension du silicium en la faisant passer de 3,3 kV à 10 kV (on atteint pour l'instant 6 kV en laboratoire). Ceci peut être réalisé par gravure profonde de diélectrique. Une autre solution consiste à utiliser un autre semi conducteur : le carbure de silicium (S_iC). Ses avantages sont d'une part qu'il peut traiter des hautes tensions (10 kV), et d'autre part qu'il peut atteindre des températures élevées sans contrainte. Le problème réside dans le packaging du système. L'utilisation du diamant est un projet d'avenir pour faire des composants électroniques, mais il est difficile à fabriquer. Afin de résoudre la problème du dégagement du chaleur de ces systèmes (environ 100 W/cm^2), le refroidissement peut être réalisé soit par circulation d'eau dans des micro-

échangeurs, soit par des caloducs plats, intégrés dans la semelle du composant. Cette dernière solution est intéressante et à développer. L'association des composants est réalisée dans le cadre d'un programme européen pour le TGV.

Questions et Remarques :

Gilles Flamant : *Le but de ce PRI n'est pas uniquement d'améliorer la qualité du courant mais surtout de rendre utilisable la haute tension. L'électronique de puissance est actuellement destinée aux gros utilisateurs (comme le TGV), mais pour le particulier il se pose des problèmes de fiabilité.*

Edouard Fabre : *Après la panne récente de courant en Italie, risque-t-on d'autres pannes ?*

↔ Robert Perret : *Les réseaux sont interdépendants. S'il se produit une perturbation, il y aura donc propagation. Il est possible de couper les interconnexions. L'objectif du laboratoire est d'apporter des solutions locales pour éviter ce type de problème au niveau national.*

Diogo Queiros-Conde : *Existe-t-il une corrélation entre la complexité du réseau local et le temps critique d'élimination des défauts (TEC) ?*

↔ Robert Perret : *Le TEC dépend du générateur et de la distance du point de départ.*

II.5 Discussion

Animée par M. Bernard Bourgeois.

II.5.1 GAT 4 - Production et stockage d'Hydrogène

Exposé de Mme Annick Percheron -Guégan - CNRS - LCMTR.

L'action 2002 concerne les micro algues, qui produisent de l'hydrogène sans émettre de CO_2 , et le solaire, qui permet de réduire les émissions de CO_2 . Le PRI 4.2 concerne le stockage par hydrure métallique et par nanotubes de carbone.

Pour l'action 2003 :

- le PR 1.2 réalise une corrélation entre la nanostructure et les propriétés des matériaux ;
- le PR 1.3 a pour but d'alléger le métal $M(H)$ pour les applications mobiles ;
- le PR 1.4 effectue une modélisation des effets thermiques ;

- le PR 1.6 conçoit un réservoir haute pression associé à un métal $M(H)$ pour absorber les fuites d'hydrogène ;
- le PR 1.7 va permettre d'obtenir des techniques reproductibles de synthèse de nanotubes de carbone.

En ce qui concerne les actions 2004, elles concernent :

- la purification de l'hydrogène. Notons que pour les PACo, la concentration en CO doit être inférieure à 10 ppm ;
- le stockage d'hydrogène par des hydroaluminates. Ce sont des hydrures doubles d'éléments légers. Les américains ont déjà réalisé des travaux dans ce domaine ;
- la collaboration des PRI pour la production et le stockage de l'hydrogène.

Questions et Remarques :

E. Fabre : *L'action concertée a plutôt privilégiée le stockage que la production d'hydrogène, car le rôle du CNRS est d'accompagner les industriels sur la production d'hydrogène. Pour la biomasse le CNRS a un rôle plus important à jouer. Il reste beaucoup à faire sur la pureté de l'hydrogène (notons que pour une SOFC la présence d'impuretés n'est pas rédhibitoire).*

Luc Brohan : *Aucune étude n'a été présentée dans le domaine de la photoélectrolyse de l'eau, malgré un rendement comparable à celui de l'électrolyse. C'est une voie à explorer.*

Jean-Claude Grenier Bordeaux : *L'électrolyse de l'eau à haute température est déjà bien développée au CEA. Pourquoi une étude sur les nanotubes, qui montrent un très faible rendement, a été financée ?*

La réponse appartient au comité de pilotage.

II.5.2 GAT 3 - Piles à combustible

Exposé de M. Claude Lamy - CNRS - UMR 6503 : Piles à combustible et leur gestion.

