La Revue de
Nord Nature Environnement

Fédération régionale
membre de France Nature Environnement

Le Soleil, notre énergie

Alain Vaillant

Revue n°142 - Numéro spécial - Mars 2011 - 38ème année - Prix : 6 euros

Nature - Environnement - Equilibre durable

Alimentation (page 8)

La flore, berceau du vivant (page 7)

Photovoltaïque (page 16)

Stockage de l'electricité (page 24)

Véhicule à hydrogène (page 27)

Le soleil, notre énergie

Table des matières

1) introduction page 3
2) l'impasse énergétique actuelle page 4
    2.1) c'est pour quand la fin des énergies fossiles ?
    2.2) pour y voir clair, reculons nous du calendrier
    2.3) la chimie du pétrole
    2.4) conclusion
3) place actuelle du soleil dans notre vie page 7
    3.1) la flore berceau du vivant
    3.2) la flore berceau énergétique
    3.3) les énergies fossiles
    3.4) le cycle de l'eau
    3.5) le vent
    3.6) les autres sources d'énergie
    3.7) conclusion
4) le soleil qui nous arrive tous les jours page 10
    4.1) en France métropolitaine
    4.2) de Lille à Marseille
    4.3) un gaspillage monstrueux
    4.4) les techniques pour capter l'énergie solaire directe
    4.5) pratiquement, comment faire ?
5) se chauffer au soleil page 13
    5.1) l'effet de serre
    5.2) isolation
    5.3) eau chaude sanitaire au soleil
    5.4) faire sa cuisine au soleil
6) une révolution dans la production d'électricité page 16
    6.1) généralités
    6.2) avantages
    6.3) inconvénients
    6.4) un exemple
    6.5) recours massif au photovoltaïque
7) et quand il n'y a pas de soleil ? page 21
    7.1) variabilité de l'énergie solaire en flux pour la production électrique
    7.2) l'homme est un « animal diurne »
    7.3) la « méthode EDF »
    7.4) la « méthode EDF » adaptée aux énergies renouvelables
    7.5) une société de l'hydrogène
    7.6) stockage de la chaleur
    7.7) les « négawatts »
8) place de l'énergie solaire dans notre culture page 31
    8.1) la méthode
    8.2) l'énergie solaire au Collège
    8.3) l'énergie solaire au Lycée
    8.4) et au Ministère de l'Environnement ?
    8.5) conclusion
9) conclusion page 36

Un «spécial solaire» qui arrive à point

Par Jacqueline Istas
présidente de Nord Nature Environnement

Dès 1980, notre fédération avait attiré l'attention sur les potentialités du solaire, énergie réellement renouvelable[1].

Dans la région, des pionniers sont ensuite passés au stade des réalisations concrètes en faisant installer à leur domicile des panneaux solaires thermiques et photovoltaïques. Parmi eux, deux membres de Nord Nature Environnement : Daniel Balembois, qui a fait part de son expérience dans trois articles détaillés et chiffrés de notre revue[2], et Alain Vaillant.

Notre fédération s'est de plus en plus investie dans la promotion du solaire, notamment grâce à l'implication d'Alain Vaillant, responsable de notre commission « énergie », qui a organisé des visites commentées et convaincantes de ses installations, réalisé une exposition et fait à la demande dans la région des conférences sur ce sujet.

Aujourd'hui, avec ce numéro spécial, notre ambassadeur de l'énergie solaire nous offre un tour d'horizon sur cette filière et répond aux questions que se posent un certain nombre de nos concitoyens. Il nous présente aussi en finale un aperçu sur un aspect rarement évoqué : comment l'Education Nationale a formé et continue à former nos concitoyens à la sous-estimation de cette énergie…

Les pouvoirs publics ayant tout de même fini par prendre des mesures financières incitatives en faveur des énergies renouvelables, un certain nombre de particuliers ont fait récemment installer des panneaux solaires sur le toit de leur maison. Le solaire commençait enfin à décoller en France, y compris dans le Nord Pas-de-Calais.

Malheureusement, des fluctuations réglementaires et une baisse trop précoce des soutiens financiers viennent de freiner le développement de cette filière, alors que nous sommes encore loin d'avoir comblé notre retard par rapport à d'autres pays européens.

Or les énergies fossiles se raréfient, les phénomènes climatiques extrêmes se multiplient, deux graves anomalies de série, mettant en péril la sûreté, viennent d'être découvertes l'une sur 34 réacteurs, l'autre sur 19 réacteurs des centrales nucléaires françaises. Celle de Gravelines est touchée par les deux anomalies[3]…

Les énergies renouvelables, sont, avec les économies d'énergie, les seules alternatives réalistes et durables qui permettent à la fois de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'éviter les risques d'accidents majeurs.

Face au désengagement des pouvoirs publics, affirmons notre volontarisme. Puisse ce numéro spécial de notre revue contribuer à relancer le développement du solaire, énergie de la vie.

1 « *Solutions écologiques au problème de l'énergie* », par Jacqueline Istas, numéro « *spécial énergie* » du bulletin de Nord Nature, 2ème trimestre 1980.

2 « *Une installation photovoltaïque chez un particulier près d'Arras* », par Daniel Balembois, revue de Nord Nature, n°114, 1er trimestre 2004, « *Installation photovoltaïque près d'Arras* », par Daniel Balembois, revue de Nord Nature, n°115, 2ème trimestre 2004, « *Retours d'expérience d'installations solaires photovoltaïques et thermiques* », par Daniel Balembois, revue de Nord Nature Environnement, n°136, septembre 2009.

3 Les réacteurs concernés par ces anomalies sont vulnérables au risque de fusion du cœur selon les communiqués de presse du Réseau Sortir du Nucléaire du 11 et du 18 février 2011.

1.
Introduction

La crise de l'énergie, le réchauffement climatique, des espèces animales qui disparaissent… sont des évènements que l'on pourrait qualifier de « vu à la télé ».

Ces thèmes font partie du paysage audiovisuel au même titre que la guerre en Afghanistan, les prochains Jeux Olympiques, les Marins Pêcheurs protestant contre les quotas de pêche…

Pour la plus grande partie de la population française, mis à part un éventuel impact émotif, ces évènements restent un « spectacle » du petit écran : « la télé ».

Mais.

Depuis plusieurs années, le prix du carburant à la pompe n'a cessé d'augmenter, et cette gêne dans nos déplacements fait, tout à coup, écho aux annonces de « fin du pétrole » dans les médias. Durant l'été 2008, le remplissage de la cuve de fuel pour alimenter la chaudière qui nous chauffe a atteint des prix importants. On va retrouver ces prix en 2011. Ce serait donc bien vrai que le pétrole va se raréfier et atteindre des prix astronomiques...

Il faut trouver une autre source d'énergie… et vite !!

Indépendamment de tout ce vécu, une expérience simple est souvent effectuée par les automobilistes : entrer dans un véhicule qui a stationné quelques heures en plein soleil et être quasiment suffoqué par la chaleur qui y règne. Autre expérience : poser sa main, en été, sur une toiture qui a reçu le soleil depuis le matin… Cette dernière expérience, très brève (on ne peut pas la faire durer !!), nous montre qu'une quantité importante d'énergie est arrivée sur cette toiture. Dans cette maison, le même jour, on a chauffé l'eau pour les besoins sanitaires en utilisant de l'électricité, du fuel, du gaz naturel… que l'on achète et que l'on payera de plus en plus cher !!

Il est peut être intéressant de regarder de plus près ce que peut nous apporter le soleil.

Depuis une vingtaine d'années, et à propos de l'énergie solaire, j'anime des stages, je fais des conférences, j'écris des articles que l'on peut trouver sur des sites internet d'associations : Fédération Nord Nature Environnement[1], le Réseau Sortir du Nucléaire[2] et Virage Energie Nord Pas-de-Calais[3]. Au fil de ces échanges, il m'est apparu que le soleil, en tant que source de la plupart des énergies que l'on utilise, est absent de notre culture.

Dans cet ouvrage, il est fait référence à des documents et à des calculs assez spécialisés. Pour ne pas lasser le lecteur qui n'est pas au fait de ces questions, ces éléments sont regroupés dans un site internet créé à cet usage : www.soleil-energie.eu[4]. Ce site a également pour fonction d'apporter des informations complémentaires à cet ouvrage, notamment en fonction de l'actualité, au fur et à mesure de sa diffusion.

Le chapitre 8 sur l'énergie solaire dans notre culture peut être abordé indépendamment des précédents.

1 www.nord-nature.org
2 www.sortirdunucleaire.org/
3 www.virage-energie-npdc.org
4 attention à ne pas mettre d'accent sur le premier « e » de « énergie »

2.
L'impasse énergétique actuelle

Nous en avons tous entendu parler : c'est, en grande partie, à cause de l'utilisation massive[1] (depuis un siècle et demi) des énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon…) qu'on a une accumulation de CO_2 dans l'atmosphère. C'est cela qui est à l'origine du changement climatique qui s'amorce actuellement, en même temps qu'on nous annonce une fin du pétrole à moyen terme.

2.1) C'est pour quand la fin des énergies fossiles ?

Il faut d'abord préciser la notion de « fin d'une énergie fossile ». Il n'y a pas une date précise avant laquelle il y en avait et après laquelle il n'y en aurait plus. Il s'agit, dans nos « sociétés libérales », d'un phénomène réglé par l'économie de marché. Par exemple, lorsque les mines de charbon ont été fermées en France, c'est parce que le prix de revient du charbon qu'on en sortait était (depuis de nombreuses années) nettement supérieur au prix d'achat du même charbon sur le marché international et qu'il était prévisible, et pour le moins espéré, que cela dure encore très longtemps. Pour le pétrole, c'est le même « paysage » : des gisements qui hier n'étaient pas exploités, car non rentables, le seront peut-être demain quand le prix du pétrole sur le marché mondial aura été multiplié par 10. Les marchands d'énergie ont commencé à exploiter les schistes bitumineux et le gaz de schiste. Les hydrocarbures ainsi obtenus provoquent des pollutions importantes lors de leur extraction et de leur utilisation[2].

Et donc, à l'approche de cette « fin des hydrocarbures », leurs prix vont augmenter vertigineusement.

Et donc, les dates de « fin d'une énergie » du tableau suivant sont approximatives, mais, l'échelle de temps du calendrier est assez grande pour que l'imprécision de lecture corresponde à l'ordre de grandeur de la fin des énergies actuellement très utilisées.

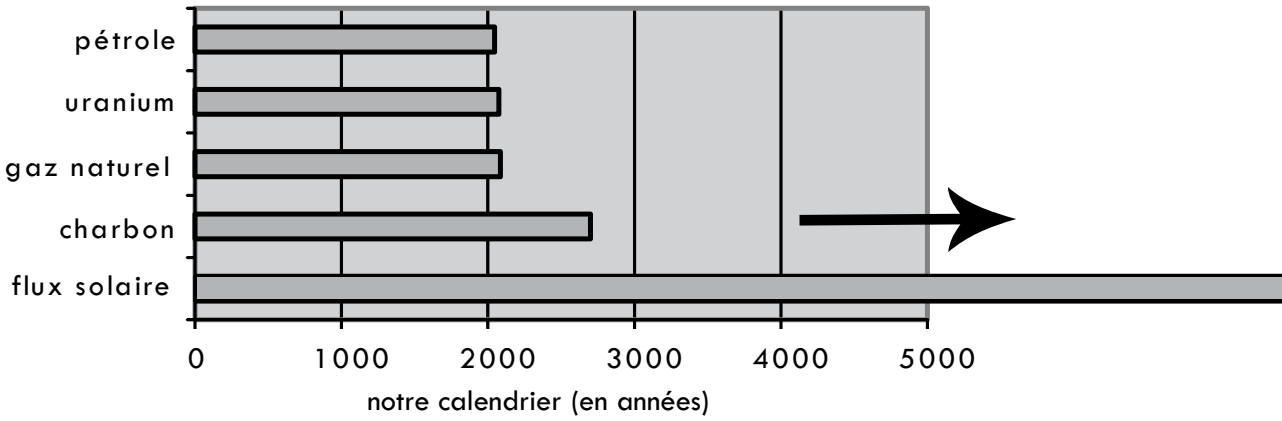
2.2) Pour y voir clair, reculons-nous du calendrier

Comparons, dans le temps, les combustibles fossiles qu'on utilise actuellement, et l'uranium avec le flux solaire (c'est à dire le soleil qui arrive tous les jours sur Terre) :

1 Dans les « pays riches »

2 Par exemple, ces bitumes et ces gaz nécessitent des quantités considérables d'eau pour leur extraction, eau qui se retrouve polluée après le traitement, alors que nous sommes déjà, au niveau mondial, en pénurie d'eau potable

Fin des ressources énergétiques



source : la Conférence Mondiale de l'énergie de 1989[3]

La fin prévue du soleil se situera dans 4,5 milliards d'années. C'est à dire que la ligne du graphique correspondant au soleil se termine à droite à un million de fois la durée entre l'an 0 et l'an 4500 !!

Le « paysage énergétique » actuel est encore obscurci par d'autres éléments :

- pétrole, gaz et charbon produisent du CO_2 en brûlant et donc, pour limiter le changement climatique il faut, au plus vite, arrêter de les utiliser comme combustibles ;

- l'uranium produit de la radioactivité dangereuse quand on l'utilise dans des réacteurs et produit des déchets tout aussi dangereux et qui le restent pendant très longtemps ;

- les « pays émergents » (la Chine, l'Inde…[4]), en imitant le développement qui a élevé notre niveau de vie bien au dessus du leur, consomment de plus en plus d'énergies fossiles et vont donc raccourcir les délais qui nous restent, actuellement, jusqu'à la « fin des énergies conventionnelles » ;

- en France, nous importons pratiquement tout le pétrole que nous utilisons, de même pour le charbon et l'uranium. Le gaz naturel que nous consommons est importé à plus de 95%. En continuant à utiliser massivement les énergies fossiles et l'uranium, nous allons nous trouver mêlés à des conflits internationaux violents pour la possession des « restes » des gisements correspondants.

De toute évidence, prévoir l'avenir c'est, sur le graphique ci-dessus, « sauter » le plus vite possible des « lignes fossiles et nucléaires » pour atterrir sur la ligne « flux solaire » qui nous emmènera le plus loin.

2.3) La chimie du pétrole

Lorsque des dérivés du pétrole sont brûlés (dans une automobile pour se déplacer, dans une chaudière pour se chauffer…), la production de $C0_2$ s'accompagne d'une destruction définitive de la molécule utilisée. Par contre, les produits chimiques dérivés du pétrole (plastiques…) donnent des objets qui peuvent, en fin de vie, être recyclés et servir à confectionner de nouveaux

3 Déjà en 1989 la sonnette d'alarme était tirée. Ces dates sont confirmées dans le n° 243 de « Science et Vie » publié en 2008. Il est titré « Construire un monde durable ». On y trouve également des chiffres tout aussi inquiétants sur la fin des ressources en minerais de métaux : le cuivre en 2039, l'étain en 2028, le fer en 2087…

4 On ne peut reprocher à ces pays d'essayer de se développer, notamment à partir des énergies fossiles, car c'est nous qui leur avons montré l'exemple en augmentant considérablement notre niveau de vie par l'utilisation massive du charbon, du pétrole…

objets. Donc, diminuer notre « destruction du pétrole » par le feu (dans nos chaudières, automobiles…) permettra de continuer plus longtemps la manufacture des objets dérivés de la chimie du pétrole qui seront, peut-être, pour certains d'entre eux, un jour indispensables.

