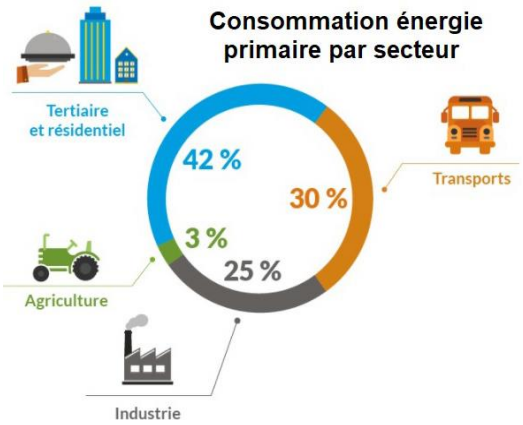
A propos de l'intermittence des énergies renouvelables

Cette notion importante qui n'a pratiquement pas été abordée par l'auteur dans ce livre a été évoquée récemment par notre Président lors de son interview à la télévision. Ceci dans le contexte du réchauffement climatique. Cette notion doit être abordée calmement en regardant les choses en face sans se cacher la réalité des chiffres. Ceci en tenant compte de la dangerosité du produire plus et en observant ce qui se passe dans Paris notre grande métropole. Sa densité urbaine étant selon l'INSEE de 20 000 habitants par kilomètre carré, chaque parisien ne dispose que de 50 m2 au sol. Lorsque l'on sait qu'un mètre carré de panneau solaire voltaïque fourni annuellement 100 kWh électrique compte tenu de l'ensoleillement en région parisienne, 50 m2 en fournissent 5000. Ceci en observant qu'avec l'empilage des logements chaque parisien disposerait sensiblement de 30 m2 habitables sauf avis contraire de l'INSEE.

Figure 1

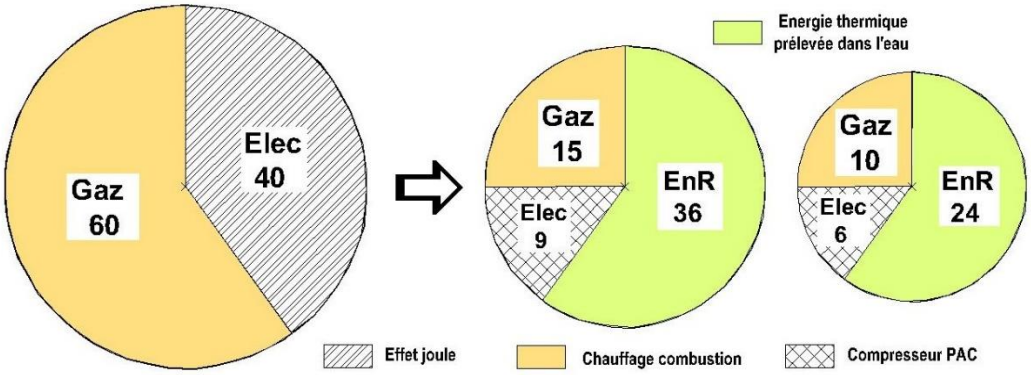


Les déperditions dans le bâtiment tertiaire et résidentiel confondus incluant l'eau chaude sanitaire représentent en France environ 42 % de l'énergie primaire consommée, ce chiffre s'expliquant principalement par les déperditions du bâtiment existant. On ne pourra pas changer significativement ce pourcentage mais en faisant un petit effort sur l'isolation, il semble raisonnable de dire que l'on doit pouvoir obtenir une déperdition moyenne dans l'existant n'excédant pas 200 kWh thermique par m² habitable.

Cela correspond à une déperdition 4 fois supérieure à celle imposée dans le neuf par la réglementation RT2012, soit dans le cas présent un besoin thermique par parisien de 6000 kWh. Ceci sans démolir Paris. Avec un COP de 6 assez facile à obtenir avec un chauffage urbain thermodynamique prélevant son énergie thermique renouvelable à la fois dans l'eau géothermal et dans l'eau superficielle comme cela est décrit dans la *"Solar Water Economy",* il ne faut plus que 1000 kWh électrique pour assurer le chauffage de son logement au lieu de 6 000 comme cela est le cas avec les radiateurs électriques. Il en reste donc maintenant 5000 kWh qui sont disponibles par rapport à la situation antérieure comme nous venons d'apprendre à le faire pour examiner les motivations d'investissement du Maître d'ouvrage. Disons seulement la moitié si la répartition effet joule combustion en France est 50/50*. Cette quantité importante d'énergie électrique peut être utilisée pour charger les batteries des voitures électriques hybrides logées dans le sous-sol des immeubles. Comme une année c'est 365 jours on peut dire qu'environ 7 kWh d'énergie électrique sont disponibles journellement, énergie qui peut être stockée par une batterie de voiture hybride pendant sa période d'inutilisation qui, on le sait, est proche de 90 % du temps total. Ceci permettrait de satisfaire l'intermittence jour-nuit de la production solaire voltaïque. Une intermittence jour-nuit du solaire voltaïque qui sera d'ailleurs bien aidée par la constante de temps thermique élevée des immeubles. On sait maintenant que la constante de temps thermique d'un immeuble comme celui du "cas pratique" est supérieure à 2 jours alors que l'intermittence du panneau solaire voltaïque est limitée à 12h. Ceci aussi avec le fait que le besoin électrique en hiver lors du cycle de nuit s'annule sans incidence pour le confort en raison de cette constante de temps thermique. De plus le solaire thermique local même tributaire du cycle jour-nuit est capable, lorsqu'il est associé à la chaleur spécifique de l'eau et à un ballon tampon, de stocker l'énergie thermique nécessaire au besoin journalier associé à la fourniture de l'eau chaude sanitaire. Il peut être de ce fait un précieux allié en diminuant d'autant le besoin en puissance électrique sur le réseau associé au solaire voltaïque.

