



## Avis de l'Académie des sciences sur : « Changement climatique et transformation du système énergétique »



La gestion des risques anticipés liés au changement climatique passe par une stratégie d'amélioration permanente de l'observation et de la compréhension des phénomènes, de réduction des incertitudes des simulations numériques du climat, et par la recherche et le déploiement de solutions qui pourraient conduire à une réduction substantielle des émissions de gaz à effet de serre. L'Académie des sciences a organisé en 2014 et 2015 un groupe de travail et deux conférences- débats en vue de faire le point sur les développements récents de la recherche sur le climat [1,2,3] et leurs implications sur le système énergétique.

L'Académie considère que les conclusions de son rapport de 2010 [1] restent valables. Elle note les progrès réalisés depuis cette période dans la compréhension du comportement du climat de la Terre :

- L'observation satellitaire permet désormais de suivre la montée du niveau de la mer avec une précision millimétrique et, en tenant compte des mesures de températures océaniques *in situ*, d'évaluer séparément la dilatation thermique de la colonne d'eau et la fonte des glaciers continentaux et des calottes glaciaires ;
- La prise en compte des cycles biogéochimiques dans les modèles climatiques constitue un test de cohérence de ces modèles et permet d'évaluer les rétroactions géochimiques associées au changement climatique ;
- Le « plateau » observé dans l'évolution des températures moyennes de la planète au cours de la période 1998-2013 peut être interprété notamment en considérant les effets des oscillations décennales d'origine océanique (cf. l'exposé de C. Cassou [2]) ;
- La qualité de la modélisation numérique du climat est en amélioration et la résolution des simulations permet maintenant d'atteindre la cinquantaine de kilomètres, rendant possible l'étude des événements extrêmes et des impacts régionaux ;
- La modélisation des climats du passé a donné des éléments pour comprendre les observations géologiques (glaciations, périodes plus chaudes que la période actuelle) et proposer des mécanismes (géochimiques, géo-dynamiques, astronomiques) responsables de leurs évolutions.

Il reste de nombreuses questions en suspens nécessitant un programme de recherche soutenu. On trouvera dans la référence [4] une discussion approfondie des incertitudes principales de la projection climatique issue d'une réunion du WCRP (World Climate Research Programme).



### Que faire ?

A ce stade, on ne peut ignorer le fait que la tendance actuelle au niveau mondial est celle d'une hausse continue de la demande énergétique associée au développement économique, à l'augmentation des besoins des pays émergents et des pays en voie de développement, et à la croissance démographique. Il sera difficile d'infléchir des évolutions qui vont toutes dans le sens d'une augmentation de la production d'énergie, faisant appel dans beaucoup de pays à un accroissement de l'utilisation des énergies fossiles et notamment du charbon. Cette inflexion ne pourra se faire si elle reste limitée à une seule partie du monde, comme l'Europe. La réduction des émissions globales de gaz à effet de serre, justifiée par son impact climatique, par les effets d'acidification des océans et par la nécessaire réduction de l'exploitation des énergies fossiles, ne pourra être réalisée sans une participation effective de tous les pays et notamment de ceux qui sont les plus gros émetteurs. Faire en sorte que l'objectif soit partagé par tous et trouver les moyens qui pourraient permettre d'avancer de façon concrète et contrôlable vers un objectif commun constitue une difficulté majeure, un sujet analysé par exemple dans l'un des exposés de la conférence [3] et dans la référence [5].

L'échelle du défi à relever dans le domaine énergétique est immense et les difficultés méritent d'être soulignées car elles sont généralement sous-estimées. Les solutions actuelles ne peuvent apporter que des réponses partielles au problème majeur de la réduction substantielle de l'utilisation des combustibles fossiles. Les éléments d'orientation suivants peuvent permettre d'avancer sur ces questions.

#### **(1) Poursuivre les travaux de recherche sur le climat, améliorer les éléments des simulations et réduire les incertitudes**

Il est important de poursuivre les travaux de recherche amont sur le fonctionnement du climat, tant sur les aspects observationnels, terrestres et spatiaux, que sur les mécanismes physiques et chimiques en jeu, et sur les modèles numériques qui couplent ces mécanismes pour réduire les incertitudes et améliorer les projections. Il faudra aussi poursuivre les observations sur plusieurs décennies pour comprendre l'origine des fluctuations observées sur des périodes longues de la température globale de surface et du comportement de l'océan (circulation globale, variations thermiques, modes de variabilité superficielle, couplage océan-atmosphère).