2.4) conclusion

Notre système énergétique actuel va s'effondrer rapidement pour deux raisons :

- l'utilisation systématique des hydrocarbures doit cesser le plus rapidement possible à cause des émissions de CO_2 qu'elle provoque et qui déstabilisent le climat ;

- l'épuisement à la source aussi bien pour les hydrocarbures que pour le nucléaire. AREVA et EDF nous ont fait croire longtemps que les combustibles usagés des centrales nucléaires françaises étaient, après traitement, réutilisables à 96%, mais il n'en est rien : c'est au maximum 17 %[5].

Les énergies que nous utilisons actuellement nous mènent dans une impasse. Il est temps de regarder du côté du soleil, et tout d'abord de la place qu'il occupe actuellement dans notre vie.

5 Le « Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire » a publié, le 13 juillet 2010, un rapport intitulé « Avis sur la transparence de la gestion des matières et des déchets nucléaires ». Il y apparaît que le taux de recyclage des déchets nucléaires atteint 17% et non pas les 96% annoncés depuis longtemps par EDF et AREVA. (source : article dans « Le Monde » du 15 juillet 2010).

3.
Place actuelle du soleil dans notre vie

Dans l'univers, le soleil est une « étoile moyenne » qui, comme les autres, est le siège de réactions thermonucléaires, c'est-à dire productrices de chaleur et de radioactivité. Heureusement, nous sommes situés très loin de lui (sa lumière met plus de 8mn à nous parvenir à la vitesse de 300 000 km/seconde). Cela nous permet d'échapper à cette radioactivité tout en recevant un rayonnement lumineux très puissant.

A la surface de la Terre, la température moyenne est de 15°C. Cette température est maintenue grâce, entre autres, à l'énergie solaire qui nous arrive tous les jours. Toutes les planètes du système solaire reçoivent également des quantités importantes d'énergie solaire mais, sur Terre, il y a « un plus » : la vie.

3.1) La flore berceau du vivant

Lorsque la lumière du soleil arrive sur terre, ce sont les plantes vertes (herbacées, arbres…) qui en sont les bénéficiaires directes : elles utilisent l'énergie du soleil, dans l'opération appelée photosynthèse, pour transformer les sels minéraux du sol, en matière organique. C'est cette matière qui va les constituer et participer à leur vie (croissance, élaboration des fleurs, des graines, du bois…). Durant leur croissance, elles décomposent le dioxyde de carbone (CO_2) contenu dans l'atmosphère. Elles en tirent le carbone pour se « construire » et relâchent l'oxygène dans l'atmosphère. Celui-ci est alors utilisé lors de la respiration des êtres vivants… dont les Hommes. Ces plantes vertes sont appelées « producteurs primaires » car elles utilisent directement l'énergie solaire pour vivre.

Plus généralement, c'est grâce à l'énergie solaire que la vie, végétale et animale, a pu naître et se maintenir sur Terre.

Lorsque nous mangeons une salade, du pain, une cuisse de poulet…, notre alimentation résulte de la présence de l'énergie solaire qui a permis aux légumes et au blé de pousser ainsi qu'aux aliments qui ont fait grandir le poulet.

Les « producteurs secondaires » (poulet, abeilles, bovins…) se nourrissent des plantes.

Les carnivores (oiseaux, mouches…) se nourrissent des producteurs secondaires. L'Homme, qui est omnivore, se nourrit essentiellement de plantes et de viande et donc, toute son alimentation est, indirectement, dépendante du soleil à presque 100%. Même les animaux vivant dans les fosses marines, où aucune lumière solaire ne pénètre, dépendent pour la plupart d'entre eux de la vie et de la mort de ceux vivant près de la surface… grâce au soleil. C'est à dire que presque toute la vie sur terre est totalement dépendante de l'énergie solaire.

La biomasse (mot devenu récemment à la mode), c'est la matière organique élaborée dans le monde vivant : le bois de chauffage, les fruits, les légumes, les graines, les poulets…

3.2) La flore berceau énergétique

Lorsqu'on brûle du bois (dans un feu, un insert…), l'énergie de la combustion représente moins de

0,5%[1] de toute l'énergie solaire qui est arrivée sur les feuilles de l'arbre, durant sa croissance, et qui a, ainsi, contribué à la fabrication du bois correspondant.

Ce rendement de moins de 0,5% peut sembler ridicule, mais Dame Nature n'est pas une machine dont le but serait de nous fournir de l'énergie à partir du soleil. Elle permet à la Vie d'exister et de durer. C'est bien là l'essentiel !

Notre poulet perd, en assimilant sa nourriture, 90% de l'énergie disponible dans son alimentation. Autrement dit, il dispose de moins de 1/1000ème de l'énergie solaire qui a permis à ses aliments de pousser dans les champs.

Nous qui mangeons une cuisse de ce poulet, perdons à notre tour 90% de l'énergie que nous absorbons. Autrement dit, l'énergie correspondante dont nous disposons[2] (par exemple sous forme musculaire) est de moins de 1/10000ème de l'énergie solaire qui a fait pousser les plantes qui ont servi à la part de l'alimentation du poulet lui permettant de fabriquer la cuisse qu'on a mangée.

On peut noter au passage que, sur un plan énergétique, les végétariens consomment pour se nourrir, beaucoup moins d'espace « au soleil » que les carnivores. Pratiquement, au niveau individuel, manger moins de viande permet à davantage d'Hommes de se nourrir sur Terre.

Dans les chapitres suivants, je vais parler de systèmes de récupération d'énergie solaire (photovoltaïque, solaire thermique…) dont les rendements sont plus de dix fois supérieurs à celui de la « machine verte » basée sur la photosynthèse. Je vais, bien sûr, préconiser le développement de ces systèmes. Mais il ne faut pas que les surfaces utilisées pour cela empiètent sur les surfaces utilisées par la « machine verte ». Son rendement énergétique est très faible, mais c'est elle qui nous permet d'être vivants. En plus, elle fonctionne toute seule (plus précisément sans l'intervention humaine) et depuis des centaines de millions d'années. Si l'Homme ne fait pas trop de bêtises, cela devrait encore fonctionner très longtemps.

3.3) Les énergies fossiles

Il y a environ 250 millions d'années (à l'époque géologique du carbonifère), des forêts qui avaient stocké de l'énergie solaire ont été enterrées-englouties lors des mouvements de l'écorce terrestre, puis des conditions de températures et de pressions les ont transformées petit à petit en charbon. Pour le gaz naturel et le pétrole, c'est la même « histoire » de décomposition de végétaux et d'animaux (algues unicellulaires). Donc, tous les automobilistes roulent actuellement à l'énergie solaire et un très grand nombre d'entre eux se chauffent également « au soleil » (fuel, gaz naturel…). Mais, c'est du « très vieux soleil » qui a été stocké sous terre durant des centaines de millions d'années et dont nous aurons, au rythme actuel, tout épuisé en quelques centaines d'années (depuis 1850 jusque, au plus tard, 2700 pour le charbon).

On peut noter au passage que le qualificatif « naturel » dans l'expression « gaz naturel » pourrait être appliqué tout aussi judicieusement au pétrole, à l'essence, au gasoil, puisque tous ont exactement la même origine…[3].

3.4) Le cycle de l'eau

Enseigné à l'école primaire, il est connu de tous mais, très souvent sans que soit perçu l'aspect énergétique de ce cycle. En effet, c'est l'éner-

1 Dans nos régions tempérées, elle serait plutôt de l'ordre de 0,1%. C'est dans des conditions particulières de climat (tropical par exemple) et de sol très riche qu'on atteint 0,5% (source : « Précis d'écologie » de R. Dajoz ; édition Dunod 1971).

2 L'alimentation humaine est considérée ici uniquement sur son aspect énergétique. On ne parle pas des aspects qualitatifs (protéines, calcium, oligoéléments…).

3 Lorsqu'un autobus urbain affiche haut et clair qu'il roule au gaz naturel, par exemple à Lille, c'est uniquement « un effet de communication ».

gie solaire qui provoque l'évaporation de l'eau et l'élévation de cette vapeur dans le ciel. On retrouve une partie de cette énergie lorsqu'on recueille l'eau de pluie en montagne où on la stocke pour ensuite la faire «travailler», plus bas, en actionnant un moulin, une turbine… C'est à dire que l'énergie hydraulique est en fait de l'énergie solaire indirecte. On ne sait ni à quel endroit, ni à quel moment les rayons du soleil ont évaporé l'eau dont on utilise la chute. Cette énergie solaire indirecte présente une caractéristique importante: il y a un léger décalage dans le temps entre l'arrivée de l'énergie solaire (qui a provoqué l'évaporation) et l'utilisation que l'on fait de la chute d'eau. Une partie de ce décalage est maîtrisée par l'homme (dans la gestion des barrages hydroélectriques). Cela permet de stocker de l'énergie pendant quelques mois.

3.5) Le vent

Le soleil chauffe les masses d'air inégalement (à cause des nuages, de l'alternance jour-nuit…), ce qui provoque la plus grande partie des vents[4]. L'énergie éolienne est donc de l'énergie solaire indirecte: on ne sait ni où ni quand le soleil a fourni l'énergie qu'on récupère dans une éolienne à un instant donné. Il n'y a pas ici, comme pour l'hydraulique, de possibilité de stockage, sur place, de l'énergie éolienne, avant l'utilisation.

Il faut signaler, bien que ce ne soit pas utilisable pour l'instant, l'existence d'autres phénomènes atmosphériques dont l'origine énergétique est solaire. Par exemple les orages: à la surface de la Terre, il se produit environ 50.000 orages chaque jour. Un orage met en œuvre une quantité d'énergie de l'ordre de grandeur d'une bombe H d'une mégatonne[5]… On aperçoit là une des dimensions de l'énergie solaire qui est bien au-delà du «moulin à vent» (même appelé, dans un autre contexte, super-éolienne high tech !)

3.6) Les autres sources d'énergie

Il y a exactement trois sources d'énergie qui ne dépendent pas du soleil. Ce sont la géothermie (la chaleur de la Terre), le nucléaire (la désintégration de l'uranium, du plutonium…) et enfin l'énergie marémotrice qui dépend essentiellement de l'attraction lunaire[6].

3.7) Conclusion

Au final, et à titre d'exemple, en 2008 en France, 81% de l'énergie qu'on a consommée était de l'énergie solaire directe ou indirecte, récente ou (surtout) très ancienne[7].

Ainsi, l'énergie solaire est actuellement (presque) partout dans notre environnement énergétique, et d'une puissance colossale (on l'a entrevu, avec les orages).

Il peut être intéressant de regarder plus en détail ce gisement énergétique et en particulier, de faire une estimation de la fraction de ce gisement qui est à notre portée[8].

4 Le volcanisme terrestre provoque également des vents.
5 Source : http://www.notre-planete.info/geographie/risques_naturels/orages.php.
6 Le soleil y apporte également sa contribution par sa masse. Lorsque la lune et le soleil ont leurs effets qui s'ajoutent, cela produit les grandes marées.
7 Ce nombre est calculé à partir des données de la brochure « Repères. Chiffres clés de l'énergie » Edité en décembre 2009 par le Commissariat Général au Développement Durable.
8 C'est-à-dire la partie d'énergie solaire effectivement récupérable avec nos outils (photovoltaïque, solaire thermique…) et qui, lorsqu'on l'utilise, n'est pas émettrice de dioxyde de carbone.

4.
Le soleil qui nous arrive tous les jours

Les éoliennes et les barrages hydroélectriques récupèrent de l'énergie solaire diffuse : on ne sait pas estimer à quel endroit ni à quel moment est arrivée l'énergie solaire qui, finalement est transformée en énergie éolienne ou hydraulique. On reviendra au chapitre 8 sur ces deux sources d'énergie renouvelable.

On s'intéresse ici à l'énergie solaire en flux, c'est-à-dire celle qui nous arrive au sol quotidiennement.

4.1) En France métropolitaine

Il y arrive en moyenne sur 1 m² au sol et durant 1 an 1,3 MWh d'énergie solaire[1].

Cela n'est pas très parlant pour quelqu'un qui n'est pas spécialiste des problèmes énergétiques. A titre de comparaison, cela signifie pratiquement que toutes les centrales nucléaires françaises doivent fonctionner (comme actuellement) plus de 4 ans pour produire une quantité d'énergie, sous forme électrique[2], qui soit égale à celle qui arrive sur l'Hexagone en une journée d'ensoleillement moyen.

En d'autres termes, les quantités d'énergie solaire qui arrivent directement sur notre territoire sont colossales !

4.2) De Lille à Marseille

En énergie solaire, et sur des surfaces identiques, il arrive à Marseille un peu moins du double de ce qui arrive à Lille[3]. Cela ne correspond pas à l'image du Nord où, lorsqu'on passe le panneau « Région Nord Pas-de-Calais », il pleut à verse bien qu'on soit bienvenu chez les Ch'tis. Pratiquement, la quantité d'énergie solaire qui arrive sur la région Nord Pas-de-Calais en une journée d'ensoleillement moyen est la même que la quantité d'énergie fabriquée, sous forme électrique, par la centrale nucléaire de Gravelines[4] en une année[5]. Là aussi, c'est considérable !

En fait, on confond souvent la notion de soleil brillant et la notion d'énergie solaire. Par exemple, bien que le ciel soit nuageux et qu'il n'y ait « pas de soleil »[6], quand on pénètre dans une automobile laissée quelques heures sur un parking, on se rend compte souvent que sa température intérieure a augmenté sous l'effet de l'énergie solaire.

Encore mieux : lorsqu'on est sous une pluie battante, le simple fait de voir notre entourage signifie que les personnes et objets qui nous entourent sont éclairés et donc reçoivent de la lumière du soleil, c'est à dire un peu d'énergie[7].

1 Cette donnée est issue (page 69) du « rapport d'information sur l'énergie photovoltaïque » réalisé par la Commission des Affaires Economiques de l'Assemblée Nationale. Rapporteur Serge Poignant, député. Ce document, publié le 16 juillet 2009, est consultable à l'adresse : http://www.assemblee-nationale.fr/13/rap-info/i1846.asp. Dans cette page du rapport, il y a une erreur de calcul : voir les détails de la correction sur le site www.soleil-energie.eu.

2 Les calculs ont été effectués à partir de la brochure (l'édition 2009) de « Elecnuc, les centrales nucléaires dans le monde » édité par le CEA. Les détails sont sur le site www.soleil-energie.eu.

3 Cela est nettement visible sur la carte d'ensoleillement de la France de la société TECSOL ou cela peut être calculé précisément avec le logiciel CALSOL de l'Institut National de l'Energie Solaire. Plus de détails sur www.soleil-energie.eu

4 Avec ses 6 réacteurs, c'est la plus grosse centrale nucléaire d'Europe ; elle est située à côté de Dunkerque.

5 Les détails des calculs sont sur www.soleil-energie.eu. Dans la revue n°141 figurait un article sur le sujet intitulé « Le soleil en Nord Pas-de-Calais plus fort que la centrale de Gravelines ? »

6 Expression extraite du langage courant.

7 Depuis 2006 j'ai des tuiles photovoltaïques sur ma toiture, à la latitude de Lille, et c'est très rare que, durant une journée, la production soit nulle.

4.3) Un gaspillage monstrueux

On a vu au chapitre 3 que le rôle fondamental de l'énergie solaire est de permettre aux plantes vertes d'exister et, par là même, d'être à la base de toute la vie sur Terre.

Par contre, les surfaces bâties (maisons, hangars, supermarchés, écoles…) sont autant de superficies où presque toute l'énergie solaire qui y arrive est simplement transformée en chaleur. Les matériaux ainsi réchauffés se refroidissent ensuite dans leur environnement (surtout la nuit suivant le réchauffement)[8].