* *En établissant le pourcentage effet-joule combustion l'INSEE nous aiderait à mieux comprendre le paysage énergétique français.*

Grâce aux excellentes performances de la *« Solar Water Economy de l'enthalpie »* permettant de réduire la quantité d'énergie électrique pour assurer le chauffage de l'habitat il sera prochainement possible de satisfaire le besoin en énergie des villes sans faire appel au nucléaire



La **figure 2** *ci-dessus faite avec un COP de 5 permet de comprendre l'intérêt de changer nos chaines énergétiques actuelles pour le poste le plus énergivore du ménage : celui du chauffage du logement. Elle montre que la consommation en énergie finale de 100 (à gauche de la flèche) avec les chaines actuelles est notablement plus faible après conversion vers la chaufferie hybride telle qu'elle est décrite dans ce livre:*

- *au lieu d'être de 40 pour l'électricité celle-ci n'est plus que de 9+6 = 14 après conversion de l'effet joule vers la PAC à compresseur échangeant sur l'eau soit 2,66 fois plus faible,*
- *au lieu d'être de 60 pour la combustion du gaz naturel celle-ci n'est plus que de 15+10 = 25 après conversion soit sensiblement 2,4 fois plus faible*

On observe que la loi de conservation de l'énergie est bien respectée dans mesure où la comparaison étant faite sans modifier l'isolation des bâtiments on retrouve bien que les déperditions thermiques dans ceux-ci sont les mêmes à gauche et à droite de la flèche

- *à gauche une déperdition égale à la quantité d'énergie finale 60 (gaz)+ 40 (électricité) = 100*
- *droite et après conversion : 15 + 10 = 25 pour le gaz, 9 + 6 = 15 pour l'électricité majoré de l'énergie renouvelable prélevée dans l'eau 36 + 24 = 60 soit une déperdition totale de 25 + 15 + 60 = 100*

Le chauffage électrique par effet joule a connu en France une forte progression entre les années 1990 et 2010 à tel point qu'en 2009, ce mode de chauffage représentait 80% des systèmes de chauffage installés dans les logements neufs. On estime que les résidences principales de plus de 8 millions de ménages sont équipées de ce type de chauffage en France. La consommation voisine de 43,6 TWh de ces logements correspondant à une consommation de 2650 kWh par habitant à raison de 2,06 habitants par ménage.

*L'estimation évaluant cette consommation par habitant à 3400 kWh (Voir page **582**) peut se justifier par le fait que les constructeurs ont été contraint d'améliorer l'isolation des bâtiments pour compenser les piètres performances du chauffage électrique par effet joule.*

Alors que la production locale du panneau solaire voltaïque en été est supérieure au besoin on peut logiquement craindre qu'en hiver, avec une production 2 à 3 fois inférieure à celle en plein été la production d'électricité journalière ne soit inférieure au besoin. Là aussi la France a réponse à ce genre de problème sans faire appel au nucléaire. Ceci avec l'hydroélectricité et des dispositifs tels que sa STEP de Grand'Maison. En effet construite depuis de nombreuses années, cette STEP avec ses 130 millions de mètres cubes d'eau disponible à 1 000 mètres au-dessus de nos têtes c'est une énergie électrique disponible à la demande voisine de 300 millions de kWh. Et ceci en ayant la possibilité de fournir une puissance équivalente à celle d'une centrale nucléaire pendant une petite semaine vue que l'on ne pourra pas tout de même vider complètement le réservoir supérieur. Etant donné que nous sommes 65 millions d'habitants en France c'est une énergie sensiblement égale à 5 kWh qui peut être restituée journellement à chacun d'entre nous par cette STEP. Comme on le voit il faudra peut-être construire d'autres STEP mais force est de constater que le problème posé par l'intermittence des énergies renouvelables naturelles particulièrement si l'on inclut l'aide des éoliennes. L'intermittence des énergies renouvelable n'est pas on le voit un problème insurmontable.

Ceci même si le vent perd parfois en force au coucher du soleil. Pour la partie électrique le porte-parole du CSLT n'est pas électricien mais il lui semble là aussi que l'autoconsommation et le stockage de l'énergie électrique devrait résoudre beaucoup de problèmes. Le raisonnement va peut-être paraître simpliste pour certains mais il s'est demandé si le *compteur Linky* était capable de compter l'énergie électrique dans les deux sens. A savoir celle qui rentre lorsque la capacité de production des panneaux solaires est inférieure au besoin et celle qui sort dans le cas contraire. En isolant non seulement l'immeuble et sa chaufferie comme cela a été fait dans ce livre mais en y ajoutant les panneaux solaires voltaïques voire thermiques on ne voit pas pourquoi il ne serait pas possible en disposant ici ou là les prises d'informations sur machine appropriées de concevoir un dispositif de contrôle électrohydrauliques basé sur la thermodynamique adaptant son comportement aux mieux des besoins de l'homme en tenant compte dans le même temps de la puissance électrique mise à sa disposition par le soleil. Vu la volonté actuelle de nombreuses sociétés de concevoir des systèmes en autonomie énergétique, il me semble d'une société comme OILGEAR pourrait avoir compte tenu de son expérience passée les compétences lui permettant de mettre en place les algorithmes de contrôle. Ceci afin de programmer dans un langage pouvant être assurément moins rapide que le langage C++ comme elle l'a fait pour les presses à forger quel doit être le comportement des organes de puissance dans le temps. Elle a largement prouvé qu'elle a la maitrise des dispositifs de contrôle **type PLC** pouvant assurer la mise en œuvre de tels ensembles. La mise en place d'une **petite centrale de production voltaïque** tel que cela a été fait récemment en région parisienne sur une station de traitement des eaux ne suffira pas pour généraliser ce type de chauffage! Il faut se faire à l'idée que pour ne pas mettre Paris sous un toit voltaïque il va falloir annexer un morceau de Beauce en indemnisant intelligemment nos agriculteurs. Quoi qu'il en soit, une société comme OILGEAR sait ce qu'il faut faire pour minimiser autant que faire se peut la puissance d'entraînement des compresseurs. Ceci afin de réduire la surface des panneaux voltaïques sans affecter le confort thermique des occupants. La société OILGEAR a de nombreux atouts pour y parvenir :