Le travail réalisé concerne tout le système, c'est-à-dire le reformeur et la pile elle-même. Les acteurs sont nombreux : le CNRS, les intervenants du réseau PACo et des industriels (mais pas de fabricant de pile à combustible en France).

Une remarque est adressée au comité de pilotage : la création d'un multiGAT (250 personnes) doit conduire à une intégration plus large au programme énergie. Les thèmes proposés (composants, coeur de la pile SOFC à 700°C et gestion dynamique) ont été refusés. Pour manifester, seulement 6 personnes du GAT sont présentes sur 150 personnes. Claude

Lamy pense que l'action concertée ignore les électrochimistes. Edouard Fabre trouve cette remarque scandaleuse.

Questions et Remarques :

Alain Alexandre (LET). *Les thermiciens viennent en aide aux électriciens pour résoudre les problèmes des coeurs de piles. Il est nécessaire de développer en parallèle toutes les parties des systèmes. La société Axane existe et fabrique des PACo.*

II.5.3 GAT 5 - Gestion de l'électricité

Exposé de M. Yves Brunet - INPG.

12 laboratoires sont associés à ce GAT qui regroupe des compétences en génie électrique, électrochimie et génie des matériaux. Le GAT 5 travaille au niveau de l'utilisateur. Les électriciens font une connexion avec les utilisateurs. Des progrès autres que le stockage et la production d'électricité sont à réaliser dans l'habitat, sur les économies par exemple. Les actions à mener sont les suivantes :

- interconnexion avec les GAT, par exemple pour les aspects thermique et en ce qui concerne l'électronique de puissance. Mais cette interconnexion n'est elle pas difficile à réaliser ;
- suppression de l'effet Joule en améliorant les systèmes avec de nouveaux matériaux ;
- récolte des données sur le stockage de l'électricité.

Questions et Remarques :

Yves Brunet : *Est-ce que la gestion des réseaux électriques est une problématique de l'énergie ?*

↔ Pierre Matarasso : *Le réseau électrique est également destiné à être exploité par les pays en voie de développement.*

En réponse à la question sur l'utilité des réseaux dans le programme, M. Fabre dit que le CNRS peut répondre à des problèmes posés par les constructeurs, car ces derniers possèdent les compétences nécessaires.

II.5.4 GAT 7 - Solaire thermique

Exposé de M. Alain Ferrière - CNRS - IMP : Captation, transformation et conversion de l'énergie solaire par les technologies à concentration.

Questions et Remarques :

? : *Si on arrive à résoudre du stockage d'hydrogène, alors on arrivera aussi à résoudre le problème du solaire. La voie de dissociation de l'eau par le solaire est à considérée à plus long terme, avant il faut utiliser le méthane. Au delà de 500 kW, il n'y a rien au niveau public en ce qui concerne le solaire (incitation, remboursement, ...), donc il vaut mieux privilégier le photovoltaïque. C'est malheureux car c'est l'énergie solaire qui est l'énergie la moins chère. Pour ce qui est de l'hydrogène, la vision est au delà de 10 kW thermique en utilisant les cycles thermochimiques (partenariat avec le CEA).*

III Mercredi 26 novembre 2003

III.1 Thématique - Nucléaire

Séance présidée par M. Edouard Fabre.

III.1.1 GAT 11a - Nucléaire du futur : Fission

Exposé de M. Jean-Marie Loiseaux - ISNG.

L'objectif de ce GAT n'est pas la promotion du nucléaire, mais d'en évaluer ses potentialités, afin d'optimiser la technique en utilisant ce que chacun des réacteurs fait de mieux. Ce GAT réalise une analyse du nucléaire sur plan mondial compte tenu de l'effet de serre et des ressources fossiles. Le nucléaire représentait 0,6% de la consommation énergétique mondiale en 1998. Des scénarios prévoient une part de 6% d'ici 2050, soit une augmentation d'un facteur 10 au maximum. Les énergies renouvelables seront néanmoins nécessaires. On appelle noyau fertile un noyau fissile que l'on peut fabriquer au fur et à mesure qu'on le consomme (uranium ou thorium). Trois types de réacteur nucléaire sont étudiés :

- REP/EPR. Ils fonctionnent à l'uranium enrichi. Il faut environ 20 t d'uranium naturel pour alimenter un REP par an. En proportion, 200 t d'uranium naturel permettent de produire 25 t d'uranium enrichi. Son inconvénient concerne ses rejets ;
- RNR (réacteur à neutron rapide) fonctionnant avec du plutonium et de l'uranium. Il nécessite 12 t de plutonium pour démarrer, et 60 t d'uranium naturel par an pour fonctionner. Il rejette beaucoup moins de déchets que la filière REP/EPR ;
- RSF (réacteur à sel fondu). Il nécessite 1 t d'uranium naturel par an pour fonctionner. Comme le RNR, il rejette beaucoup moins de déchets que la filière REP/EPR.