Il est possible d'installer des panneaux photovoltaïques sur les toitures et les murs exposés (à peu près au sud): ils vont transformer l'énergie solaire en électricité. Cela se fait déjà[9] un peu, mais pour l'instant, cette production est complètement marginale par rapport à la consommation d'électricité en France[10].

De même, on peut placer sur ces surfaces des panneaux solaires thermiques: ils vont transformer l'énergie solaire en chaleur qu'on pourra utiliser pour l'eau chaude sanitaire, le chauffage des locaux, ou des besoins industriels. Là aussi, c'est actuellement marginal[11].

Pour avoir un ordre d'idée de l'énergie solaire ainsi gaspillée par nous, revenons au «Rapport Poignant» sur l'énergie photovoltaïque datant du 16 juillet 2009 (déjà cité au renvoi n°1 en bas de page précédente). A la page 69 de ce rapport, notre député, qui s'est entouré d'experts, affirme qu'il suffit de recouvrir une surface de 4230 km² [12] avec des panneaux photovoltaïques du commerce (c'est à dire ayant un rendement de 10%) pour fabriquer toute l'électricité consommée dans la métropole (à la maison, à l'école, à l'usine, pour l'éclairage des rues,…). Or, en France métropolitaine, l'ensemble des sols bâtis représente une surface de 8346 km² [13]. On y aurait donc, à priori, largement la place de produire la même quantité d'énergie électrique que celle qu'on consomme[14].

Mais, il est tout aussi évident qu'on consomme de l'électricité à des moments où ces panneaux photovoltaïques ne sont pas ensoleillés. Il va donc falloir faire du stockage d'électricité. C'est-à-dire que la capacité de stockage de l'énergie électrique conditionne la généralisation de cette filière de production d'électricité pour satisfaire nos besoins quotidiens. Ce problème sera traité au chapitre 7. A cause des pertes liées au transport et au stockage de cette électricité, il faudra des surfaces de cellules photovoltaïques supérieures à 4000 km².

Ce qu'il faut retenir ici, c'est qu'un recours massif au photovoltaïque permettrait de satisfaire une partie importante de notre consommation électrique.

Considérons maintenant l'ensemble des surfaces artificialisées, c'est-à-dire les surfaces bâties, les routes, les parkings... L'énergie solaire qui arrive sur ces surfaces est entièrement gaspillée. Cela

8 Il y a juste l'ensoleillement passant à travers les vitres qui réchauffe l'interieur des bâtiments et qui est utilisé, de l'automne au printemps.

9 J'en ai fait installer sur la toiture de ma maison. Voir les détails : http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_e2.htm.

10 En 2007, la production d'électricité photovoltaïque a été en France de 13 GWh pour une consommation totale d'électricité de 486 TWh ; c'est-à-dire 0,003%. En 2008, c'est 0,007%. En 2009, c'est 0,01%.

11 J'en ai fait installer chez moi. Voir les détails : http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_e4.htm.

12 Cette information vient du rapport « Poignant » de l'Assemblée Nationale. Plus précisément, c'est à la page 69 de ce rapport que figure cette information (avec dans le rapport une erreur de calcul). Tous les détails sur le site www.soleil-energie.eu.

13 Ces chiffres proviennent de l'enquête « Teruti » réalisée chaque année par le Ministère de l'Agriculture et qui donne l'occupation du territoire à consulter sur le site « soleil-énergie ».

14 Dans un réseau de distribution de l'électricité il y a des pertes d'énergie dans le transport de l'électricité entre le lieu de production et le lieu de consommation. On peut donc prévoir qu'il faudra utiliser une superficie supérieure aux 4230 km² de panneaux photovoltaïques. Mais, pour les usages domestiques, de jour, on produira l'électricité près du lieu de son utilisation et donc cela minimisera les pertes. Ce qui est essentiel ici, ce n'est pas le détail des nombres, mais les ordres de grandeur.

représente en 2009, pour la France métropolitaine, une superficie de 48465 km² [13]. En un an, l'énergie solaire qui arrive sur l'ensemble de ces surfaces représente 35 fois[15] TOUTE L'ENERGIE consommée en France durant la même période (sous forme d'électricité, gaz, essence, charbon,…). Et pendant ce temps, lorsqu'un enfant sort de sa maison en hiver, sans refermer la porte derrière lui, il se fait gronder… à juste titre !!

Cette surabondance d'énergie sous forme solaire permettra de se sortir « par le haut » de notre enfermement actuel dans les énergies fossiles et l'uranium. Par contre, la mise en œuvre systématique de l'énergie solaire en flux va se heurter à la problématique de fin des ressources minérales (minerai de cuivre : fin prévue en 2040 ; minerai d'aluminium : fin prévue en 2140…[16]).

4.4) Les techniques pour capter l'énergie solaire directe

Il est important, quand on parle de l'énergie solaire, d'avoir présents à l'esprit les rendements des diverses techniques qui permettent de capter l'énergie solaire qui nous arrive tous les jours sur Terre précisément à l'endroit où elle arrive.

4.4.1) La photosynthèse

On l'a vu au paragraphe 3, cela fonctionne « tout seul » depuis des centaines de millions d'années. Dans l'optique de l'utilisation, par l'Homme, de l'énergie ainsi captée, le rendement est faible, moins de 1%. Mais il y a une possibilité de stockage sur quelques années sous plusieurs formes :

• le bois en bûches (ou déchiqueté ou en sciure…)

• la récolte des cultures énergétiques sous forme de graines (ou d'huile obtenue par pressage…). Il y a là un risque de dérive très grave : c'est sur les mêmes terres qu'on peut cultiver des plantes pour nourrir les hommes ou des plantes pour faire des agro carburants qui nous permettraient de continuer à satisfaire notre boulimie de déplacements tout en produisant moins de CO_2 ! Même en transformant toute la surface cultivée de l'hexagone en cultures énergétiques, on ne produirait pas, en France, ce qu'on y consomme pour se déplacer actuellement ![17]

4.4.2) Le solaire photovoltaïque

Le rendement des produits (à base de silicium) actuellement commercialisés se situe au-dessus de 10%[18]. La recherche scientifique et la littérature qui l'entoure nous promettent des rendements nettement supérieurs[19], mais il est raisonnable de tabler sur ce qui existe et qui fonctionne bien. Cette technique, de développement récent, sera examinée en détail au chapitre 6.

4.4.3) Le solaire thermique

Les capteurs solaires, utilisés actuellement pour chauffer de l'eau (ou de l'air), ont un bon rendement dans les conditions habituelles d'utilisation.

Comme la production de chaleur représente actuellement la moitié de l'énergie utilisée en France[20], nous allons regarder de plus près comment « se chauffer au soleil ».

15 Les calculs sont sur le site www.soleil-energie.eu.

16 Ces nombres sont issus du n°243 de la revue « Science et Vie ». Ils sont calculés à partir des réserves prouvées, en 2008, et de la consommation mondiale actuelle en supposant que celle-ci soit constante. Il s'agit d'une estimation, assez grossière, car les réserves prouvées ne sont qu'une fraction des ressources de la Terre ; mais simultanément les pays émergents (Chine, Inde…) augmentent la consommation mondiale de ces ressources.

17 Même les agrocarburants dits de 2ème génération, développés actuellement en laboratoire, ne pourront satisfaire notre boulimie actuelle de déplacements. Plus de détails sur www.soleil-energie.eu.

18 Dans cet ouvrage, j'utilise le nombre de 10% pour le rendement des panneaux photovoltaïques car ce nombre vient du « rapport Poignant » déjà cité et il est donc moins contestable que les chiffres annoncés par les marchands.

19 Dans le « Rapport Poignant », déjà cité, figure un catalogue de techniques dont les rendements font rêver mais dont le bilan écologique global n'existe pas (utilisation de matériaux rares, d'énergie importante à la fabrication…). On ne peut donc pas tabler sur ces performances pour une production de masse.

20 Ce sont le chauffage des bâtiments, l'eau chaude sanitaire, les chaleurs industrielles et la chaleur de cuisson.

5.

Se chauffer au soleil ?

5.1) L'effet de serre

C'est une expérience commune et forte, que la sensation de fournaise lorsqu'on pénètre dans une automobile qui a stationné quelques heures « au soleil ». Ce qu'on peut en déduire est tout aussi important : l'énergie solaire, sous forme lumineuse, est passée facilement à travers les vitres du véhicule pour se transformer en chaleur en rencontrant les sièges, le volant… Et de plus, cette énergie calorifique a du mal à ressortir à travers les vitres. C'est l'effet de serre. On peut noter au passage qu'une automobile est un objet technique qui n'a pas du tout été étudié pour capter l'énergie solaire sous forme de chaleur, ni pour la conserver : c'est une expérience courante qui montre à la fois la puissance de l'énergie solaire et la facilité de la transformer sous forme de chaleur, qu'il reste alors à conserver en vue de son utilisation.

Ce n'est pas une découverte qui date des débuts de l'automobile : depuis des centaines d'années, les jardiniers cultivent des plantes sous châssis (vitrés) pour qu'elles viennent plus tôt à maturité en profitant de cette chaleur.

Dans les panneaux de chauffe-eau solaire ou de chauffage de l'air, c'est toujours le même principe : une vitre laisse entrer l'énergie solaire sous forme de lumière et s'oppose à la sortie de cette énergie transformée en chaleur. Si cette « boîte » est bien isolée, et que cette énergie calorifique n'est pas évacuée, la température y dépasse allègrement les 100 °C à l'occasion d'un bel ensoleillement.

Sur le plan technique, le maraîcher qui fait des « primeurs » dans une serre n'a besoin ni d'ordinateur ni d'objets High Tech…

Le rendement des capteurs d'énergie solaire sous forme de chaleur est situé entre 10% et 80%, suivant la différence des températures : température prise sous la vitre et température du fluide à chauffer[1]. Estimer le rendement moyen à 40% est raisonnable. Et donc, pour obtenir de la chaleur à partir du soleil, utiliser le phénomène de serre isolée est quatre fois plus intéressant que de fabriquer de l'électricité avec des cellules photovoltaïques (rendement 10%) pour alimenter des radiateurs électriques.

Là encore, les quantités colossales d'énergie solaire arrivant chez nous, sur les surfaces artificialisées, permettent d'envisager de chauffer notre eau sanitaire au soleil et même d'en faire un chauffage. Mais, l'énergie la plus importante, c'est celle que l'on ne consomme pas.

Autrement dit, il faut d'abord isoler fortement les bâtiments existants et construire des nouveaux bâtiments très peu consommateurs d'énergie de chauffage.

5.2) L'isolation des bâtiments

Lorsque dans une pièce chauffée on se rapproche du plafond (par exemple pour y changer une ampoule électrique), on constate que la température y est bien plus élevée que près du sol[2]. Ce qui est vrai pour une pièce l'est aussi pour

1 .Si l'eau (ou l'air) à chauffer est à 10°C et que sous la vitre il fait 80°C, on a un très bon rendement. Par contre, si dans la « serre » il fait 70°C et que l'eau est déjà à 60°C, on a un mauvais rendement. C'est une caractéristique commune à toutes les « machines thermiques » : le rendement dépend de la différence de température entre la « source froide » et la « source chaude ».

2 En fait, c'est l'air chauffé qui est plus léger que l'air froid et qui donc « monte au plafond » en entraînant les calories.

tous les bâtiments : dans un lieu clos, la chaleur s'accumule en haut. Autrement dit, si un bâtiment n'est pas isolé, c'est par sa toiture qu'il va perdre le plus de chaleur. Donc, c'est là qu'il faudra isoler en priorité.

De plus, une isolation soignée fonctionne dans les deux sens : elle diminue la quantité d'énergie utilisée pour se chauffer et, par temps de canicule, elle protège de la chaleur extérieure[3]. La cerise sur le gâteau, c'est que cette isolation va aussi diminuer la transmission des bruits.

A l'évidence, les bâtiments nouveaux doivent être très bien isolés et conçus pour nécessiter peu d'énergie en fonctionnement normal. C'est l'objet des règlementations thermiques et de l'architecture bioclimatique.

Il existe par contre en France, un ensemble de logements anciens qui sont peu, voire pas du tout, isolés et qui donc nécessitent une rénovation thermique. Si elle n'est pas faite rapidement, l'augmentation inéluctable du prix de l'énergie les transformera en habitats où ne pas avoir froid sera un luxe !!

Le Bureau d'Etudes Enertech de Monsieur Olivier Sidler a publié en 2007 une étude bien faite intitulée "Rénovation à basse consommation d'énergie des logements en France". Pratiquement, selon cette étude, pour diviser par 4 nos consommations d'énergie d'ici 2050[4], il faudra diviser par 6 la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments construits avant 1975[5].

La rénovation thermique des bâtiments présente deux intérêts : ceux qui y habitent ou vont y exercer une activité professionnelle vont faire des économies sur leurs dépenses de chauffage (et de climatisation s'il y en une d'installée) et cela va diminuer les émissions de gaz à effet de serre. C'est assez rare, pour être souligné, que l'intérêt particulier et l'intérêt général soient satisfaits par la même action ! En plus, les emplois créés de la sorte ne sont pas délocalisables. Une telle conjonction d'intérêts devrait faire l'objet de "grands travaux"[6] à l'échelle du pays. Ces investissements intéressés et vertueux créeraient une dynamique dont tout un chacun tirerait profit.

5.3) Eau chaude sanitaire au soleil

La technologie d'un chauffe-eau solaire est assez simple : sa mise en œuvre nécessite essentiellement des connaissances de plomberie, d'étanchéité et éventuellement d'un peu d'électricité[7].

Pratiquement, durant les mois d'été, un chauffe-eau solaire bien dimensionné peut fournir 80 à 100% de l'eau chaude qu'on utilise. Par contre, en hiver, on peut en espérer un préchauffage de l'eau dont la température doit ensuite être montée au-dessus de 60°C avec des moyens habituels (gaz, fuel…). Néanmoins, en hiver dans le nord de la France, un chauffe-eau solaire « monte l'eau en température » aux environs de 20 à 40°C (alors qu'elle nous est fournie à 8°C). C'est toujours cela de gagné.

Avec le chauffe-eau solaire, on peut voir clairement un changement économique dans notre

3 Cela donne un moyen simple de savoir si votre maison est bien isolée : en fin d'une belle journée d'été, si les pièces situées sous la toiture sont très chaudes, c'est que votre maison est mal isolée. Votre toiture laisse entrer beaucoup de chaleur. Elle laisse donc aussi sortir beaucoup de chaleur lorsque, en hiver, vous chauffez à l'intérieur. Dans ce cas, une isolation soignée de la toiture sera rentabilisée au bout de quelques saisons de chauffage et ensuite, vous ferez d'autant plus d'économies que le prix de l'énergie augmentera, ce qui est une certitude.

4 C'est l'objectif fixé en 2005 par le gouvernement français (article 2 de la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique (Loi n° 2005-781).

5 Plus de détails sur le site http://www.soleil-energie.eu.

6 Ils s'inscriraient dans la lignée des grands travaux comme le Canal du Midi (1666), le Canal de Suez (1869), le Tunnel sous la Manche (1994)…

7 En 1979, j'ai bricolé mon premier chauffe-eau solaire où, par beau temps, j'avais en fin de journée mon réservoir rempli d'eau à 60°C. Actuellement, mon chauffe-eau solaire « professionnel » me fournit en fin de journée et toujours par beau temps, 300l d'eau à 80°C à la latitude de Lille. Tous les détails sur : http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_e4.htm

relation à l'énergie. Avant d'installer ce chauffe-eau, on chauffait son eau sanitaire au gaz, au fuel, à l'électricité… et, une fois ce chauffe-eau traditionnel installé, il fallait acheter l'énergie à un marchand. A l'inverse, une fois que le chauffe-eau solaire est installé, l'eau chaude qu'on en tire[8] ne nécessite plus d'achat d'énergie. Autrement dit, il y a un « temps de retour de l'investissement » ; c'est-à-dire un moment où les économies d'achat d'énergie pour chauffer l'eau remboursent l'achat de ce chauffe-eau (c'est, dans l'hexagone, aux environs de 8 à 12 ans de fonctionnement). Ensuite, l'eau chaude qu'il nous fournit est « gratuite »[9]. Elle est d'autant plus « gratuite » que le prix de l'énergie va augmenter !