- Elle maîtrise parfaitement la technologie des systèmes électrohydrauliques en boucle fermée
- Son expérience du débit variable dans les systèmes de contrôle adaptés au forgeage avec circuit hydraulique en dérivation peut être utilisée pour contrôler avec précision le débit et donc la puissance du système thermodynamique. (Voir pages ***98*** et ***227***)
- Son expérience dans la conception de valves hydrauliques complexes associées au respect de la fonction que l'on attend d'elles dans le contexte d'un système.
- Elle honore les performances promises dans le contexte d'un contrat de performances ce qui est important pour que le montage financier respecte le retour sur investissement attendu du Maître d'ouvrage.
- Elle a aussi prouvé que l'on peut produire plus en consommant moins d'énergie dans le domaine industriel des presses à forger et à filer.

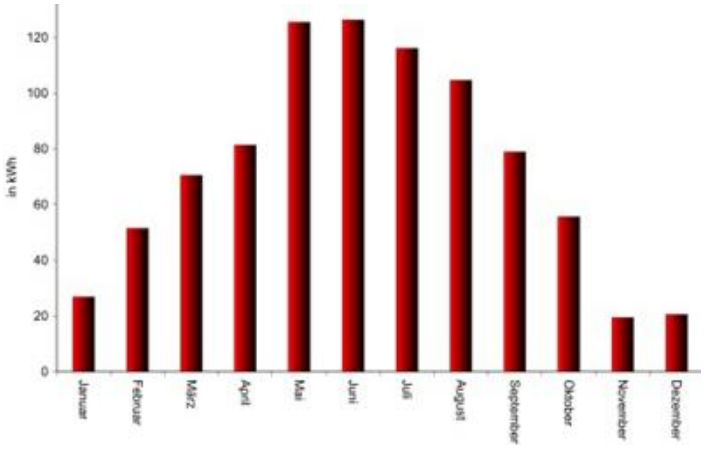
L'autoconsommation

Est-il encore besoin de revenir sur le fait que l'eau et l'électricité sont complémentaires. De revenir sur le fait qu'en refroidissant l'eau on peut chauffer l'habitat de l'Homme et inversement le climatiser en la réchauffant. La loi de conservation de l'énergie nous a appris en complément que grâce au chauffage thermodynamique l'énergie électrique consommée pour chauffer cet habitat est franchement plus faible que l'énergie thermique reçue. Bien que cet aspect n'ait pas été souvent évoquée dans ce livre et ne soit pas décrite dans la *Solar Water Economy* cette loi nous permet aussi de dire que l'énergie électrique consommée pour le climatiser est faible comparativement à l'énergie thermique émise pour le refroidir. Il va devenir plus facile et presque plus économique de consommer sa propre électricité en utilisant l'électricité que l'on produit soi-même avec des panneaux solaires voltaïques. Cette pratique, baptisée autoconsommation, est encore marginale en France. Elle consiste pour un particulier ou une entreprise à couvrir une partie de sa consommation électrique par des panneaux solaires voire des éoliennes directement raccordées à ses équipements électriques et installés chez lui. Ce mode de consommation étroitement associé à l'intermittence des énergies renouvelable et au stockage de l'énergie est largement répandu chez plusieurs de nos voisins européens et reste peu développée dans notre pays. Cette pratique consiste pour un particulier à autoconsommer localement son électricité en vendant éventuellement à EDF l'excédent de production. Par manque de règles claires de la part de l'exécutif les particuliers et les entreprises n'ont reçu de soutien réel de l'état que très récemment ce qui ne les a pas vraiment incités jusqu'à présent à se lancer freinant le développement des énergies renouvelables. L'intérêt économique d'une telle solution qui permettrait de réduire la part du nucléaire est pourtant là mais le scepticisme de l'individu à l'égard de tout ce qui est nouveau freine l'action. Ceci alors que la baisse du coût des panneaux solaires et l'amélioration de leur performance devraient pourtant encourager cette orientation. L'association *Enerplan* représentant les industriels du secteur annonce que seulement 15.000 foyers français pratiqueraient l'autoconsommation complète du courant issu des panneaux solaires sans vendre d'électricité au réseau. Quant aux plus gros équipements professionnels destinés aux collectivités, ils sont encore moins nombreux et leur passage à l'acte résultait plus d'une « Conviction personnelle en faveur du solaire » que d'une incitation de l'état. Cela dit les choses pourraient changer. Une série d'incitations ont été lancées dernièrement par l'état afin de créer un climat incitant les gros producteurs d'énergie à favoriser l'autoconsommation. La publication de texte réglementaires encadrant la pratique sur l'autoconsommation voient le jour pour les bâtiments industriels et tertiaires avec subvention à la clé. Ceci malheureusement encore une fois sans tenir compte du besoin pressant des logements d'habitation. Cela est infiniment regrettable vu que l'autoconsommation solaire est aussi intéressante lorsqu'elle se fait dans le logement collectif ou à l'échelle d'un quartier. Il semblerait pourtant qu'EDF ne soit pas opposé à cette orientation vers la production locale et l'autonomie. Ceci dans la mesure où cette société commencerait à proposer les techniques d'autoconsommation auprès des particuliers. (Voir Enercoop). La vice-présidente du groupe *Engie* pourtant orienté vers le gaz a compris que le développement de l'électricité solaire et sa consommation locale peut être à la fois rentable non seulement pour sa société, mais aussi pour ses clients professionnels, les bailleurs et indirectement pour les habitants. Engie préparerait d'ailleurs actuellement une offre dans ce sens pour les ménages. Ce développement pourrait être favorisé également par les progrès techniques réalisées avec les dispositifs de stockage par batterie qui permet d'améliorer la quantité d'électricité autoconsommée. Ceci d'autant que le prix des batteries décroit sensiblement au même rythme que les panneaux solaires ce qui pourrait compenser le fait que la durée de vie des batteries serait encore assez limitée (semble-t-

