



www.cnrs.fr

Formation Energie

Vendredi 22 avril, Villeurbanne





Accueil :

- Sébastien Buthion, responsable pôle communication CNRS Rhône Auvergne
- Georges Grousset, IPR SVT, Rectorat de Lyon



Présentation de la journée :

Matin : Session Plénière

- Contextualisation
- Les évolutions en cours
- De l'efficacité énergétique

Après-midi : 2 ateliers aux choix parmi les 3 proposés

Cartes ressources pour les enseignants

Salle informatique de l'IPNL, bât. Paul Dirac, La Doua.

Expériences reproductibles en classe dans le domaine de la thermique

Au Centre de thermique de Lyon, Bât. Sadi Carnot, La Doua

L'Institut de recherches en catalyse et en environnement de Lyon

Bât. Ircelyon, Salle 401, Campus CNRS.



www.cnrs.fr

Formation Energie

Vendredi 22 avril, Villeurbanne



Compte rendu réalisé par Basile Perrin-Reymond, stagiaire Service Communication DR7-CNRS



Introduction par Georges Grousset

- 1 | Contextualisation
- 2 | Evolution en cours
- 3 | Efficacité énergétique



www.cnrs.fr

1. Contextualisation

a) Energie, chiffres mondiaux et situation globale

par François Buret, directeur adjoint du Laboratoire Ampère (Ecole Centrale de Lyon/ Insa de Lyon/ Lyon 1/ CNRS)



Dans cette partie vous pouvez trouver des informations générales sur la place de l'énergie dans le monde. Le premier volet concerne l'historique de la consommation des énergies primaires. Le second volet est un aperçu de la répartition de la consommation mondiale selon les pays et les ressources. Puis, vous trouverez dans une troisième partie, la place de l'électricité. Ensuite le quatrième point porte sur les ressources d'énergies fossiles et enfin le dernier aspect aborde quelques éléments de réflexion.



Sommaire

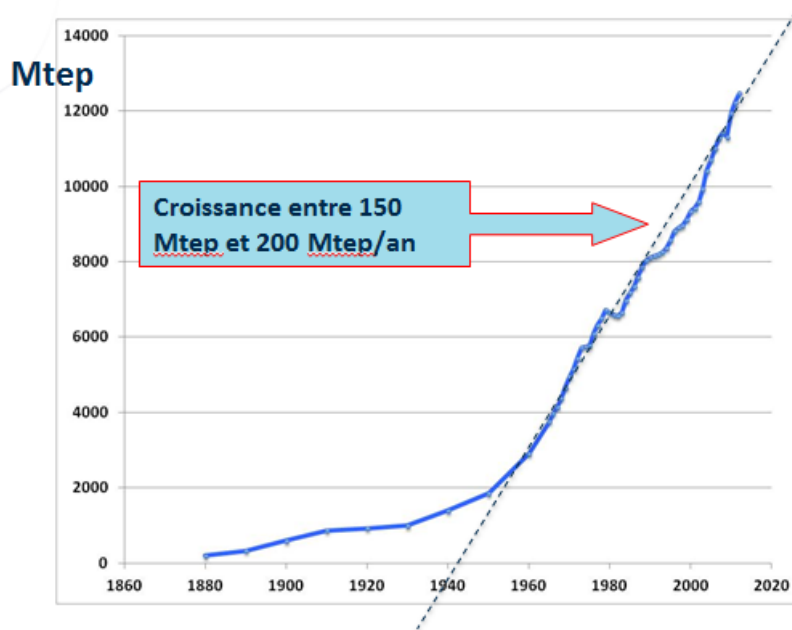
- **Consommation mondiale d'énergie primaire**
- **Mix énergétique**
- **Focus sur l'électricité**
- **Réserves**
- **Quelques éléments de réflexion**



P. 8

Energie primaire

- Evolution de la consommation annuelle



1tep = tonne
équivalent pétrole
1 tep= 41,8 GJ

Monde
1,7 tep/an/hab.
France
4,3 tep/an/hab.
pétrole
USA
7 tep/an/hab

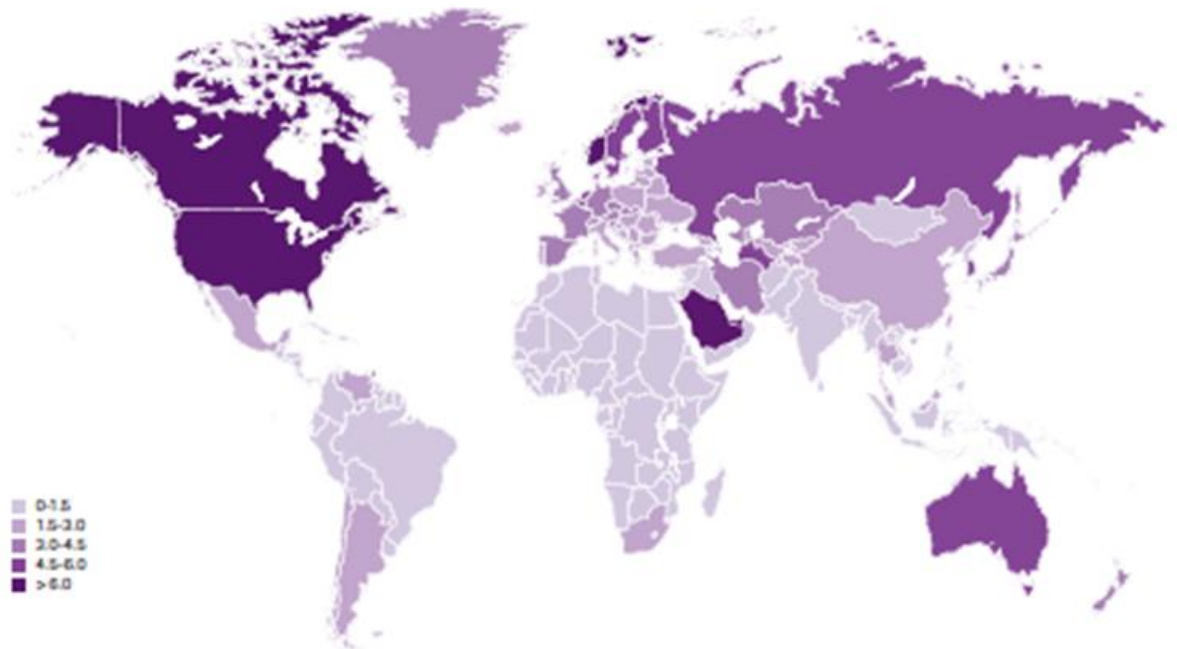
F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy -juin 2013 - www.bp.com

On remarque, depuis la seconde guerre mondiale, une forte augmentation de la consommation d'énergie primaire mondiale. Celle-ci est corrélée avec l'avènement de la « société de consommation » dans les pays occidentaux. Cependant on observe un léger décrochement en 1973 suite au premier choc pétrolier. Actuellement, la consommation mondiale augmente de 150 à 200 Mtep chaque année. Mais on note beaucoup d'inégalité car : un américain consomme en moyenne 7tep par an alors qu'un français consomme 4,3tep par an et que la moyenne mondiale s'établit autour de 1,7 tep par an.



P. 9

- Consommation annuelle d'énergie primaire par habitant



Source *BP Statistical Review* – juin 2013 (www.bp.com)

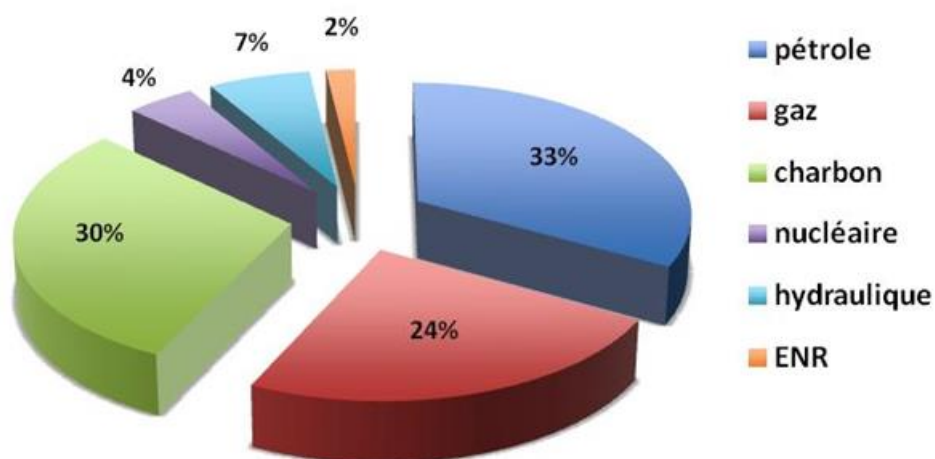
Les pays qui consomment le plus d'énergie sont ceux avec les économies les plus puissantes comme les Etats-Unis par exemple. Ce sont également les pays où les ressources énergétiques sont présentes en grande quantité comme l'Arabie Saoudite. On note une grande différence entre l'hémisphère Nord et l'hémisphère Sud.

Mix énergétique



P. 10

- Répartition de l'utilisation des ressources : ressources fossiles carbonées à 87%



F. BURET d'après chiffres 2012 – source BP [Energy review](http://www.bp.com) - www.bp.com

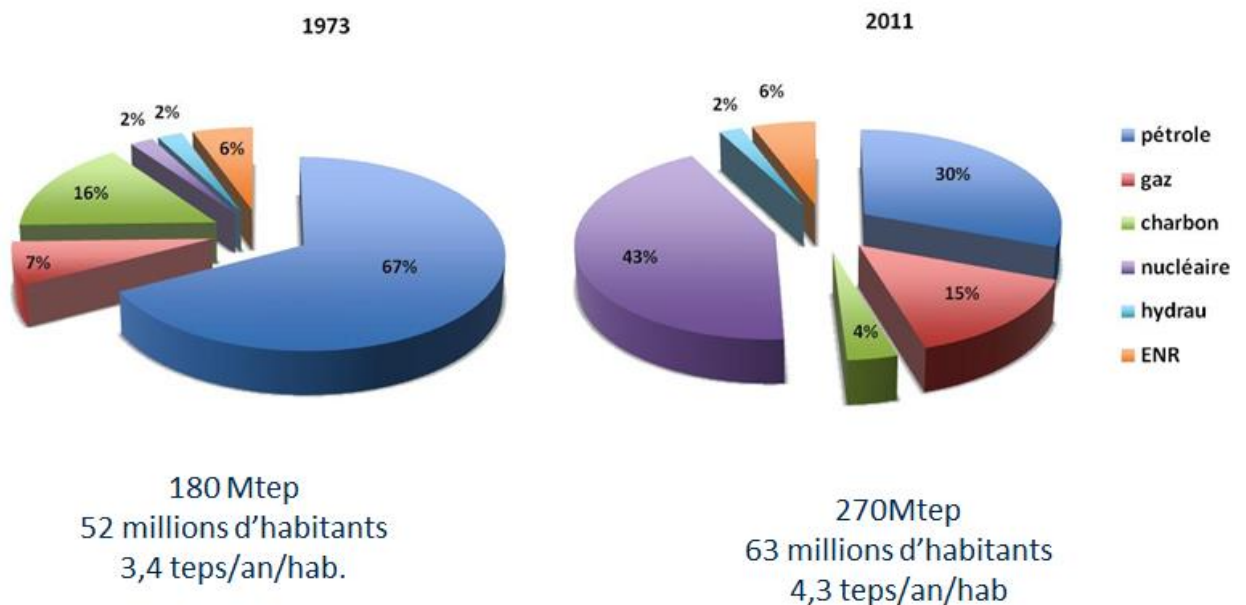
Le mix énergétique représente la répartition de l'utilisation des ressources. Le carbone fossile désigne l'élément carbone présent sous différentes formes dans la croûte terrestre. Les ressources fossiles carbonées, c'est-à-dire le pétrole, le charbon et le gaz, sont à l'origine de 87% de l'énergie utilisée. L'énergie hydraulique et les énergies renouvelables sont utilisées pour respectivement 7% et 2%. À noter que le nucléaire ne représente que 4 % de l'énergie utilisée.

