

Association COMPRENDRE

15^E Avenue Saint Jean de Beauregard 91400 Orsay
 tél.: 06 88 18 09 05 michel.mosse@wanadoo.fr www.comprendre.orsay.free.fr

Compte rendu de la rencontre-débat du mardi 10 mars 2009 à Orsay

« Quelles énergies en 2050 ?

animée par **Jacques FOOS**, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers .

Jacques FOOS, Docteur es Sciences Physiques, est titulaire de la chaire 'Rayonnements, isotopes et applications' et Directeur des laboratoires des sciences nucléaires au CNAM. Dans ce cadre, il s'est intéressé depuis de nombreuses années aux problèmes des ressources énergétiques qu'auront à affronter et résoudre les générations futures.

Au cours de cette rencontre-débat, à laquelle ont participé environ trente-cinq personnes, il a tout d'abord, à partir des données sur l'évolution passée des consommations énergétiques et de l'évolution prévisible de la population mondiale, proposé différents scénarios pour les besoins en énergie à l'horizon 2050.

Jacques Foos a ensuite examiné au cas par cas la situation actuelle des différentes sources d'énergie connues et industrielles et leurs contributions possibles à subvenir aux besoins. En prenant en compte la somme de ces possibilités, ainsi que celle réaliste des économies d'énergie, il a montré que le recours massif au nucléaire était inévitable et qu'il fallait donc s'y préparer en prenant en compte les divers problèmes que cela pose.

L'intégralité des documents qui ont illustré l'intervention de Jacques Foos, soit quatre vingt huit diapositives, est accessible sur le [site <www.formascience.com>](http://www.formascience.com) en cliquant 'conférences'. Ce compte rendu sera donc limité aux éléments les plus significatifs de l'exposé de notre invité et de la discussion.

Quels scénarios à l'horizon 2050 pour les besoins mondiaux en énergie ?

Satisfaire les besoins en énergies et en eau douce sont les deux challenges du XXI^e siècle. Si *les besoins en eau douce* augmentent au rythme actuel (environ 64 milliards de m³/an, la seule solution sera le dessalement de l'eau de mer, ce qui, à cette échelle représenterait des besoins énormes en consommation énergétique

En ce qui concerne les besoins en énergies, thème de l'intervention de J.Foos, celui-ci a proposé trois scénarios établis à partir de l'évolution des populations et des consommations des différentes énergies constatées au cours des périodes contemporaines.

en préalable ; les unités et symboles utilisés :

- la tonne équivalent pétrole ou tep équivalente à 1.628 kWh
- le mégatep ou Mtep = 1 million de tep
- le gigatep ou Gtep = 1 milliard de tep

Dans le monde, la consommation d'énergie primaire est passée de 1 Gtep/an en 1900 à 10 Gtep/an en 2000, soit une augmentation moyenne de 2,35 % / an sans modification sensible au cours des récentes années. A titre d'exemple, elle est au jour d'hui de 0,3 tep par an par habitant en Afrique et 7,8 en Amérique du Nord...

Dans le même temps, la *population mondiale* est passée de 1,65 à 6 milliards. et 6,8 milliards en 2009. Cela correspond à 1,48 %/an (+225.000 par jour)

A ce rythme, qui ne donne pas de signe de ralentissement, il y aurait donc 10 milliards de terriens en 2050.

Ces trois scénarios sont les suivants :

- **Scénario 1** : économies d'énergie dans les pays développés et croissance dans les pays en voie de développement jusqu'au niveau 2000.
- **Scénario 2** : maintien d'une croissance de 2,35 %/an dans les pays développés et croissance plus forte dans certains pays en fort développement
- **Scénario 3** : croissance de 2,35 % par an dans tous les pays, ce qui nécessite un effort considérable sur les consommations d'énergie.

Le tableau ci-dessous montre les résultats des calculs dans ces différentes hypothèses :

Valeurs en Gep/an (1 Gep = 1 milliard de Tep)

		Scénario 1	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 2
	2000	2025	2050	2025	2050
Amérique du Nord	2880	1656	1935	5147	9200
Amérique du Sud	590	2809	3556	1573	4193
Europe	2965	3570	3638	5300	9472
Afrique	308	5794	8079	821	2189
Asie	3260	22905	28951	17693	31622
Océanie	178	229	295	318	570
Total	10181	36963	46454	30852	57246

Consommations énergétiques à l'horizon 2050

Scénario 1 : on passe de 10,2 en 2000 à 45,2 en 2050

Scénario 2 : on passe de 10,2 en 2000 à 57,2 en 2050

Scénario 3 : on passe de 10,2 en 2000 à 32,5 en 2050

Dans l'hypothèse minimaliste, les besoins auront à peu près triplés par rapport à la situation actuelle ; dans l'hypothèse maximaliste (la plus réaliste); ils seraient presque sextuplés !