il 4 à 6 ans ?). La production décentralisée pourrait donc devenir un projet et réaliste et viable. Ceci particulièrement si l'on tient compte du fait que toute production décentralisée a plus de chances d'être consommée sur place si le panel local de consommateurs est plus large. L'autoconsommation suppose que la production locale d'électricité auto-produite en excédent du besoin ou à contrario venant du secteur dans le cas contraire soit comptabilisée par la mise en place de compteurs électriques réversibles totalisant les kWh sortants et rentrants. Dans le cadre de la rénovation énergétique de l'habitat les néerlandais ont compris l'intérêt résultant de l'implantation de panneaux solaires sur le toit les habitations en constatant que la production annuelle équilibre en valeur moyenne la consommation. Il faut dire que ces pays sont très en avance sur nous concernant l'isolation des bâtiments et sur les chaînes énergétiques utilisées pour les chauffer. Au travers des différents paramètres associés à la rénovation thermique d'un immeuble en région parisienne on se rend compte que l'autoconsommation n'est pas un leurre même s'il est nécessaire que la production de l'énergie thermique soit associée non seulement à l'eau chaude sanitaire mais aussi au chauffage. Ceci particulièrement si l'on s'oriente vers une chaufferie hybride combustion-chauffage thermodynamique associée à une isolation raisonnable (immeubles sans balcons) qui diminue le besoin en électricité. On constate toutefois que si l'habitat peut moyennant un sérieux effort au niveau des infrastructure être en indépendance énergétique en valeur moyenne, il peut ne peut l'être continuellement. Ceci même s'il y a un excédent d'autoproduction solaire en été et en mi saison pendant des périodes prolongées compensant sensiblement le manque hivernal pendant une période plus brève. Ceci sous-entend qu'un mini-réseau local sera encore utile au plus froid de l'hiver. Même avec la chaufferie hybride qui fonctionne pourtant en mode combustion au plus froid de l'hiver il y a un manque pendant cette période. Le stockage de l'énergie électrique excédentaire en été et sa restitution à la demande en hiver serait bien utile en raison de l'alternance hiver-été du voltaïque. Il ressort en effet que si les piles, voire le stockage par inertie mécanique sont adaptés à l'alternance jour-nuit des renouvelables ces composants ne le sont pas pour l'alternance été-hiver. Vu les niveaux de puissance et d'énergie nécessaire en hiver et la difficulté de stocker de grosses quantités d'énergie électrique il semble plutôt préférable de s'orienter vers la diminution du besoin global en énergie primaire résultant de l'amélioration des performances de la génération thermique. Notre intérêt est d'associer intelligemment la combustion et le chauffage thermodynamique pour diminuer le besoin en électricité.

Figure 3

L'abaque ci-contre montre la production d'électricité de panneaux voltaïques en Allemagne. On remarque que la production électrique en période hivernale est 5 à 6 fois plus faible que celle en période estivale.



*Pour venir au secours du voltaïque, et satisfaire le besoin en énergie des villes en permanence l'hydroélectricité assistée par l'éolien et les centrales classiques au gaz semble mieux à même de lisser cette courbe que les **STEP** hydroélectriques. Ceci vu que la capacité de stockage de l'électricité de ces dernières est plutôt hebdomadaire que mensuelle. Il y aurait bien aussi les piles à combustible fabriquant de l'hydrogène sur le principe de la plateforme de recherche Myrte qui pourrait stocker l'énergie sous sa forme hydrogène pour générer de l'électricité à la demande mais*