Mix énergétique



P. 11

- Un exemple d'évolution : le cas français entre 1973 et 2011



F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy -june 2013 - www.bp.com

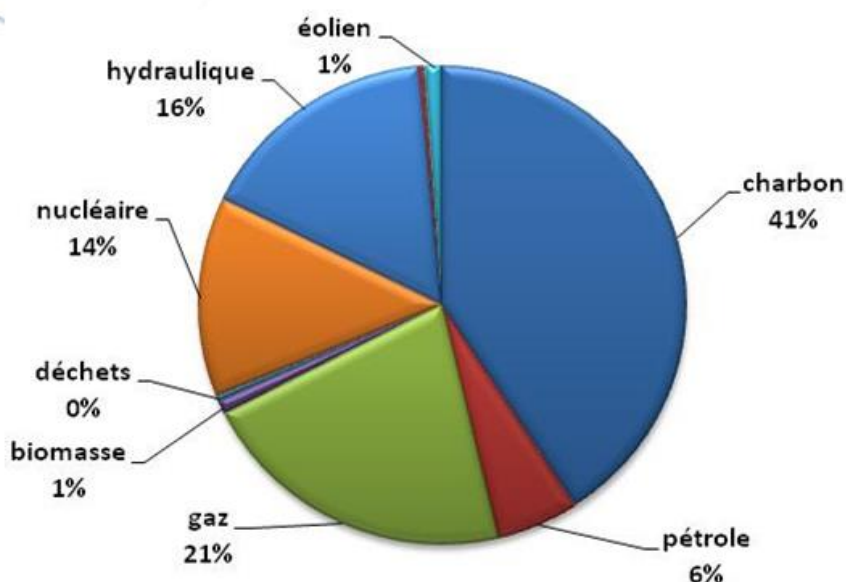
En France, la répartition de l'utilisation de l'énergie a beaucoup évolué depuis 1973. Par exemple, il y a eu une explosion de l'utilisation du nucléaire entre 1973 et 2011 avec le passage de 2% de part d'utilisation de cette énergie à 43%. Cette croissance s'est faite au détriment du pétrole dont la part a été plus que divisée par 2. La consommation globale a également fortement augmentée, ramenée par habitant et par an, elle est passée de 3.4tep en 1973 à 4.3 tep en 2011.

Place de l'électricité



Mix énergétique pour la production d'électricité (monde 22500 TWh en 2012)

P. 12



F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy -juin 2013 - www.bp.com

68% de la production utilise une ressource carbonée

82% de la production est effectuée par la voie thermodynamique

4600 Mt d'énergie primaire sont consommées pour produire de l'électricité; soit environ 1/3 de la consommation totale

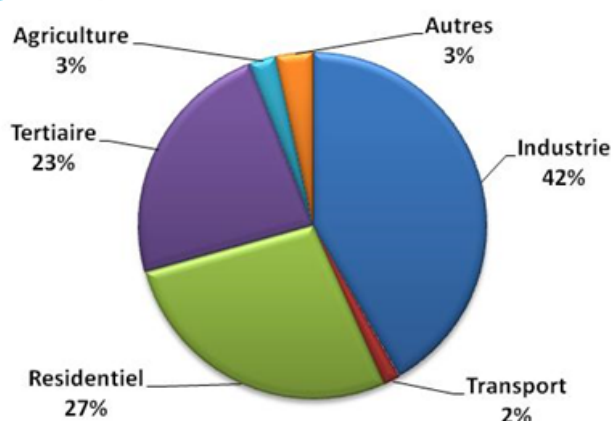
Au niveau mondial, le charbon représente encore 41% du mix énergétique, vient ensuite le gaz avec 21%. On note que le nucléaire et l'hydraulique occupent environ les mêmes parts. En tout, c'est un tiers des ressources énergétiques qui sont utilisées pour produire de l'électricité.

Place de l'électricité

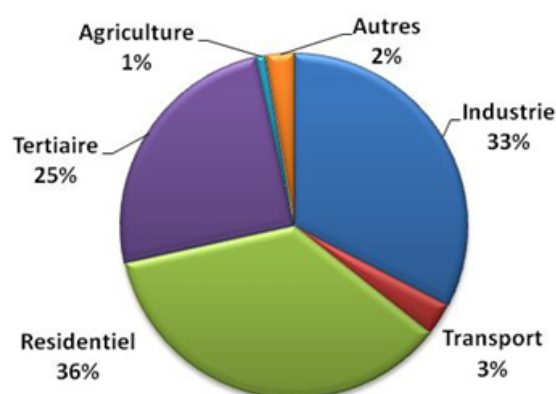


- Consommation d'énergie électrique par secteur : poids du secteur résidentiel et tertiaire

P. 12



monde



France

F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy - juin 2013 - www.bp.com

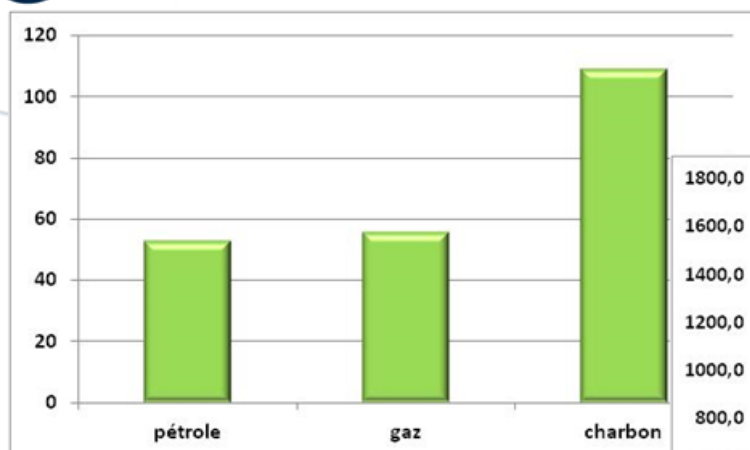
= les comportements individuels constituent l'essentiel de la consommation d'énergie

Alors que l'on pourrait penser que l'industrie accapare la majorité de la consommation d'énergie électrique, on peut voir que les proportions du résidentiel et du tertiaire ne sont pas en reste avec la moitié de cette consommation. Pour la France, le secteur résidentiel (36%) est même devant le celui industriel (33%). En fait l'industrie a beaucoup rationalisé sa consommation contrairement aux autres secteurs. La part importante du résidentiel montre bien que chacun de nous est responsable.

Réserves d'énergie fossiles



Ratio Réserves/Production en années (2012)



Cependant, la notion de réserve est complexe; elle évolue en fonction des découvertes mais également de la technologie et des conditions économiques.

Il ne faut pas la confondre avec la notion de ressources, qui elle, est figée.



Figures : F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy -
juin 2013 - www.bp.com

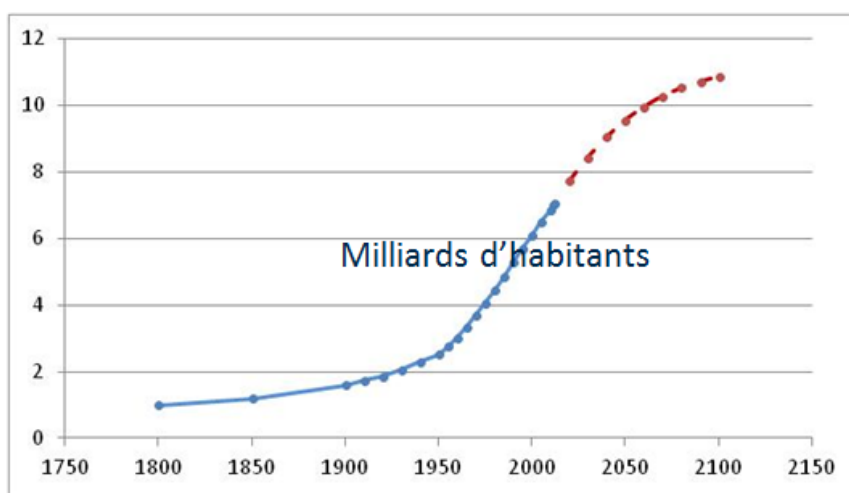
Le ratio entre les réserves et la production des énergies fossiles est sujet à discussion. Il n'est pas simple à établir car il dépend principalement des techniques d'extraction et des moyens que l'on dispose lors de son évaluation. C'est pour ça que les réserves prouvées ne cessent d'augmenter au cours du temps en même temps que les techniques de détection s'améliorent. Les estimations nous donnent des réserves de pétrole pour 50 ans, de gaz pour 60 ans et de charbon pour une centaine d'années.

Quelques éléments de réflexion



P. 15

- Ressources essentiellement carbonées
- Problème environnemental associé aux émissions de CO₂
- Augmentation de la population mondiale



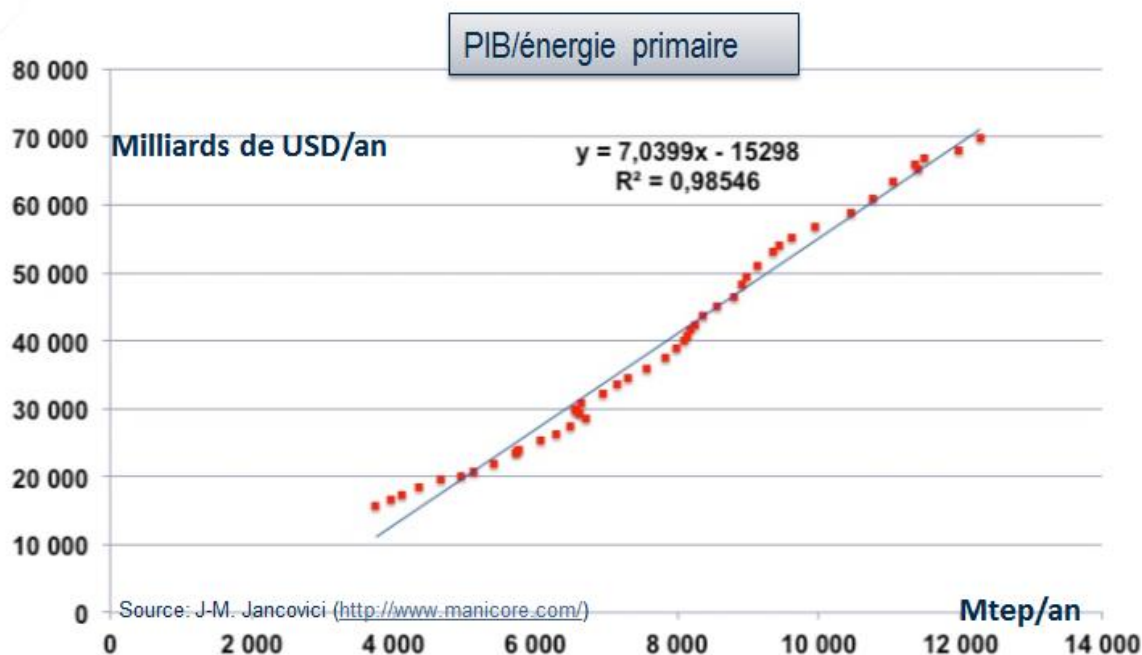
F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy -june 2013 - www.bp.com

Projection 2030
9 milliards d'habitants
2tep / habitant
⇒ 18000 Mtep

En croisant l'évolution démographique mondiale et les ressources en énergie qui seront nécessaire pour vivre, les estimations pour 2030, basées sur une population de 9 milliards d'habitants et une consommation moyenne d'énergie de 2tep par habitant, donnent une estimation de 18000 Mtep d'énergie consommés. Pour rappel, en 2011, cette consommation s'élève à 9000 Mtep, c'est donc le double. Cela repose le problème environnemental et du réchauffement climatique.

