

**Groupe professionnel « énergies » de l'AICN
Réunion du 25 avril 06**

**Conférence par Alain Argenson (Nantes 62)
« production de chaleur par solaire, géothermie et biomasse »**

Compte-Rendu établi par
Ch. Drevet et A. Argenson

Présents :

A. Charpentier, C.Drevet, C. Guérin, A. Lottin, J. Maratier, C. Poirson, Y. Tigeot, P. Tribotté, Q. Deffontaines, O. Marnet, S. Cousin, V. Diaz, A. Pireyre, G. Guindeuil, A. Coliche, JL. Bellondrade, J. Rousselle, B. Laporte, M. Devalay-Denis, M. Bouzinac-Martin, A. Deragne, G. Cherel, S. Orazowski, M. Brimbal, A. Olivier, C. Bataille, V. Rigaud, J. Palay

Excusés :

S. Lego, G. Liens, L. Joly, P. Guidez, M. Martin, T. Vermeulen,

Avant-propos

C. Drevet accueille les présents et présente les 8 sous-groupes « Energie » résultants de la dernière réunion du comité du 19 avril (CR joint) : 4 selon les moyens existants, 3 pour de nouveaux thèmes d'applications, 1 pour la synthèse et demande à chacun de se situer sur un ou deux de ces items, soit pour aider à la préparation des réunions d'informations, soit pour participer à des études socio-économiques. Des fiches de positionnement à remplir sont ainsi données en séance.

CR de l'exposé de Alain Argenson

LES ENERGIES RENOUVELABLES EN FRANCE

Les énergies renouvelables (ER) peuvent-elles prendre le relais des énergies fossiles et nucléaires ?

A-bilan énergétique de la France

Le bilan ci-dessous, du Ministère de l'Industrie pour 2004, est établi suivant la nouvelle méthodologie internationale permettant de tout évaluer en TEP avec des coefficients d'équivalence énergétique.

Le schéma des flux d'énergie pour 2004(annexe 1), donne une **consommation primaire de 283.7Mtep et une consommation finale de 176.8Mtep.**

La consommation finale est calculée en tenant compte du rendement de conversion, des pertes et des usages internes pour produire à partir d'une ressource primaire une énergie utilisable mais celle-ci **n'est pas l'énergie utile.**

Par ex 49.4 Mtep de pétrole utilisés pour le transport ne représente plus qu'environ 12 Mtep d'énergie utile compte tenu du rendement des moteurs.

Globalement l'énergie utile peut-être estimée à 125 Mtep

	CONSOMMATION FINALE ENERGETIQUE EN Mtep en 2004						Consommation électrique finale en TWh
	charbon	pétrole	gaz	Electricité (N,H,E)	ENR thermique	Total	(tous moyens de production confondus)
Sidérurgie	4.6	0.1	0.6-0.4	1.0		5.9	12
Industrie	1.4	6.1	12.2	11.0	1.3	32.0	128
Résidentiel-Tertiaire	0.4	15.4	22.5	22.8	8.7	69.8	265
Agriculture		2.3	0.3	0.3	0.1	3.0	3
Transports		49.4		1.0	0.4	50.8	12
Total	6.4	73.3	35.2	36.1	10.5	161.5	420

Les postes énergétiques les plus importants sont le résidentiel-tertiaire et le transport dont l'énergie primaire est presque totalement importé d'où l'importance des économies d'énergie.

B-Les énergies renouvelables

QUELLES SONT LES ENERGIES RENOUVELABLES SUR LESQUELLES NOUS POUVONS COMPTER EN 2005 ?

Nous distinguerons celles qui produisent uniquement de l'électricité et les autres qui produisent de la chaleur et éventuellement de l'électricité. Celles qui produisent de l'électricité ont fait l'objet de la réunion du 22 février 06 (CR sur le site : www.ec-nantes.fr/ingenieurs) .
Nous abordons les autres aujourd'hui.

AUTRES RENOUVELABLES

- **Solaire basse température**
- **Solaire haute température**
- **Géothermie de surface et profonde**
- **Biomasse :**
 - **production de chaleur et électricité**
 - **biocarburants**

2.1 SOLAIRE BASSE TEMPERATURE.

2.1.1 EAU CHAUDE SOLAIRE

Elle est produite par deux types de capteurs :

- **capteurs solaires plans domestiques**
- **capteur à tube sous-vide**

2.1.1.1 Les capteurs solaires plans qui représentent 99% du marché français sont constitués :

- d'un absorbeur qui converti en chaleur la lumière du soleil. d'un fluide caloporteur qui traverse les canaux de l'absorbeur.
- d'une couverture très transparente.
- d'un coffre qui enferme l'absorbeur et l'isolation thermique du capteur.