Sera t-il possible de satisfaire ou de se rapprocher de ces besoins ?

Jacques Foos a ensuite consacré son exposé à l'examen, au cas par cas, de la situation actuelle et de la contribution possible des différentes sources d'énergies aujourd'hui connues

Les différentes catégories de sources d'énergie

- *eau* : énergie hydraulique
- *soleil* : solaire (thermique, photovoltaïque)
- *courants* : énergie hydrolienne
- *vent* : énergie éolienne
- *marée* : énergie marémotrice
- *biomasse* : houille verte, déchets
- *géothermie* : forages
- *vapeur* : charbon, pétrole, gaz (*combustibles fossiles non renouvelables*)
nucléaire (fusion, fission)

Bilan 2005 par source d'énergie :

Charbon 22% / gaz 22% / pétrole 41% / nucléaire 7% / renouvelables 8%

Soit 85% pour les combustibles fossiles, hors uranium

Ces chiffres recouvrent des variations considérables selon les pays, tant en ce qui concerne la part des énergies renouvelables dans la consommation globale d'énergie que dans leur contribution à la production d'électricité.

Il en est évidemment de même pour les consommations de pétrole, qui ont été multipliées par un facteur quatre en Inde ou en Chine, alors qu'elles ont diminué de 10% en France au cours des dernières années

L'épuisement des réserves de combustibles fossiles

Etat des réserves connues et épuisement, au rythme actuel (valeurs 2005) :

- **charbon** (*houille + lignite*) : 1.140 milliards de tonnes ---→ **400 ans**
- **gaz** : 217.000 milliard de mètres cubes ---→ **60 ans**
- **pétrole** : 163 milliards de tonnes ---→ **35 ans**

Les enfants nés en 2000 n'auront plus de pétrole en 2040 et plus de gaz en 2070

Les schistes bitumineux, qui sont des réserves ultimes en pétrole non conventionnel, sont très énergivores et très polluants lors de leur raffinage

Les perspectives en 2050 par source d'énergie

Pour conserver à ce compte rendu un volume raisonnable, seules seront mentionnées les estimations chiffrées proposées par Jacques Foos par grande catégorie de sources d'énergies. Les détails pourront être retrouvés sur www.formascience.com dans les diapositives 31 à 69.

Energie hydraulique en 2.000 : 0,23 Gep en 2.050 : 1,5 Gep ?

- coût de production élevé
- emprise au sol élevée (ex : Barrage des 3 Gorges en Chine)
- risques pour les populations riveraines (ex : Malpasset)

Energie solaire en 2.000 : 0,01 Gep en 2050 ; 3 Gep ?

- conversion thermique ou photovoltaïque
- investissement colossal à l'échelle planétaire
- financièrement rentable en France

Energie éolienne en 2.000 : 0,01 Gep en 2050 : 3 Gep ?

- 3 Gep/an = 6 millions d'éoliennes
- stockage de l'énergie électrique à inventer car fonctionnement intermittent
- grosse emprise au sol et nuisances sonores

Energie géothermique en 2.000 : 0,03 Gep en 2050 : 1 Gep ?

- pompes à chaleur, forages
- énergie pratiquement inépuisable
- difficile à exploiter à grande échelle

Energie des mers en 2.000 : 25 Mep en 2050 : 1 Gep ?

- usines marémotrices (La Rance : 240 MW)
- énergie des courants ? énergie des vagues ?

Energie de la biomasse (houille verte)

Production de chaleur 1 Gep en 2000 (combustion du bois, de la paille, des ordures ménagères). Très utilisé, mais 1.000 morts par jour (source OMS), surtout dans les PVD

Agrocarburants 0,1 Gep en 2.000 en 2050 : 4Gep ?