Quelques éléments de réflexion

Modèle économique dominant avec un fort couplage
PIB/consommation d'énergie

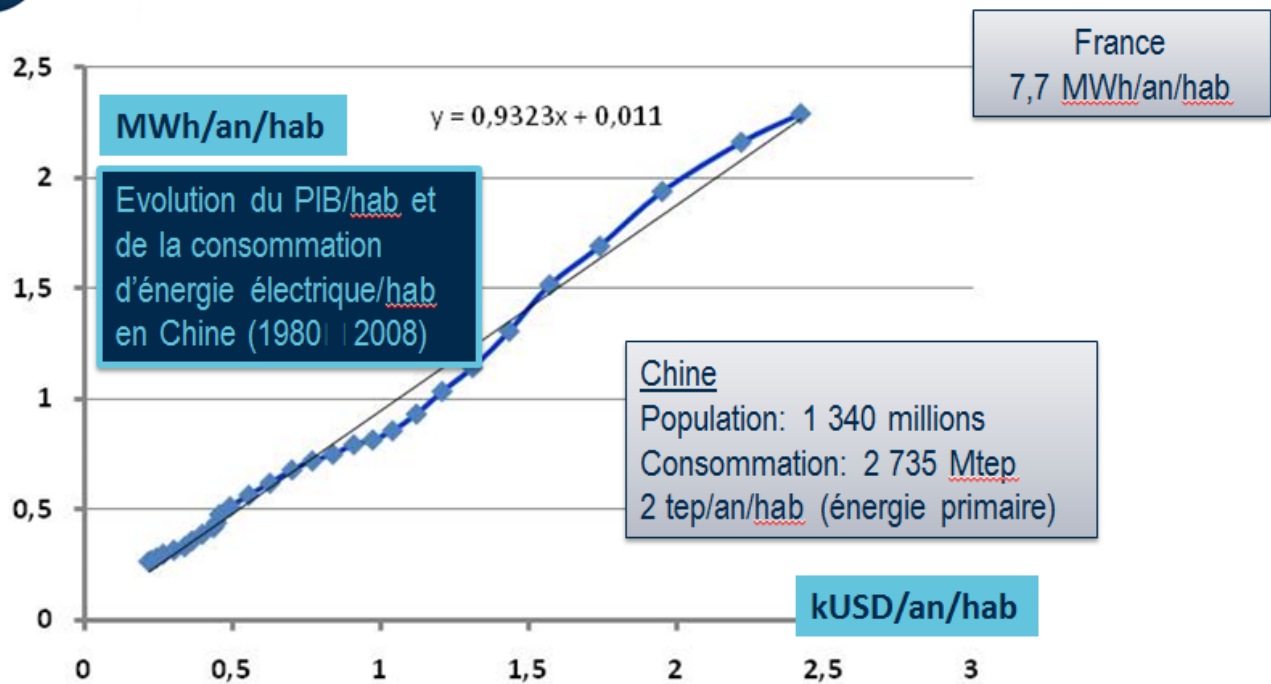


On observe un fort couplage entre le PIB d'un pays et sa consommation énergétique : plus un pays aura de l'énergie, plus son PIB va augmenter.

Quelques éléments de réflexion



• Emergence de grand pays



F. BURET d'après BP Statistical Review of world Energy -june 2013 - www.bp.com

En prenant le cas de la Chine, on s'aperçoit que la consommation de l'énergie électrique augmente en fonction du PIB/hab : plus la population s'enrichit, plus elle consomme.



Quelques éléments de réflexion

- L'énergie reste peut chère... 1,5 €/l (= travail mécanique fourni par 5 personnes)
- Le flux solaire incident sur la Terre correspond à 10 000 fois notre consommation actuelle
- L'infrastructure énergétique nécessite de forts investissements (20 000 milliards entre 2005 et 2030). Inertie du système...
- Une localisation «particulière» des ressources qui induit des problèmes géopolitiques...
- Le développement est indissociable de la consommation énergétique. (ONU estime à 1tep/an/habitant pour un niveau de développement basique)

L'énergie reste peu chère au final si on la compare au travail mécanique qu'elle peut fournir. Le flux solaire incident est très supérieur à la consommation mondiale. Seulement il faut prendre en compte qu'il est très souvent diffus et qu'une grande partie de ce flux arrive directement sur une surface maritime : il n'est donc pas autant utilisable que cela. La localisation des ressources énergétiques cristallisent les conflits à cause de son fort enjeu. Il faut noter que l'ONU estime à 1Tep par an et par habitant le niveau de consommation énergétique nécessaire pour avoir un développement humain de base : c'est-à-dire électricité, eau courante, accès à l'école et aux soins..



www.cnrs.fr

1.2 Contextualisation

b) La position énergétique et économique de l'Europe dans un contexte mondial

Par Christophe Ménézo

Centre d'Energétique et de Thermique de Lyon (CETHIL, INSA/Lyon 1/CNRS)

Chaire INSA/EDF

« Habitats et Innovations énergétiques »



Dans cette partie vous pouvez trouver des informations générales sur la place de l'énergie dans l'Europe. Une première partie, plus globale, concerne les différentes approches philosophiques ainsi que les différentes ressources énergétiques. La seconde partie fait un point sur le problème européen bien spécifique.



Sommaire

- **Des approches « philosophiques » différentes**
- **Des spécificités locales différentes**
- **Un besoin d'énergie renouvelable variable et un certain isolement européen**



P. 21

Des approches « philosophiques » différentes

- **Les états “Statu quo” :**
USA
Arabie Saoudite
Japon
Chine (même si grand impact sur l'équilibre offre / demande)
- **Etats/régions challenger :**
Russie (realpolitik)
Europe (aspirations idéalistes, kantienne ?)
Note: une analyse à part entière couvrirait non seulement les ‘E7’ (producteurs d’énergie)
mais aussi les ‘E20’ tels que Canada, Brésil, Venezuela, Corée...

Source: Bressand, *The Changed Geopolitics of Energy and Climate and the Challenge for Europe*
Clingendael International Energy Programme, 2012.

Un état statut quo se satisfait d'améliorer sa propre fortune au sein du système énergétique tel qu'il est, même si la Chine a néanmoins un impact transformateur sur le système par la taille de sa demande en énergie.

Un état challenger conteste le système énergétique actuel. Il y a la Russie, qui souhaite retrouver son statut de superpuissance grâce à l'utilisation politique des relations énergétiques, et l'UE, qui aspire à mener une transition accélérée vers un mix énergétique à bas carbone.

Des spécificités locales différentes : le charbon





P. 23

Charbon en Chine : compensation à plusieurs reprises de la réduction du carbone de l'UE

- 500 000 tonnes : augmentation de la consommation mondiale de charbon chaque jour pendant les cinq prochaines années.
- Les investissements de la Chine dans l'énergie propre (*clean coal*) permettront de réduire la croissance de la demande de charbon, pas la consommation. La réduction provient de 80mt de nucléaire, éolienne et solaire 100mt, 150mt hydro, 230-240mt de gaz.
- En Chine, la production de charbon se déplace dans les régions éloignées, le transport est de plus en plus un déficit. Le transport maritime intérieur de charbon du nord au sud de la Chine est presque aussi important que le reste du marché mondial.

Source Professor Albert Bressand

On note un effort de la Chine en direction d'énergies plus propres que le charbon comme le gaz principalement. Cependant cet effort ne pourra que freiner la demande toujours plus grandissante en énergie, mais n'est pas suffisant pour réduire la consommation.



P. 24

Charbon aux Etats-Unis

- Court terme: les États-Unis répondent aux écarts de prix gaz / charbon et de l'EPA par un resserrement des règles. Substitution majeure suivie.
- Long terme: pour maintenir la production d'électricité à partir de charbon aux niveaux actuels, une nouvelle usine devrait être construite toutes les 6 semaines => pas de centrale en cours de construction.
- Charbon aux États-Unis le curseur du gaz se déplace 100mt. A titre de comparaison, l'Allemagne utilise 225mt en 2011.
- 2012 les exportations de charbon sont à pleine capacité. À l'avenir, beaucoup de charbon des États-Unis est susceptible de rester dans le sol.



Le charbon : pic d'investissement en Europe

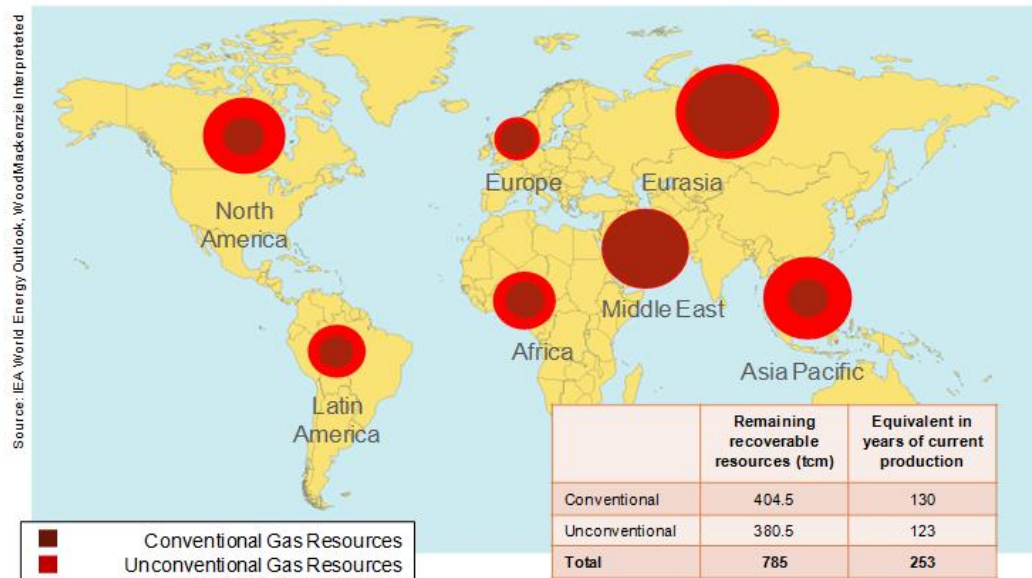
- Evolution inversée en Europe.
- Prix du gaz reste élevé, car il est indexé sur le pétrole dans le cadre de contrats à long terme.
- En revanche, le charbon, dont les Américains ne veulent plus, se déverse sur le Vieux Continent, et cet afflux a fait chuter la valeur de ce combustible.
- Dans le même temps, le prix des quotas d'émissions de CO₂ a baissé. Bilan : entre le gaz et le charbon, le rapport de forces s'est inversé depuis un an. Et l'écart ne cesse de se creuser.