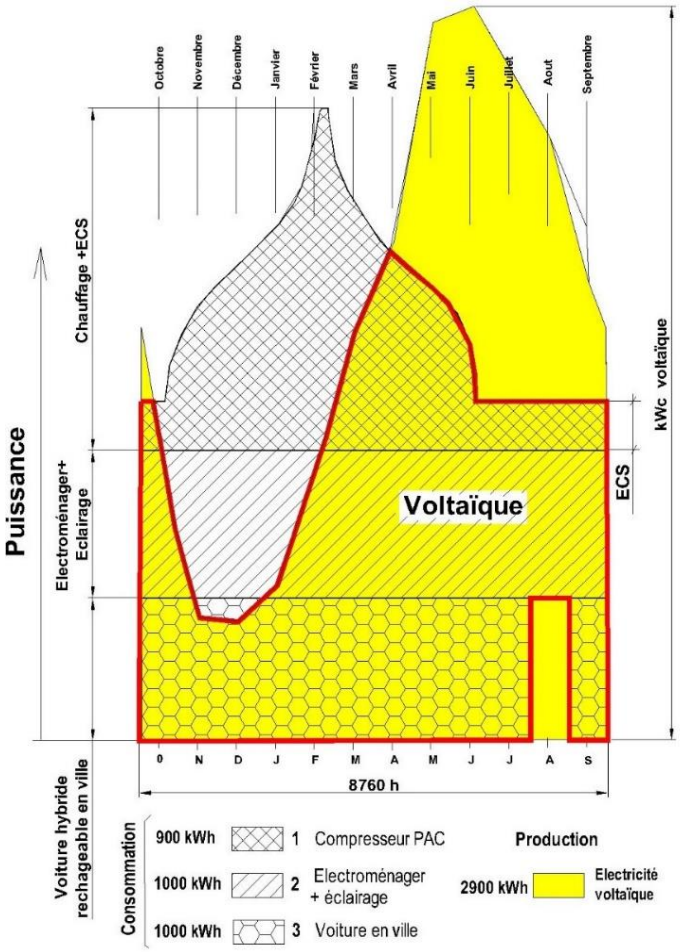
le cout pour le contribuable de cette chaîne énergétique est telle qu'elle semble malheureusement inenvisageable pour l'instant. Quoiqu'il en soit un débat contradictoire pourrait bien conduire à reconnaître l'utilité de l'autoconsommation non seulement pour la maison individuelle mais également pour la copropriété. Mais Il faut se rendre à l'évidence, même après mise en place de la « Solar Water Economy » le besoin en électricité restera tel qu'il faudra aménager dans la périphérie des villes et sur les terrains inondables des centrales solaire voltaïque voire même empiéter sur les terrains agricoles non utilisés. Ceci en organisant une autoconsommation à l'échelle de la région. Cette production locale par des centrales de production voltaïques situées en périphérie de Paris devra à l'évidence prendre en compte l'intermittence hiver-été du voltaïque renouvelables et les importantes énergies mises en jeu. Et ceci même si le risque de surcharger le réseau électrique au plus fort de l'hiver est nul avec la chaufferie hybride par le fait que cette dernière est en mode combustion au plus fort de l'hiver.

Figure 4

L'abaque ci-contre donne une vision de l'évolution du besoin moyen en électricité d'un parisien au cours d'une année ainsi que de la production d'une vingtaine de m² de panneaux solaires implantés en région parisienne.
La consommation moyenne électrique par habitant est exprimée en kWh pour les 3 postes

1 chauffage-ECS représenté avec un COP de 5,*
2 électroménager-éclairage,
3 voiture individuelle. Ceci avec des voitures hybrides en mode électrique lors de la circulation en ville hors mois d'aout. Pour justification, on peut se reporter aux valeurs de consommation indiquées page ***574****.*

La production d'électricité voltaïque fortement influencée par les saisons est en jaune. Parfois supérieure au besoin pendant la période s'échelonnant du mois de mai au mois de septembre elle est inférieure à celui-ci entre les mois de novembre et mars, la production étant sensiblement égale au besoin les mois d'octobre et d'avril. L'autoconsommation (pourtour en trait rouge) représente sensiblement 70% du besoin.



La question peut se poser pour l'eau chaude sanitaire (ECS), de savoir s'il préférable de prévoir un chauffe-eau avec des panneaux solaires thermique ou une génération thermodynamique par PAC à compresseur. Les performances de ces 2 chaînes énergétiques sont en effet comparables vu que qu'un panneau solaire thermique a des performances sensiblement 5 fois supérieures à celles du panneau solaire voltaïque alors qu'avec son COP de 5 une pompe à chaleur aquathermique a des performances comparables. Pour des raisons pratiques et en raison de la souplesse qu'apporte la régulation électrique, l'évolution va probablement se faire vers la PAC aquathermique à compresseur. C'est d'ailleurs la solution qui a été retenue pour la chaufferie hybride évoquée dans ce livre ainsi que dans la* ***figure 2* *ci-dessus.*

*** Moyennant un effort sur l'isolation à la portée des immeubles existants difficiles à isoler après coup et l'usage d'une chaufferie hybride GAZ-ENR, la puissance électrique maximum kWc d'origine voltaïque du mois de juin peut être évaluée à environ 3 kW*