#### **(2) Améliorer l'efficacité énergétique pour réduire les émissions**

L'amélioration de l'efficacité énergétique dans les domaines de la *mobilité* et du *bâtiment* peut permettre des gains importants en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Cet axe de progrès est à la fois intéressant du point de vue des émissions, qui peuvent être réduites, et de la facture énergétique, qui peut être diminuée du fait d'une moindre consommation d'énergies fossiles. Ces gains en efficacité sont aussi possibles par l'amélioration des procédés industriels. Les progrès en termes d'efficacité sont aussi des atouts de compétitivité pour les entreprises.

#### **(3) Explorer les possibilités nouvelles issues du numérique pour optimiser l'utilisation de l'énergie et notamment de l'énergie électrique**

Le numérique ouvre de nombreuses possibilités pour assurer la sécurité et la qualité de fonctionnement du réseau, permettant à l'opérateur d'optimiser l'utilisation des capacités de production et d'utilisation de l'énergie électrique, à condition qu'il soit doté de capacités d'estimation de l'état du réseau qu'il pilote. Cela conduit à transformer le réseau en ce qu'on appelle maintenant le « smartgrid » ou « réseau intelligent », avec la mise en place de nombreux capteurs, pour permettre l'intégration de la production diffuse intermittente et éviter



une déstabilisation du système électrique. Le réseau intelligent peut aussi permettre de rechercher la maîtrise de la courbe de consommation, pour faire des économies d'électricité ou limiter le niveau de la pointe de consommation nationale ou régionale. Cet outil s'inscrit dans un mouvement général de maîtrise de l'énergie. Le développement de ce type de moyens pose des questions sociales relatives à la liberté individuelle des citoyens, à l'équilibre entre la gestion locale et la gestion globale de l'énergie et à l'exploitation des flux de données massives issues des compteurs communicants. Il pose aussi des questions techniques comme celle de la répartition de l'intelligence du système électrique, de son optimisation et son contrôle entre les différents niveaux.

#### **(4) Développer les moyens scientifiques et techniques du remplacement des énergies fossiles par des énergies renouvelables**

Remplacer les énergies fossiles par des énergies renouvelables de type éolien ou photovoltaïque induit des difficultés qui sont trop souvent sous-estimées mais qui constituent actuellement des points bloquants dans leur déploiement à grande échelle. L'insertion dans le réseau de grandes quantités d'énergie renouvelable intermittente ne peut se faire sans que soit résolu le difficile problème du stockage de l'énergie. Seul le stockage permet d'éviter que l'intermittence de ces sources d'énergie conduise à utiliser des combustibles fossiles lorsqu'elles ne fournissent pas l'énergie demandée. Par ailleurs la croissance des énergies renouvelables intermittentes ne pourra se faire sans une extension significative du réseau de transport de l'électricité pour raccorder les lieux de production, collecter les énergies électriques produites de façon diffuse et les faire remonter vers les lieux de consommation, ce qui au delà du problème technique peut aussi poser des problèmes de faisabilité socio-technique (d'acceptabilité sociale), des problèmes qui sont aussi ceux des installations éoliennes. Enfin, pour certaines régions du monde qui bénéficient d'un ensoleillement important, le solaire thermique à concentration pourrait constituer une solution intéressante, qui nécessite un effort de recherche et de développement et dont le déploiement à grande échelle mérite d'être exploré.

#### **(5) Avancer dans la conception de méthodes et de procédés de fabrication de carburants de synthèse pour remplacer les carburants fossiles actuels**

Les énergies renouvelables non intermittentes issues de la biomasse ou de procédés de synthèse novateurs sont prometteuses car elles peuvent fournir des combustibles liquides ou gazeux directement utilisables dans beaucoup d'applications. Il est notamment intéressant d'étudier des procédés fondés sur la capture et le recyclage du CO<sub>2</sub> émanant de la combustion de combustibles fossiles. Les diverses possibilités de transformation de la biomasse méritent d'être explorées en intensifiant les recherches et les développements de méthodes et de procédés de conversion efficaces pour la production de vecteurs énergétiques transportables (liquides ou gazeux) ainsi que des systèmes combinant biomasse/biogaz et électricité renouvelable.