Il y a une augmentation de la consommation du charbon. Cela s'explique par la chute du prix du charbon qui devient du coup plus compétitif que le gaz (particulièrement pour l'Allemagne).

Des ressources différentes : le gaz

Abundant: Huge Global Gas Resources

- Gas resources are plentiful, growing and geographically diverse
- Conventional and unconventional recoverable gas resources can supply >250 years of current global gas production
- Unconventional gas is transforming the global gas market



L'appellation « gaz non conventionnel » est un terme générique qui recouvre trois types de ressources non renouvelables de gaz naturel :

- le gaz de schiste (gaz qui est resté dans la roche mère où il s'est formé)
- le gaz de réservoir compact (gaz resté emprisonné dans le charbon qui s'est formé, le charbon jouant alors le rôle de roche mère)
- le gaz de houille (gaz qui a normalement migré dans une roche réservoir qui a ensuite perdu sa perméabilité à cause d'un processus géologique)

Le gaz : 2 siècles ou plus de réserve ?!



Plateforme de gaz de schiste en Pennsylvanie (Licence CC)

Courrier international mars 2014

Les réserves de Gaz



P. 28

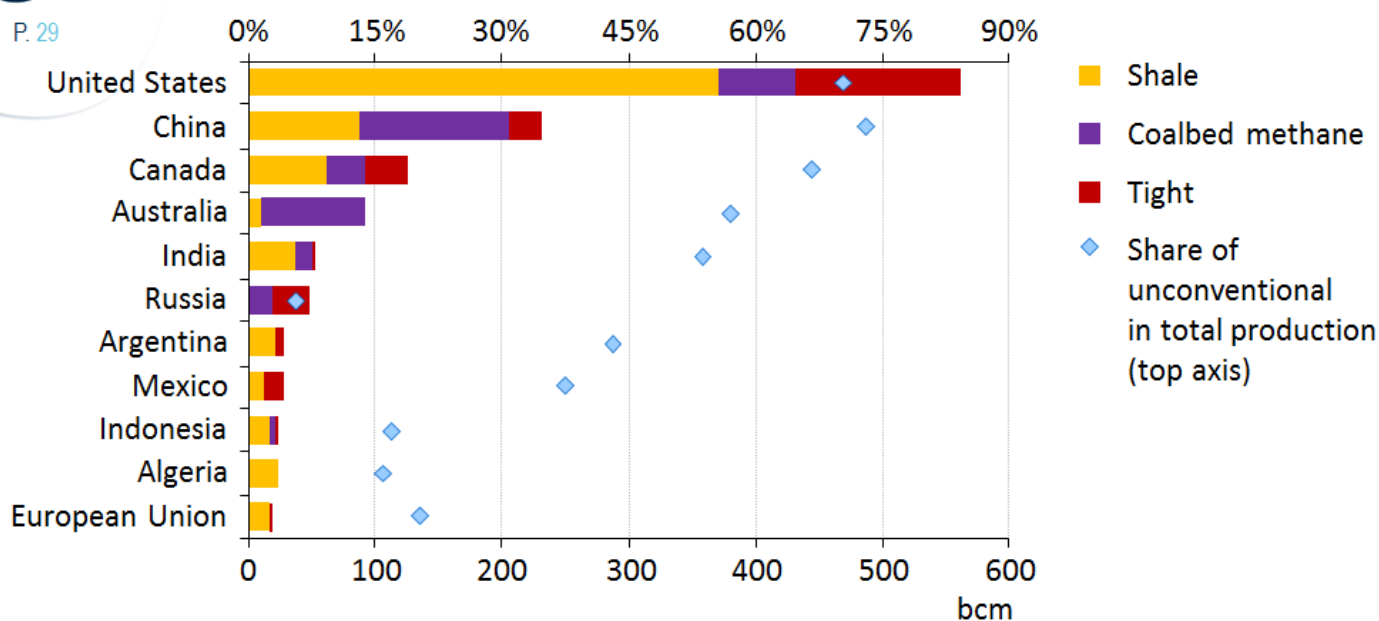
- Production cumulée au début de 2012 : **109tcm**
- **Réserves mondiales prouvées** de **187tcm** fin 2012 (BP, Juin 2013)
- **Réserves mondiales techniquement récupérables** ne font que croître. Actuellement de **800 tcm** (2012) dont environ 350 tcm de gaz non conventionnel (USGC, EIA, IEA)
- Le gaz de schiste américain continuera à fournir des ressources importantes pour au moins plusieurs décennies
- **Les hydrates de Méthane** peuvent ouvrir de nouvelles perspectives plus vite que prévu

Sources : Professor Albert Bressand

28

Grâce à l'apparition de nouvelles techniques comme la fracturation hydraulique de roche, largement utilisée aux USA notamment, il y aurait 2 siècles de réserves.

La production de gaz non conventionnel dans les principaux pays, 2035



Prévision de croissance de 50% au sein de la production totale de gaz entre 2011 et 2035

- Shale : gaz de schiste
- Coalbed methane : gaz de houille
- Tight : gaz de réservoir compact



P. 30

Amérique du Nord: une renaissance de gaz naturel

- **Substitution du Charbon par le Gaz**
- Substitution significative du pétrole par le gaz dans les **transports** (camions, bateaux, trains)
- **L'Exportation du LNG US** se développe, mais pas au point de conduire à l'intégration complète du marché. Éléments de l'indexation sur le prix du pétrole en Europe

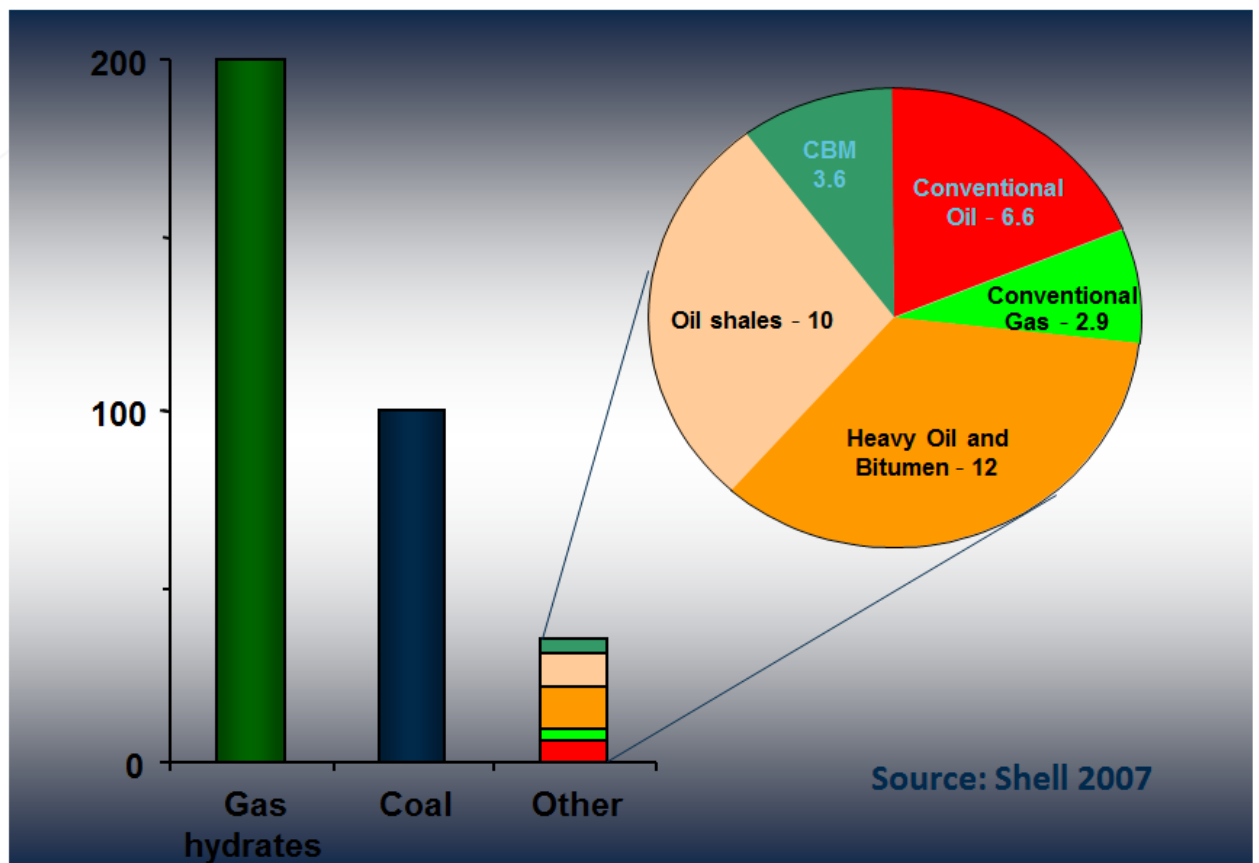


LNG : gaz naturel liquéfié. Son conditionnement sous forme liquide une fois refroidi, rend possible son transport sur de longues distances

"Plus d'hydrates de méthanes au fond des océans que de soleil en Allemagne"



P. 31



31

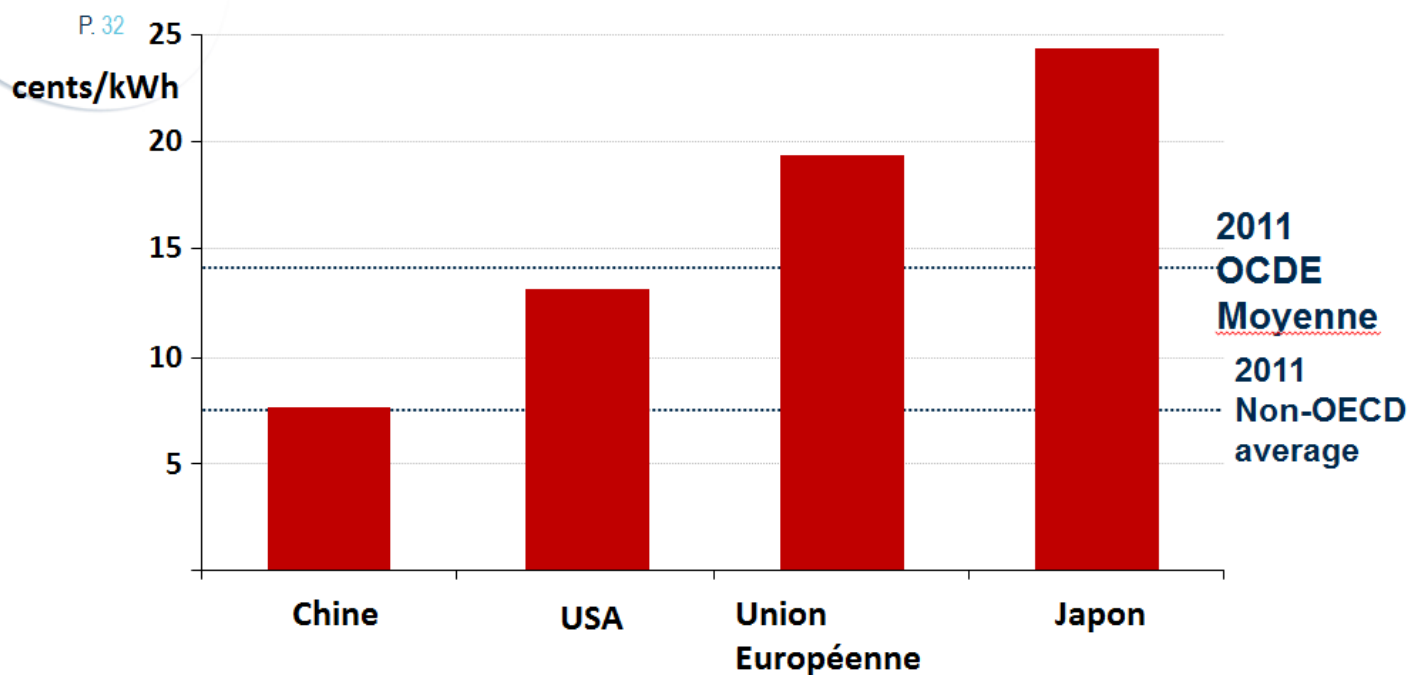
Les hydrates de méthanes (en vert) sont un mélange cristallisé d'eau et de gaz que l'on retrouve en grande quantité au fond des océans. Leur abondance semble être bien plus importante que celle du charbon et des autres ressources.