Alors qu'il est totalement inenvisageable d'alimenter un chauffage électrique du style effet joule en raison de la puissance élevée requise en hiver, il est possible de le faire avec les pompes à chaleur à compresseur échangeant sur l'eau. Ceci par le fait qu'avec ce type de PAC la puissance électrique requise pour assurer cette fonction est 4 à 8 fois plus faible selon la température requise à la source chaude. La puissance maximum nécessaire pour assurer le chauffage en hiver devient alors pour un même besoin thermique à peine supérieure à celle requise pour le besoin électroménager-éclairage ou à celle utile au chargement des batteries de la voiture hybride. Ceci particulièrement avec la chaufferie elle aussi hybride gaz électricité qui supprime la pointe de puissance électrique pendant la période hivernale la plus froide. Cela selon une technologie connue des chauffagistes en tant que PAC en relève de chaudière à gaz. Avec ce type de chaîne énergétique la production photovoltaïque excédentaire par rapport au besoin pendant la période estivale sera utilement utilisée localement lorsque les piles à combustible seront capables de produire l'hydrogène à un prix compétitif ce qui n'est pas semble-il encore le cas en France. Entre les mois d'octobre et d'avril, l'intégralité de la production d'électricité générée localement par le voltaïque peut être autoconsommée localement mais la puissance disponible sur les panneaux solaires est insuffisante pour assurer le besoin. Les technologies disponibles pour assurer le complément manquant sont nombreuses. La production peut être assurée relativement localement par l'éolien, la combustion des ordures ou par l'hydrogène produite par les piles à combustibles. Ceci préférentiellement à la production certes plus puissante mais plus éloignée des STEP et du nucléaire. L'idéal serait de pouvoir stocker l'importante énergie électrique excédentaire** pendant la période estivale pour la récupérer en hiver. Le problème est que les capacités de restitution à la demande des STEP comme celle de Grandmaison plutôt hebdomadaire que mensuelle ne sont pas à l'échelle des énergies mises en jeu. Il y aurait bien les capacités qu'offrent les piles à combustible et leur capacité à produire le combustible hydrogène, le problème est dans l'état actuel des choses le prix prohibitif de cette chaîne énergétique. L'abaque ci-dessus ne prenant pas en compte l'industrie et l'agriculture cette production excédentaire pourrait être utilisée pour les alimenter.

Les objectifs fixés par l'ONU concernant la santé publique et les problèmes touchants nos écosystèmes ne pourront être résolus qu'en abandonnant les chaînes énergétiques actuelles pour produire l'électricité avec le nucléaire, nous chauffer et alimenter notre voiture. La production décentralisée d'électricité solaire et la production d'hydrogène aidée par la production électrique assurée par les éoliennes et l'hydroélectricité pourrait jouer un rôle essentiel pour solutionner le problème posé par l'intermittence des énergies renouvelables.

Ceci en :

- solutionnant le problème lié à l'épuisement progressif des énergies fossiles
- aidant à respecter l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre,
- offrant une perspective dans le délicat équilibre à trouver en matière de choix énergétiques.
- participant à résoudre le problème de l'intermittence été-hiver de l'énergie électrique solaire
- s'inscrivant dans l'abandon du nucléaire et de la combustion des produits fossiles.

L'hydroélectricité et l'éolien confondus ne couvrant que 13% de la consommation totale d'électricité sur l'hexagone français il faudra bien trouver une solution pour fournir le complément. Le soleil pourrait jouer à ce sujet jouer un rôle essentiel. Mais il faut se rendre à l'évidence, compte tenu des performances déplorables de nos chaînes énergétiques actuelles pour nous chauffer et alimenter notre voiture les énergies électriques renouvelables émanant du soleil avec le voltaïque et du vent avec les grosses éoliennes même aidées par la combustion des ordures sont incapables de satisfaire notre besoin en énergie pendant la période hivernale.

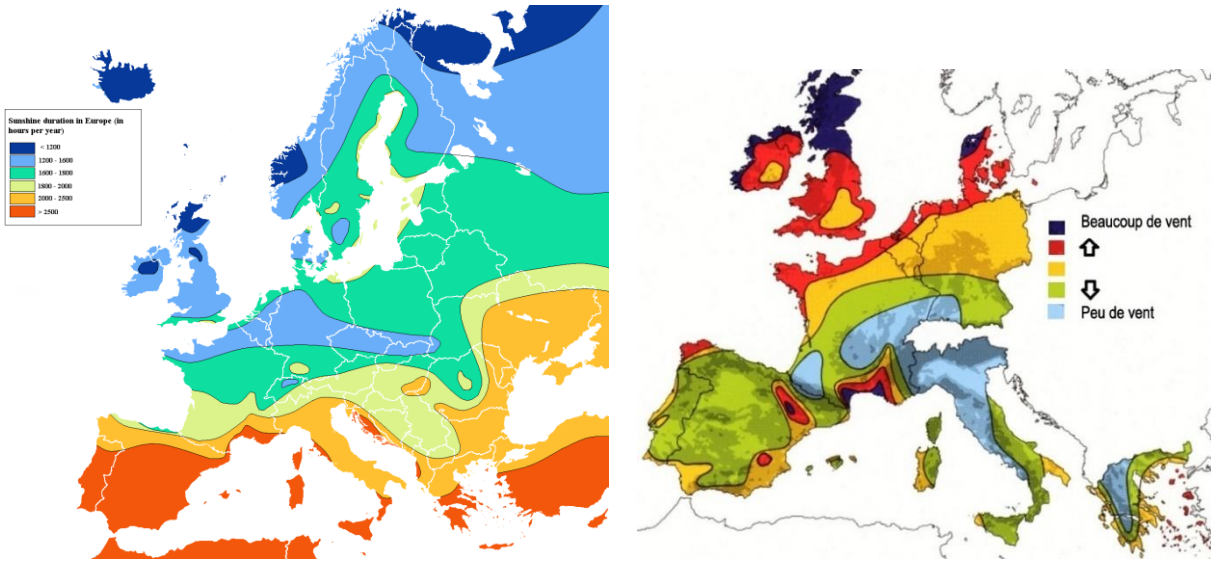


Figure 5 et 6 *Le soleil et le vent en Europe*

Ceci non seulement du fait de leur intermittence mais aussi pour des raisons quantitatives. Jusqu'ici seules les technologies utilisées dans le nucléaire par EDF étaient capables d'assurer cette fonction. Mais il faut maintenant se rendre à l'évidence : la génération de l'énergie électrique nucléaire a beau être maintenant parfaitement au point et les risques de contamination du personnel travaillant sur les chantiers extrêmement faibles, il est clair que le prix de revient du kWh électrique d'origine nucléaire est maintenant trop élevé par rapport aux technologies concurrentes. Ceci en raison des investissements énormes qui doivent être consentis au départ pour la mise en place des centrales nucléaires nouvelle génération et le fait qu'il faut ensuite :