#### **(6) Poursuivre l'utilisation et le développement de l'énergie nucléaire pour réduire les émissions de gaz à effet de serre**

L'énergie nucléaire étant décarbonée, son utilisation place la France dans le groupe de tête des pays développés les moins émetteurs de GES. C'est ainsi que la France produit 540TWh d'électricité avec des émissions de 46 Mt CO<sub>2</sub>/an alors que l'Allemagne qui a fait un effort considérable et coûteux de mise en place d'énergies renouvelables éolienne et photovoltaïque produit 631 TWh d'électricité en émettant 334 Mt CO<sub>2</sub>/an. Il y a une contradiction à vouloir diminuer les émissions de gaz à effet de serre tout en réduisant la part du nucléaire. L'énergie nucléaire est actuellement le moyen le plus efficace pour réduire la part des énergies fossiles dans la production d'énergie électrique. L'industrie nationale étant remarquablement



compétente dans ce domaine, tant pour les centrales que pour le cycle du combustible, la France dispose d'un atout considérable dans la lutte contre les gaz à effet de serre. L'énergie nucléaire n'est pas la seule option possible et elle est notamment peu adaptée à des pays qui ne disposent pas d'une infrastructure scientifique et d'une culture technologique suffisante qui permette d'assurer la sûreté de fonctionnement des installations. Il importe aussi que les pays qui souhaitent poursuivre le développement de la filière nucléaire possèdent ou mettent en place des structures définissant une bonne séparation entre les acteurs du nucléaire et les contrôleurs des activités nucléaires.

### **(7) Engager de façon décisive un effort de recherche, développement, innovation et industrialisation dans le domaine de l'énergie**

La transformation du système énergétique demande un effort considérable en termes de recherche et développement pour faire émerger des solutions innovantes qui pourraient permettre de régler un problème qui n'est actuellement résolu que de façon partielle. Pour réaliser cette transformation, il faudra utiliser toutes les ressources de la science et de la technologie ainsi que l'imagination et la créativité des chercheurs et des ingénieurs pour trouver des solutions, réaliser des innovations, concevoir des ruptures. Il faut affirmer clairement les rôles essentiels et complémentaires de la science, de la technologie et de l'industrie dans la transformation future du système énergétique pour répondre aux risques anticipés du changement climatique.

### **Références**

[1] Le changement climatique. Académie des sciences, Octobre 2010.

<http://www.academie-sciences.fr/fr/Rapports-ouvrages-avis-et-recommandations-de-l-Academie/le-changement-climatique.html>

[2] Observation du système climatique en permanente évolution - Mécanismes physiques et chimiques en jeu. Académie des sciences. Conférence-débat du 16 décembre 2014. Exposés de Christophe Cassou, Anny Cazenave, Sandrine Bony, Jean-Pierre Gattuso, Vincent Courtillot.

<http://www.academie-sciences.fr/fr/Colloques-conferences-et-debats-par-et-pour-la-communaute-scientifique/observation-du-systeme-climatique-en-permanente-evolution-mecanismes-physiques-et-chimiques-en-jeu.html>

[3] Modélisation des climats : du passé géologique aux siècles futurs. Académie des sciences. Conférence-débat du 22 septembre 2015. Exposés de Hervé Le Treut, Gilles Ramstein, Laurent Bopp, Jean Tirole, Serge Planton.

<http://www.academie-sciences.fr/fr/Colloques-conferences-et-debats/modelisation-des-climats-du-passe-geologique-aux-siecles-futurs.html>

[4] World Climate Research Programme Report. IPCC AR5 : Lessons learnt for climate research and WCRP. International Space Science Institute, Bern, Switzerland, 8-10 September 2014. WCRP Report No. 5/2015.

[5] C. Gollier et J. Tirole (2015) Negotiating effective institutions against climate change. *Economics of Energy & Environmental Policy*, Vol 4, pp. 5-27.