Le **fluide caloporteur chauffe un réservoir d'eau bien isolé**. Un complément est nécessaire pour les périodes de faible ensoleillement.

Deux modèles sont développés :

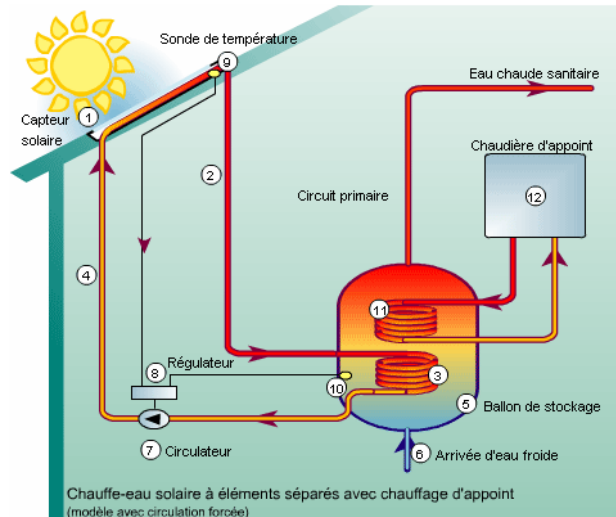
Chauffe eau solaire monobloc :

Capteur et ballon sont groupés sur un même châssis rigide et placés à l'extérieur et la circulation entre le capteur et le ballon se fait par thermosiphon.

C'est un système simple et peu coûteux. Mais le ballon se refroidit plus rapidement, même s'il est bien isolé. Il peut servir à préchauffer l'eau qui alimente un équipement classique existant. Ce chauffe-eau est compact et bien adapté à la pose sur supports inclinés, en toiture-terrasse. Il se prête moins bien à la fixation sur un toit en pente.

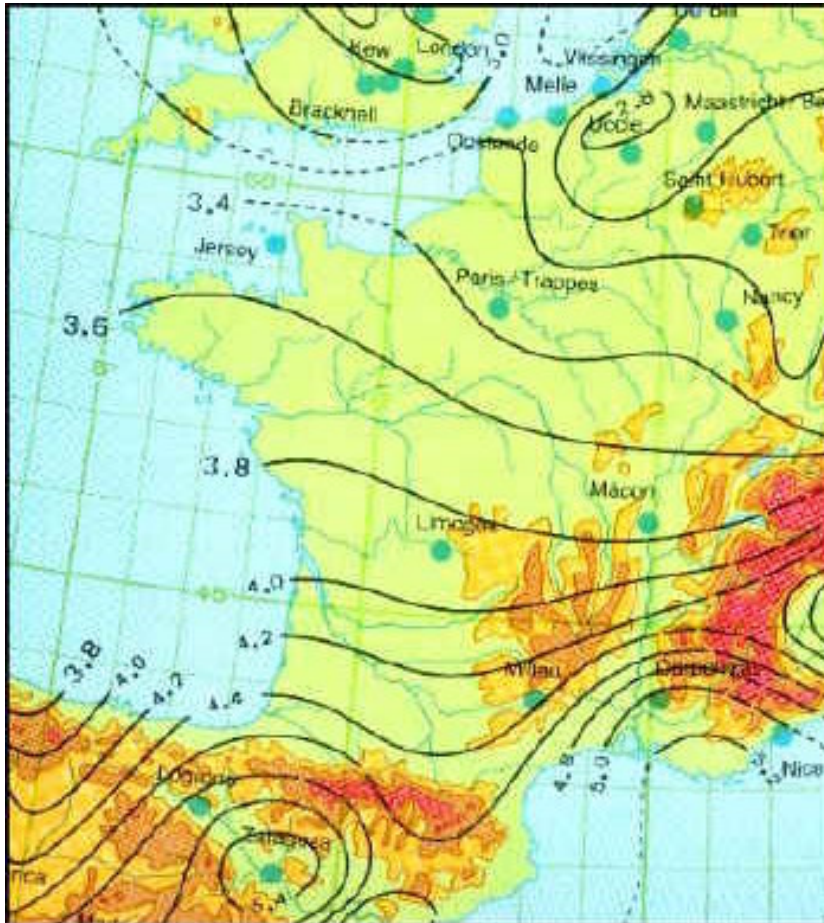
Chauffe eau solaire à éléments séparés :

Le ballon est à l'abri dans une pièce de la maison ou une construction attenante. Intégré ou non au ballon solaire, l'appoint complète le chauffage de l'eau sanitaire quand c'est nécessaire. Ce type de chauffe-eau solaire est plus coûteux que le précédent. La circulation entre le capteur et le ballon est forcée par une pompe.