31

“De grandes variations sur le prix de l’énergie” (AIE) [Perte de compétitivité Européenne]

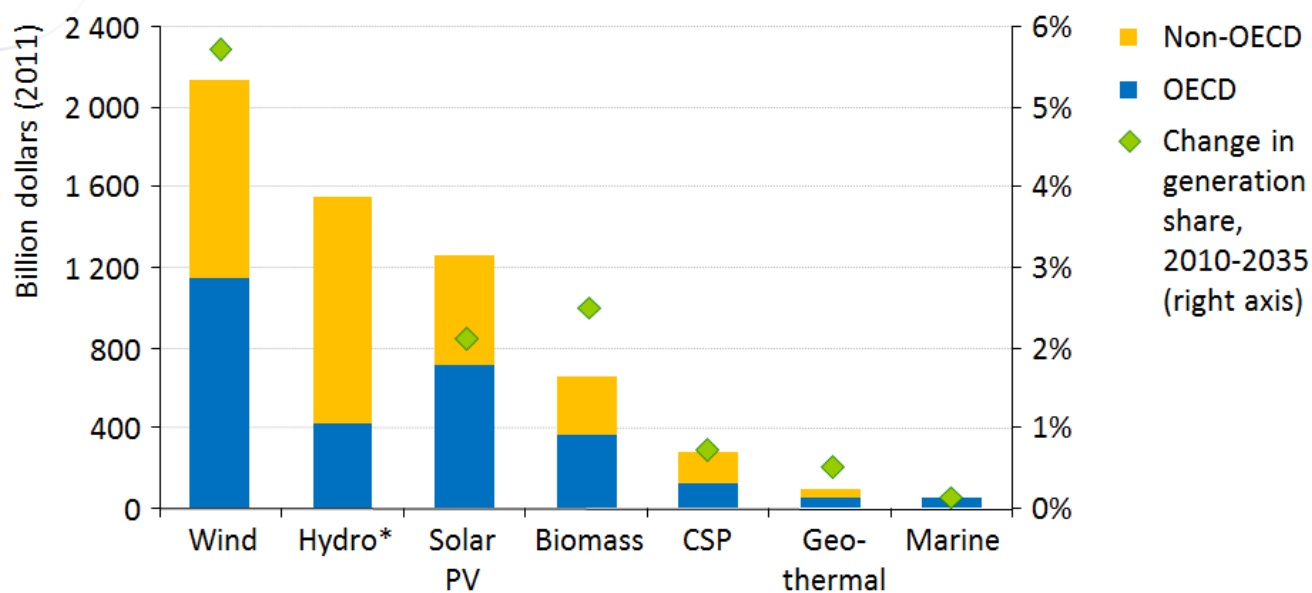


Prix moyen de l’électricité domestique, 2035



*Croissance du prix de l’électricité en Europe et au Japon
plus importante qu’en Chine et USA*

Des investissements en énergies renouvelables variables



Investissements cumulés de 2012-2035 (Source Agence Internationale de l'énergie)



Compromis contrastés entre les «E7» laissant l'Europe isolée

Les pays 'E7' (producteurs d'énergie) face au 'trilemme de l'énergie' sont très contrastés :

- » Priorité à la compétition: U.S.A, Chine
- » Priorité à la sécurité: Corée, Japon, Russe, Irak
- » Priorité à la durabilité : **Europe**

L'Europe voit la durabilité aussi comme source de **sécurité** => Ce qui engendre des challenges importants et une dépendance au marché international

L'impact des Directives EU sur la **compétitivité** de son industrie

Source: Bressand, The Changed Geopolitics of Energy and Climate and the Challenge for Europe, Clingendael International Energy Programme, 2012



L'Europe mise sur le développement durable au contraire des autres pays producteurs d'énergie, qui ont fait le choix de la compétitivité. Ces derniers misent sur des solutions technologiques potentielles pour lutter contre le réchauffement climatique. L'Europe, quant à elle, est beaucoup plus craintive et donc va axer sa politique sur le développement durable prioritairement.



P. 35

L'Energie est donc un facteur critique pour l'Europe

Sécurité de l'approvisionnement en énergie :

- 50% des besoins énergétiques européens sont actuellement importés
- pourrait représenter 70% dans les 20-30 prochaines années
- épuisement des ressources

Au niveau environnemental :

- Réchauffement climatique (GIEC- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)
- Ressources

Croissance : “intelligente, durable et inclusive” (CE)



Les prévisionnistes estiment qu'en 2030, 70% des besoins énergétiques de l'Europe seront assurés par l'importation. Il y a une convergence entre la limitation des ressources et le mix énergétique qui se développe.



www.cnrs.fr

1.3 Contextualisation

c) L'Europe énergétique et politique
par Mili Spahic, politiste, enseignant à
Sciences Po Lyon

Laboratoire Action, Discours, Pensée
politique et économique (TRIANGLE, ENS
de Lyon/ Lyon 2/ Science Po Lyon/
Université Jean Monnet Saint-
Etienne/CNRS)



En revenant sur 2 actualités : le pic de pollution en France du début du mois d'avril 2014 et la situation tendue en Ukraine, cette partie aborde des questions principalement géopolitiques. Le premier aspect s'interroge sur l'acceptabilité sociale des nouvelles pratiques énergétiques. Puis, un second aspect aborde les questions de la compétence énergétique. Ensuite, un exemple croisant les cas de la France, l'Allemagne et la Suède illustre ces questions. Enfin, les enjeux politiques externes et internes sont abordés.



Sommaire

- Energie et Europe, rappel de la répartition des compétences
- Energie et Europe, quelles ressources ?
- Quels objectifs ?
- Les enjeux de politique externe
- Les enjeux de politiques interne



Energie et Europe, rappel de la répartition des compétences

L'UE : un fonctionnement en « répartition de compétences » :

- les compétences exclusives
- les compétences partagées
- les compétences d'appui

= La politique énergétique commune est une compétence partagée (depuis le Traité de Lisbonne (2007))

= n'est donc pas propulsée au rang de politique communautaire

Le traité de Lisbonne reconnaît l'importance de la politique énergétique. L'Union Européenne dispose désormais de compétences clairement définies pour faire face à la situation internationale et à l'évolution des problématiques liées à l'énergie. Une réponse européenne serait ainsi la manière la plus efficace de répondre aux problématiques comme la sécurité de l'approvisionnement énergétique, la protection de l'environnement, ou le dialogue avec les pays producteurs d'énergie.



P. 39

Energie et Europe, quelles ressources ?

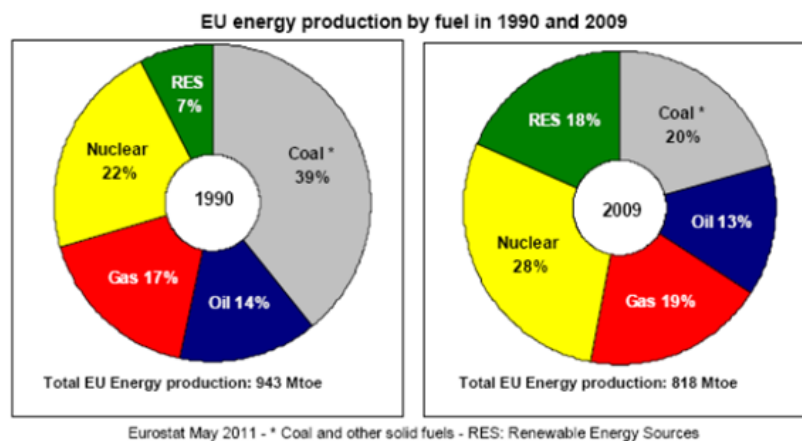
en Mtoe	France		Allemagne		Suède	
Données Commission européenne 2013	1995	2011	1995	2011	1995	2011
Production de combustibles solides (charbonnier)	6	0,1	78,9	46,5	0,2	0,2
Production Nucléaire	97,3	114,1	39,5	27,9	18	15,6
Production d'énergies renouvelables	17	17,9	6,1	31,3	12,8	15,7
Importation nette d'Houille	8,7	9,3	10,3	31,7	2,4	2,1
Consommation intérieure brute	241,6	259,3	342,2	316,3	50,3	49,5
Dépendance à l'importation énergétique (%)	48	48,9	56,8	61,1	37,6	36,8

En observant les cas de la France, de l'Allemagne et de la Suède, nous pouvons observer des trajectoires différentes entre 1995 et 2011 :

- la production de nucléaire augmente en France au détriment de celle du charbon
- la production de nucléaire baisse en Allemagne mais les importations de houilles augmentent
- les productions sont restées sensiblement les mêmes en Suède

Energie et Europe, quelles ressources ?

The EU energy production decreased by 13% over the last 20 years, mainly due to the large reduction in coal and other solid fuels production (-55%)



Energie et Europe, quelles ressources ?



Les importations d'énergies baissent en France et Suède mais augmentent en Allemagne. Ceci s'explique par la politique de réduction du nucléaire entreprise par les allemands.



Quels objectifs ?

4 objectifs :

- a) assurer le fonctionnement du marché de l'énergie ;
- b) assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique dans l'Union ;
- c) promouvoir l'efficacité énergétique et les économies d'énergie ainsi que le développement des énergies nouvelles et renouvelables ;
- d) promouvoir l'interconnexion des réseaux énergétiques.

= Le « paquet climat-énergie » proposé par la Commission européenne en 2014

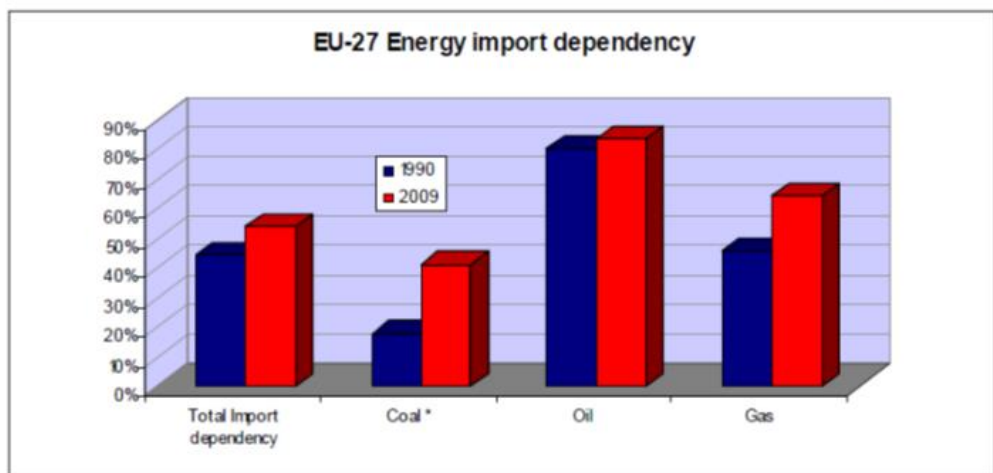
Investir massivement dans les réseaux est un prérequis pour atteindre l'ensemble des objectifs énergétiques de l'Union. La Commission européenne a publié le 22 janvier 2014 ses propositions pour établir le cadre de la politique climat-énergie à l'horizon 2030:



Les enjeux de politique externe : la sécurité d'approvisionnement en Europe

- La dépendance croissante de l'UE aux importations d'hydrocarbures

EU dependency on imports is increasing for all fossil fuels...
Dependency on oil imports reached 83.5% in 2009 and 64.2% for gas.