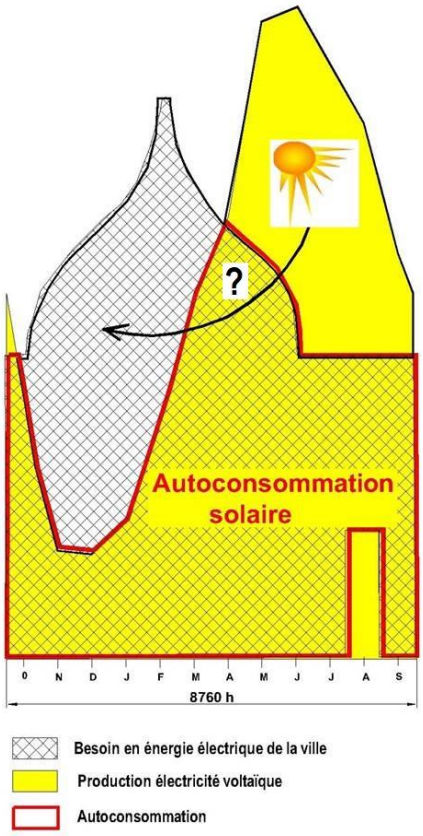
- assurer impérativement leur sécurité de marche
- stocker les déchets radioactifs qu'elles génèrent
- financer leur entretien et leur démantèlement en fin de vie

La **figure 7** ci-contre montre que l'autoconsommation (pourtour en trait rouge) représente sensiblement 70% du besoin. Toutefois que même avec la *« Solar Water Economy de l'enthalpie »* l'autoconsommation de l'énergie solaire voltaïque n'est pas suffisante pour satisfaire le besoin en énergie d'une ville comme Paris entre les mois de novembre et février. Heureusement plusieurs solutions complémentaires sont envisageables pour satisfaire le besoin en énergie pendant cette période.

- L'implantation de quelques centrales classiques basées sur la combustion du gaz naturel dans des turbines comme celle toute neuve de 500 MW réalisée par General Electric dans le nord de la France
- L'énergie délivrée par les éoliennes qui fournissent une puissance électrique intermittente malheureusement très dépendante* de la vitesse du vent.

Les centrales de combustion des ordures

Les 3 méthodes ci-dessus étant aidées par les capacités de stockage de l'énergie électrique à peine hebdomadaires procurées par les STEP hydro-électriques malheureusement souvent éloignées du lieu de consommation



**Très dépendante même puisque cette puissance est proportionnelle dans la pratique au cube de la vitesse du vent. A ce sujet le Syndicat des Energies Renouvelables (SER) ne pourrait-il afin d'y voir un peu plus clair parler enfin en termes d'énergie fournie annuellement par l'éolien plutôt que d'évaluer les capacités des parcs en puissance. Ceci pour faciliter la comparaison de l'énergie produite par exemple par l'éolien avec les autres modes de production de l'électricité. Un vent parfois trop faible rend nécessaire la mise en place d'une notion de facteur de charge. Pour comprendre prenons l'exemple du 3ème parc éolien français en termes d'importance. Celui-ci serait de 75 MW installés. Il y a tout lieu de penser à une notion de puissance nominale liée dans la pratique à la puissance maximum qu'il est envisageable de produire avec ce parc éolien de telle sorte que l'on soit parfaitement à l'abri de la casse. Si l'on en croit les prévisions de production annuelle de ce parc de 183 000 MWh par an, la puissance moyenne effective ne serait que de 20,9 MW. Cela pourrait alors signifier que l'électricité produite en kWh par l'éolien en France peut être calculée à partir d'un fonctionnement à pleine charge pendant seulement 2 440 heures par an (sur 8 760 heures). Le facteur de charge attendu du parc éolien français limité à environ 30% semble bien faible par rapport à des zones ventées comme les zébrides. A noter toutefois qu'un nouveau design de très grosse éolienne fabriqué par les américains aurait un facteur de marche proche de 60%. Un exemplaire réalisé par General Electric en collaboration avec Alsthom serait implanté prochainement en France.*

Enfin il y aurait bien cette méthode dite de la *« Solar Water Economy de l'hydrogène »* consistant à stocker sur plusieurs mois l'énergie excédentaire produite en été grâce au soleil. Ceci avec l'idée d'utiliser l'énergie électrique solaire produite en excédent par rapport au besoin entre les mois de mai et septembre afin de produire de l'hydrogène par électrolyse. Ceci de telle sorte que cet hydrogène soit réutilisé l'hiver pour assure le complément d'énergie nécessaire. (Voir la flèche de la figure 7) L'hydrogène peut en effet être considéré comme un combustible ayant la capacité de produire de l'électricité et de l'énergie thermique à la demande.