La réglementation sanitaire française impose une température de l'eau chaude au point de distribution qui ne doit pas dépasser 50°C et dans le dispositif d'accumulation une température minimale de 60°C une fois par jour (lutte contre la légionellose). Dans les périodes très ensoleillées sans consommation la température à l'intérieur du capteur peut monter jusqu'à 200°C.

Pour la production d'ECS, on prévoit de 0,7 à 1,5m² de capteurs solaires thermiques par habitant et un volume de stockage d'environ 50 litres par m² de capteurs. La productivité moyenne en France des capteurs atteint 400 à 750kWh/an/m², en énergie utile. Cette productivité permet de couvrir 50 à 80% des besoins annuels d'eau chaude sanitaire.



**Orientation Sud
avec pente égale
à la latitude***

**Rayonnement
solaire global
quotidien moyen
en kWh/m²
pendant l'année**
(Valeurs moyennes
1966 - 1975)

*Les capteurs solaires inclinés
suivant la latitude du lieu où ils se
trouvent
(49° à Paris, 43° à Nice) ont
théoriquement le meilleur
rendement. Mais il est souvent
conseillé de les incliner un peu
plus afin de favoriser le captage
en hiver

2.1.1.2 Les capteurs sous vide produisent des températures plus élevées (jusqu'à 130°C). ils sont constitués de tubes en verre dans lesquels se trouvent des absorbeurs sélectifs. Le vide réalisé permet de diminuer fortement les pertes thermiques du capteur. Ils ont donc un meilleur rendement notamment pour les températures extérieures basses, sont de dimensions plus réduites que les capteurs plans mais leur coût est plus élevé. Ces capteurs répondent bien à la production d'eau chaude en montagne ou dans les pays froids. Ils sont surtout utilisés pour la production d'eau chaude industrielle, la production de vapeur et les équipements de climatisation.

2.1.2 AUTRES UTILISATIONS DU SOLAIRE BASSE TEMPERATURE :

2.1.2.1 **Climatisation solaire** : l'énergie thermique est utilisée comme énergie de base pour la production de froid selon deux technologies de climatisation et de production de froid héliothermique : système « fermé » avec les réfrigérateurs à absorption ou à adsorption et système « ouvert »

2.1.2.2 **Air solaire** : réchauffement direct de l'air permettant de combiner chauffage et ventilation. L'une des applications les plus connues est le mur Trombe-Michel.

2.2 SOLAIRE HAUTE TEMPERATURE

On considère que des centrales ne sont concevables que dans les régions du globe où le rayonnement direct du soleil dépasse 1900 Kwh par m² et par an, et là où la transparence atmosphérique est bonne (donc dans les régions arides et montagneuses).

Les trois principaux types de centrales solaires se distinguent surtout par la manière dont on focalise les rayons solaires :

- collecteurs cylindro-paraboliques qui sont de longs miroirs cylindriques qui concentrent les rayons sur une ligne ce qui permet d'élever la température jusqu'à 500°C
- les centrales à tour, sortes de belvédères cernés par un champ de miroir orientables situés sur le sol (les "héliostats") qui renvoient les rayons solaires vers le haut de la tour où est installée une chaudière
- les collecteurs paraboliques qui ressemblent à nos antennes de TV, dirigés en permanence vers le soleil et concentrent les rayons vers le point focal de cette parabole.

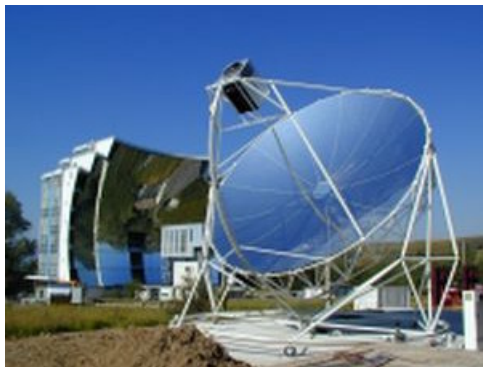
Les deux dernières techniques qui concentrent les rayons vers un point peuvent obtenir des températures allant jusqu'à 1000 °C.