Installer chez soi un chauffe-eau solaire présente un autre avantage : cela permet de commencer à vivre en phase avec le soleil. Par exemple, si on a l'habitude de faire « un grand nettoyage de printemps » dans sa maison, on peut, en suivant les prévisions météorologiques, le faire durant une période ensoleillée où notre eau chaude n'est pas chère.

On trouve maintenant en France des lave-linge avec, à l'arrière, une entrée d'eau froide et une entrée d'eau chaude. En ayant un peu de linge d'avance, on peut attendre un peu pour faire sa lessive avec de l'eau chaude solaire.

Quand on va faire cuire ses pâtes ou préparer son thé, on peut utiliser l'eau chauffée au soleil.

Ces divers exemples permettent de « vivre avec le soleil », c'est-à-dire de régler certains de ses actes en fonction de l'ensoleillement actuel ou futur. C'est une manière de renouer des liens avec notre source d'énergie historique et non émettrice de CO_2 lors de son utilisation.

Quand on désire faire sa toilette à l'eau chaude ou se chauffer, il n'y a pas automatiquement le soleil qui brille et donc, le stockage de la chaleur est un problème fondamental pour l'utilisation confortable de l'énergie solaire sous forme calorifique. Ce problème est abordé au chapitre 7.

5.4) Faire sa cuisine au soleil

La cuisson des aliments consiste essentiellement à les chauffer durant un certain temps. Cela fait déjà plusieurs dizaines d'années qu'il existe des cuisinières solaires[10], des fours solaires… qui fonctionnent bien par temps ensoleillé. La question la plus souvent posée à la vue de cet objet est "et quand il n'y a pas de soleil, tu ne manges pas ?". La réponse est simple : "tes lunettes de soleil, les gardes-tu toujours sur le nez ?"

Là aussi, faire quand c'est possible[11], sa cuisine au soleil est une manière d'apprendre à vivre en harmonie avec celui-ci.

8 On peut, en France métropolitaine, estimer qu'un chauffe-eau solaire permet de satisfaire de 50 à 70% des besoins en eau chaude suivant que l'on habite au nord ou au sud de l'hexagone.

9 Il faut quand même acheter l'eau que l'on va chauffer !

10 J'en ai réalisé une que j'ai fait fonctionner, de manière satisfaisante, dans le nord de la France et en Savoie. Tous les détails : http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_b6.htM.

11 Un jour ensoleillé, c'est durant le repas du midi qu'il faut (par exemple) cuire la soupe du soir.

6.
Une révolution dans la production d'électricité

6.1) Un peu de technique

La quasi-totalité de l'électricité consommée actuellement en France est obtenue par une méthode que les physiciens connaissent bien : en déplaçant une pièce métallique dans un champ magnétique, il apparaît de l'électricité dans le métal. Cette méthode utilisée systématiquement depuis plus d'un siècle est mise en œuvre dans les usines hydroélectriques, les centrales électriques au charbon, les centrales nucléaires[1], les éoliennes, les automobiles (pour recharger la batterie d'accumulateurs)… A cause du mouvement des pièces métalliques, cette technique a présenté, dès le début, des problèmes de vibration et d'usure.

Parallèlement à cette histoire, on sait depuis un siècle et demi produire de l'électricité en éclairant une surface constituée pour l'essentiel de silicium : c'est l'effet photovoltaïque. En fait, on ne produit pas d'électricité, au sens strict du mot « produire », on transforme de l'énergie lumineuse en électricité. Pendant longtemps, l'électricité ainsi obtenue coûtait très cher. Actuellement, l'évolution technologique a réduit considérablement ces coûts[2]. Au dire des spécialistes, cela va encore s'améliorer

6.2) Avantages du photovoltaïque

6.2.1) Fabrication, production et recyclage des cellules photoélectriques

Il existe plusieurs types de matériaux produisant de l'électricité lorsqu'ils sont éclairés mais, à l'heure actuelle le plus utilisé d'entre eux est le silicium. L'écorce terrestre en contient des quantités considérables[3] et on ne risque pas d'en manquer. Pour fabriquer ces panneaux photovoltaïques, on consomme certes de l'énergie ; mais on considère qu'un tel panneau « rembourse » sa dépense initiale d'énergie en trois à cinq ans suivant qu'il fonctionne au sud ou au nord de la France[4]. Comme sa durée de vie est estimée actuellement à trente ans, on obtient, au moins, 6 fois l'investissement énergétique initial. Quant au recyclage en fin de vie, le panneau de verre se recycle (comme nos bouteilles), le silicium peut être réutilisé et les composants électroniques constituant

1 Une centrale nucléaire est une machine à vapeur (la désintégration atomique chauffe l'eau) qui entraîne un alternateur qui produit l'électricité. On peut noter au passage qu'une machine à vapeur a un rendement maximum de 1/3 (rapport de l'énergie mécanique à l'énergie calorifique qu'on a fournie). Dans une centrale atomique, lorsque 1 KWh d'électricité est fabriqué, il y a 2 KWh de chaleur qui sont dispersés dans l'environnement.

2 La technique de production des cellules photovoltaïques est assez sophistiquée (par exemple, le silicium utilisé doit être pur à 99,999%), mais elle est bien maîtrisée.

3 Au niveau de la Terre, c'est, après l'oxygène, l'élément qui en poids est le plus présent.

4 Information fournie par l'association Hespul (http://www.hespul.org/). Celle-ci travaille depuis de nombreuses années sur le photovoltaïque. Vous trouverez beaucoup d'informations pertinentes sur son site dédié au photovoltaïque : http://www.photovoltaique.info/

5 Les cellules photoélectriques produisent du courant continu qui, pour être injecté sur le réseau électrique français, doit être converti en courant alternatif 230 V. Cela se fait dans « une boîte noire » appelée onduleur. L'onduleur est indispensable si on vend son électricité à EDF.

l'onduleur[5] suivront la filière industrielle (déjà existante) de recyclage de tous nos déchets électroniques.

6.2.2) Les surfaces à utiliser

• On l'a vu au chapitre 4, la fonction essentielle de l'énergie solaire qui nous arrive se situe, pour nous êtres vivants, au niveau des plantes vertes par le biais de la photosynthèse. L'installation de panneaux photovoltaïques ne doit donc pas se faire au détriment des surfaces naturelles ou cultivées, ni même en masquant de l'eau (lacs, mer…) car le soleil y est tout aussi indispensable à la vie.

• Au niveau des surfaces bâties, il ne faut pas viser prioritairement le photovoltaïque car un autre besoin à satisfaire demande aussi de la surface au soleil, c'est le chauffage des habitations. En effet, les surfaces artificialisées, bâties ou non, peuvent servir indifféremment pour produire, à partir du soleil en flux[6], de l'électricité ou de la chaleur. Mais l'électricité se transporte facilement à des distances importantes (centaines de kilomètres) contrairement à la chaleur. Il est donc préférable d'installer massivement du « solaire thermique » dans les zones urbanisées et du photovoltaïque un peu plus loin, dans la campagne.

• Bords de routes et de voies ferrées :

En 1999, un mur anti-bruit de l'autoroute A21 (dans le Pas-de-Calais, à la hauteur de Fouquières-lès-Lens) a été recouvert de panneaux photovoltaïques[7]. En 2009, c'est la fin de la garantie décennale et cela fonctionne toujours. Cela doit durer encore vingt ans.

En 2002, une étude européenne[8] a montré qu'en garnissant, en France, les murs anti-bruits existant en bord d'autoroutes et de voies ferrées de panneaux photovoltaïques, on produirait une quantité d'électricité permettant d'alimenter 24000 foyers.

Actuellement, il y a dans l'hexagone un million de kilomètres de routes et voies ferrées[9] hors agglomérations (villes et villages). Si, sur la moitié de cette distance, et sur un côté de la voie, on installait des panneaux photovoltaïques sur deux mètres de haut, on produirait 60% de toute l'électricité qu'on consomme. Pour les voies en déblais ou en remblais, les talus pourraient aussi être utilisés en partie. Ceci n'est pas une proposition à appliquer systématiquement, mais mérite réflexion…

6.2.3) Les canicules

Cela s'est déjà produit en 2003 et, sur le plan électrique, on a frôlé la catastrophe[10]. Les changements climatiques annoncés pourraient bien en amener régulièrement d'autres. Dans ces situations, les climatisations fonctionnent à plein régime, et l'on peut prévoir qu'elles vont se multiplier.

Dans cette optique, une première action d'un « plan-climat social » consisterait par exemple, pour tous les lieux où des hommes sont dans une période de leur vie à difficultés physiques (hôpitaux, maisons de retraite, maternités…), à y installer systématiquement des toitures photovol-

6 Le soleil en flux, c'est celui qui nous arrive « tous les jours » par opposition au soleil en stock des énergies fossiles et au soleil « en léger décalage » de l'hydraulique, de l'éolien…

7 Caractéristiques de cette « garniture photovoltaïque » : 3m de haut pour 450m de long ; l'énergie produite est réinjectée dans le réseau EDF.

8 Cette étude a été réalisée dans le cadre des programmes européens « Thermie » elle est consultable : http://www.soleil-energie.eu.

9 997 050 km de routes, en 2007, selon l'Union Routière Française et 29 473 km de voies ferrées ouvertes à la circulation commerciale selon RFF.

10 « *Que s'est-il passé pour que nous frôlions ainsi la catastrophe ? Une pointe de consommation électrique inhabituelle en été (même si elle est restée modeste par rapport aux pointes d'hiver), dans un contexte de sécheresse, avec des barrages hydroélectriques à moitié vides, des rivières à l'étiage et une partie des centrales nucléaires (qui fournissent plus de 75 % de notre électricité) à l'arrêt pour maintenance.* » Extrait de l'article « EPR, il est urgent d'attendre » écrit par Benjamin Dessus, Corinne Lepage et Michèle Rivasi dans « Le Monde » du 18/10/2003.

taïques et des climatisations de puissances comparables (par un bel ensoleillement). Ainsi, en période de canicule, ceux d'entre nous parmi les plus fragiles en seraient protégés et nos moyens de production d'électricité ne seraient pas trop sollicités.

On peut remarquer qu'une toiture photovoltaïque qui, par exemple, transforme 10% de l'énergie solaire qu'elle reçoit en électricité, diminue en même temps de 10% la quantité de chaleur qui pénètre par la toiture en cas de canicule (indépendamment du niveau d'isolation de cette toiture). Le photovoltaïque, utilisé pour lutter contre la canicule, intervient donc de deux façons complémentaires.

Le souci de soulager le réseau électrique par temps caniculaire donne, pour les pouvoirs publics, un premier chemin à emprunter dans l'optique d'un développement massif du photovoltaïque : imposer une toiture photovoltaïque à tous les bâtiments climatisés (grandes surfaces commerciales, hangars frigorifiques…).

6.2.4) Les pertes en ligne

Dans le cas d'une production d'électricité centralisée (comme actuellement en France avec les centrales nucléaires), pour que l'électricité arrive chez tout un chacun, il lui faut franchir des distances importantes (cela se traduit dans le paysage par des pylônes haute, moyenne et basse tensions). La physique nous apprend qu'alors, une partie du courant transporté est perdue sous forme de chaleur. C'est ce que'on appelle les pertes en ligne et cela représente en France environ 10% de la production électrique qui, ainsi, n'arrive pas chez l'usager. Avec une production photovoltaïque massivement installée sur les bâtiments, par beau temps, la production et la consommation d'électricité sont proches et, dans ce cas, il n'y a pratiquement pas de perte en ligne.

6.2.5) Avantage culturel

À l'échelle d'un territoire, avoir une production d'électricité en grande partie photovoltaïque induit une plus grande activité consommatrice d'électricité aux moments les plus ensoleillés. Cela est à mettre en parallèle avec le fait que l'homme est un « animal diurne ». Ainsi, dans notre société où, au fil du temps, nous nous sommes éloignés des rythmes naturels[11], le photovoltaïque nous rebrancherait sur les dichotomies fondamentales : jour-nuit, été-hiver. Ce sont, dans les régions tempérées, ces alternances qui rythment la vie de la plupart des êtres vivants. Depuis une centaine d'années, notre manière de vivre s'est artificialisée en essayant de s'affranchir des contraintes naturelles. A voir les dégâts que nous avons provoqués ainsi à notre environnement, il semble raisonnable de se rapprocher de la nature qui fonctionne depuis des centaines de milliers d'années.

6.2.6) Accès à l'électricité sans réseau de distribution

Pour amener l'électricité à des lieux situés loin d'un centre de production, le coût des câbles électriques à installer est un frein. Avec le photovoltaïque, on peut s'en affranchir. Chez nous, c'est le cas des balises et bouées[12] en mer et bornes d'appel en bord d'autoroute. Mais surtout, c'est un mode d'électrification dans les pays en développement qui coûte moins cher que « notre modèle » de production centralisée avec un réseau de câbles de distribution.

11 Actuellement, dans l'optique « Comment les riches détruisent la planète », livre de Hervé Kampf, une forme de consommation des riches consiste à « aller au ski » en été et « aller au soleil » en hiver avec, bien sûr, les déplacements correspondants en avion. Cette forme de consommation des riches étant, bien entendu, ce qui les différencie des « moins riches » et crée chez ces derniers un désir d'accès à ce niveau de consommation qui les motive fortement pour « travailler plus ».

12 Les modules, garantis 25 ans par les fabricants, ont une durée de vie nettement supérieure (il n'y a pas de pièce en mouvement) et ils sont très fiables. L'entretien concerne surtout la batterie d'accumulateurs.

6.3) Inconvénients du photovoltaïque

6.3.1) Et quand il n'y a pas de soleil ?

Le problème, à l'évidence fondamental, de l'intermittence de l'ensoleillement est considéré, généralement, comme le frein le plus important à son développement. C'est-à-dire que l'absence ou la faiblesse de production à certains moments nécessitera des capacités de stockage d'électricité. Cela sera traité au chapitre 7.

6.3.2) Vulnérabilité à certaines pollutions atmosphériques

« Au cours des dernières décennies, le ciel de la planète s'est obscurci »[13]. Ce phénomène a comme origine des particules (pollution) suspendues dans l'atmosphère et il a tendance à diminuer l'ensoleillement au niveau du sol. En conséquence, il arrive moins de soleil dans « notre serre » et donc, cela contrecarre le réchauffement climatique. Mais, en même temps, cela diminue la production des panneaux photovoltaïques. Si ce phénomène devait s'amplifier, un recours massif au photovoltaïque en subirait les conséquences fâcheuses. Mais, dans ce cas, ce qui serait encore plus dangereux, ce serait une atteinte à la photosynthèse, mécanisme fondamental au maintien, sur Terre, de la vie de tous les êtres y vivant… à commencer par les hommes.