Source: Eurostat May 2011- * Coal and other solid fuels

Les augmentations des importations d'hydrocarbure montrent que la dépendance énergétique de l'Union Européenne s'est accrue entre 1990 et 2009. Cette dépendance suggère que l'Union Européenne diversifie ses sources d'énergie afin de la réduire.

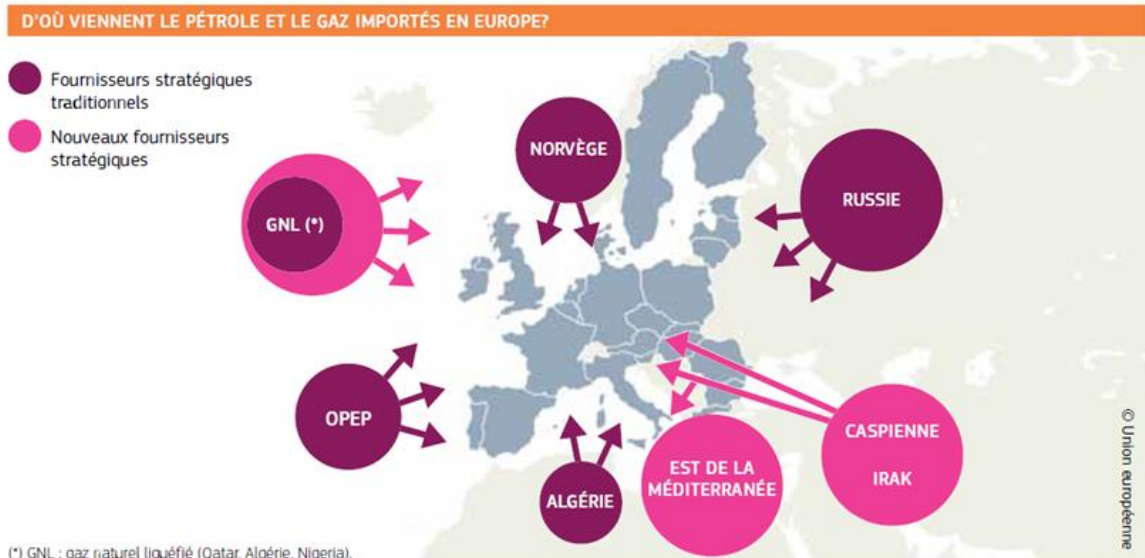


P. 44

Les enjeux de politique externe : la sécurité d'approvisionnement en Europe

- La sécurité d'approvisionnement interne : la prévention et la gestion des crises d'approvisionnement
- La dimension extérieure de la sécurité d'approvisionnement : la diversification des approvisionnements
- Etat des relations énergétiques avec la Russie
- Le corridor sud vers la Caspienne et l'Asie centrale
- L'énergie dans les relations de voisinage de l'Europe : l'Union pour la Méditerranée et le Partenariat

Les enjeux de politique externe : la sécurité d'approvisionnement en Europe





Les enjeux de politiques interne : l'acceptabilité des choix énergétiques par les citoyens

- La lutte contre la précarité énergétique en Europe et la protection des consommateurs



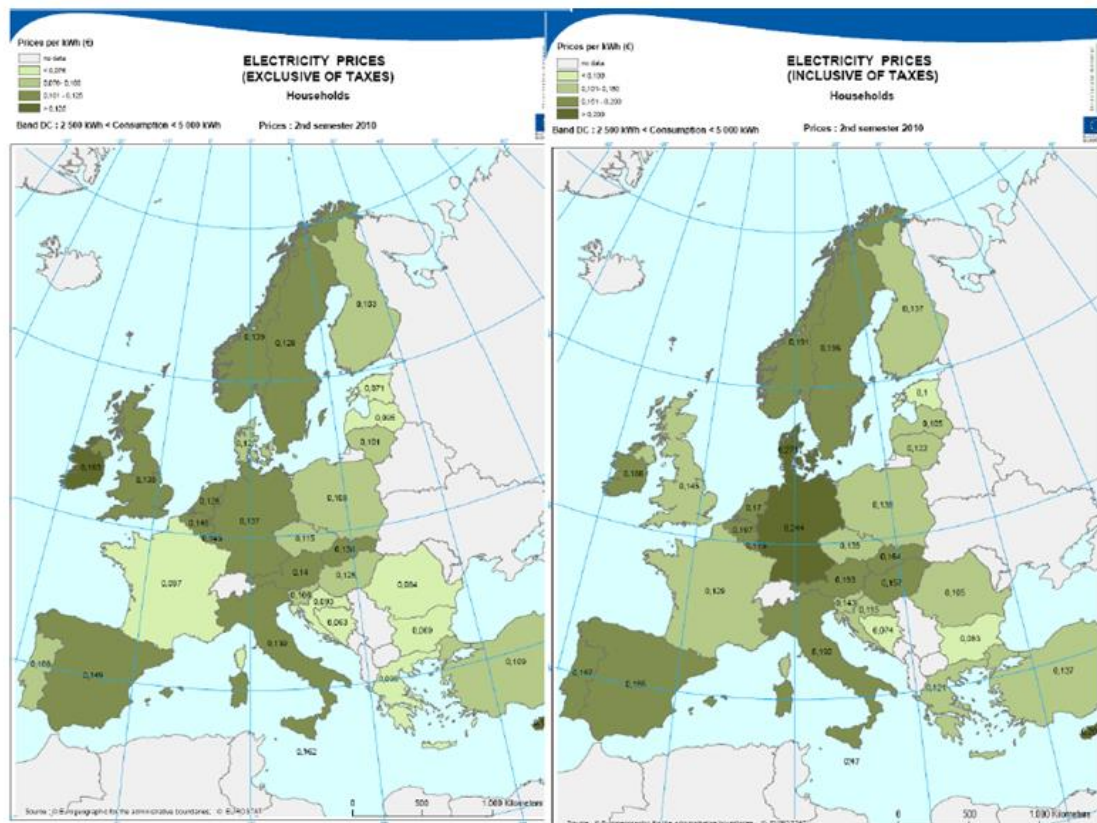
P. 47

- Accès à l'énergie à un prix abordable

Données OCDE - 2013	France	Allemagne	Suède
Habitants (en millions)	63,7	81,2	9,5
PIB/HAB (en KE USD)	37	41	43
Nombre de gouvernements infranationaux	36 828	11 638	311
Nombre moyen d'habitants par municipalité	7000	1700	32 000
Dépenses des administrations publiques (en % du PIB)	56,6	45	52
Investissement direct des administrations infranationales (en % de l'investissement direct public)	74	76	57

Nous remarquons pour la France et la Suède des mises en place de politiques énergétique différentes : elle est très échelonnée en France (36828 gouvernements infranationaux) et beaucoup moins en Suède (311 gouvernements infranationaux).

- Accès à l'énergie à un prix abordable





www.cnrs.fr

2. Exemples de ressources

2.1 Géothermie

2.2 Amélioration des énergies fossiles, biomasse, Hydrogène, stockage et cycle de CO₂, état de la recherche et de la production



Après une définition et une explication de ce qu'est la géothermie, la première partie aborde les différentes techniques existantes : géothermie très basse énergie, géothermie basse énergie, géothermie profonde. Enfin, elle fait le point sur les potentiels et l'importance d'une bonne utilisation des forages en géothermie.

Les avantages de l'énergie géothermique sont : son potentiel important, ses performances, le fait qu'elle soit utilisable localement, qu'elle soit disponible 24h/24h et qu'elle soit indépendante des conditions environnementales changeantes.

Les inconvénients de l'énergie géothermique sont : qu'elle ne soit pas transportable, qu'elle soit épuisable, que ses coûts soient élevés et qu'il faille faire appel à des foreurs habilités

<http://www.geothermie-perspectives.fr/>

La seconde partie explique les dernières avancées dans le domaine des énergies alternatives. Parmi elles, vous trouvez ici : d'un côté un point détaillé sur la biomasse et les bioraffineries et d'un autre côté un point détaillé sur l'utilisation d'hydrogène comme pourvoyeur d'énergie.

Les bioraffineries permettent le traitement durable de la biomasse, l'approche se veut bioéconomique car l'on produit de l'énergie en passant par des composés intermédiaires

Le principal avantage à utiliser de l'hydrogène est qu'il ne dégage pas de CO₂. Le principal problème reste son stockage qui, pour l'instant, ne remplit pas tous les critères de sécurité.



www.cnrs.fr

3. De l'efficacité énergétique

3.1 Un exemple d'application, la démarche énergétique dans le bâtiment

3.2 ... confronté à de multiples limites



Dans cette dernière partie, vous pouvez trouver toutes les installations que l'on peut retrouver dans les bâtiments souhaitant faire des économies d'énergie. Vous pouvez trouver également de quoi imaginer une maison du futur.



www.cnrs.fr

3.1 Un exemple d'application, la démarche énergétique dans le bâtiment

Par Christophe Ménézo

Centre d'Energétique et de Thermique
de Lyon – CETHIL

Chaire INSA/EDF

« Habitats et Innovations énergétiques »



académie
Lyon



Le poids du cadre bâti & son environnement



P. 52

~25% des gaz à effet de serre

(hors émissions liées à l'électricité)

24 Mtec en 1990

28 Mtec en 1999

~50 % de l'énergie

5% pour la construction
45% pour l'exploitation

~15% de l'eau



Distance lieu de travail/habitation doublée en 20 ans



~50% des ressources naturelles

~30 Mt/an

Mise en décharge à 90% sans tri
Déchets construction et démolition > O.M.