En résumé, les réacteurs de types RNR et RSF ont besoin de peu de " combustible " pour fonctionner, et produisent beaucoup moins de déchets que les réacteurs de type REP/EPR.

Leur disponibilité est prévue pour 2030. L'inconvénient de ces réacteurs est qu'ils ont besoin de plutonium et d'uranium 233. Le RNR fonctionne à haute température et est destiné à produire de l'hydrogène. Son inconvénient réside dans la mauvaise tenue mécanique des combustibles réfractaires à hautes températures. Le RSF présente l'inconvénient de retraiter le cœur tous les 10 jours. Des travaux sont en cours pour repousser cette limite à 12 mois. Il existe une complémentarité entre ces filières. La filière REP/EPR est disponible immédiatement et a un rôle de transition, le RNR permet de fermer le cycle des REP car il consomme du plutonium produit dans les réacteurs REP. Le RNR est la priorité du CEA, il permet d'avoir des hautes températures pour produire de l'hydrogène, il gère très bien le plutonium mais est lourd à développer. D'après Jean-Marie Loiseaux, d'ici 2006 il n'y aura sûrement pas de changement au niveau du nucléaire, entre 2007-2010 il serait intéressant de construire un démonstrateur, et en 2015 un prototype industriel. La tendance va vers le RSF, mais il reste à convaincre beaucoup de monde et le but de ce GAT est de " revisiter " les trois filières de façons à " compiler " leurs avantages. Le travail est terminé et une synthèse sera réalisée courant janvier 2004.

III.1.2 GAT 11b - Fusion Thermonucléaire contrôlée

Exposé de Mme Pascale Hennequin - CNRS - Polytechnique.

La fusion est un projet de production d'énergie à long terme, qui ne devrait pas voir le jour avant la fin du siècle. Elle permettra de résoudre les problèmes de diminution de nos ressources énergétiques et les problèmes environnementaux. L'étape décisive, qui consiste à montrer la faisabilité de ce projet, est actuellement à l'étude. La France travaille sur deux projets de fusion : le Laser MégaJoule (projet national pour la défense) et ITER (projet international civil). Pour ITER, les recherches amont portent sur l'optimisation de la configuration magnétique (contrôle de la turbulence et de la stabilité magnétique), l'interaction plasma/paroi et les bobines supraconductrices. Il est important de décider dès à présent de la poursuite de ce projet car il nécessite de résoudre encore bien des problèmes. Ce GAT fait de la recherche amont. Son objectif est d'établir un bilan et de faire une expertise sur le sujet. Sur le projet Laser MégaJoule, l'Institut Laser Plasma compte 20 laboratoires environ venant du CNRS, CEA, . . . Pour le projet ITER, les actions CNRS portent sur la physico-chimie et la physique des parois.

Questions et Remarques :

Jean-Marie Loiseaux : *Le Nucléaire doit être inscrit en socioéconomie, notamment pour l'étude de la géologie des ressources d'uranium, de la taille des réacteurs en fonction du réseau, du financement des réacteurs et du cycle, et de l'acceptabilité.*

↔ Pierre Matarasso : *Cette étude est prématurée. Le nucléaire est un choix de société. Il a été présenté une prévision d'augmentation de la part du nucléaire d'un facteur 10 dans le monde. Pour la France, ce facteur serait de 1 à 2. La diminution des réserves d'uranium est moins urgente que l'acceptabilité.*

↔ Edouard Fabre : *La part du nucléaire en 2050 serait plutôt multipliée par 3 que par 1 ou 2. Concernant l'acceptabilité, les décisions sont prises au niveau européen. On pourrait faire de l'hydrogène par électrolyse ou par cycles thermochimiques.*