6.3.3) La protection des paysages

Il est clair que l'utilisation massive de l'énergie solaire en flux va perturber les paysages. Ce sera essentiellement par la présence de panneaux sombres sur les bâtiments, en bord de routes… Effectivement, il existe des associations de citoyens qui se battent contre l'implantation d'éoliennes au titre de la protection des paysages[14] et certaines commencent déjà à contester ces « panneaux sombres ». C'est vrai que le paysage fait partie de notre patrimoine et, qu'à ce titre, il doit être protégé. Mais l'enjeu énergétique actuel[15] et sa solution solaire possible (la seule) sont tels qu'il faudra de toute façon changer les paysages en essayant, bien sûr, de limiter les dégâts.

6.4) Un exemple

En habitant dans une maison individuelle, il est possible d'installer sur la toiture (orientée entre sud-est et sud-ouest) des panneaux photovoltaïques.

Mon épouse et moi, avec nos 20 m^2 de tuiles photovoltaïques, produisons plus d'électricité que ce que nous consommons[16] chez nous : notre maison est ainsi devenue « à électricité positive ».

A l'évidence, cet exemple n'est pas généralisable à tous les habitats, mais il est significatif d'une possible révolution dans le domaine de l'électricité domestique.

6.5) Recours massif au photovoltaïque

L'électricité est une forme d'énergie très intéressante car elle se convertit en chaleur sans aucune perte et elle se convertit en mouvement avec très peu de pertes. Avec des cellules photovoltaïques, et de l'ensoleillement, on accède à un début d'autonomie par rapport aux marchands d'électricité et par rapport à leur dépendance actuelle

13 Extrait de l'article « Le ciel perd en transparence, sauf au-dessus de l'Europe » de Hervé Morin, paru dans « Le Monde » du 15 mars 2009. Dans cet article, il est précisé que cet obscurcissement est irrégulier à la surface de la Terre.

14 On peut noter au passage que ce combat contre les éoliennes est beaucoup plus intense que celui qui s'est déroulé depuis 50 ans, pour la protection des paysages, lors des implantations des pylônes de lignes à hautes et très hautes tensions. Serait-ce un combat pro-nucléaire d'arrière garde ?

15 Tant au niveau de la fin des énergies utilisées actuellement qu'au niveau du changement climatique.

16 Cette maison est située dans le nord de la France, à la latitude de Lille. Tous les détails de l'installation et de son fonctionnement : http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_e2.htm.

vis-à-vis de l'uranium (importé à 100%).

A l'évidence, on ne va pas recouvrir systématiquement les surfaces artificialisées de capteurs pour faire de l'électricité ou récupérer la chaleur solaire. Mais, cette manière de considérer l'énergie solaire qui nous arrive tous les jours comme étant le moyen de ne pas émettre de CO_2 et de ne pas prendre de risques avec la radioactivité tout en se « branchant » sur une source d'énergie gigantesque et qui doit durer pour l'éternité[17], est complètement nouvelle. En plus, c'est une manière de vivre avec l'énergie qui arrive chez nous, sur notre territoire[18]. Il faut donc inventer des moyens pratiques pour mettre en œuvre cette évolution. Les quelques toitures actuelles qui produisent de l'électricité ou de l'eau chaude[19] sont des embryons de ce qui devra se mettre en place. Tout est à inventer dans ce domaine.

Les bâtiments sont des supports idéaux pour y placer des « surfaces sombres » qui transformeront l'énergie solaire y arrivant en chaleur ou électricité récupérables. L'avantage, dans ce cas, c'est qu'on utilise une part importante de cette chaleur et de cette électricité juste à coté du lieu de production. Il n'y a presque pas de perte dans le transport de l'énergie ainsi produite.

Au vu des quantités d'énergie solaire qui arrivent sur des surfaces artificialisées et de la facilité de fabrication d'électricité à partir d'une technique développable à très grande échelle, on peut affirmer que dès demain, il est possible, en théorie, de produire autant d'électricité que ce qu'on consomme à partir du photovoltaïque, sans production de CO_2 et sans radioactivité. Il reste le problème de l'adéquation entre la production et la consommation qui sera traité au chapitre 7.

17 À l'échelle humaine, quelques milliards d'années représentent l'éternité car, jusqu'à présent, aucune espèce vivante n'a duré aussi longtemps.

18 Cela permettra de « faire l'économie » de guerres néocoloniales pour le pétrole, l'uranium, le gaz « naturel »… et cette notion d'autosuffisance énergétique à partir du soleil arrivant « chez soi » concerne de très nombreux pays dans le monde.

19 pour les habitants des 100.000 maisons équipées en 2010 de chauffe-eau solaire (source ADEME), il est clair qu'une petite surface de leur toiture permet déjà de récupérer une quantité de chaleur intéressante. Et il y a encore de la place sur la toiture…

7.

Et quand il n'y a pas de soleil ?

La critique la plus évidente, à l'utilisation massive de l'énergie solaire en flux, est l'intermittence de son rayonnement. Il arrive que la nuit, où la production photovoltaïque est nulle, on n'ait simultanément pas assez de vent pour faire tourner les éoliennes. Alors, en utilisant une caricature chère aux pro-nucléaires, est-ce « le retour à la bougie » ?

L'électricité se stocke beaucoup plus difficilement que la chaleur, et donc on va d'abord s'attacher au couple production-consommation pour l'électricité.

Tout d'abord, le photovoltaïque, même utilisé massivement, doit faire partie d'un « bouquet d'énergies renouvelables[1] » qui se complètent entre-elles pour pallier les défaillances momentanées de production de l'une d'entre elles. Mais, même comme cela, il est clair que l'énergie solaire en flux étant aléatoire, cette variabilité est automatiquement impactée dans la production d'électricité photovoltaïque et si, comme c'est possible, c'est là une de nos sources principales d'électricité, c'est un problème essentiel et qu'on va examiner de près.

Dans le bouquet des énergies renouvelables il y a un aspect socio économique essentiel : le photovoltaïque et le solaire thermique permettent de développer une indépendance[2] par rapport aux marchands d'énergie sans pour autant nécessiter l'utilisation de surfaces importantes[3].

7.1) Variabilité de l'énergie solaire en flux pour la production électrique

Il y a d'abord deux variations régulières et distinctes :

- variabilité sur une période de 24 heures : la nuit on ne produit rien et le jour la production est variable suivant la météo et la saison.
- variabilité sur une période d'un an : en moyenne, durant les mois d'hiver on produit ¼ de ce qu'on produit durant les mois d'été.

Ensuite, les variations d'un jour à l'autre (en fonction de la météo) qui peuvent être importantes, mais qui sont surtout aléatoires, bien que largement prévisibles à court terme.

Enfin, à l'intérieur même d'une journée, les variations peuvent être importantes. Par exemple, au cours d'une journée moyennement nuageuse, lorsqu'un nuage s'interpose entre le soleil et les panneaux photovoltaïques, ceux-ci voient baisser

1 Le « bouquet des énergies renouvelables » est constitué par : le photovoltaïque, le solaire thermique, l'hydraulique, l'éolien, la biomasse. On peut y ajouter l'énergie maré-motrice, mais son apport est faible. Par contre, on ne peut pas y mettre la géothermie de surface car celle-ci nécessite, pour fonctionner, un apport d'électricité important au niveau de la pompe à chaleur (en gros, 1/3 de la chaleur récupérée doit être fournie en électricité). Pire, les pompes à chaleur qui prennent leurs calories dans l'air se transforment en chauffage électrique quand la température extérieure est négative.

2 Cette indépendance, au moins partielle, concerne des particuliers ou des regroupements de particuliers (dans un immeuble, un hameau, une communauté…).

3 L'hydraulique, sauf exception rarissime, utilise beaucoup d'espace et d'argent. L'éolien dans ses versions de petite taille (moins de 12m de haut) est assez peu productif et les grandes tailles d'éoliennes sont à l'échelle des marchands d'énergie et de leurs banquiers. La biomasse, avec son rendement de moins de 1% nécessite de grandes superficies.

brutalement leur production.

7.2) L'homme est un «animal diurne»

C'est à dire que l'essentiel de son activité a lieu le jour. A l'heure actuelle, nous consommons ¼ d'électricité en moins la nuit que le jour et ceci malgré les incitations à consommer la nuit qu'EDF a mises en place à travers ses tarifs depuis des dizaines d'années (on y reviendra au prochain paragraphe).

Mais, cela va même plus loin : il est évident pour tout le monde que la nuit, sur une route éclairée, on est d'avantage en sécurité que sur une route non éclairée et que donc il s'y produit moins d'accidents de circulation routière. Une étude[4] réalisée par « La Direction Interdépartementale des Routes Nord », étude publiée en 2007, démontre qu'en rase campagne cette « évidence » est complètement fausse. De nuit, en rase campagne et sur une autoroute éclairée, il y a plus d'accidents et ils sont plus graves que sur une autoroute non éclairée. Ce résultat, qui semble paradoxal, a été depuis confirmé sur la Francilienne qui contourne Paris et sur laquelle il existe des tronçons, éclairés dans un premier temps, et qui sont maintenant sans éclairage (par suite du vol du câble électrique). En fait, il semble que l'automobiliste règle sa vitesse par rapport à son appréciation du risque, et comme la vitesse est une cause importante d'accidents, l'éclairage lui donne, à tort, l'impression qu'il peut rouler plus vite… L'éclairage nocturne des bâtiments publics et autres monuments peut, à l'évidence être diminué, voire supprimé sans que notre qualité de vie en soit perturbée. Pratiquement, cela signifie qu'il y a de la place pour inventer des manières de consommer l'énergie… intelligemment.

Il y a donc moyen de diminuer notre consommation d'électricité nocturne sans pénaliser la sécurité (dans l'exemple des autoroutes, on l'augmente). Il y a, à l'évidence, d'autres utilisations nocturnes de l'électricité qui peuvent être aussi baissées, voire supprimées[5].

7.3) La « méthode EDF »

Plutôt que de «réinventer l'eau tiède», il peut être intéressant de regarder les méthodes mises en œuvre par ceux qui ont déjà rencontré le problème de l'adéquation entre la production et la consommation d'électricité.

Dès la fin des années 60, EDF a été confronté à un problème important dans le domaine de la satisfaction de la consommation d'électricité : un réacteur nucléaire a, pour des raisons de sécurité, une inertie de fonctionnement assez forte. Autrement dit, lorsqu'un réacteur nucléaire est en fonctionnement, on ne l'arrête pas le soir pour le remettre en route le lendemain, comme cela serait souhaitable pour «suivre» la demande d'électricité. Cela est d'autant plus gênant que notre production d'électricité est assurée à un peu moins de 80% par le nucléaire. En prévision du développement du parc électronucléaire, EDF a donc mis en place, dès les années 70, trois stratégies complémentaires aux niveaux de la production et de la consommation d'électricité.

7.3.1) Utiliser des usines de production d'électricité émettrices de CO_2

Ces centrales électriques fonctionnent au fuel lourd ou au charbon (on commence à les remplacer par des centrales au gaz… également productrices de CO_2). Ce sont des centrales anciennes. En cas de pics de consommation électrique[6], ces centrales sont mises en route pour

4 Voir : http://www.nord-nature.org/environnement/energie/Eclairage_autoroute_a16.pdf

5 Les moyens de transports collectifs à énergie électrique et qui concernent les loisirs, le tourisme, peuvent être, la nuit, à un prix tel que leur fréquentation sera fortement diminuée. On voyagera plus en été (où les jours sont plus longs et ensoleillés) qu'en hiver.

6 Ces pics se produisent le plus souvent en hiver, quand tous les chauffages électriques fonctionnent simultanément. Il arrive aussi, comme en 2003, qu'un épisode de canicule au milieu de l'été provoque une pointe de consommation causée par les appareils à froid (réfrigérateurs, congélateurs, ventilateurs…) et les climatisations domestiques qui s'ajoutent à celles des grandes surfaces...

pallier à l'insuffisance de production des réacteurs nucléaires en face de la demande des usagers. Dans ce cas, la production de CO_2 est importante. C'est, au passage, la raison pour laquelle on peut affirmer que «l'électricité nucléaire émet du CO_2», ce qui a été confirmé par une étude de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) et de RTE (Réseau de Transport d'Electricité)[7].

7.3.2) Stockage de l'électricité par pompage

Le pompage-stockage est le fait de remonter l'eau d'un bassin à un autre pour la stocker en attente d'un besoin en électricité. L'eau est montée par pompage en utilisant l'électricité excédentaire (à un moment où les centrales nucléaires produisent plus que ce qu'on consomme, c'est-à-dire la nuit). Cette eau redescend en heure de pointe de consommation pour produire de l'électricité, comme dans un ouvrage hydroélectrique classique.

Un couple de barrages de ce type fonctionne en Savoie, à côté de Moutiers. Sa puissance de production est de 320 MWh (soit un quart de la puissance d'un réacteur nucléaire)[8]. Un tel ensemble se nomme un STEP (Système de Turbinage Et de Pompage).

Il existe en France d'autres couples de barrages ayant la même fonctionnalité : Grand Maison (Alpes), Montézic (Massif Central), Revin (Ardennes)…. A l'heure actuelle, cela représente en France[9], une puissance de plus de 5000 MW (à comparer avec la puissance de nos plus gros réacteurs nucléaires : 1450 MW)[10].

7.3.3) Modification du comportement des usagers

Pour inciter les consommateurs à utiliser l'électricité plutôt la nuit que le jour, EDF a mis en place des contrats à tarif variable suivant le moment de la consommation d'électricité (jour-nuit, EJP, Tempo). Le contrat Tempo est une combinaison des deux contrats précédents avec une variation jour/nuit et trois tarifs différents suivant le moment dans l'année. Pratiquement, il y a donc six prix différents du KWh de 0,0572 à 0,5157[11]. Chaque jour, à 20h, est affiché sur le compteur de l'abonné la « couleur » du lendemain (il y a trois couleurs et chacune correspond à un « tarif jour et tarif nuit », le changement de couleur se faisant, globalement, en fonction des saisons).

7.3.4) Faire du commerce d'électricité avec nos voisins

Cette méthode fonctionne bien entre pays européens. Mais, pour ce qui est de la production de CO_2 et du problème de la fin des énergies actuellement utilisées, ils sont, plus ou moins, dans le même cas que nous et à peu près au même moment.

7.4) La «méthode EDF» adaptée aux énergies renouvelables

7.4.1) Utiliser des usines de production d'électricité émettrices de CO_2

Dans l'optique où l'on développe massivement la production d'électricité par des renouvelables (majoritairement photovoltaïques), si l'on complète cette production par des centrales utilisant des combustibles fossiles, on retombe dans

7 Consultable sur le site internet : http://www.soleil-energie.eu
8 Plus de détails sur le couple de barrages « La Coche - Aigueblanche » sur http://www.soleil-energie.eu
9 « Selon les estimations de l'AIE, près de 100 GW de STEP sont installés ou en cours de création dans le monde, et il existerait un potentiel pour multiplier par 10 cette capacité » Extrait de l'article « Le Maroc mise sur le stockage d'énergie sous forme d'eau » de Bertrand d'Armagnac paru dans Le Monde du 3 janvier 2010
10 Extraits de l'article « Le stockage de l'énergie en masse existe depuis 30 ans en France » de la revue « Sortir du nucléaire » n°40 (nov 2008), éditeur : Réseau Sortir du Nucléaire : www.sortirdunucleaire.fr
11 Prix fin août 2010.

le même reproche que pour le nucléaire : les « renouvelables » produiraient indirectement du CO_2 ! Cette méthode est donc à proscrire à cause des risques liés au changement climatique.