Une importante quantité de chaleur doit être stockée pour produire la nuit.

Mise en application :

La centrale solaire Thémis (2,5 MW), située à Targassonne a produit de l'électricité de 1983 à 1986 faute de rentabilité. Toutefois, des projets comparables sont en service avec des coûts de production acceptables en Inde, Jordanie, Maroc et aux Etats-Unis notamment.

En Californie, se trouvent des collecteurs cylindro-paraboliques dont la puissance atteint 80 MW, la plus grande centrale à tour comme Solar one puis Solar 2 ne dépasse pas 10 MW et le plus grand collecteur parabolique, Solarplant n'atteint pas 5 MW, mais cette dernière technologie est plus orientée sur les petites productions locales



Laboratoire PROMES-CNRS à Odeillo: système décentralisé de production d'électricité.

Parabole-Stirling (10kWe) au premier plan et four solaire de 1 MW en arrière plan.

2.3 GÉOTHERMIE

2.3.1 GEOTHERMIE DE SURFACE

Elle consiste à extraire la chaleur par l'intermédiaire d'une **pompe à chaleur (PAC)** :

- du sol par un serpentин enterré à plus de 60cm ou des sondes géothermales,
- de l'eau par pompage dans l'aquifère,
- éventuellement de l'air

Les PAC doivent avoir un **coefficient de performance d'au moins 3**, c'est dire pour 1 kWh d'électricité consommée produire en nominal 3 kWh de chaleur, pour être éligible au crédit d'impôt. Les PAC fonctionnant sur l'air extérieur ne sont performantes que dans les climats relativement doux.

La chaleur extraite par la PAC est généralement distribuée par un plancher chauffant basse température. La géothermie peut assurer jusqu'à 75% des besoins de chauffage. L'installation est onéreuse mais le coût de fonctionnement faible.

2.3.2 GEOTHERMIE PROFONDE

Deux voies sont développées pour l'utilisation de la chaleur :

- **nappes d'eau** plus ou moins profonde à **température inférieure à 100°C** pour le **chauffage urbain** (ex maison de la Radio eau puisée dans l'Albien à 800m)
- **nappes d'eau à température plus élevée** pour produire de l'électricité (ex centrale de Bouillante en Guadeloupe qui puise de l'eau à 300m chauffée à 250°C)

Les perspectives sont globalement positives grâce à l'émergence de nouvelles technologies d'exploitation, de type « Hot Dry Rock » comme au projet européen de Soultz-sous-Forêts (Alsace), et de matériaux composites intervenant dans la conception des forages pour limiter les problèmes de corrosion et d'assèchement des gisements.

2.4 BIOMASSE

En France, la biomasse produit environ **10.5Mtep d'énergie thermique**. L'on estime que le potentiel de **biomasse encore mobilisable** serait supérieur à **30Mtep** dont 80% sont constitués par la partie ligno-cellulosique (tige, tronc, feuille...) de la biomasse.

La biomasse est utilisée sous deux formes :

- production de chaleur
- production de biocarburant

2.4.1 Production de chaleur et électricité

Le bois-énergie et les déchets solides domestiques sont les deux grandes sources pour produire de la **chaleur** et éventuellement de **l'électricité en cogénération**.

Le bois-énergie représente 9Mtep par an et un potentiel supplémentaire de 7 à 12 Mtep. Il est utilisé par les particuliers (environ 6 millions de chauffage au bois qui représente 20% des consommations pour le chauffage), par les chaufferies collectives (1103 installations en 2006 pour 566 MWth), par les chaufferies industrielles (plus de 1000 unités de puissance supérieure à 1 MW soit environ 2.5GWth qui produisent environ 1.5TWh/an d'électricité par cogénération.)

Le bois est utilisé sous **forme brute** (bûches) et de plus en plus sous forme de **plaquettes et granulés**. La vente d'appareils de chauffage au bois se développe.

On estime que la **production de bois de chauffage pourrait doubler**.

Les déchets domestiques solides produisent dans 123 incinérateurs chaque année 9.1 TWh d'énergie thermique et électrique. Cette valorisation des déchets est très contestée pour son impact environnemental.

Le biogaz est une source d'énergie qui provient de la dégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène et produit du méthane et du CO². Le potentiel énergétique de cette ressource est encore peu développé en France (production environ 280ktep/an). Il est principalement utilisé dans les stations d'épuration des eaux pour l'élimination des boues par méthanisation produisant ainsi de la chaleur et de l'électricité utilisés sur place.