Pascale Hennequin : *Pourquoi la socio-économie n'interviendrait elle pas dans le projet de fusion ?*

↔ Pierre Matarasso : *L'étude porterait non pas sur un produit mais plutôt sur la R&D. Mais de tout façon ce projet est à trop long terme.*

Pascale Hennequin : *Est-on contraint de disposer de centrales de plusieurs GW ? Pourquoi ne pas plutôt avoir plusieurs petites centrales ?*

↔ Jean-Marie Loiseaux : *Il s'agit d'un problème physique avant tout. Néanmoins, on peut concevoir une petite partie du parc comprenant des petites unités. De plus, pour le projet ITER, une taille critique minimum doit être respectée. Le prototype produira 500 MW.*

Gérard Goma : *L'acceptabilité est importante même dans le cas de la biomasse. Le sujet sur la Fusion a été abordé. Par contre, n'a pas été abordée la façon de récupérer cette grande quantité d'énergie.*

↔ Pascale Hennequin : *Des recherches sont en cours dans le GAT et au niveau international pour la filière magnétique.*

Edouard Fabre : *Les USA comptent multiplier par 3 la production nucléaire. Actuellement en France la production d'hydrogène n'a pas été prise en compte.*

↔ Jean-Marie Loiseaux : *Nous disposons actuellement d'un parc important. Nous prévoyons plutôt une stabilisation de ce parc. On a une vision claire de la gestion des déchets.*

Edouard Fabre : *En 2020 la quantité de déchets radioactifs aux USA sera supérieure à la capacité de stockage. C'est donc un sujet à aborder.*

Edouard Fabre : Qu'est ce que les réacteurs ADS ?

↔ Pascale Hennequin : *Il est possible de séparer les actinides mineurs puis les incérer dans un réacteur dédié. L'avantage est de gérer des déchets sans penser à la prochaine génération de réacteur. Ainsi, on ne dépendra pas de la quatrième génération pour cette gestion. Un seul réacteur européen pourrait par exemple être consacré à cela.*

?: *Un réacteur nucléaire fait gagner de l'argent après qu'il soit rentabilisé, soit après 30 ans. Les financiers de ce réacteur ne peuvent-ils pas attendre 30 ans ?*

↔ Dominique Finon : *Le temps de retour sur investissement est trop long pour un financier.*

?: *A-t-on besoin d'un nouveau réacteur et doit-on anticiper la situation, car actuellement le besoin n'est pas réel ?*

↔ Dominique Finon : *Le nucléaire ne peut être dérégulé.*

III.2 Les projets exploratoires

Remarque : Les PE n'ont débuté que depuis 6 mois.

III.2.1 PE 1 - Oxti-photobatterie

Exposé de M. Luc Brohan - IMJR : Solar rechargeable battery based on new TiO_2 nano-polymers.

Les domaines d'applications concernent la photocatalyse et la photoélectrochimie. Le TiO_2 (dioxyde de titane) est présent dans 0,1% de la croûte terrestre. Il absorbe seulement 10% de l'énergie solaire. Il est nécessaire d'étendre ce domaine. Les performances du TiO_2 peuvent être améliorées en modifiant par exemple la taille des particules. Ce composé deviendra alors un système de stockage (batterie portable rechargeable) d'énergie solaire à moindre coût. L'état actuel des travaux porte sur le contrôle de la polymérisation et sur la démonstration de la faisabilité du projet.

III.2.2 PE 3 - SEAREV

Exposé de M. Alain Clément - Ecole Centrale de Nantes : SEAREV, Système Electrique Autonome de Récupération d'Energie des Vagues.

Les ressources sont exprimées en kW par mètre de largeur par la formule $P \approx 0,55H_s \cdot 2.T.z$

où H_s est la hauteur de vague et T la période moyenne. En France l'exposition est plutôt bonne (flux d'énergie par mètre de largeur moyenne annuelle : 70 kW/m en France et 40 kW/m dans le golfe de Gascogne), mais elle fluctue. L'analyse des coûts de production montre que le coût de cette énergie est proche de celui de l'éolien. Un prototype est prévu dans 5 ans. Il existe un système concurrent en Ecosse.