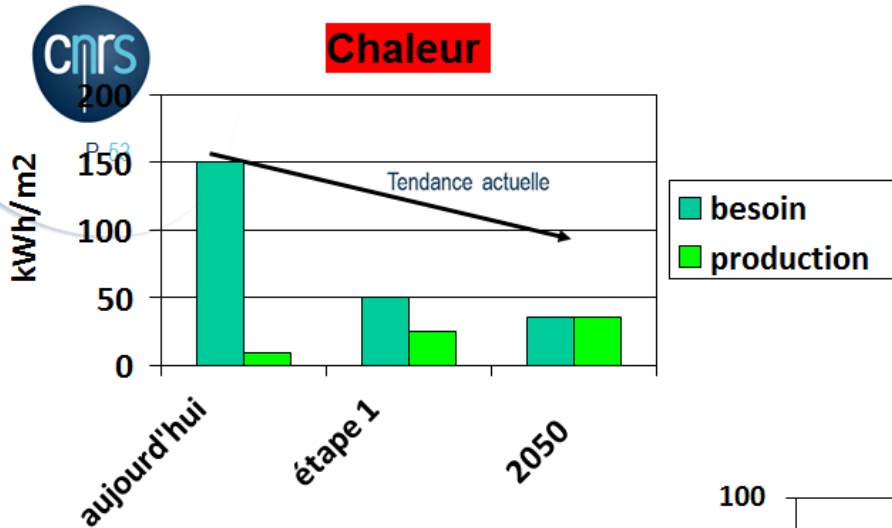
Source Ademe

Enjeux : pas tant les GES que les ressources énergétiques

52

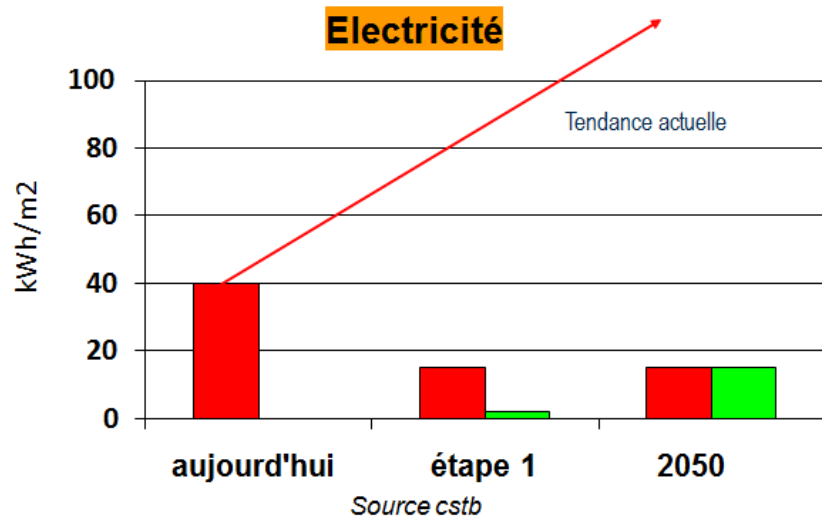
Actuellement, le bâtiment représente 45% de la consommation énergétique pour la France.

Diviser par 4 les émissions de CO₂ d'ici 2050 ?



1) Accroître
l'effort sur **la chaleur**

2) Changer d'échelle
pour l'**électricité**



Pour remplir l'objectif de diviser par quatre les émissions de CO₂ dans le bâtiment en 2050, il faudrait jouer sur deux leviers :

- augmenter l'effort sur la chaleur : c'est-à-dire réduire nos besoins, sans trop augmenter notre production afin d'arriver à un équilibre. Ceci est facile d'un point de vue technologique, en améliorant l'isolation des bâtiments par exemple.
- changer d'échelle pour l'électricité

Les moyens d'y parvenir



P. 54

Nécessité d'une rupture politique, sociologique, technologique, architecturale ...

- ▶ Intégration des ENR à grande échelle (solaire, géothermie, biomasse, éolien ...)
- ▶ Sauts technologiques en isolation et équipements (climatiques, électroménager)
- ▶ **Stockage de la chaleur** (10-15 jours) et du froid, récupération et gestion
- ▶ Changement de comportement (économie d'énergie)
- ▶ Production nette d'énergie ?

Trois grandes familles de système de stockage peuvent être envisagées :



P. 55

- Stockage par chaleur sensible (solide ou liquide)
- Stockage par chaleur latente (changement de phase)
- Stockage thermochimique

heat storage
in form of

sensible heat
solid
liquid

latent heat

heat of sorption

heat of reaction

energy density
kWh/m³

low



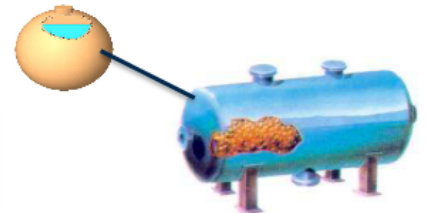
high

state of development

high



low



Salt Tanks for Thermal Storage



Le stockage de chaleur concerne principalement le chauffage et la climatisation des bâtiments. Les sources de chaleur proviennent en premier lieu du Soleil pour lequel le stockage permettrait de réduire les effets de son intermittence et du décalage entre les périodes les plus productives (comme le jour ou l'été) et les périodes de plus grandes demandes (comme le soir ou l'hiver).

En prenant en compte que tout matériau possède la capacité de libérer ou de stocker de la chaleur via un transfert thermique. Ce transfert peut être :

- par chaleur sensible : changement de la température du matériau (la chaleur est alors stockée dans le matériau)
- par chaleur latente : changement de phase du produit chimique
- par voie thermochimique : procédés mettant en œuvre des réactions chimiques réversibles qui permettent de séparer un produit sous l'effet d'une source de chaleur. Les composants sont alors stockés séparément sans perte thermique et la chaleur est restituée lorsqu'ils sont remis en présence en reformant le produit initial.

Comment atteindre l'équilibre : Besoins/Production ?



P. 56

Chaleur

- ▶ Technologiquement réalisable sur le neuf (isolation performante, solaire thermique, bois énergie...)
- ▶ Problème majeur à résoudre : réhabilitation du parc existant (choix politique ...et saut technologique plus important)

Froid et électricité

- ▶ Efficacité énergétique des équipements
- ▶ Limiter les apports internes (40 % électroménager – 28% occupants – 14% cuisson – Autre : circuits Eau Chaude déperditifs)
- ▶ Conception Architecturale pour réduction des besoins (bioclimatique, ventilation, protection solaire actives ou passives , inertie ...) mais aussi pour produire de l'électricité (intégration composants actifs)

= Formation et accompagnement des utilisateurs

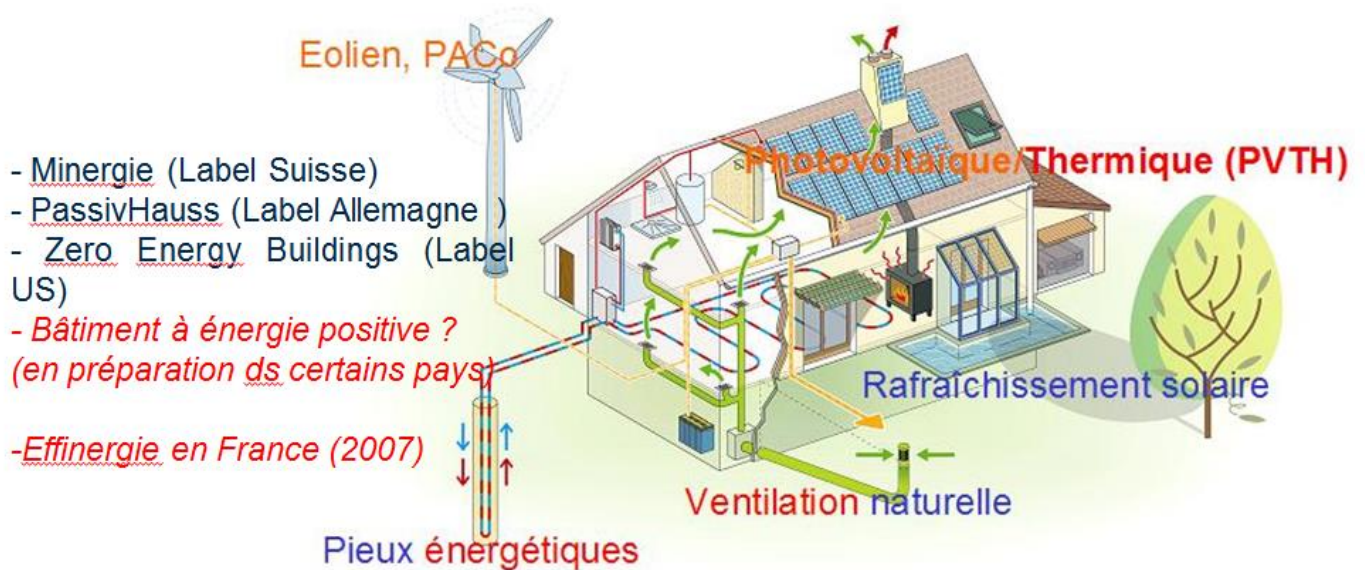
A l'échelle de la maison et du bâtiment (micro-medium)



P. 57

- Sobriété, efficacité énergétique
- Concepts Bioclimatiques

& Cogénération/Tri-génération énergétique à partir des ressources locales



©Christophe Ménézo

Exemples : Intégration PV au Bâti (BiPV) => *Nlle donne*



P. 58

- Intégration à grande échelle requis
- Production locale = pertes en ligne transport évitées
- Substitution de composants standard du bâtiment
- Composants multifonctionnels : énergie, transparence, protection (solaire, eau, vent, bruit,)



Une des solutions est l'intégration du photovoltaïque (PV) dans le bâtiment

Procédés “Raffraichissants”



P. 59

Les principaux procédés possibles sont :

- Fusion d'un solide (glace, MCP)
- Sublimation d'un solide (neige carbonique)
- Vaporisation d'un liquide
- Détente d'un gaz avec ou sans production de travail extérieur
- Passage d'un courant électrique à travers la soudure de deux métaux différents (effet Peltier)
- Extension de certains corps élastiques
- Dissolution de solides, liquides ou gaz dans un autre corps
- Désaimantation adiabatique de certaines substances paramagnétiques, etc.

Les moyens de limiter les besoins



P. 60

- **L'orientation du bâtiment et des vitrages**

- L'orientation du bâtiment
 - L'Indice d'ouverture et orientation
 - L'Inclinaison des vitrages



- **Les apports internes**

- 40 % électroménager
 - 28% occupants et activité (éclairage, bureautique)
 - 14% cuisson
 - Autre : circuits Eau Chaude déperditifs



Une des solutions pour limiter les besoins est d'utiliser les apports internes de chaleur que l'on peut récupérer grâce aux appareils électriques qui produisent de la chaleur ou encore nos propres activités.

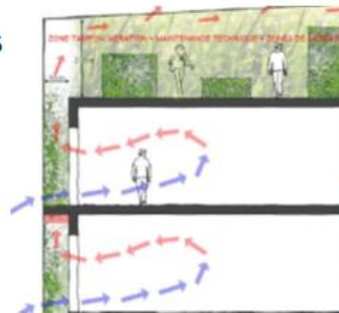
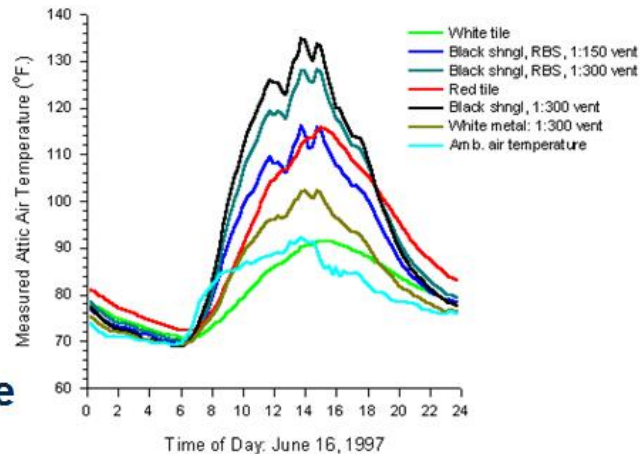
Les moyens de limiter les besoins



P. 61

● Le traitement de l'enveloppe

- Traitement de la toiture
- Toiture terrasse végétalisée
- Utilisation de matériaux réfléchissants pour les parois de l'enveloppe
- Double peau ventilée (barrière thermique)
- Morphologie du bâtiment
- Traitement de la réflectivité des surfaces des abords du bâtiment



Source:
Florida Solar Energy Center



Source:
Jacques Ferrier – Projet Ressources (ANR-Prebat)

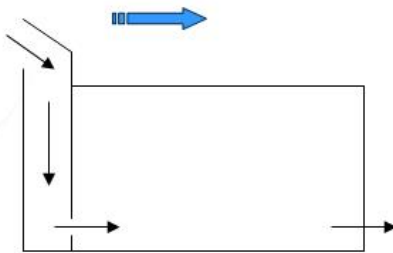
Une des solutions pour limiter les besoins est de mettre en place des méthodes permettant d'utiliser les enveloppes (murs et toit) des bâtiments pour optimiser le gain de chaleur ou de fraîcheur.