Ceci avec une chaîne énergétique utilisant l'hydrogène pour alimenter une pile à combustible capable de produire à la fois électricité et chaleur ou une turbine à gaz voire un moteur à combustion interne fonctionnant à hydrogène. Ceci pour produire de l'électricité avec un alternateur comme le fait une turbine hydraulique. La chaîne énergétique serait du genre : *Electricité solaire estivale > stockage du type hydrogène comprimé > électricité industrielle hivernale > chaleur principalement renouvelable*. Le confort du citoyen en hiver serait alors assuré grâce à la complémentarité les deux *"Solar Water Economy"* celle de « l'enthalpie » et celle de « l'hydrogène ». Vu la complexité de cette chaîne énergétique et le coût de l'énergie rendue à l'utilisateur, l'idée selon laquelle cette génération pourrait satisfaire des enjeux industriels importants par le fait que de nombreuses centrales classiques arrivent en fin de vie est une utopie. La mise en place de la chaîne énergétique consistant à produire de l'hydrogène à partir du solaire n'est d'ailleurs pas véritablement d'actualité en France. La France avec la pile à combustible de Michelin en produisant plus de 4 millions de kWh d'électricité en 24 000 heures de fonctionnement ouvre cependant la voie. L'Allemagne a elle aussi perçu l'importance du marché associé à la production d'hydrogène gazeux pour assurer le chauffage de l'habitat. Nos voisins allemands sont maintenant capables de transmettre et de produire à la demande des puissances voisines de 1000 kW (un MW) en utilisant l'hydrogène. A noter aussi que la société Engie semble être au cœur des évolutions qui se dessinent actuellement dans ce domaine

L'aspect financier

La fiscalité allemande semble mettre en évidence que l'autoconsommation couplée au stockage devient plus intéressante lorsque le courant réseau est onéreux à l'achat. Il faudra toutefois prendre garde que la fiscalité et les considérations financières ne sont pas l'essentiel vu que la finalité est en finale de satisfaire le besoin c'est-à-dire le confort de l'occupant en consommant un minimum d'énergie finale. Il faudra donc trouver un juste milieu vu que à contrario on constate de la baisse du prix de vente du kWh électrique en l'équilibrant sur celui du gaz pourrait être un facteur favorable au développement du chauffage thermodynamique et à la production des énergies renouvelables. Ceci pour la raison que cette orientation incite financièrement le maître d'ouvrage à investir. L'autoconsommation associée à la production locale de l'électricité c'est la suppression des frais de transport et d'entretien du réseau qui atteindraient un pourcentage important du prix de vente de 0,15 € le kWh. (Proche de 70% selon certaines sources) Ceci alors que le prix de revient du Mwh électrique d'origine nucléaire serait d'environ 60 € soit 0,06 € le kWh. Le prix du MWh éolien serait quant à lui proche de 80 € le MWh soit 0,08 € le kWh. A ces coûts de production, il faut ajouter les importants coûts de transport et de pertes diverses en ligne et les frais de commercialisation.
Lorsque le prix de l'énergie électrique augmente, il n'y a pas que l'autoconsommation qu'il devient intéressant de pratiquer pour le chauffage de l'habitat : il devient alors aussi nécessaire de reconsidérer avec attention la façon dont on la consomme. Ceci en reconsidérant les chaînes énergétiques utilisées pour se chauffer à partir de l'énergie électrique comme cela est indiqué sur la figure 2. Il serait temps à ce sujet que la France reconnaisse l'erreur de la RT 2005**.**
Il faudra aussi tenir compte du secteur géographique de l'hexagone. Si 3 kWc produisent 3000 kWh / an en moyenne (calcul sur 1000h) ce sera plutôt 2500 dans le nord et 4000 kWh / an dans le sud.
Il faudra enfin se méfier des prix pratiqués pour le stockage batterie dans les foyers. Les offres et les prix pratiqués par des sociétés comme *SolarEdge, SolarWatts, Victron, LG* dans une technologie Li-Ion ou LiFEPO4 sont certes maintenant intéressantes en tarifs mais peuvent fortement dépendre de celui qui fait le devis !! Le problème pourrait être des devs surévalués de la part des grosses sociétés. Avant de parler de la rentabilité de l'autoconsommation, il faudra examiner soigneusement les RARES BONS DEVIS en sa possession !
Les panneaux voltaïques seraient plutôt rentables pour 6 et 9 kWc ! Quant aux 3 kWc les frais de raccordement élevés sont dissuasifs alors les tout petit moyens seraient corrects (500Wc ou 1 ou 2 Kwc avec ou sans batteries). Pour ces circuits sans batteries, il y a des gestionnaires d'énergies comme *Energy Manager* de *SolarWatts* qui permettent d'envoyer pendant le jour le surplus d'électricité dans un ballon ECS par exemple. Et ceci heureusement au travers d'une pompe à chaleur vu que le ballon électrique effet joule est décidément dissuasif côté performance.
Des constructeurs comme *Zeplug* spécialisés dans les bornes de recharge pour batteries de voitures hybrides vont avoir leur mot à dire en ce qui concerne l'autoconsommation compte tenu du fait que les voitures sont souvent parquées dans le sous-sol des immeubles. Ceci dans le cadre de l'alternance jour-nuit du voltaïque constitué par les panneaux voltaïques en toiture complété par quelques centrales voltaïque en périphérie des villes. Dans ce cadre le duo formé par une isolation raisonnable associé au chauffage thermodynamique pourrait bien être le duo gagnant pour la maison individuelle voire pour l'immeuble en termes d'écologie, de pouvoir d'achat, d'économie et de lutte contre le CO2. Ceci s'il est associé préférentiellement à une génération thermique échangeant l'énergie renouvelable sur l'eau plutôt que sur l'air en excluant la pompe à chaleur air/air en raison de son mauvais rendement. Et ceci bien que paradoxalement ce type de PAC soit celui qui est paradoxalement le plus installée actuellement probablement en raison de sa réversibilité.

**Dans le cadre des problèmes associés au prix de l'énergie on peut dire en aparté qu'en raison d'un soutien public à EDF et Areva c'est en France une aide de plus de 5 milliards d'€ qui est versée à ces sociétés par l'état aux frais du contribuable.*