- rendement énergétique global faible pour toutes les filières
- 4 Gep nécessiterait de consacrer aux agrocarburants environ 25 fois la surface de la France en terres cultivées ou encore la moitié des terres cultivables françaises pour la *moitié des 'carburants transports' en France.*

Energie issue des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon)

Centrales thermiques (électricité) en 2.000 ; 2,5 Gep en 2.050 ; 4 Gep

- permet une production importante sur une surface limitée
- très importantes émissions de CO₂, NO_x, poussières, SO₂
- la valeur '2050' prend en compte l'exploitation des ressources ultimes d'hydrocarbures à fort coût)

Autres utilisations; transports, chaleur, en 2.000 5,5 Gep en 2.050 8 Gep

La somme des valeurs '2.050' estimées de façon optimiste, sans tenir compte des coûts colossaux et des contraintes ou conséquence environnementales, S'établit à 25,5 Gep. Le déficit serait donc de 32,5 – 25,5 = 7 Gep/an dans le scénario le plus optimiste et de 31,7 dans le scénario le plus réaliste (voir page 2)

On peut encore en retrancher de façon très volontariste, 1,5 Gep par économies d'énergie, en se référant au protocole de Kyoto et aux contraintes du développement durable . On arrive ainsi à des besoins en 2050 de 5,5 à 30,2 Gep/an (en 2005, consommation mondiale ; environ 11 Gep)

Le rôle de l'énergie nucléaire

Il y a actuellement dans le monde 439 réacteurs nucléaires électrogènes en activité et une quarantaine en construction ou en projet, produisant environ l'équivalent de 0,8 Gep/an.

La part du minerai uranium dans le prix de revient du kWh est très faible, ce qui permet de considérer que, lorsque les réserves exploitées actuellement s'épuiseront (estimation : environ 70 ans), il serait possible d'exploiter des réserves plus couteuses pendant des dizaines d'années.

Le bilan exposé par Jacques Foos amène donc à conclure que, *dans l'état actuel des connaissances, on ne pourra pas échapper à la construction, de très nombreux réacteurs nouveaux.*

Couvrir le déficit minimal prévu à l'horizon 2.050, soit 5,5 Gep/an, par des réacteurs de conception actuelle, EPR ou Superphénix ou autres, amènerait à en construire cent par an dans le monde jusqu'en 2.050. Cela est au jour d'hui irréaliste

Il faut de toute façon se préparer à l'inévitable construction de recteurs nouveaux et relever les divers 'challenges' du nucléaire :

- quel type de réacteur pour demain ?
- problèmes de sureté et de non-prolifération
- gestion des déchets
- acceptation par les populations
- formation des personnels

Discussion (extraits)

- Il vaudrait beaucoup mieux orienter vers les pays du Sud les subventions accordées aux équipements photovoltaïques installés en France métropolitaine. ; outre l'aide ainsi accordée aux PVD, le rendement lié à l'ensoleillement y est bien meilleur.
- Investir dans les éoliennes ou dans le solaire est très rentable au bout de quelques années puisque EDF est *obligée* de racheter le KWh à un prix très élevé. (actuellement 0,6 euro), bien supérieur au prix de revente.
- La consommation énergétique liée à l'informatique est actuellement plus élevée que celle du transport aérien !
- Il faut développer les réseaux permettant de récupérer l'énorme quantité de chaleur rejetée par les centrales nucléaires, actuellement double de l'énergie électrique produite.
- Il faut développer la transparence et la communication, notamment dans le nucléaire via les Commissions Locales d'Information ex : Flamanville), mais aujourd'hui, tout nouveau site, quelle que soit la source, pose problème (syndrome NIMBY : 'pas chez moi, mais chez le voisin !)
- Les découvertes imprévues, susceptible de révolutionner la situation, cela existe : par exemple, la radioactivité artificielle de l'uranium a été découverte peu avant la deuxième guerre mondiale quarante ans plus tard, il y avait plusieurs centaines de centrale nucléaires dans le monde. On ne peut donc exclure la découverte d'une nouvelle forme d'énergie qui serait largement industrialisée en 2050...(il y a peu de chances que cela soit ITER!)
- Le nucléaire civil ne débouche pas forcément sur le nucléaire militaire : le Japon, fortement opposé à celui-ci va passer au 3è rang mondial pour le nombre de réacteurs en service.
- Le développement des technologies est surtout une question de choix stratégiques aux niveaux nationaux : exemple de J.F.Kennedy qui, en 1960, a décidé que les USA enverraient un homme sur la Lune, quel qu'en soit le coût.
- La décision, prise en 1998, de fermer Superphénix peut être aujourd'hui remise en question, à la lumière des besoins et de la situation décrite par J.Foos au cours de son intervention.

Pour en savoir plus

« *Quelles énergies pour demain ?* », Christian NGO, éd. Spécifiques, 2007, 9,80 euros

« *L'énergie nucléaire : comprendre l'avenir* », Bertrand BARRÉ ed.Hine,2006 ; 28,50 euros