7.4.2) Stockage de l'électricité par pompage

Dans la perspective d'utilisation massive de panneaux photovoltaïques, cette méthode consistera à remonter l'eau durant la journée en utilisant l'énergie solaire et à faire descendre cette eau la nuit pour produire de l'électricité lorsque les cellules photovoltaïques ne produisent rien. Il y a déjà les couples de barrages installés (d'une puissance totale de 5000 MW) à utiliser à l'inverse de leur utilisation actuelle : remonter l'eau de jour à partir de l'électricité photovoltaïque excédentaire et la redescendre la nuit suivante. En plus, cette technique peut être développée à deux niveaux :

- la création de nouveaux ensembles « deux barrages couplés + une usine » est à étudier car si la création de barrages hydroélectriques classiques a épuisé tous les sites possibles, c'est à cause, en grande partie, de l'approvisionnement en eau. Or, les « barrages couplés + usine » doivent seulement compenser les pertes d'eau par évaporation, ce qui est considérablement moins volumineux et peut se faire par une ressource en eau au niveau du barrage du bas. Il n'est pas nécessaire de récolter dans le barrage du haut de l'eau de pluie en quantités considérables (comme c'est le cas dans les barrages hydroélectriques classiques). L'implantation de tels ensembles est à étudier en prenant en compte de l'acceptabilité par les populations concernées et les milieux naturels où la biodiversité est déjà menacée.

- les barrages hydroélectriques existants : il suffit de créer une retenue d'eau « en bas » et, à coté, une usine de pompage[12] qui remonte l'eau pour la remettre dans le barrage du haut lorsque la production d'électricité est excédentaire. Cela donnerait une capacité de stockage importante sur la période jour-nuit mais également (grâce aux grands barrages) sur les périodes mensuelles. On peut avoir une idée de l'ordre de grandeur de cette potentialité : dans l'hexagone, le parc hydraulique a une puissance installée de 25.000 MW, soit 40% de la puissance du parc électronucléaire. En 2009, nos centrales hydroélectriques ont produit, en moyenne, de l'électricité moins de 1 jour sur 3[13]. Cela est dû au manque d'eau dans les barrages. En réalisant au niveau bas de l'installation un réservoir d'eau ayant comme capacité 1/100ème de la capacité du barrage, on pourrait utiliser ce couple de barrages pour « faire de l'électricité la nuit et remonter l'eau pendant la journée[14] en profitant de l'ensoleillement ». Pour les barrages où c'est possible[15], le creusement, en bas, d'un barrage de même capacité que celui du haut permettrait d'agir sur des variations de production photovoltaïque étalée sur une année. Mais on arrive là dans le domaine des spécialistes de la gestion des moyens de production électrique. C'est à eux de prévoir l'incidence de telles modifications et ce que l'on peut en tirer.

7.4.3) Modification du comportement des usagers

Actuellement, et depuis des dizaines d'années, EDF pousse les particuliers et les collectivités à utiliser de l'électricité la nuit[16] en la vendant à des « tarifs attractifs ». Une production d'électricité renouvelable où le photovoltaïque aura une place importante verra systématiquement sa production baisser la nuit. Il y aura alors intérêt à pousser à la consommation d'électricité dans la journée plutôt que la nuit.

12 Éventuellement, cette capacité de pompage peut être assurée dans le bâtiment où on produit actuellement l'électricité.
13 D'après les données de RTE, ce facteur de charge est, en 2009 de 28%.
14 Au contraire du fonctionnement actuel qui est lié à l'inertie des réacteurs nucléaires.
15 L'acceptabilité d'un nouveau barrage de grande taille est liée à la sensibilité des populations riveraines et à l'éventualité de dégâts sur l'environnement naturel.
16 Les réacteurs nucléaires en cours de fonctionnement ne sont pas arrêtés le soir quand la consommation baisse naturellement.

Cette modification du comportement des usagers peut être développée de deux manières : en augmentant l'amplitude des prix ou en affinant l'information sur la variabilité des tarifs pour que les usagers puissent mieux anticiper leur utilisation de l'électricité en fonction du prix qu'ils paieront cette électricité durant les jours suivants. Cela peut aussi s'appliquer partiellement à l'industrie.

Cette évolution globale de la manière de consommer de l'électricité sera d'autant mieux acceptée que le « soleil-énergie » fera partie des évidences culturelles.

7.4.4) Faire du commerce d'électricité avec nos voisins

Cette méthode, à priori séduisante, présente trois inconvénients importants :

• Nos voisins connaissent des pointes et des creux de consommation à peu près aux mêmes moments que nous, et donc la loi de l'offre et de la demande fait que lorsqu'on achète, le prix est élevé et lorsqu'on vend, le prix est bas[17].

• En cas de crise de la production électrique en même temps dans plusieurs pays européens, chacun va conserver sa production pour ses propres besoins et alors le « marché » de l'énergie se bloque.

• Pour ce qui est de la production de CO2 et du problème de la fin des énergies actuellement utilisées, ils sont dans le même cas que nous. Et donc, recourir à ces achats, c'est une manière de ne pas traiter nos problèmes en les confiant aux voisins…

Pour toutes ces raisons, cette méthode doit rester marginale[18].

7.5) Une société de l'hydrogène

7.5.1) La méthode

En période de production électrique excédentaire, on électrolyse de l'eau, ce qui nous fournit de l'oxygène et de l'hydrogène sous forme gazeuse. On comprime l'hydrogène et on le stocke dans des bouteilles d'acier[19]. On utilise alors, quand on le veut, cet hydrogène dans des moteurs à explosion (moteur à essence aménagé) ou dans des piles à combustible[20] pour en tirer de l'énergie. Le tout est de dimensionner la taille des équipements de production d'électricité renouvelable et la taille de tous les stockages. Un avantage de cette méthode de stockage, c'est que la recombinaison de l'hydrogène avec l'oxygène produit de l'énergie, de l'eau et pas de CO_2. Le rendement énergétique de la production d'hydrogène est actuellement supérieur à 75 %[21].

7.5.2) Les lieux de stockage

En France, l'architecture du réseau de distribution d'électricité est constituée en grande partie de nœuds de production avec une distribution par un écheveau de câbles électriques de plus en

17 Si l'Europe était fortement étalée dans le sens est-ouest, le « jour » commencerait quelques heures plus tôt à l'est qu'à l'ouest et donc la pointe de consommation de début de journée serait « amortie » par des échanges entre pays. Le même étalement se produirait le soir.

18 On peut imaginer une solidarité entre l'est et l'ouest de l'Europe pour étaler les pointes de consommation liées à l'heure (par exemple la forte consommation liée quotidiennement à « la mise en route » de l'activité humaine). En effet, le soleil éclairant d'abord l'est de l'Europe, puis le centre et enfin l'ouest, cette pointe de consommation ne se produit pas partout au même moment. Et donc, la solidarité des pays « pas en pointe de consommation » peut intervenir pour les pays dont c'est le moment de la pointe de consommation.

19 L'oxygène est simplement relâché dans l'atmosphère, à moins qu'on ait, par ailleurs, des besoins d'oxygène.

20 Dans une pile à combustible, sous l'action d'un catalyseur, l'hydrogène est transformé en électricité. Ce procédé, techniquement au point et séduisant dans son principe, présente une difficulté qui empêche son développement à grande échelle : le catalyseur qui est souvent constitué de matériaux chers et peu abondants (platine, lithium…).

21 Voir le site de l'Association Française de l'Hydrogène (AFH2): http://www.afh2.org.

plus fins pour arriver finalement chez les utilisateurs. Dans l'optique d'une production photovoltaïque massive et dispersée sur le territoire, lors du stockage, c'est cet écheveau qui, en sens inverse, concentrera ces productions vers « l'usine à hydrogène » où celui-ci sera produit, compressé et conservé. Les lieux de stockage, seraient donc proches des centres de production actuels (centrales nucléaires, barrages hydroélectriques…)[22].

7.5.3) Les pertes en ligne

En période d'absence de soleil, l'électricité d'origine photovoltaïque produite au préalable aura été transportée jusqu'à l'usine à hydrogène pour y être stockée puis transportée à nouveau pour être utilisée. Cela, à priori, provoquerait, pour ces quantités d'énergie, un doublement des pertes en ligne par rapport à ce qui se passe actuellement. Mais le différentiel de prix du kWh payé par le consommateur entre les périodes ensoleillées et les autres sera un argument assez fort pour l'inciter à « vivre avec le soleil », c'est à dire à consommer de l'électricité plutôt quand « il fait beau ». Le stockage d'énergie sous forme d'hydrogène à l'échelle d'un quartier, d'un hameau, d'une communauté…, n'est pas faisable actuellement car il n'y a pas, dans le commerce, de « machine » qui le réalise. Cela n'est pas techniquement impossible et le désir d'autonomie des hommes regroupés, et produisant déjà plus d'électricité qu'ils n'en consomment, créera les conditions d'émergence de ces produits.

7.5.4) Le risque d'explosion

Tout d'abord il faut savoir que toutes les techniques ont leurs risques plus ou moins grands, de l'éolienne qui tombe en plein champ au réacteur nucléaire qui se transforme en bombe atomique (cela fait dix ans que je cherche l'adresse de Monsieur Ben Laden pour le remercier de n'avoir pas, un certain 11 septembre, envoyé un avion sur la centrale nucléaire de Gravelines qui concentre en un même lieu six réacteurs…). On oublie souvent que le risque d'incendie violent, voire d'explosion, est quotidien : lorsque Léon, Josette et leurs deux enfants vont à la plage en automobile à essence, ils se déplacent avec, sous eux, l'équivalent de plusieurs dizaines de cocktails molotov (il ne doit pas y avoir beaucoup de terroristes qui prennent de tels risques…).

7.5.5) Stocker l'hydrogène avec les utilisateurs de gaz naturel[23]

Dans les années 50, le gaz de ville était un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène à parts égales (obtenu par oxydation du charbon à la vapeur d'eau). Actuellement, le gaz naturel peut être, lui aussi, mélangé à de l'hydrogène en toutes proportions. Quand on produit trop d'électricité par rapport à la consommation, on électrolyse de l'eau et on injecte l'hydrogène obtenu dans le réseau de distribution de gaz (sans inconvénients pour les usagers qui, dans leurs cuisinières, chauffe-eau, chaudières… vont consommer un mélange de gaz naturel et d'hydrogène). A l'inverse, quand on manque d'électricité, on en produit avec des turbines utilisant du gaz naturel. On produit alors du CO_2 mais celui-ci est compensé par celui qui n'est pas produit en brûlant de l'hydrogène). On peut ainsi avoir une forme de « stockage » de l'électricité à travers le réseau de distribution de gaz naturel. Il est urgent de mettre en place ce dispositif car il permettra de diminuer la production de $C0_2$ et d'expérimenter au stade industriel l'économie et une partie de la technique de stockage d'énergie sous forme d'hydrogène. Là encore, le cuisinier va s'inquiéter de la présence d'hydrogène (explosif) dans sa gazinière. C'est oublier que sa mère ou sa grand-mère qui utilisait le gaz de ville au milieu du 20ème siècle utilisait un gaz constitué pour moitié d'hydrogène. On peut noter au passage que la mise en place de cette technique d'injection d'hydrogène dans le réseau de gaz naturel préfigurera une des solutions qui pourront être mises en œuvre une fois que nous aurons épuisé les réserves de gaz naturel[24].

22 On peut imaginer, mais c'est pour l'instant une fiction, que des hameaux soient autonomes sur le plan électrique avec une production photovoltaïque sur les surfaces artificialisées associée à une production d'hydrogène et un stockage local.

23 Le porte-paroles et défenseur de cette solution, Monsieur Thierry Alleau, est président d'honneur de l'association AHF2.

24 Ce sera aussi l'occasion de tester notre possibilité d'indépendance par rapport à nos fournisseurs de gaz naturel.

* Remarque : si vous n'êtes pas encore convaincu des vertus de l'hydrogène, sachez qu'actuellement, au Commissariat à l'Energie Atomique (CEA), de nombreux chercheurs travaillent sur l'hydrogène[25]. C'est que les problèmes de l'adéquation production-consommation et du déplacement dans des véhicules autonomes est le même si l'électricité est produite en quantité par des systèmes à énergies renouvelables ou par un réacteur hypercentralisé et très inerte dans le genre de celui qui va être expérimenté avec le projet ITER. C'est ce réacteur que nous promettent d'autres chercheurs du CEA : dans 50 ans on saura imiter, en usine, les réactions thermonucléaires qui se produisent sur le soleil… alors que nous avons le soleil chez nous, qu'il est déjà distribué et qu'il ne produit pas de radioactivité sur Terre !

7.5.6) Souplesse de la production

Le bouquet des énergies renouvelables évoqué au début de ce chapitre comme étant la méthode de base pour gérer la défaillance d'une des sources de production d'électricité renouvelable va nécessiter, pour bien fonctionner, d'avoir une puissance de production globale nettement supérieure à ce qu'il faudrait pour satisfaire les pointes de consommation. La possibilité d'utiliser l'électricité excédentaire, à un moment donné, pour fabriquer de l'hydrogène, et à l'inverse d'utiliser l'hydrogène pour produire de l'électricité, donnera de la souplesse dans la gestion des moyens de production[26].

7.5.7) Des véhicules à hydrogène

Une piste de recherche dans ce domaine a déjà été amorcée par l'entreprise lilloise «H2 Développement». Cette société a réalisé la conversion d'un véhicule à essence en véhicule à hydrogène[27] : «l'Ultim Car» (et rencontré l'opposition d'un constructeur automobile français). L'électricité utilisée au départ étant produite par des éoliennes, l'ensemble du procédé ne produit que des traces de CO2. Le stade suivant du développement du projet est de transformer des autobus roulant au gaz naturel en ajoutant de l'hydrogène dans leur carburant[28]. Ce remplacement des carburants pétroliers par de l'hydrogène permet de s'affranchir de la production de CO_2 lors de nos déplacements mais, avec les techniques dont nous disposons actuellement, cela ne permet pas de satisfaire notre actuelle boulimie de déplacements.

7.6) Stockage de la chaleur

A l'échelle de temps d'une journée, on sait conserver de la chaleur avec très peu de pertes. Par exemple, la chaleur stockée dans le ballon d'un chauffe-eau solaire se trouve, après une nuit, avoir perdu quelques degrés. L'inertie thermique des bâtiments (liée à leur conception) est un élément fondamental de stockage de la chaleur domestique.

Le problème est de stocker des quantités importantes de chaleur et durant des périodes assez longues de quelques semaines à quelques mois.

7.6.1) Généralités sur ce stockage

Le stockage de la chaleur par élévation de température[29] d'une masse (solide ou liquide) se fait généralement dans un réservoir isolé, ce qui présente deux caractéristiques importantes :

25 Information issue de déclarations d'ingénieurs du CEA lors du Congrès des Eco-Technologies pour le Futur les 10 et 11 Juin 2008 à Lille

26 Une production photovoltaïque fortement développée est un moyen de production qui est globalement prévisible, mais qui, localement, à l'occasion du passage de masses nuageuses peut varier fortement et rapidement. En réponse à cet aléa, l'électrolyse de l'eau peut aussi varier fortement et rapidement. Il faut ensuite, à l'aval de ces installations prévoir des capacités de stockage et d'utilisation de l'hydrogène produit.

27 La transformation consiste, pour l'essentiel, à organiser une injection d'hydrogène gazeux à la place de l'essence, un peu comme les véhicules au GPL où on injecte un mélange de butane et propane.

28 Un projet nommé « Althytude » prévoit d'équiper de la sorte un autobus à Dunkerque et un à Toulouse

29 Il existe d'autres types de stockage sous la forme de changement d'état (solide, liquide, gaz)

• la quantité de chaleur conservée est liée au volume ;

• les pertes de chaleur du réservoir se font par sa surface.