Questions et Remarques :

Jean-Claude Lamy : *Comment s'effectue le stockage d'énergie ?*

↔ Alain Clément : *Il peut être de nature mécanique (stockage à l'intérieur du système de quelques vagues). Le système peut également produire directement de l'électricité.*

Edouard Fabre : *Il faudrait plutôt présenter le financement consolidé. Qu'en est-il des hydroliennes ?*

↔ Alain Clément : *Il existe un petit projet en France et en Angleterre. En fait, il y a un ordre de grandeur de moins avec le courant marins qu'avec les vagues. Ajoutons que l'on peut utiliser l'énergie thermique des mers.*

III.2.3 PE 5.1 - Biocagaz

Exposé de M. Jean-Michel Most - CNRS - UPR 9028 : Etude des procédés de gazéification de la biomasse, du charbon et de résidus industriels, intégrés à un système de cogénération de type IGCC.

Etude des procédés de gazéification de la biomasse, du charbon et de résidus industriels, intégrés à un système de cogénération de type IGCC.

III.2.4 PE 5.5 - PlasmaSol

Exposé de M. Gilles Flamant - CNRS - IMP : Effet photovoltaïque dans un photo-plasma solaire.

Deux laboratoires travaillent sur ce projet : l'IMP et le CPAT. Le principe est l'inverse de celui des lampes à émission (lampes Na). Le but est d'absorber du sodium pour produire de l'électricité (l'énergie rayonnante donne de l'énergie électrique). On distingue 3 étapes : l'excitation, l'ionisation puis la séparation des charges. L'étude des vapeurs de sodium (Na) et de césium (Cs) est entreprise. Le césium est plus intéressant. L'énergie solaire utilisée est élevée $2,35 \times 10^4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$. Les données montrent la faisabilité du projet. L'objectif

est maintenant de définir le rendement.

Questions et Remarques :

?: *Peut-on donner une estimation des rendements ?*

↔ Gilles Flamant : *Il n'est pas possible de donner un chiffre pour l'ionisation. Par contre, le rendement de l'absorption, uniquement pour le Cs est d'environ 60%.*

III.2.5 PE 5.7 - Silicium solaire

Exposé de M. René Berjoan - CNRS IMP: Étude et contrôle d'un procédé de réalisation de couches minces de silicium par voie solaire.

Ce projet est une application de l'énergie solaire concentrée. Les couches de silicium obtenues sont denses et amorphes. Il faut à présent évaluer l'homogénéité de l'épaisseur du dépôt. A l'avenir, l'objectif est d'obtenir du silicium polycristallin. Ce procédé peut être utilisé de manière plus large qu'actuellement, c'est-à-dire pour des dépôts de couches minces autres que du silicium.

III.3 Discussion

Animée par MM. Dominique Finon et Pierre Matarasso.

III.3.1 Socioéconomique de l'énergie

Exposé de M. Dominique Finon - IEPE.

Les actions engagées concernent entre autres l'analyse de filière et le renforcement des bases de données.

III.3.2 Modélisation des politiques climatiques & PR 8.1 - ENEC 2050

Exposé de M. Frédéric Gherzi - CNRS - CIRED: Confluence des prospectives énergétique et macroéconomique dans la perspective d'un développement durable.

L'objectif de la politique climatique est de limiter la concentration de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère. Les actions sont alors soit directes (politique de quotas), soit indirectes (une action sur les prix et sur les techniques). La modélisation a été réalisée

sous deux approches :

- bottom-up, prospective technique (production, prise en compte de déterminants liés à la géographie) ;
- top-down, prospective macroéconomique (ensemble du système économique).

Exposé de M. Philippe Menanteau - CNRS - LEPII - EPE: Plate-forme Base de Données Energie, Economie, Environnement pour la Modélisation et l'Aide à la Décision (BD-EMAD).

Cette étude a deux objectifs : constituer une base de données et fournir des éléments pour l'aide à la décision. Ceci a été réalisé par la création d'une plate-forme multisites. L'idée est de créer des fiches caractéristiques de 3 à 4 pages pour chaque filière. La base de donnée intègre trois modèles " bottom-up " : macro-économie, technologies et demande. Il faut simuler l'évolution de la demande énergétique sur le long et les très long terme.