2.4.2 Les biocarburants

Parmi les cultures utilisables, les principales sont :

- **le colza et le tournesol** pour les **huiles végétales**. Elles sont utilisables tels quels dans les moteurs diesel mais il est préférable d'incorporer de l'EMHV (esters méthyliques d'huiles végétales) au gazole des véhicules (5% d'incorporation au gazole banalisé et 30% par dérogation pour les flottes urbaines) ou au fioul domestique (mais l'exonération partielle de TIPP favorise le carburant). L'EMHV est obtenu par estérification avec 10% de méthanol, produit du reformage du gaz naturel,

- **la betterave et les céréales** pour produire de **l'alcool**. Aux USA l'on utilise principalement du maïs et au Brésil de la canne à sucre. L'huile de palme dont les rendements à l'ha sont supérieurs est de plus en plus utilisée (pb de la déforestation notamment en Malaisie)

L'incorporation d'éthanol dans l'essence est possible jusqu'à 5% en volume sans modification des moteurs. Pour en incorporer jusqu'à 15% en volume dans l'essence il faut produire de l'ETBE (éthyl tertio butyl éther) qui résulte de la synthèse de l'éthanol (47%) avec de l'isobutène (53%) issue du raffinage du pétrole (Au Brésil des véhicules modifiés fonctionnent avec 85% d'éthanol produit à partir de la canne à sucre.)

Selon le rapport DIDEME/ADEME de Novembre 2002 (Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production des biocarburants), **l'énergie brute** en tonne équivalent pétrole produite par hectare (tep/ha) est de :

Culture	Biocarburant	Rendement
Colza	1.37t /ha Huile	1.21 tep/ha
Tournesol	1.06t/ha Huile	0.95 tep/ha
Blé	2.55t/ha Ethanol	1.6 tep/ha
Betterave et sucre	3t Ethanol + 3.7t sucre / ha	1.9 tep/ha

Mais il ne faut pas oublier qu'il est nécessaire de dépenser de l'énergie pour la culture, les engrais (hélas indispensables pour obtenir les rendements ci-dessus), la distillation, le stockage et la distribution du carburant.

Au final, selon la même étude, **l'énergie nette** disponible, en utilisant une méthode comptable d'allocation de l'énergie pour les co-produits, n'est plus que de :

Culture	Biocarburant	Rendement
Colza	Huile	0.95 tep/ha
Tournesol	Huile	0.78 tep/ha
Blé	Ethanol	0.83 tep/ha
Betterave et sucre	3t Ethanol + 3.7t sucre /ha	0.98 tep/ha
Betterave sans sucre	5.78t Ethanol /ha	1.88tep/ha

La méthode systémique d'allocation des co-produits abaisse les rendements (ex pour le blé le rendement est alors de 0.26 tep/ha)

La **consommation française de pétrole** pour les transports étant de l'ordre de **50 millions de tep**, il faudrait avec les rendements nets ci-dessus utiliser les surfaces suivantes :

526 000 km² pour le colza

602 000 km² pour le blé

641 000 km² pour le tournesol

510 000 km² pour la betterave

Les **cultures annuelles** représentent environ **153 000 km²** donc si toutes les surfaces cultivées produisent des biocarburants la quantité sera comprise entre 12 Mtep et 15 Mtep selon les

cultures pratiquées. Malgré la crise de l'agriculture il est difficile d'imaginer que toutes les surfaces cultivées soient converties en cultures énergétiques étant donné qu'il y a d'autres usages possibles des biocarburants comme la biochimie.

Pour répondre à l'**objectif** fixé par l'**Union Européenne d'incorporer 5.75%** de biocarburant à l'horizon 2010, l'INRA a calculé qu'il faudrait compte tenu des besoins en éthanol et en ester environ **2 000 000ha** soit plus que la surface des jachères (1.5Mha) dont la totalité ne peut pas être utilisée pour des cultures énergétiques.

La production en 2004 d'éthanol + EMVH a été de 406 000T

L'objectif du gouvernement de 10% de biocarburants en 2015 (soit plus de 5MT) peut conduire notamment à une compétition entre le colza alimentaire et le colza énergétique d'où éventuellement une plus grande dépendance vis-à-vis du soja importé et/ou à de l'importation d'huile énergétique. Dans son étude l'INRA conclue qu'il conviendrait d'étudier pour l'Europe les effets d'une production mondiale ambitieuse de biocarburants sur les prix agricoles européens et sur les échanges de produits agricoles.