C'est à dire que si, par exemple, on double les dimensions d'un tel réservoir, la quantité de chaleur stockée est multipliée par $2^3 = 8$ alors que les pertes de chaleur sont multipliées par $2^2 = 4$. Autrement dit, en stockant de la chaleur dans un gros réservoir, on en perd moins qu'en en stockant dans deux petits qui, toutes choses étant égales par ailleurs, auraient ensemble le même volume que le gros.

Pratiquement, si dix particuliers mutualisent leur stockage de chaleur, chacun d'eux perd deux fois moins de chaleur que s'il l'avait stockée individuellement[30].

Mais, plus il y a de personnes reliées par des tuyaux à un point central (le réservoir), plus la longueur de tuyaux augmente ainsi que leurs pertes de chaleur. La limitation de la taille de ces réseaux de chaleur est liée à la longueur des tuyauteries qui, même bien isolées, perdent de la chaleur. Il faudra chercher le meilleur compromis entre la taille du stockage et la taille du réseau en fonction du prix des matériaux.

7.6.2) Utilisation de la masse d'un bâtiment

Le moyen le plus simple de stocker la chaleur sur une durée d'environ une journée (entre deux périodes où l'énergie solaire entre dans le bâtiment), c'est de monter en température une masse importante interne au bâtiment (mur, dalle…). Ce procédé était déjà connu, en France, vers 1960 sous le nom de « mur Trombe » ; des développements récents s'orientent vers le « mur capteur »[31].

7.7) Les « négawatts »

Le changement de nos sources d'énergie présente une telle ampleur que la sagesse commande, dès à présent, de diminuer nos consommations : cela facilitera le changement.

Depuis des dizaines d'années, nos modèles économiques restent fondés sur un dogme réputé intangible : il faut produire toujours plus pour consommer toujours plus[32]. Cela se traduit violemment au niveau des matières premières et de l'énergie. Si toute l'humanité avait le niveau de consommation des français, il faudrait plus de deux « planètes Terre » pour la satisfaire. Pour l'aspect énergétique, c'est cette consommation effrénée d'énergies fossiles qui est à l'origine du changement climatique. Il est urgent de rompre avec la croissance immodérée de nos consommations, et de commencer à partager les ressources de façon équitable pour contribuer à la solidarité entre les hommes. Une partie de la solution au problème de l'intermittence tient, dans la diminution de nos consommations.

7.7.1) Le principe

Dans le domaine énergétique, l'Association des Négawatts[33], animée par un collège d'une vingtaine d'experts indépendants, propose d'agir de trois façons complémentaires pour lutter contre la tendance à l'augmentation de nos consommations énergétiques :

• la SOBRIETE consiste à supprimer les gaspillages d'énergies à tous les niveaux de l'organisation de notre société et dans nos comportements individuels ;

• l'EFFICACITE, c'est réduire les pertes lorsqu'on

30 Toutes choses étant égales par ailleurs, notamment la qualité et l'épaisseur de l'isolant. On peut pousser le raisonnement plus loin : si 100 particuliers se regroupent pour stocker, chacun d'eux perd 4,5 fois moins de chaleur dans le stockage. Les détails du calcul sont sur le site : http://www.soleil-energie.eu.

31 Plus de détails sur http://www.soleil-energie.eu.

32 À contrario, ceux qui prônent la décroissance (de la consommation) sont très minoritaires.

33 Voir : http://www.negawatt.org/.

utilise ou transforme l'énergie. On peut diviser par 2 ou 4 nos consommations d'énergie avec des techniques existantes ;

• les RENOUVELABLES, cela consiste à produire l'énergie nécessaire avec des énergies inépuisables et peu polluantes.

7.7.2) Une mise en oeuvre

Il y a différents postes dans une maison[34] où l'on peut mettre en œuvre les deux premières propositions du scénario Négawatt : le mode de chauffage, l'isolation, les appareils électroménagers économes en énergie… Mais il y a un domaine particulier où l'on peut mesurer exactement l'impact de ses actions, c'est au niveau de la consommation d'électricité. En effet, le compteur de notre fournisseur permet de mesurer à 1 kWh près ce qu'on consomme… et donc les diminutions (ou augmentations). C'est pourquoi je me suis intéressé à ce secteur.

Mon épouse et moi vivons dans une petite maison de 1920 et, entre 1997 et 2009 nous avons divisé par 3 notre consommation annuelle d'électricité domestique alors que nos habitudes de vie n'ont pas changé[35].

7.8) Place à l'imagination !

Dans une maison, «le froid» (réfrigérateur, congélateur) est un poste important de consommation électrique. L'exemple qui suit est de la science-fiction sur le plan commercial (cela ne s'achète pas actuellement) mais il est réaliste sur le plan technique (les techniques à mettre en œuvre existent et sont déjà utilisées dans d'autres domaines).

Stocker de l'électricité au congélateur !

La société EDS (électricité du soleil) a remplacé EDF et regroupe tous les distributeurs d'électricité. Elle propose l'électricité aux clients, sous forme d'un contrat unique, une électricité à prix variable[36]. Il y a 3 prix de l'électricité :

•tarif vert : pas cher

•tarif bleu : suite moyenne du « tarif bleu » actuel d'EDF

•tarif rouge : très cher

C'est EDS qui décide, en fonction de ses moyens de production et de la météorologie (l'ensoleillement, le vent…) à quel moment et à quels endroits ses clients sont au tarif rouge ou bleu ou vert (à un moment donné, chaque région a « sa couleur »).

A tout instant, sur le compteur électrique de l'abonné est affiché le tarif en cours (vert, bleu ou rouge) ainsi que la prévision des prochains tarifs sur 5 jours[37]. Toutes ces informations sont véhiculées via les câbles du réseau électrique[38]. De la sorte, l'usager peut gérer son utilisation de l'électricité en fonction du prix réel de l'électricité, de ses urgences et de ses capacités à attendre un tarif moins cher. On peut même imaginer un congélateur (un des appareils électroménagers les plus gourmands en électricité) qui utilise ces informations. Ce congélateur reçoit directement les informations (via le câble électrique) sur le prix actuel des l'électricité et sur les prévisions de prix pour les jours suivants. En période verte, il baisse sa température de 10°C en dessous des –18°C (température normale d'un congélateur). Si on est en période bleue et qu'une période rouge assez longue est annoncée, la température sera mise et maintenue à –28°C tant que l'on est « dans le bleu ». Par contre, une sécurité fait utiliser l'électricité de n'importe quelle « couleur » si sa température monte au dessus des –13°C. C'est à dire que le congélateur va participer indirectement au stockage de l'énergie électrique.

Cette méthode est déjà mise en œuvre « à la main » par les titulaires d'un contrat à tarif jour/nuit lorsqu'ils programment leur lave-linge ou lave-vaisselle pour fonctionner aux heures creuses.

Cette méthode est applicable dans d'autres domaines. Par

34lUn ouvrage remarquable est paru sur ce sujet : « La maison des négawatts » de Thierry Salomon et Stéphane Bedel aux éditions Terre Vivante.

35 Tous les détails à l'adresse http://www.nord-nature.org/fiches/fiche_e5.htm.

36 Chaque distributeur d'électricité a ses propres prix, mais le passage d'une « couleur » de tarif à une autre est commun à tous les distributeurs.

37 Le compteur électrique « intelligent » qu'EDF met en place actuellement ne répond pas à cet objectif : il est « intelligent »… pour les actionnaires d'EDF dans la mesure où le « relevé du compteur » se fera à distance (en étant réalisé par un ordinateur) sans qu'un agent se déplace jusqu'au domicile de l'abonné. Il y aura donc moins d'agents à payer…

38 Même technique que les réseaux informatiques qui utilisent le réseau électrique pour transférer des infos : il suffit d'utiliser une fréquence nettement différente des 50 Hz et des filtres correspondants.

exemple en mettant en ouvre des techniques locales de stockage d'énergie (volant à inertie, air comprimé…).

Pour que les usagers puissent gérer plus finement leur consommation d'électricité, aux bulletins météo (radio, télé…) sont ajoutées des informations de prévision de la « couleur de l'électricité » du lendemain avec une carte de France colorée des régions, et les prévisions des « couleurs de l'électricité » pour les 7 jours suivants…

Dans la mise en oeuvre de l'énergie solaire en flux, pour remplacer petit à petit les énergies fossiles et l'uranium, l'obstacle le plus important est le problème de l'adéquation entre la production et la consommation. On l'a vu, des techniques existent[39], mais d'autres sont à inventer rapidement C'est la clef de notre indépendance énergétique basée sur l'utilisation de l'énergie solaire en flux.

39 Certaines comme les STEP (utilisation de 2 barrages hydrauliques en montagne) existent depuis plus de 40 ans

8.

Place de l'énergie solaire dans notre culture

Au fil des rencontres avec le « grand public » (conférences, visites d'installations solaires, échanges de mails…) il est clair que le soleil en tant que source d'énergie est essentiellement identifié au niveau des « énergies nouvelles ». Sa place dans le monde du vivant (via la photosynthèse) est mal connue, son importance quantitative[1] est ignorée. En comparaison, dans notre société, le « soleil-vacances » (c'est à dire en tant qu'image symbolique des vacances, du bonheur…) est hypertrophié, notamment dans les publicités.

Pour chercher les raisons de ce vide culturel, on pourrait faire un sondage d'opinion sur le sujet, mais cela serait coûteux. Il existe un lieu institutionnel où notre culture est transmise de génération en génération, c'est l'école. On peut regarder, dans cette transmission, la place de l'énergie solaire. J'ai donc examiné comment les enseignants parlent de l'énergie solaire à leurs élèves.

8.1) La méthode

Le contenu de l'enseignement est défini par les programmes et c'est donc à travers eux que l'on peut effectuer la recherche. Comme 80% d'une classe d'âge accède au niveau du baccalauréat, en examinant les programmes du collège et du lycée, on peut avoir une assez bonne représentation de la place de l'énergie solaire dans la formation des nouvelles générations.

Pratiquement, j'ai cherché le nombre de fois où apparaissent les mots « soleil(s) », « solaire(s) », « énergie(s) », « nucléaire(s) » dans les textes des programmes[2] d'enseignement de 4 disciplines : sciences de la vie et de la terre, physique, chimie et technologie (au Collège). Puis j'ai regardé le contexte des mots trouvés.

Cette méthode est discutable, car la transmission culturelle passe aussi par d'autres chemins : famille, publicité, rencontres, livres, télévision, internet... Mais cette façon de procéder présente 2 avantages :

• on obtient un résultat assez pertinent[3] dans l'information globale que l'on peut en tirer (mais il faut, par contre, éviter les comparaisons à partir de détails des résultats).

• la mise en œuvre de cette méthode est rapide par l'utilisation de la fonction « rechercher » dans des textes informatisés[4].

1 Cela apparait comme « non réponse » à des questions simples comme « la quantité d'énergie solaire arrivant sur la toiture de ma maison en 1 an est-elle égale à la quantité d'énergie que j'y consomme durant la même période ? », « quand je brûle une bûche dans ma cheminée, quelle est la quantité d'énergie que je récupère par rapport à toute l'énergie solaire qui, en arrivant sur les feuilles de l'arbre, a contribué à créer cette buche ? »

2 Sur le site officiel : http://www.education.gouv.fr/

3 Un système éducatif sert, essentiellement, à reproduire la société à l'identique ou avec quelques changements d'orientations bien précis. Donc l'étude des programmes d'enseignement permet de connaître les intentions des politiques au pouvoir à un moment donné (pourvu qu'ils y soient déjà depuis un certain temps à cause du temps de réaction du « système éducatif » face aux changements).

4 Cela fonctionne bien avec les « fichiers textes » issus de : Open Office, Word, Adobe Acrobat, « internet »… (en faisant attention aux images où la fonction « rechercher un mot » n'existe pas).

8.2) L'énergie solaire au Collège

Les répétitions des mots clef dans les programmes de la 6ème à la 3ème se répartissent de la façon suivante :

COLLEGE programmes 2010-2011	Mots clé recherchés> >	Énergie(s)	Soleil(s)	Solaire(s)	Nucléaire(s)	*remarques*
Disciplines	Sciences de la Vie et de la Terre	*55*	3	2	1	*1*
	Physique Chimie	*58*	8	*5*	1	*2*
	Technologie	128	3	2	3	*3*
	Totaux	**241**	**14**	**9**	**5**	

Remarques :

1- Science de la Vie et de la Terre - Les mots « soleil » et « solaire » apparaissent dans des parties de programme concernant l'étude du système solaire (le soleil, les planètes…) mais pas l'énergie solaire. Dans les commentaires de ce programme figure la phrase : « Sont exclues les notions de photosynthèse… »

2- Physique, chimie - Là encore, les deux mots clef concernant le soleil apparaissent dans le cadre de l'enseignement du système solaire et de la lumière en tant que source d'éclairage. L'énergie solaire est absente.

3- Technologie - Là toujours, les mots « soleil » et « solaire » concernent la plupart du temps le système solaire et la lumière en étant déconnectés du mot « énergie ». En quatrième, l'expression « installations solaires » apparait en domotique ; c'est-à-dire que les outils permettant de récupérer l'énergie solaire sont évoqués.

Dans le programme de technologie, il y a une note en bas de page très significative : « *Le terme ''source d'énergie'' signifie phénomène naturel à partir duquel il est possible de retirer de l'énergie (vent, soleil, eau, combustion, nucléaire)* ». Le rédacteur de ce programme a mis, dans son texte, le soleil au même niveau que « le vent », « l'eau » et « la combustion », alors que pédagogiquement il est préférable de présenter de manière structurée une suite de thèmes plutôt que en vrac comme c'est le cas ici. Il devrait donc apparaitre clairement, dans le programme, que le soleil est la source indirecte du « vent », de « l'eau » et de nombreuses « combustions ». C'est-à-dire que la structuration de la « pensée énergétique » par le soleil est absente chez les rédacteurs de ce programme, alors qu'en 2008, 81% de l'énergie consommée en France était issue de l'énergie solaire[5] !

Globalement, le soleil, en tant que source d'énergies est absent des programmes d'enseignement au Collège en 2010-2011.

La même analyse des programmes d'enseignement en Collège pour l'année scolaire 2007-2008 avait donné comme résultat[6] :

5 Comme on l'a vu au chapitre 3

6 Ces résultats avaient été publiés en 2007 (chapitre 6) dans l'ouvrage « Energies d'avenir en Nord Pas-de-Calais » par l'association « Virage Energie Nord Pas-de-Calais ». Cet ouvrage est consultable en détail à l'adresse : www.virage-energie-npdc.org

COLLEGE programmes 2007-2008	Mots clé recherchés> >	Énergie(s)	Soleil(s)	Solaire(s)	Nucléaire(s)
Totaux des programmes SVT + Phys. Chimie + Techno.		18	0	1	0

Manifestement, la préoccupation énergétique, qui émerge fortement dans notre société depuis quelques années, trouve sa place dans l'enseignement au Collège : sur le mot « énergie(s) », en 3 ans on passe de 18 citations à 241. L'Education Nationale et ses enseignants peuvent ici être félicités pour cette rapidité d'adaptation aux changements de notre société.

Mais, par ailleurs, l'énergie solaire qui était déjà absente des programmes en 2007, voit son absence en 2010 beaucoup plus scandaleuse au regard de l'émergence très forte du mot « énergie(s) ».

On peut noter que le mot « nucléaire », absent des programmes en 2007, fait son apparition en 2010 et qu'il n'y a pas d'ambiguïté : c'est bien d'énergie nucléaire qu'il s'agit.