Questions et Remarques :

Gérard Goma: *Il faut ajouter à cette analyse l'aspect législation. En plus des données techniques, il serait intéressant d'inclure des données d'appréciation. De plus, un effort de diffusion de l'information doit être entrepris.*

Edouard Fabre: *Comment peut on faire des bases de données sur le développement durable?*

↔ Philippe Menanteau: *L'écobilan est intégré dans la base de données.*

III.3.3 Définitions Cycle de vie & PR8.2 - ETHEL

Exposé de M. Pierre Matarasso - CNRS - CIRED: Le bâtiment dans le cadre résidentiel et tertiaire, un enjeu majeur dans la lutte contre l'effet de serre.

La France possède un retard sur l'analyse du cycle de vie. La Hollande est plus avancée. L'analyse des systèmes énergétiques, des filières et du cycle de vie présente des similarités. L'analyse du cycle de vie représente l'analyse d'un produit ou procédé du berceau au tombeau. Cette analyse est vaste ; il est nécessaire de se fixer des limites. Dans le cas des piles électriques par exemple, il faut tenir compte des matières premières, mais doit-on aussi tenir compte de leur fabrication et des outils servant à leur fabrication? Concernant les biocarburants, l'IFP a déjà réalisé des travaux.

Questions et Remarques :

Dominique Finon : *A quel niveau la socio-économie doit-elle aller ?*

Des projets collectifs peuvent être engagés par Pierre Matarasso à partir d'un pré-rapport.

Françoise Strub : *Il est utile d'avoir des données économiques associées aux données thermodynamiques. L'ingénieur thermodynamicien a besoin de ces données économiques. Un projet de rapprochement peut alors être créé.*

André Claverie (ADEME) : *Beaucoup de choses ont été faites sur l'analyse du cycle de vie. L'agence internationale de l'énergie (AIE) dispose d'un modèle Markal (Market Allocation Model).*

↔ Pierre Matarasso : *Il faut s'affilier à ces consortiums, mais il est tout de même nécessaire d'avoir un pôle en France.*

III.4 Synthèse du colloque

Par M. Edouard Fabre.

Vers quel positionnement doit aller le CNRS à moyen terme (20 ans) et à long terme (50 ans) sur la problématique de l'Énergie ? Nous pouvons distinguer deux échéances :

- 15 à 20 ans, le CNRS doit apporter ses compétences ;
- 30 à 50 ans, le CNRS a un rôle majeur à jouer afin de lever les verrous, car l'industrie ne se lance pas actuellement dans les technologies à si long terme. Le CNRS doit alors prendre le risque.

L'analyse socio-économique sur des technologies présentant des verrous n'est pas utile. Il existe quatre ministères sur l'énergie, plusieurs partenaires (CNRS, CEA, ADEME, ...), et plusieurs communes. Edouard Fabre propose la création d'un organisme de coordination dans le domaine de l'énergie.

III.5 Conclusion du colloque

Par Mme Monique Lallemand.

Ces journées ont été denses. Elles ont permis de voir les présentations des :

- 13 GAT. Des discussions ont été engagées mais limitées à cause d'impératifs horaires. Néanmoins, les grandes directions des GAT ont été évoquées ;

- 14 PRI, qui arrivent presque à leur terme. La conclusion est prévue en juillet. Des progrès ont été réalisés mais il reste encore des verrous technologiques ;
- 22 PR présentés sous forme de posters.
- les PE dont le bilan correspond à 6 mois de travail.

Les échéances :

- En décembre un livre blanc Energie sera rédigé et servira de base à la décision. Il s'en suivra la loi d'orientation prévue pour janvier 2004 ;
- PRI, un rapport doit être produit pour juillet 2004.

En 2002 le budget était de 2 millions d'euros. Il est passé à 4,5 millions d'euros en 2003. Le prochain appel d'offre (2004) n'est pas encore finalisé mais il portera sur les thèmes hydrogène, habitat et CO_2 .

Mme Lallemand rappelle la méthode de sélection des projets (suite aux polémiques durant le colloque). Un projet sur deux a été retenu. Pour chaque projet, deux experts sont nommés, un par le ministère et un par le CNRS. On compte trois projets/expert. Il y a eu en général une bonne concordance entre les experts, mais dans quelques cas, la nomination d'un troisième expert a été requise. Concernant le devenir des GAT. Ils sont à garder mais il est nécessaire de redéfinir leurs missions et de les restructurer.

Les présentations de ce colloque seront prochainement disponibles sur un cédérom, ainsi que sur le site internet de l'Action Concertée Energie, que vous pouvez retrouver à cette adresse : <http://www.imp.cnrs.fr/energie>.