Dans cette même étude l'INRA montre que l'**ester**, le principal biocarburant, deviendrait compétitif vis-à-vis du gazole si le **prix du pétrole atteignait 75 à 80 \$/baril** (1€ =1,212 \$).

Etant donné que le prix du pétrole approche cette valeur il conviendrait de revoir l'exonération partielle de TIPP dont il bénéficie en plus des aides agricoles accordées dans le cadre de la PAC (45€/ha)

L'impact des biocarburants sur les gaz à effet de serre a été évalué dans l'étude DIDEME/ADEME. Les plantes absorbent du CO² qui est restitué à la combustion donc de ce point de vue le bilan est nul mais les étapes de culture, de transformation industrielle et de transport produisent des gaz à effet de serre. L'impact de la culture est surtout important pour l'émission de N²O. L'impact sur la pollution des sols et de l'eau n'a pas été pris en compte par l'étude.

Des recherches sont en cours pour **convertir la matière ligno-cellulosique** (tiges, troncs, feuilles..) **en biocarburants** ce qui améliorerait le bilan énergétique. Deux voies apparaissent possibles : la thermochimie et la biologie. Ce sont deux grands axes du Programme national de recherche sur les bioénergies adopté par l'Agence nationale de la recherche

Des réflexions sont en cours pour du carburant avion à partir des produits végétaux.

FIN DE L EXPOSE

Questions-réponses

- 1- A propos de **géothermie**, un participant informe l'assistance d'un pilote de plusieurs MWe à Sault sous Forey, en Alsace. C'est un projet européen avec un forage de 3.000 m de profondeur (BRGM). A. Argenson note que dans le cas d'eau bouillante, comme en Guadeloupe, l'installation doit être refaite tous les 10-15 ans, car elle se colmate par hydrothermalisme (éléments chimiques qui cristallisent) . En Islande, qui est très volcanique, la géothermie est une ressource considérable.
- 2- A propos de **transport d'énergie**, le même participant rappelle qu'il faudra un nouveau réseau pour l'EPR.
- 3- A propos des **bio-carburants**, il est noté que le maïs demanderait une sur-consommation d'eau très importante.

- 4- Pour **l'hydrogène** dans le cas des transports, le rendement de la pile à combustible n'est actuellement que de 25%. Ce vecteur pourrait s'envisager pour la circulation en ville, mais il y a un problème de stockage, la pression ne pouvant dépasser 300 bars actuellement dans les réservoirs.
- 5- A propos **d'éolien et d'hydraulique**, peu de progrès sont envisageables dans l'avenir.
- 6- A propos du **solaire photovoltaïque**, le champ de recherches est fabuleux. De très nombreuses études fondamentales devront être engagées. Les zones commerciales, avec leurs très grandes surfaces de toitures sont un gisement important aussi bien pour l'électricité que la production de chaleur. 10 MW sont possibles, mais avec le problème du stockage. Le **solaire thermique** intéresse EDF. Ces sources, qui demandent un investissement de départ, seront très vite rentables, car les économies faites sont tout de suite importantes. Il y a 30 millions de maisons en France qui pourraient être réaménagées pour diminuer les consommations en électricité et eau chaude domestique à partir des sources conventionnelles (utilisation de capteurs solaires, PAC, isolation adaptée, murs emmagasinant la chaleur,...ceci étant également une source importante d'emplois). De même, des protocoles de constructions neuves peu consommatrices en ressources conventionnelles devraient voir le jour de façon systématique.
- 7- A propos du **stockage de l'énergie**, c'est le problème majeur des énergies produites par transformation chimique. L'air comprimé a été étudié et serait une voie possible
- 8- Les **efforts pour diminuer l'effet de serre** devront venir des bâtiments et des transports, car ce sont les postes qui, de ce point de vue, croissent et croîtront le plus en demande énergétique. Toutes les énergies nouvelles devraient être **subventionnées**, l'indépendance énergétique étant inestimable et le pétrole à terme une source finie. Dès le développement des nouvelles technologies, le point de vue environnemental devrait être pris en compte. L'important sera de rechercher la meilleure utilisation de toutes les sources, en améliorant les rendements de toutes les façons possibles et en prônant et favorisant une politique d'économie d'énergie. A cet égard, les pouvoirs politiques devraient avoir un rôle majeur à jouer.

Rappel des coordonnées:

C.Drevet, christiane.drevet@centraliens-nantes.net,
tel. fixe : 01 6951 3066, tel.portable : 06 1592 1067