8.3) L'énergie solaire au Lycée

Au niveau du lycée, les programmes n'ont pas été étudiés systématiquement (ils sont beaucoup trop nombreux). Pour la classe de seconde générale et technologique, ce sont les programmes des enseignements communs qui ont été étudiés (physique, chimie, sciences de la vie et de la Terre). En première et terminale scientifique[7], ce sont les mêmes matières qui ont été étudiées.

8.3.1) Les programmes aux rentrées 2007 et 2009

LYCEE	Mots clé recherchés> >	Énergie(s)	Soleil(s)	Solaire(s)	Nucléaire(s)
programmes 2007-2008	Totaux des programmes SVT + Phys. Chimie des classes de seconde générale et technologique ainsi que des classes de première et terminale scientifique	106	21	21	20
programmes 2009-2010	Totaux des programmes SVT + Phys. Chimie des classes de seconde générale et technologique ainsi que des classes de première et terminale scientifique	207	14	19	17

7 Ce choix de filières scientifiques correspond au fait que la notion d'énergie solaire doit, pour le moins, figurer dans la culture des futurs scientifiques, ingénieurs, techniciens…

Remarques concernant les programmes de 2009-2010 :

1- Science de la Vie et de la Terre - en seconde générale et technologique : l'énergie solaire intervient un peu au niveau du système solaire.

2- Physique, chimie - en seconde générale et technologique : le soleil intervient par son système et les cadrans solaires.

3- Science de la Vie et de la Terre - en première scientifique : le soleil et l'énergie sont absents.

4- Physique, chimie - en première scientifique : la notion d'énergie est omniprésente, et le soleil apparait une seule fois : « Le transfert d'énergie par rayonnement ne fait ici l'objet que d'une approche simple et qualitative à partir d'exemples courants (soleil, lampe...) ».

5- Science de la Vie et de la Terre - en terminale scientifique : le soleil intervient à l'occasion de l'étude du climat de la Terre et du système solaire. La photosynthèse est au programme. Elle sera donc étudiée seulement par les élèves de terminale scientifique des Sciences de la Vie et de la Terre.

6- Physique, chimie - en terminale scientifique : l'énergie nucléaire a une place importante, le soleil sert juste à mesurer le temps…

Là encore, en 2 ans les programmes qui ont été modifiés (ce n'est pas le cas de tous) montrent une préoccupation de l'énergie en hausse alors que l'énergie solaire est toujours aussi absente.

8.3.2) les programmes à la rentrée 2010

Les programmes de première et de terminale scientifique n'ont pas changé.

En seconde, par contre, tous les programmes changent à la rentrée 2010. A une exception près, les nouveaux programmes ne parlent pas plus d'énergie solaire que les anciens. L'exception concerne l'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre qui s'articule autour de trois thèmes, l'un d'entre eux s'intitulant « *enjeux planétaires contemporains : énergie, sol* ». Effectivement, cela se décline en : « *le soleil, une source d'énergie essentielle* ». On y parle de photosynthèse (y compris de son rendement par rapport au soleil reçu) de biomasse, de concurrence entre alimentation et agrocarburants…[8]

Par contre, toujours en seconde, la discipline « science et laboratoire » contient dans son nouveau programme d'enseignement un intitulé intéressant :

« Energies renouvelables

Mots clefs :

- énergie solaire : photopiles, four et chauffe-eau solaire
- énergie éolienne et hydraulique »

Ce rangement des mots clefs en deux catégories montre que les rédacteurs de ce programme ignorent que l'énergie éolienne et l'énergie hydraulique sont de l'énergie solaire indirecte. Un intitulé plus cohérent aurait pu être, par exemple :

- énergie solaire directe : photopiles, four et chauffe-eau solaire
- énergie solaire indirecte : éolienne et hydraulique

8 On trouve encore dans ce programme : « Utiliser l'énergie des vents, des courants marins, des barrages hydroélectriques revient à utiliser indirectement de l'énergie solaire ». Cette vision globale de l'énergie solaire est actuellement quasiment absente de notre culture : ce programme d'enseignement constitue une avancée intéressante

8.4) Et au Ministère de l'Environnement ?

Arrivés à ce stade d'« exploration culturelle », on peut se demander si c'est seulement dans l'enseignement que le soleil brille d'une quasi absence. Un élément de réponse peut être apporté par une lecture de la rubrique « Gestion et utilisation des ressources » éditée en janvier 2011 par le « Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer »[9]. On lit à cette page : « *Les activités économiques d'un pays associées à la production de biens, d'équipements, au logement, à la nourriture, aux déplacements, à l'information, etc.* ***consomment des ressources naturelles*** *(eau, matières végétales et minérales). Une partie de ces ressources est potentiellement renouvelable, comme les cultures agricoles pour l'alimentation humaine et animale, la forêt qui produit le bois pour la construction, pour la fabrication du papier/carton, du mobilier ou pour le chauffage, l'eau pour l'irrigation... Néanmoins une majorité est non renouvelable : granulats pour la construction et les routes, carburants automobile, fuel et gaz pour la production de chaleur, plastiques, acier, aluminium...* ». A l'évidence, pour les experts du ministère, l'énergie solaire n'a pas droit au titre de ressource naturelle. Il aurait pu y avoir y avoir une structuration du propos par les notions d'énergie solaire en flux (pour les cultures agricoles, pour la forêt, pour le cycle de l'eau qui permettra l'irrigation) et d'énergie solaire en stock (pour le carburant automobile, le fuel, le gaz). Il n'en est rien. Au ministère qui s'occupe de l'énergie, le soleil est absent !

On avait vu, au chapitre 3, que l'énergie solaire est omniprésente dans l'énergie que l'on utilise aujourd'hui (à l'exception du nucléaire, de la géothermie et de l'énergie marémotrice). On vient de voir que l'absence de l'énergie solaire comme élément central du discours sur l'énergie règne au ministère de l'énergie comme à celui de l'éducation.

8.5) Conclusion

Ainsi, à la sortie du collège vers une filière professionnelle nos jeunes ont un vernis de culture énergétique mais pas une pensée structurée par le concept, central dans ce domaine, d'énergie solaire. Ils sont mûrs pour être la cible des publicitaires dans le domaine de l'énergie. Eux qui, dans notre société sont la force armée (par l'argent) de la destruction de notre planète par la consommation, tant il est vrai que dans l'expression « développement durable », le premier mot relève du libéralisme économique et que pour le qualificatif « durable », ce sera le travail du service de communication de l'entreprise[10]...

Par contre, les jeunes qui sortiront du lycée dans 3 ans auront, grâce à l'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre en seconde, une idée assez précise de la place du soleil dans les énergies à notre disposition.

En faisant des conférences sur l'énergie solaire, j'ai constaté l'absence du soleil comme source d'énergie essentielle aussi bien chez « Monsieur tout le monde » que chez des ingénieurs, des professeurs de sciences physique en lycée et même chez un inspecteur de ces enseignants, lui-même rédacteur de programmes… Cela signifie pratiquement, que le lobby des marchands d'énergie a réussi à retirer l'énergie solaire de notre culture énergétique depuis des générations. Autrement dit, la plupart des adultes en poste de responsabilité dans notre société sont dans cet état d'esprit.

9 Le 21/01/2011 à 10h cette édition était à l'adresse : http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr/donnees-essentielles/ressources-et-dechets/gestion-et-utilisation-des-ressources.html Aujourd'hui, cette page internet a, peut être, été modifiée. Vous pouvez voir l'original sur www.soleil-energie.eu

10 «Sur une planète dont les dimensions et les richesses sont finies, tout processus exponentiel ne peut qu'être éphémère. La croissance de la consommation est en réalité l'équivalent d'une **drogue** ; la première dose crée l'euphorie mais les suivantes mènent inévitablement à la catastrophe. Prétendre résoudre un problème, par exemple le chômage, par la croissance, s'est s'enfoncer délibérément dans une impasse.» Albert Jacquard : Mon utopie (2006)

9.
Conclusion

L'énergie solaire a disparu depuis des dizaines d'années de notre culture. Avec l'enseignement des Sciences de la Vie et de la Terre, l'énergie solaire réapparait enfin dans les programmes du lycée en tant que centre de la vie sur terre, origine de la biomasse et des énergies hydraulique et éolienne. Mais, dans les autres disciplines, on en est encore à parler d'énergie sans faire le lien avec l'énergie solaire. Celle-ci devrait faire partie des programmes de sciences et de technologie dès le Collège pour « brancher » les jeunes générations sur l'énergie d'hier, d'aujourd'hui et, surtout, celle de demain. Quant au problème central de l'énergie solaire qui est l'intermittence c'est, dans l'enseignement, le désert complet. Désert d'autant plus dommageable que ce sera un des nœuds de l'utilisation de l'énergie solaire qui nous arrive tous les jours.

Mis à part pour l'extrême nord et l'extrême sud de notre planète[1], l'énergie solaire en flux constitue une ressource énergétique dont la quantité et la répartition en font un facteur de paix et d'indépendance par rapport aux marchands d'énergie. Nous avons un gisement d'énergie colossal à notre porte, et pour l'éternité[2].

Avec le soleil en flux qui nous arrive tous les jours il est possible, au niveau d'un individu ou d'un petit groupe, de récupérer une partie de l'autonomie qui a été confisquée par les marchands d'énergie[3]. Simultanément on diminue son impact sur le climat en produisant moins de CO_2, on anticipe la fin des sources d'énergie actuellement utilisées, on sécurise son approvisionnement énergétique et on renoue un lien avec un élément naturel fondamental. Il y a juste notre consommation, actuellement délirante, de déplacements qui sera fortement bridée par la fin des hydrocarbures.

Des scientifiques et leurs financiers espèrent avec le projet ITER[4] que, d'ici à 50 ans, ils sauront créer un soleil artificiel pour alimenter une gigantesque machine à vapeur. Si l'énergie solaire avait la place qui lui revient dans notre culture, ce projet aurait engendré un éclat de rire qui aurait secoué la France entière.

Dans l'urgence où nous en sommes actuellement, l'intelligence n'est plus dans la recherche d'un futur monstre radioactif, mais bien dans l'adaptation de nos besoins fondamentaux d'énergie à la source hyper abondante qu'est le soleil. Il est urgent de remettre le soleil au centre de notre culture de l'énergie

Il y a cependant une limitation au développement massif des outils permettant de capter l'énergie solaire, c'est la quantité de matériaux à utiliser pour cela. La fin annoncée des ressources minérales (minerai de cuivre, d'aluminium, …) et la nécessaire solidarité de partage de ces biens communs à l'humanité sont des éléments essentiels à prendre en compte.

1 Voir sur le site www.soleil-energie.eu la carte de l'ensoleillement mondial.

2 Pour l'instant aucune espèce vivante n'a réussi à durer 4 milliards d'années et donc la durée de vie, estimée, du soleil représente bien notre éternité.

3 Dans l'article « Quand l'Europe se chauffera au soleil du Sahara… » de Pierre le Hir et Marie de Vergès paru dans « Le Monde » du 14/07/2009, on apprend l'existence d'un projet nommé Désertec qui a pour but d'installer en plein désert des capteurs thermiques puis de transformer cette chaleur en électricité pour l'expédier vers les pays européens. Les promoteurs de ce projet sont, entre autres, des électriciens et banquiers. Cela signifie pratiquement que eux aussi sont convaincus que le gisement énergétique de demain c'est le soleil en flux… et ils vont essayer de nous le vendre.

4 Dans l'article « Le réacteur ITER va enfin pouvoir sortir de terre » de Marc Mennessier paru dans « Le Figaro » du 28/07/2010 on trouve une définition de la fusion nucléaire dont la fiabilité sera testée dans le réacteur expérimental ITER : « Ce processus naturel, à l'œuvre au cœur du soleil et des étoiles, peut fournir en théorie une énergie propre et quasi illimitée. »

ADHESION ET ABONNEMENT A LA REVUE TRIMESTRIELLE 2011

Adhésion :

Je désire : - être simple adhérent
- être adhérent et prendre une part active dans l'association

(rayer la mention inutile)

Cotisation annuelle, au choix : tarif minimal 20 euros
tarif de soutien 30 euros
tarif membre bienfaiteur 60 euros ou plus

Abonnement :

Je désire m'abonner à la revue trimestrielle. Tarif annuel (4 numéros) : 16 euros

Adhésion + abonnement :

Je désire : - être simple adhérent et m'abonner à la revue trimestrielle de Nord Nature Environnement
- être adhérent, prendre une part active dans l'association et m'abonner à la revue trimestrielle

(rayer la mention inutile)

	Cotisation	Abonnement	Cotisation/abonnement
Tarif minimal	20 euros	16 euros	36 euros
Tarif de soutien	30 euros	16 euros	46 euros
Tarif membre bienfaiteur	60 euros ou plus	16 euros	76 euros
Étudiant	10 euros	16 euros	26 euros

Nom……...Prénom…….....
Adresse…….....
Code postal…….....Commune..…….....
Téléphone(s).....
Courriel.....
Profession.....

Les informations recueillies pour votre adhésion ou votre abonnement font l'objet d'un traitement informatique destiné à la gestion de l'association. En application de la loi du 6 janvier 1978 modifiée, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Si vous souhaitez exercer ce droit et obtenir communication des informations vous concernant, vous pouvez nous contacter.

Chèque à libeller à l'ordre de Nord Nature Environnement.
Chèque et bulletin d'adhésion et /ou d'abonnement à adresser à :
Nord Nature Environnement, Maison Régionale de l'Environnement et des Solidarités,
23 rue Gosselet, 59000 Lille.
Tél : 03 20 88 49 33

Revue trimestrielle de Nord Nature Environnement Fédération régionale des associations d'étude et de protection de la nature et de l'environnement. Membre de France Nature Environnement
Fédération Nord Nature Environnement. MRES, 23 rue Gosselet, 59000 Lille. Tél : 03 20 88 49 33
Directrice de publication : Jacqueline Istas
Rédaction : Alain Vaillant, **Editorial** : Jacqueline Istas
Maquette : Julie Duhamel ; **Relecture** : Blanche Castelain et Robert Trouvilliez
Impression Tanghe Printing, 20 bvd Industriel, B-7780 Comines. Revue imprimée sur papier recyclé.
La reproduction des illustrations est soumise à autorisation. Photographies : Alain Vaillant
La reproduction du texte est libre, il est simplement demandé de préciser la source.
Tirage : 1000 exemplaires. Fascicule 142, numéro spécial, mars 2011, 38ème année. ISSN 1634-149x CPPAP 0311 G 88613

Cette revue a été réalisée grâce aux abonnements et à l'aide de la Région et la DREAL NPDC

Nord Nature Environnement

On nous parle de chauffe-eau solaire, de panneaux photovoltaïques comme d'objets commerciaux indispensables pour lutter contre le changement climatique et venir au secours des énergies actuellement utilisées et dont la fin est prévisible.

Par contre, on oublie de nous parler du gisement d'énergie solaire, alors qu'il faudrait commencer par là.

En effet, durant une journée d'ensoleillement moyen, il arrive sur l'Hexagone une quantité d'énergie solaire équivalente à celle produite, en quatre ans, par le parc électronucléaire français, sous forme d'électricité !

Cet ouvrage fait le point sur :

- l'utilisation passée et actuelle de l'énergie solaire
- les quantités phénoménales qui sont gaspillées
- les rendements des techniques qui nous permettent de l'utiliser
- les espérances raisonnables sur le soleil qui arrive à notre porte au quotidien
- le problème de l'intermittence de l'ensoleillement
- l'absence de l'énergie solaire dans notre culture de l'énergie, du Collégien aux spécialistes du Ministère de l'Environnement

Nord Nature Environnement en ligne
www.nord-nature.org
secretariat@nord-nature.org

Nord nature environnement fédération régionale

France Nature Environnement fne.asso.fr