DISSIPER : la ventilation naturelle

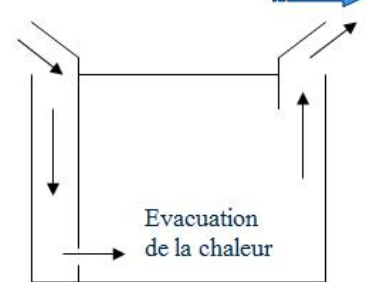
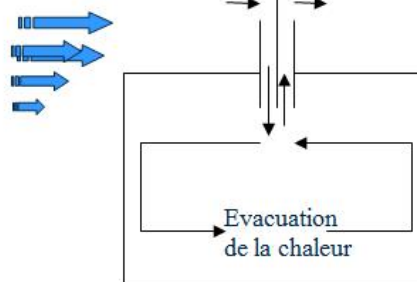
Tour à vent



Par pressurisation (elles captent le vent)

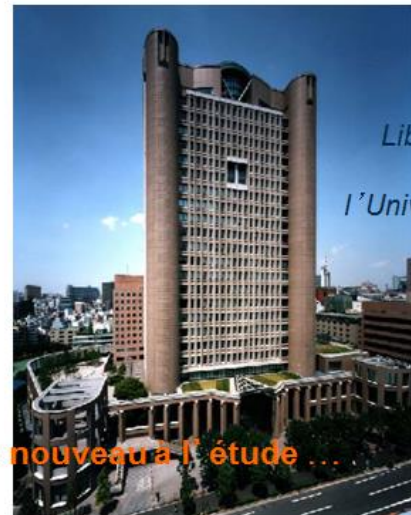


Par dépressurisation



Utilisé depuis des centaines d'années ...
(Perse et Egypte)

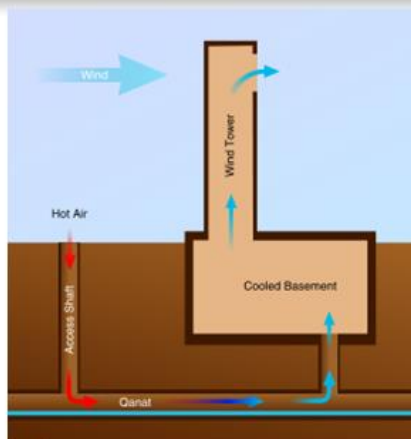
... de nouveau à l'étude ...



Liberty Tower
de
l'Université Meiji
à Tokyo

Ce procédé permet de rafraîchir l'air d'une pièce. C'est une ventilation naturelle qui permet au flux d'air montant (chaud) et d'air descendant (froid) de se croiser. L'air froid remplace l'air chaud, la pièce est ainsi rafraîchie.

DISSIPER ET RAFRAICHIR : la tour à vent et le puits provençal



Utilisé depuis des centaines d'années ... de nouveau à l'étude ...



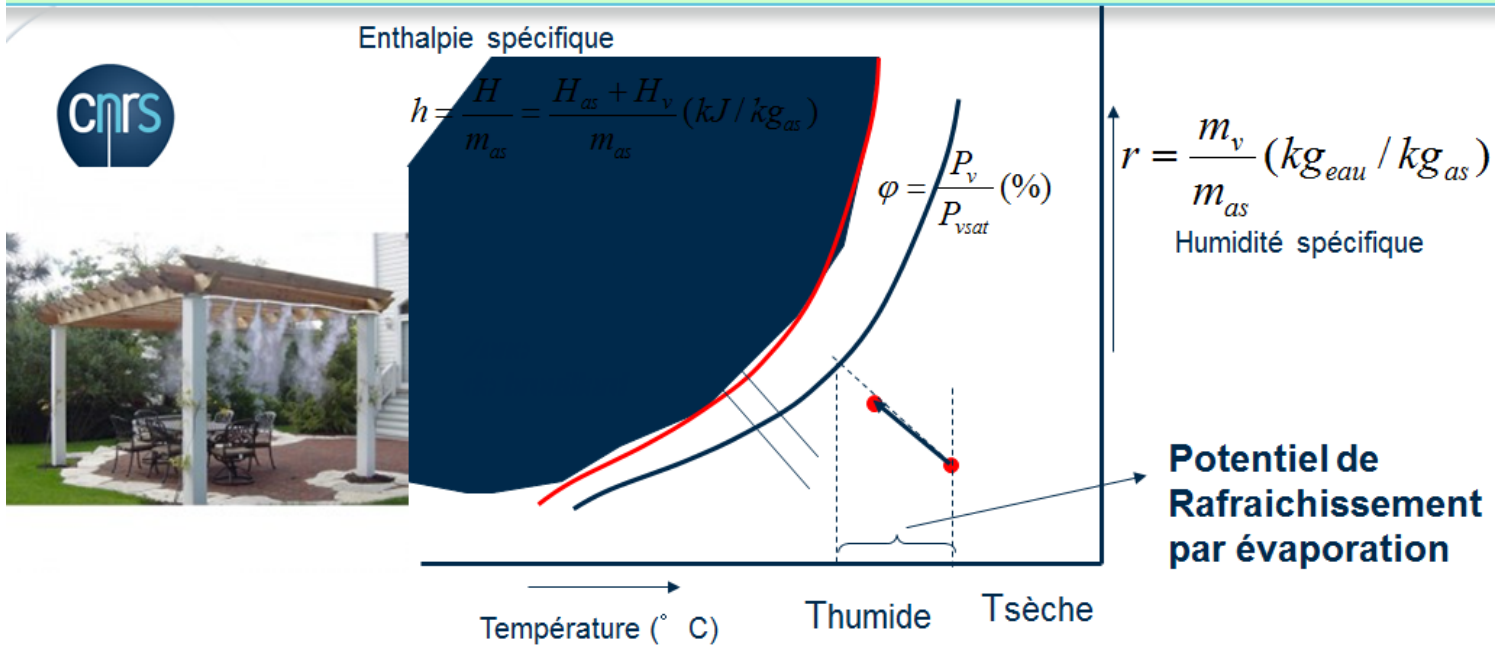
Tour à vent et réservoir d'eau (Perse-Iran)

Source Amirkhani Aryan et al.



Le puits canadien, appelé aussi puits provençal, est un système géothermique dit de surface. Ce système sert surtout de climatisation ou chauffage naturel. Il est basé sur le simple constat que la température du sol à 1 mètre 60 de profondeur est plus élevée que la température ambiante en hiver, et plus basse en été. Donc l'air circulant à travers le puits, réchauffera l'air en hiver mais le rafraîchira en été.

DISSIPER et RAFRAICHIR : la ventilation naturelle et évaporation

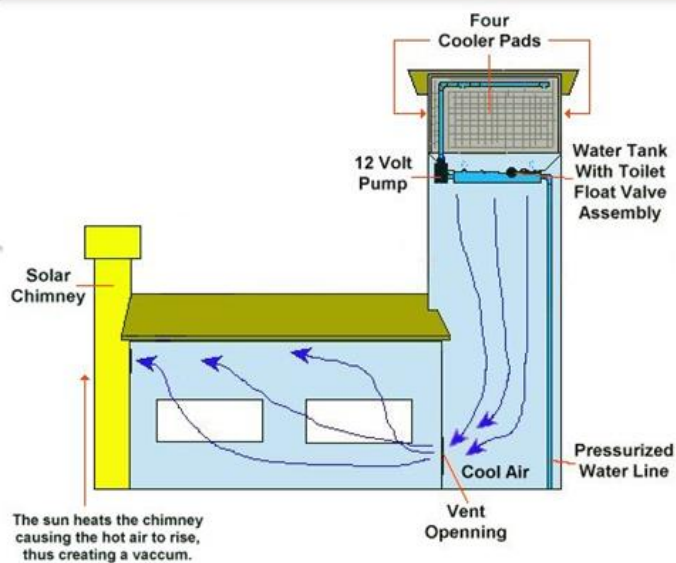


L' **évaporation** d' un liquide, typiquement dans l' air ambiant, rafraichit un objet ou un liquide en contact (exemple rafraichissement naturel : **Perspiration**).

La **Chaleur latente**, est la quantité de chaleur requise pour l' évaporation du liquide. Provient du liquide lui-même et des gaz et surfaces environnants.

La quantité de chaleur prélevée dépend du taux d' évaporation (1 kg eau vaporisée 2257 KJ).

DISSIPER et RAFRAICHIR : la ventilation naturelle et évaporation

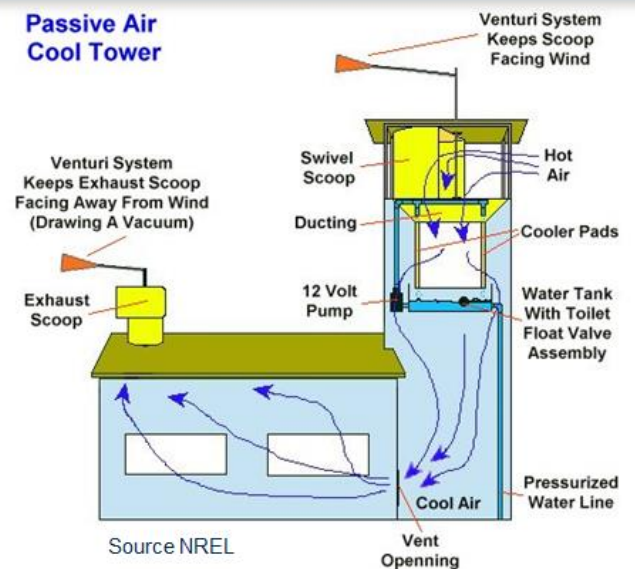


Utilisé depuis des centaines d'années ...



Maison Togu na, Mali

Passive Air Cool Tower



de nouveau à l'étude ...



Zion national park, US
(conception NREL)

Conclusion



P. 66

- ▶ Des **modifications importantes** sont en cours dans le domaine de l'**énergie** dans le **bâtiment** et de la ville
- ▶ par les acteurs du domaine ...**Impulsées** par les **scientifiques** (chgt climatique) , actuellement reprises par les décideurs (objectifs nationaux et européens) et le **prix de l'énergie**, restent à être mises en place
- ▶ Conduiront (**normalement...**) à une évolution importante (**ruptures**)
- ▶ et stimulation des marchés de la Maîtrise de l'Énergie et **développement à grande échelle** des **Énergies Alternatives** et Solaire en particulier





www.cnrs.fr

3.2 Confronté à de multiples limites

Discussions

